

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -
Université Aboubekr Belkaid – Tlemcen –
Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

Présentée pour l'obtention du **grade de DOCTORAT 3^{ème} Cycle**

En : Architecture

Spécialité : Architecture

Par : NEGADI Mansour Ahmed

Sujet

De la discontinuité spatiale à la cohérence urbaine morphologique : le réseau viaire comme support, les sciences de la complexité comme outil.
Cas de Tlemcen et de quatre villes algériennes.

Soutenue publiquement, le 27/06/2024, devant le jury composé de :

BOUMECHRA Nadir	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
MEBIROUK Hayet	Professeur	Univ. Constantine 3	Directrice de thèse
DJEDID Abdelkader	Professeur	Univ. Tlemcen	Co- Directeur de thèse
HAMMA Walid	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur 1
CHORFI Khaled	MCA	Univ. Setif	Examineur 2
GHOMARI Fouad			Invité

Remerciements

En 2017, tout jeune doctorant et avec un enthousiasme très grand, je m'attaquais à ce travail avec la naïveté du chercheur débutant. Aujourd'hui, sept ans plus tard, j'achève cette thèse avec humilité et recul, celui d'un doctorant un peu moins jeune, moins naïf mais plus que jamais conscient du sérieux et de l'exigence de la recherche scientifique.

Je tiens tout d'abord à remercier ma directrice de recherche, la professeure Hayet Mebirouk pour son encadrement très rigoureux, son exigence scientifique et son engagement sans faille. Ce travail s'inscrit dans la continuité de ses travaux sur la fragmentation des villes algériennes. Au-delà de ses compétences académiques et scientifiques, ses propos bienveillants et ses encouragements m'ont sauvé à plusieurs reprises. Je tiens aussi à remercier le professeur Abdelkader Djedid, en sa qualité de co-directeur de recherche, pour sa disponibilité et ses conseils. J'ai pu profiter de sa longue expérience du milieu académique, ce qui m'a grandement facilité la tâche à de maintes reprises. Je tiens à remercier le professeur Nadir Boumechra de me faire l'honneur de présider la soutenance, ainsi que le docteur Walid Hamma et le docteur Khaled Chorfi, pour avoir accepté d'examiner ce travail. Je tiens enfin à remercier le professeur Fouad Ghomari d'avoir accepté mon invitation à faire partie des membres invités du jury.

Je souhaite aussi remercier tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin, d'une façon ou d'une autre, en particulier le Dr Zoubir Dendane et mon père Dr Fethi Negadi pour leurs relectures et leurs corrections, ainsi que Mr Lobiyed pour la documentation précieuse qu'il m'a apporté.

Je voudrais remercier trois chercheurs, que je ne connais pas personnellement, mais qui ont grandement contribué par leurs idées à l'achèvement de ce travail. Aux professeurs Christopher Alexander, Nikos Salingaros et Bin Jiang, vous avez toute ma gratitude !

Enfin, je souhaite tout particulièrement remercier Ahmed, tu sais pourquoi.

Dédicaces

Je tiens à dédicacer ce travail à toute ma famille, en particulier ma mère et mes grands-mères. Je tiens aussi à exprimer ma gratitude à mes frères et mes amis, qui m'ont aidé par leurs encouragements et leur présence à surmonter les moments difficiles, Hichem, Nazim, Mehdi, Ahmed Badr, Mohamed, Amine, Chafi, Yassine et tous ceux que j'oublie, merci !

Table des matières

Introduction générale	1
PREMIERE PARTIE : Constats et observations sur la ville contemporaine : un nécessaire changement de paradigme.	
Introduction de la première partie	12
Chapitre I : Constats morphologiques sur les villes algériennes : la discontinuité spatiale de Tlemcen à l'étude	
Introduction du chapitre I	14
1 Entre échecs de la régulation et de la planification urbaine, les causes des ruptures morphologiques dans les villes algériennes.	16
1.1 Lecture chronologique du fait urbain en Algérie.....	16
1.2 La ville algérienne, un rapide survol de l'état de fait morphologique.....	16
1.3 La ville incontrôlable, le poids de l'informel dans la ville algérienne	17
1.3.1 (1962-1990) De la ville duale à la ville hybride.....	17
1.3.2 (1990 -) Ville officielle et ville informelle, une complexification des interactions	18
1.4 La ville planifiée, un échec des politiques urbaines et des instruments d'urbanisme ?	19
1.4.1 (1962-1990) Les instruments de première génération : une vision techniciste et quantitative de l'urbain.....	19
1.4.2 (1990-) Les instruments de seconde génération : une volonté de rupture claire mais nuancée dans les faits.....	20
1.4.3 Les défis de la planification en Algérie : entre informel et l'échec des politiques urbaines	20
2 Analyse de la discontinuité spatiale de Tlemcen	21
2.1 Préalables théoriques et état de l'art sur la morphologie de l'agglomération Tlemcenienne.	21
2.1.1 L'appréhension des discontinuités : quels préalables théoriques ?	22
2.1.2 La morphologie de l'agglomération de Tlemcen, que dit la littérature ?	23
2.2 Analyse cartographique : la discontinuité à travers la croissance urbaine dans l'agglomération de Tlemcen.....	24
2.2.1 Démarche et éléments de méthode.....	25
2.2.2 De 1966 à 1990 : Une croissance considérable en relative continuité	27
2.2.3 De 1990 à 2020 : Une croissance toujours aussi soutenue, une discontinuité urbaine qui s'accroît.....	29

2.3	Analyse cartographique : la discontinuité à travers les coupures et les contraintes du site	31
2.3.1	Urbanisation et contraintes naturelles	32
2.3.2	Grandes emprises et coupures liées aux transports	33
2.3.3	Urbanisation et terres agricoles	34
Conclusion du chapitre I		37
 Chapitre II : Débat et questions sur la ville contemporaine : les enjeux d'une vision renouvelée		
Introduction du chapitre II		39
1	La ville contemporaine, constats morphologiques.	41
1.1	L'étalement urbain, forme urbaine des villes contemporaines.....	41
1.1.1	Etalement(s) urbain(s), un phénomène global	41
1.1.2	Etalement urbain et dynamiques urbaines, quels facteurs et quels effets ?.....	43
1.2	Regards sur l'urbanisation discontinue ?.....	45
1.2.1	La discontinuité urbaine : un outil de compréhension des formes urbaines contemporaines.....	46
1.2.2	La discontinuité urbaine et ses figures morphologiques.	46
2	Mort ou renaissance de la ville ? Débat et questions autour des villes contemporaines	48
2.1	Mort de la ville et l'éloge de la densité, échecs et limites du modèle de la ville compacte.....	48
2.1.1	Fin de la ville ou mort de l'urbanité ?	49
2.1.2	L'idéal de la ville compacte, une réaction face à l'urbanisation discontinue.....	49
2.1.3	Echecs et limites du modèle de la ville compacte	50
2.2	Une nouvelle manière d'appréhender l'urbain, quels renouvellements conceptuels ?	51
2.2.1	Une remise en perspective temporelle, le début d'une nouvelle ère urbaine	52
2.2.2	Dilution de l'urbain et polarisation métropolitaine, un autre regard sur la réalité urbaine contemporaine	52
2.2.3	La ville émergente : une synthèse des nouvelles figures de la ville contemporaine	53
3	Enjeux de la ville contemporaine : entre durabilité et nécessité d'une vision renouvelée	54
3.1	Interrogations sur une forme urbaine plus efficace et durable	55
3.1.1	La ville durable.....	55
3.1.2	L'enjeu central de la mobilité durable.....	56
3.2	Remises en question épistémologiques, la nécessité d'une vision renouvelée sur la ville contemporaine.	57
3.2.1	Sortir des théories traditionnelles pour comprendre la ville d'aujourd'hui.	57

3.2.2	La transition des théories fortes vers les théories faibles : la reconnaissance de la complexité des villes	58
	Conclusion du chapitre II	59
	Conclusion de la partie 1	59

DEUXIEME PARTIE : La cohérence urbaine : des enjeux de proximité et de consistance aux sciences de la complexité.

	Introduction de la deuxième partie	61
--	---	-----------

Chapitre III : La cohérence urbaine fonctionnelle à travers l'enjeu de proximité de la forme urbaine : littérature, expériences et indicateurs

	Introduction du chapitre III	64
--	---	-----------

1 L'interaction entre forme urbaine et mobilité quotidienne, une vision fonctionnelle de la ville.....

1.1	L'étude du lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne à travers les densités ..	67
1.2	L'étude du lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne à travers la diversité des usages du sol.....	68
1.3	L'étude du lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne à travers le dessin urbain	70

2 La ville cohérente : un modèle de forme urbaine soutenable au-delà de la ville compacte.....

2.1	Un dépassement conceptuel de la ville compacte	72
2.2	La ville cohérente appliquée à l'Ile de France, penser autrement la proximité.....	73
2.2.1	La ville cohérente : objectifs et enjeux.....	73
2.2.2	La ville cohérente : résultats et implications	74
2.2.3	Quelles implications pour la recherche ?	74

3 Expériences et politiques urbaines : La cohérence urbaine soumise à l'enjeu de la durabilité et construite autour de la notion de proximité.....

3.1	L'expérience Française : Loi SRU et SCOT, l'impératif de cohérence territoriale. .	76
3.2	L'expérience néerlandaise : La politique du VINEX, vers une autre compacité	77
3.2.1	Une politique d'habitat volontariste et qui encourage la densification.	77
3.2.2	Une politique de transport luttant contre la dépendance automobile	78
3.3	L'expérience Nord-américaine : Smart Growth et New Urbanism.	78
3.3.1	Smart Growth : une idée américaine du développement urbain durable	79
3.3.2	New Urbanism :	79

4 Indicateurs et outils : des pistes d'évaluation de la cohérence urbaine fonctionnelle

4.1	Indicateurs de la mixité et de la diversité fonctionnelle	81
4.1.1	Les méthodes de mesure agrégées de la mixité fonctionnelle.....	81

4.1.2	Les méthodes de mesure désagrégées de la mixité fonctionnelle	83
4.2	Indicateurs de navettage	85
4.2.1	Navettage et excès de navettage : une définition conceptuelle	85
4.2.2	Forme urbaine et méthode d'appariement des emplois et résidences	85
4.2.3	Possibilités et mesures du navettage	86
	Conclusion du chapitre III	86

Chapitre IV : La cohérence urbaine morphologique à travers l'enjeu de consistance de la forme urbaine : littérature, fondements théoriques et indicateurs

	Introduction du chapitre IV	89
	1 Littérature et fondements théoriques de la cohérence urbaine morphologique : les théories fondatrices de Christopher et Salingaros	90
1.1	Les rapports fondamentaux entre les parties et le tout, entre cohérence, « wholeness » et théorie des centres : l'approche holistique d'Alexander	91
1.1.1	Théorie des centres et « wholeness »	92
1.1.2	Quinze propriétés fondamentales des centres en interaction à l'origine de l'émergence la vie	93
1.2	La cohérence urbaine selon Salingaros, une définition de référence	97
1.2.1	Les huit règles de cohérence urbaine	97
1.2.2	Les forces de couplage et la formation des modules de composition	99
1.2.3	Les interfaces fractales et la diversité critique des éléments.....	100
1.2.4	Une ville n'est pas un arbre : la décomposition d'un système cohérent	101
1.2.5	La distribution des éléments dans un système cohérent et la théorie du champ de l'information urbain	101
1.2.6	De la petite à la grande échelle : ordonner les éléments à l'échelle urbaine....	102
1.3	Des schémas-types pour atteindre la cohérence urbaine : les patterns d'Alexander. 103	
1.3.1	L'échelle interurbaine : séparer la ville de la campagne	104
1.3.2	L'échelle urbaine : une mosaïque de quartiers et de communautés mixtes	105
1.3.3	L'échelle du quartier : un enchevêtrement de nœuds d'habitat et de nœuds d'activités	106
1.3.4	L'échelle du pâté de maison : De petits groupes face à face.....	106
1.3.5	L'échelle de la communauté de travail :	107
1.3.6	A pattern langage : Au-delà d'un modèle utopique, un ensemble cohérent de patterns pour un environnement bâti cohérent	108
	2 Indicateurs et outils d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique	109
2.1	Indicateurs de cohésion et de cohérence urbaine morphologique : les méthodes présentes dans la littérature	109
2.1.1	La cohésion urbaine, un concept pour les nouvelles réalités urbaines des villes contemporaines.....	110

2.1.2	Une mesure de la cohérence urbaine morphologique basée sur l'indice de Gini-Simpson.....	111
2.2	L'évaluation de la cohérence urbaine morphologique à l'échelle piétonne	114
2.2.1	Quelles sont les propriétés les plus pertinentes pour la mesure de la cohérence urbaine morphologiques à l'échelle piétonne ?.....	114
2.2.2	Echelle humaine	116
2.2.3	Transparence	116
2.2.4	Complexité	117
	Conclusion du chapitre IV.....	117

Chapitre V : Les sciences de la complexité, prélude à l'étude de la cohérence urbaine morphologique

	Introduction du chapitre V.....	121
1	Justifications sur le choix de l'étude de la cohérence urbaine morphologique	123
1.1	La présence d'outils déjà éprouvés pour la cohérence urbaine fonctionnelle	123
1.2	L'insuffisance des données pour l'étude de la cohérence urbaine fonctionnelle des villes algériennes	124
2	Ville et sciences de la complexité : définitions, théories et champ d'applications..	124
2.1	Quelques fondements théoriques à la science de la complexité.....	125
2.2	Des théories positives de la ville à la reconnaissance de la complexité	126
2.3	Quelle complexité pour la ville ?.....	127
2.4	La ville, objet de connaissance incertaine	129
3	Système complexe, approche systémique et ville.....	130
3.1	Qu'est-ce qu'un système complexe	130
3.2	Etude des systèmes complexes : l'approche systémique.....	131
3.3	L'approche systémique appliquée au système complexe « ville ».....	133
4	L'organisation et la structuration d'une ville à travers les sciences de la complexité	134
4.1	Les différents registres de la forme urbaine	134
4.2	La structuration hiérarchique, une propriété fondamentale des systèmes complexes	135
4.3	Les théories morpho-fonctionnelles de l'urbain.....	136
4.4	L'approche configurationnelle de la forme urbaine, une perception nouvelle de l'espace	138
4.5	L'espace à travers les réseaux : distance spatiale et distance topologique.....	139
	Conclusion du chapitre V.....	117

TROISIEME PARTIE : La cohérence urbaine : des enjeux de proximité et de consistance aux sciences de la complexité.

Introduction de la troisième partie	144
--	------------

Chapitre VI : le réseau viaire comme support d'étude pertinent de la cohérence urbaine morphologique

Introduction du chapitre VI	148
--	------------

1 Une vision d'ensemble des modélisations des réseaux viaires urbains à travers la littérature :

149

1.1	La théorie des graphes	149
-----	------------------------------	-----

1.2	La space syntax : le réseau viaire vu à travers sa configuration spatiale.....	152
-----	--	-----

1.3	Les named streets : l'agrégation selon le nom des rues.....	154
-----	---	-----

1.4	La Route Structure Analysis : la route comme élément de base du réseau viaire ...	154
-----	---	-----

1.4.1	La connectivité du réseau viaire	155
-------	--	-----

1.4.2	La complexité du réseau viaire.....	157
-------	-------------------------------------	-----

1.5	Natural streets, une agrégation des segments selon l'angle de déflexion minimal.	158
-----	--	-----

2 Les réseaux viaires sous l'angle des sciences de la complexité : les propriétés émergentes et la distribution des rues comme indices de la cohérence urbaine.....

161

2.1	Les propriétés émergentes des réseaux viaires en tant que système complexe.	161
-----	--	-----

2.1.1	La hiérarchisation des voies	161
-------	------------------------------------	-----

2.1.2	Formation de schémas-types de connexion des voies	163
-------	---	-----

2.1.3	L'artérialité.....	166
-------	--------------------	-----

2.1.4	Résilience et adaptabilité.....	168
-------	---------------------------------	-----

2.2	La distribution des éléments dans un réseau complexe.	169
-----	--	-----

2.2.1	Qu'est-ce qu'une loi de distribution.....	169
-------	---	-----

2.2.2	La distribution des éléments dans un système complexe.....	170
-------	--	-----

2.2.3	La fractalité dans les tissus urbains	171
-------	---	-----

2.2.4	La distribution fractale dans les réseaux viaires.....	173
-------	--	-----

Conclusion du chapitre VI.....	172
--------------------------------	-----

Chapitre VII : Construction d'un cadre méthodologique d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique

Introduction du chapitre VII	175
---	------------

1 Un cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique basée sur le réseau viaire : consolidation des trois conjectures.

176

1.1	Le réseau viaire comme support : considérations sur les modèles et méthodes pertinentes	176
-----	---	-----

1.1.1	Ce que permet d'étudier le réseau viaire : structuration, hiérarchie, connexion	177
-------	---	-----

1.1.2	L'étude des réseaux complexes : un champ de la littérature riche et solidement fondé	177
-------	--	-----

1.2	Les propriétés désirables du réseau viaire : critères d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique	179
1.2.1	Un réseau viaire fractal :	179
1.2.2	Un réseau viaire artériel :	182
1.2.3	Un réseau viaire connectif à toutes les échelles :	183
1.3	La nécessité d'une approche comparative : cinq villes algériennes de taille moyenne à l'étude	184
2	Présentation du corpus de données et processus méthodologique de l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique :	185
2.1	Création d'un modèle de réseau viaire basé sur les « natural streets ».....	186
2.1.1	Données brutes depuis Open Street Map : un choix fiable et open-source.....	186
2.1.2	Extraction et préparation des données cartographiques depuis Open Street Map	186
2.1.3	Agrégation et génération des natural streets avec Axwoman.....	187
2.2	Correspondance avec une loi de distribution en puissance inverse.....	189
2.2.1	Estimation de la correspondance à une loi de distribution inverse	189
2.2.2	Application de la méthode de vraisemblance maximale à une loi de puissance inverse	190
2.2.3	Vérification de la correspondance à une loi de puissance inverse	191
2.3	Classification hiérarchique des voies	191
2.3.1	Présentation de la méthode des <i>head-tail breaks</i>	192
2.3.2	Détermination du nombre de classes et ht-index	193
2.4	Connectivité et taille du réseau primaire	194
2.4.1	Partitionnement des réseaux primaires et secondaires	194
2.4.2	Calcul des indicateurs de connectivité et des ratios	195
2.5	Artérialité du réseau viaire	196
2.5.1	Présentation de la méthode des superpositions séquentielles décroissantes : ..	196
2.5.2	Calcul des index d'artérialité :	197
	Conclusion du chapitre VII	197

Chapitre VIII : Résultats et discussions, exploration de la cohérence urbaine morphologique des villes algériennes à travers le prisme des sciences de la complexité

Introduction du chapitre VIII.....	199	
1 Résultats	201	
1.1	Correspondance de la distribution des voies du réseau viaire avec une loi de puissance inverse	201
1.2	Connectivité du réseau primaire	203
1.3	L'artérialité du réseau viaire.....	206

2	Discussion	207
2.1	Évaluation de la cohérence urbaine et comparaison des villes.....	207
2.2	Fractalité et artérialité, des propriétés universelles des réseaux viaires	211
3	Elargissement à d'autres cas d'études à l'international	213
3.1	Etude de la distribution suivant une loi de puissance inverse	213
3.2	Etude de l'artérialité et de la connectivité du réseau primaire	215
3.3	Conclusions et rapprochement avec les résultats obtenus	216
4	Discussion sur le cas d'étude : Tlemcen, une ville morphologiquement cohérente ?	217
4.1	Un déséquilibre entre centre et périphérie	218
4.2	Des disparités dans la structuration des centralités périphériques.....	219
4.3	La rocade périphérique, principal élément de fragilité.....	223
4.3.1	Antifragilité et résilience	224
4.3.2	Une expérience intéressante : et si la rocade périphérique disparaissait.....	225
4.3.3	Etude du scénario de disparition de la Rocade :.....	226
	Conclusion du chapitre VIII	226
	Conclusion de la partie 3	228
	Conclusion générale	22331
	Bibliographie.....	22338
	Annexes	22351

Liste des figures

Figure 1 : Extension urbaine de Tlemcen entre 1966 et 1990. Source : auteur.....	27
Figure 2 : Extension urbaine de Tlemcen entre 1966 et 1990. Source : auteur.....	29
Figure 3 : Contraintes naturelles de l’agglomération de Tlemcen. Source : auteur	32
Figure 4 : Coupures liées aux grandes emprises et aux axes de transport de l’agglomération de Tlemcen. Source : auteur.....	33
Figure 5 : Urbanisation et terres agricoles pour l’agglomération de Tlemcen. Source : auteur	35
Figure 6 : Consommation annuelle de carburant par personne en fonction de la densité urbaine	45
Figure 7 : VMT en fonction du ratio emploi – résidences ajusté par une fonction spline cubique. Déplacements selon motifs professionnels. Source : (Peng, 1997).....	70
Figure 8 : Les valeurs clés du navettage. Source : (Charron, 2007)	86
Figure 9 : Zones et lignes de forces créés par l’introduction d’un point noir sur une feuille de papier blanche	92
Figure 10 : Combinaisons avec le plus de symétries locales, donc les plus cohérentes.	95
Figure 11 : Combinaisons avec le moins de symétries locales, donc les moins cohérentes. ...	95
Figure 12 : Couplage géométrique par contraste de texture (1) ; Couplage géométrique par couleur (2) ; Couplage géométrique via un élément intermédiaire (3). Source : Salingaros (2000a)	100
Figure 13 : Pattern n°3 : City country fingers (1) ; Pattern n°5 : Lace of country streets (2) ; Pattern n°6 : Country towns (3). Source : Alexander et al. (1977)	104
Figure 14 : Pattern n°8 : Mosaic of subcultures (1) ; Pattern n°13 : Subcultures boundaries (2) ; Pattern n°11 : Local Transport Areas. Source : Alexander et al. (1977).....	105
Figure 15 : Pattern n°14 : Neighborhood Boundary (1) ; Pattern n°31 : Promenade (2) ; Pattern n°30 : Activity nodes (3). Source : Alexander et al. (1977)	106
Figure 16 : Pattern n°37 : House cluster (1) ; Pattern n°38 : Row Houses (2) ; Pattern n°39 : Housing Hill. Source : Alexander et al. (1977).....	107
Figure 17 : Pattern n°41 : Work community (1) ; Pattern n°42 : Industrial Ribbon (2) ; Pattern n°46 : Market of many shops. Source : Alexander et al. (1977).....	108
Figure 18 : Différentes dispositions spatiales testées avec l’indice de Gini-Simpson. Source : Caliskan & Mashhodi (2017)	113
Figure 19 : Deux réseaux de rues comparés. Chaque réseau possède 23 segments et 18 nœuds. (a) Réseau A. (b) Réseau B. (c) Graphe du réseau de (a). (d) Graphe du réseau de (b). Source : (Marshall, 2005).....	150
Figure 20 : Conversion de la carte axiale en un graphe. (a) Carte axiale. (b) Graphe dual correspondant. Source : (Marshall, 2005)	153
Figure 21 : Fig. Exemple illustrant la route structure analysis, chaque route a une valeur propre de continuité, connectivité et de profondeur. Source : (Marshall, 2005)	155
Figure 22 : Fig. Exemple d’un routegram. La route “Bayswater road” est représentée par le point B. Source : (Marshall, 2005).....	156
Figure 23 : Fig. Exemple d’un netgram. Le réseau “Bayswater” est représentée par le point bleu. Source : (Marshall, 2005).....	157
Figure 24 : Fig. Exemple d’un netgram. Le réseau “Bayswater” est représentée par le point bleu. Source (Marshall, 2005)	158
Figure 25 : Un réseau viaire fictif illustrant les trois hypothèses d’appariement. (a): Every best-fit, (b): Self best-fit, (c) : Self fit. Source : (Jiang et al., 2008)	159

Figure 26 : Fig. : Trois niveau d'analyse des réseaux viaires : Composition, configuration et abstraction. Source : (Marshall, 2005)	162
Figure 27 : Un réseau respectant la condition d'artérialité (1). Un réseau respectant la condition de contrainte d'accès (2). Source : (Marshall, 2005)	164
Figure 28 : L'artérialité des veines d'une feuille. Les veines les plus importantes forment un ensemble de lignes continues. Source : (Marshall, 2005)	167
Figure 29 : Graphe d'une loi de distribution normale. Source : Wikipédia	170
Figure 30 : Graphe d'une loi de distribution en puissance. Source : Wikipédia.....	170
Figure 31 : Chou Romanesco présentant une structure récursive fractale. Source : Wikipédia	172
Figure 32 : Comparaison de la distribution du réseau viaire en linéaire cumulé. Source : Laboratoire des Morphologies Urbaines.	181
Figure 33 : Carte de situation des cinq villes algériennes utilisées. Source : Auteur.....	184
Figure 34 : Réseaux viaires après découpage et nettoyage des villes. Extraction depuis Open Street Map. Source : Auteur	187
Figure 35 : Barre d'outils du plugin Axwoman sur ArcMap.	188
Figure 36 : La séparation des segments à chaque intersection. A gauche, une ligne représentant une voie, données brutes depuis OSM. A droite, ligne découpée en segments à chaque intersection. Source : Auteur.....	188
Figure 37 : Table attributaire générée en même temps que les natural streets. Source : Extrait depuis Arcmap.....	189
Figure 38 : Complémentaire de la fonction de répartition cumulée tracée sur un graphe logarithmique. En bleu, la distribution réelle, en pointillés noirs, la distribution théorique. .	191
Figure 39: La méthode des head-tail breaks. Source : auteur	193
Figure 40 : Réseau viaire de la ville de Tlemcen. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.....	195
Figure 41 : Illustration de la méthode des superpositions séquentielles décroissantes. Superposition des CatSupi et comptage du nombre de sous-graphes.....	197
Figure 42 : Réseau primaire de Tlemcen. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.	204
Figure 43 : Réseau primaire de Sidi Bel Abbes. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.....	204
Figure 44 : Réseau primaire de Sétif. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.	205
Figure 45 : Réseau primaire de Béjaia. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.	205
Figure 46 : Réseau primaire de Batna. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.	206
Figure 47 : Comparaison des réseaux viaires de Tlemcen et d'autres villes à l'international. Les natural roads sont colorées suivant leur connectivité (Rouge étant le mieux connecté) .	215
Figure 48 : Réseau primaire de Tlemcen. En noir les voies primaires formant un tout continu. En orange, les voies primaires non artérielles.....	219
Figure 49 : Le réseau primaire de Tlemcen après suppression de la rocade périphérique (en pointillés).....	225

Liste des tableaux

Tableau 1: Extension urbaine de Tlemcen entre 1966 et 1990, détail des surfaces	27
Tableau 2 : Extension urbaine de Tlemcen entre 1990 et 1990, détail des surfaces	29
Tableau 3 : Urbanisation sur les terres agricoles de l'agglomération de Tlemcen. Source : auteur	36
Tableau 4 : Les sept principes de la pensée complexe d'Edgar Morin (Fusco, 2018)	126
Tableau 5 : Comparaison entre approche analytique et approche systémique. Source : auteur	132
Tableau 6 : Nombre d'éléments en fonction de leur taille dans une distribution en puissance inverse. Source : (Salat, 2011)	172
Tableau 7 : Synthèse des modèles de représentation des réseaux viaires. Source : Auteur... ..	178
Tableau 8 : Tableau comparatif entre la ville fractale et la ville moderne. Source : Auteur..	181
Tableau 9 : Villes choisies et leurs caractéristiques générales.	185
Tableau 10 : Statistiques descriptives issues de l'étude statistique de la distribution en puissance inverse des réseaux viaires.....	201
Tableau 11 : Statistiques de connectivité du réseau primaire	203
Tableau 12 : Statistiques issues de l'analyse de l'artérialité des réseaux viaires	206
Tableau 13 : Résumé des indicateurs de cohérence urbaine et proposition d'évaluation pour chaque ville	208
Tableau 14 : Comparaison entre Tlemcen et d'autres villes à l'international.....	214

Introduction Générale

Introduction générale

Villes algériennes, villes contemporaines : constats unanimes. Une difficulté de compréhension des formes urbaines actuelles et l'enjeu de durabilité

La réflexion développée tout au long de ce travail a été initiée par un constat. Si vous vous trouvez au centre-ville de Tlemcen, et que vous faites le déplacement vers la périphérie, vous vous retrouverez entourés par les terres agricoles durant tout le trajet, de telle manière que vous aurez l'impression d'être complètement sorti de la ville, jusqu'à l'arrivée à l'entrée d'une des zones périphériques. Ce constat de discontinuité spatiale de la ville semble être partagé par de nombreux travaux ayant étudié la forme urbaine de la ville de Tlemcen (Djebbar, 2021a; Fekih, 2015; Hamzaoui, 2014; Karoui, 2016). En outre, il s'inscrit dans un cadre plus large, qui est celui de la forme urbaine des villes contemporaines. Ce constat a engagé toute une réflexion autour de la définition de la ville contemporaine, au-delà de sa simple manifestation spatiale.

A l'indépendance, les villes algériennes présentent déjà un visage hétéroclite, dans lesquelles les tissus urbains coloniaux se superposent aux tissus précoloniaux. Cette superposition est le plus souvent destructrice et génératrice de ruptures (Bendjelid & Hafiane, 2010; Chorfi, 2019; Djebbar, 2021a; Mebirouk, 2011; Meynier, 2014). Depuis, les villes algériennes n'ont cessé de croître massivement, passant de 30 % de citadins en 1966 pour arriver à plus 80% en 2008¹. Les politiques urbaines se font dans l'urgence, face à la forte pression démographique et à l'exode rural massif (Belguidoum, 2008). L'urbanisation se fait en créant des pans entiers de ville, pour répondre avant tout d'une manière quantitative à une demande de logements colossale. Ces derniers se greffent pêle-mêle au tissu déjà existant, sans cohérence avec l'ensemble urbain et sans vision stratégique sur le long terme (Chorfi, 2019). Ainsi, la ville algérienne semble particulièrement prédisposée aux ruptures morphologiques.

D'un point de vue historique, la ville fut pendant longtemps une entité spatiale bien délimitée et distincte, reconnue pour sa compacité, sa densité et son homogénéité morphologique. La révolution industrielle vient perturber cet ordre millénaire des villes. Elle constitue le point de départ d'une série de bouleversements qui aboutira à l'urbanisme fonctionnaliste des CIAM et

¹ Données issues du RGPH de 2008 (Recensement Général de la Population et de l'Habitat)

à la charte d'Athènes au 20^e siècle. Ce modèle de ville radicalement différent entendait apporter la réponse aux nouvelles exigences de l'homme moderne, s'avéra finalement être un échec. Les villes contemporaines portent encore en elles ces « deux âges » maintenant révolus et sont caractérisées par une complexification considérable et par la difficulté à les circonscrire à une définition unanime. La notion de troisième âge de la ville résume bien toutes ces incertitudes qui entourent les villes contemporaines (Mongin, 1995). Ce qui donne lieu à une littérature très abondante sur le sujet et à une grande diversité d'approches. Ainsi, on qualifie la ville actuelle de « *ville fragmentée* » (Navez-Bouchanine, 2002), de « *ville éclatée* » (May et al., 1998), de « *ville diffuse* » (Indovina, 1999), de « *ville émergente* » (Dubois-Taine & Chalas, 1997). La ville contemporaine semble être une entité difficile à appréhender et à circonscrire. C'est une ville sans limites physiques spatialement bien définies et s'apparente à un amas diffus, qui s'étend sur des distances toujours plus grandes.

Devant un tel constat, un débat sur le statut des villes contemporaines s'enclenche. Qu'est-ce que la ville contemporaine, et comment l'appréhender ? Une première réponse est apportée par Choay (1994), qui affirme que la ville est désormais morte, diluée dans l'espace et laissant place à l'urbain indifférencié et homogène. Par cette affirmation, Choay désigne en fait l'obsolescence de la ville compacte et aux limites claires. A cette ville compacte, on oppose généralement la « ville diffuse », qui est une des tentatives de conceptualisation des formes urbaines contemporaines. Le concept approche la ville comme étant une masse consistante (en termes de services, population, constructions) dispersée dans un territoire vaste, interconnecté et peu hiérarchisé (Grosjean, 2007). Dans un contexte où l'urbanisation croissante du monde est sans cesse mise en avant², cette thèse de « l'urbain » est reprise par de nombreux chercheurs. Cependant, d'autres prônent une nécessaire redéfinition de la forme urbaine des villes contemporaine (Ascher, 1995; Brenner & Schmid, 2014; Dubois-Taine & Chalas, 1997; Mongin, 1995), ce qui contraste avec la conclusion radicale de « mort de la ville ».

Face à la complexité de définir une ville par sa seule morphologie, il est presque unanimement reconnu qu'un changement d'approche doit s'opérer pour mieux comprendre et caractériser la réalité complexe et fuyante de la ville contemporaine (de Portzamparc & Véron, 1996; Dubois-Taine & Chalas, 1997; A. Levy, 1999; Wiel, 1999). Le constat d'éclatement des formes

² Selon la banque mondiale, la population urbaine mondiale s'élève à 56.15% en 2020.

urbaines n'est qu'un point de départ vers une réflexion qui doit être plus globale. Aussi, les enjeux derrière cette tâche ne sont pas uniquement théoriques et conceptuels, mais sont aussi motivés par un impératif de durabilité des formes urbaines. Il semble essentiel de comprendre les villes contemporaines afin de pouvoir atténuer les retombées négatives et de mettre en place des pratiques de planification vertueuses. Face à ces défis, il existe de multiples réponses. Par exemple l'urbanisme dit de « projet urbain », qui renoue avec la tradition de la composition urbaine et s'appuie sur l'école de morphologie urbaine italienne (Giovannoni, 1998). L'école postmoderniste prônant un retour aux formes urbaines traditionnelles est aussi l'une des réponses apportée (Fulton, 1996). La ville émergente (Dubois-Taine & Chalas, 1997) est une des tentatives conceptuelles de réhabilitation des formes urbaines contemporaines. Des approches qualitatives et basées sur le temps long, cherchant à décortiquer les fonctionnements urbains intemporels, telles que les visions holistiques d'(Alexander, 2004) et de (Jacobs, 1961) sont aussi importantes à relever.

La cohérence urbaine : une notion originale et inattendue. Une réponse théorique aux problématiques urbaines contemporaines

La ville contemporaine semble être caractérisée par l'expansion et l'interruption systématique de son tissu. Les regards apportés à la ville contemporaine abordent généralement cette question en se concentrant sur la morphologie spatiale, suite à quoi est observée à juste titre une discontinuité du tissu urbain. Ce vide existant au sein des agglomérations actuelles est tantôt diabolisé, tantôt vu comme une conséquence non négative des fonctionnements des aires urbaines contemporaines (Dubois-Taine & Chalas, 1997).

La cohérence urbaine est un objectif majeur dans la planification urbaine contemporaine, visant à créer des environnements urbains plus durables et intégrés. Le terme apparaît d'ailleurs dans les législations algériennes et françaises, dans des outils et schémas de planification urbaine. Par exemple, le SCOT français (Schéma de cohérence territoriale) est un outil d'urbanisme qui vise à mettre en cohérence les politiques territoriales françaises et lier urbanisme et transports (Desjardins & Leroux, 2007). Le SCU algérien (Schéma de cohérence urbaine) vise aussi une politique de planification plus durable et intégrée (Bouha, 2012). Il s'agit aussi d'un mot-clé relativement répandu dans la littérature sur les villes algériennes (Bouchama, 2017; Boukelouha & Labii, 2014; Daoud, 2015)

Nous introduisons alors la notion de cohérence urbaine, terme qui entre en résonance avec la discontinuité spatiale, sans pour autant se poser comme étant son strict opposé. Si discontinuité est un terme qui se focalise sur les différents « pleins » représentés par les lambeaux ou

fragments urbains, le terme « cohérence », qui selon le dictionnaire Larousse signifie « *dont les parties s'enchaînent bien et présentent entre elles des rapports logiques* » est plutôt un terme généraliste qui introduit une idée de connexion et d'imbrication entre différentes parties d'un tout.

Afin d'illustrer cette vision, nous nous permettons de présenter une métaphore qui résume bien l'approche des villes contemporaines que nous voulons apporter avec la notion cohérence urbaine. Cette dernière peut être décrite à travers une métaphore assez simple et parlante.

Le noyau d'un atome est maintenu en place par l'interaction nucléaire forte. Cette dernière opère à un niveau subatomique, et réussit l'exploit de maintenir des protons chargés positivement solidement collés les uns aux autres, alors même que ces particules de même charge devraient fortement se repousser. Du point de vue d'un observateur à l'échelle d'une particule, les protons et les neutrons qui le composent se présenteraient comme des particules différentes, bien distinctes et éloignées les unes des autres. Supposons que cet observateur n'ait pas connaissance de l'interaction nucléaire forte. Il ne saurait pas que ces particules distinctes et éloignées forment en réalité un tout à une échelle supérieure pas que ces particules sont en réalité un tout cohérent appelé noyau, parce qu'il n'a pas conscience des forces qui maintiennent en place ces dernières. Dans le cas d'une ville, nous observons des fragments en rupture et discontinus, mais nous savons aussi qu'instinctivement ces fragments, malgré leur séparation et leur éloignement physique, forment tout de même un tout, une agglomération. Notre travail s'intéresse alors précisément à définir quels sont les éléments qui font, au-delà de la simple proximité spatiale, que ces fragments soient liés entre eux. L'interaction qui maintient ces fragments en place pourrait s'appeler cohérence urbaine. Et notre travail cherche justement à explorer cette « force » qui maintient une certaine unité entre des fragments parfois discontinus et éloignés d'une agglomération.

La vulgarisation à travers cette métaphore facilite la compréhension du sujet de recherche. Cependant, il peut être concédé qu'à travers cette dernière, la thématique de la cohérence urbaine éloigne quelque peu la discussion du débat posé précédemment, à savoir celui de la décohésion des aires urbaines et d'une manière plus générale la compréhension de la ville contemporaine. Aussi, la question posée par cette vision de la cohérence urbaine apparaît comme très générale et vague. La radicalité avec laquelle nous proposons cette vision de la ville, à travers la compréhension du tout formé des parties en interaction, est à dessein. En effet,

la cohérence urbaine s'inscrit dans des domaines de recherches tels que la méréologie³ ou encore l'holistique et pose d'emblée la ville comme un système d'éléments interconnectés. Cette manière d'aborder la ville n'a été que peu étudiée. Cette vision permet alors d'apporter les notions de la systémique à la ville telles que l'étude des systèmes, notamment leur dynamique, leur structure ainsi que leurs fonctions. La systémique est elle-même inscrite dans le cadre plus général des sciences de la complexité, qui étudient les phénomènes mettant en jeu des systèmes caractérisés par des interactions non-linéaires, des comportements émergents, et des dynamiques auto-organisées. Les sciences de la complexité semblent constituer un cadre idéal pour l'étude d'un objet tel que la ville contemporaine et peuvent apporter un éclairage original et précieux. Elles seront abordées d'une manière exhaustive dans cette thèse. Les théories de Salingaros (2000) dans son article pionnier « Complexity and urban coherence » ainsi que l'approche holistique des villes défendue par Jacobs (1961) et Alexander (2004) constituent déjà une bonne base de départ. Ce recul, voire ce changement de paradigme vis-à-vis de la littérature sur les villes contemporaines, trop souvent focalisé sur des discussions très pointues concernant la morphologie et les ruptures, est assumé et même nécessaire. Afin de mieux comprendre un phénomène complexe et incertain, il est pertinent d'utiliser des outils théoriques adaptés et tenant compte de la complexité intrinsèque de l'objet d'étude. La cohérence urbaine n'est pas une notion très présente dans la littérature scientifique en urbanisme. Elle reste à construire et à expliciter. Le travail que nous proposons ici aura un caractère exploratoire assumé et tentera de réunir tous les éléments pertinents qui participent à enrichir la notion de cohérence urbaine telle que nous l'avons introduite plus haut.

La cohérence urbaine : un outil opérationnel de connaissance de la ville et une réponse aux enjeux de planification durable

La notion de cohérence urbaine, par une approche originale issue de la systémique et de la science des systèmes complexes semble pouvoir apporter une vision autre et renouvelée sur les villes contemporaines. Cet enjeu est principalement scientifique et théorique et viendra enrichir la littérature d'une vision nouvelle parmi la multitude qui existe déjà. Ce n'est cependant pas le seul. S'ajoute à cet enjeu théorique un deuxième qui se veut plus opérationnel. La cohérence urbaine exprime aussi une idée de bonne forme urbaine, de forme vertueuse et correctement agencée, structurée et optimisée (Salingaros, 2000a). Dans ce sens, elle s'inscrit aussi dans

³ La méréologie, du grec "mereo" (partie) et "logos" (étude), est la branche de la philosophie et de la logique formelle qui traite des relations entre les parties et le tout.

l'effort de recherche d'une forme urbaine plus durable. Devant l'échec du modèle de la ville compacte (Pouyanne, 2004b), le champ d'investigation demeure vaste et ouvert, et la forme urbaine de demain reste encore à construire. La première étape et peut-être la plus complexe est celle de la compréhension de la ville contemporaine, où toutes les approches et visions permettant d'éclairer le chemin sont les bienvenues. L'approche que nous tenterons de développer sur la cohérence urbaine a cette ambition de s'inscrire dans cette voie qui mobilise une grande partie de la recherche en urbanisme. Comprendre ce qui fait d'une ville un système cohérent peut ouvrir la voie à des décisions plus conscientes et sages en matière de planification urbaine. En plus de caractériser avec précision la notion de cohérence urbaine, nous tenterons de la quantifier à l'échelle d'une agglomération. Ainsi, il sera possible d'estimer et de comparer différentes aires urbaines selon un critère de cohérence urbaine. En outre, cette quantification de la cohérence urbaine permet alors de se rendre compte de modèles types à suivre, ou au contraire de contremodèles à ne pas reproduire. Il est alors possible de mettre en place de meilleures pratiques de planification.

La cohérence urbaine : un autre regard sur les villes algériennes

En parallèle, nous proposons d'apporter une contribution particulière aux villes algériennes qui sont relativement peu étudiées et souvent considérées selon une manière trop négative. Cette perception négative est due essentiellement au manque de contrôle et de planification, des ruptures morphologiques multiples ou encore de la croissance très rapide de la population. Il se cache peut-être derrière ces constats bien réels une logique sous-jacente qu'il est impossible de mettre à jour par une approche conventionnelle. Celle que nous proposons avec la cohérence urbaine, en considérant la ville comme un système interconnecté et complexe, sera éventuellement plus à même de percer à jour un certain ordre jusque-là inconnu. Nous répondrons à ces interrogations en mettant à l'épreuve les villes algériennes, en particulier celle de Tlemcen, à travers une évaluation de leur cohérence urbaine. Cette dernière tentera d'apporter des éléments nouveaux et originaux aux villes algériennes, à travers une vision basée sur les sciences de la complexité. Nous posons donc à partir de là une question de recherche principale

Dans quelle mesure les villes algériennes, et Tlemcen en particulier répondent-elles aux critères de cohérence urbaine ?

L'hypothèse principale défend l'idée selon laquelle les villes algériennes, malgré les constats de ruptures morphologiques et de discontinuités urbaines, présentent tout de même une certaine cohérence urbaine. Cette hypothèse peut sembler contre intuitive ou inattendue. Le choix d'étudier la ville comme un système complexe n'est pas étranger à cette affirmation. La ville étant un système complexe ouvert et constitué de multiples agents et éléments en interaction, il n'est pas surprenant de voir émerger une certaine forme de structure et d'ordonnement, indépendamment des volontés planificatrices des autorités. Les sciences de la complexité appliquées à la ville sont dans ce sens un fondement théorique solide, mais aussi un outil d'exploration méthodologique précieux

Objectifs de la recherche

Une thèse est un projet de recherche visant à enrichir la compréhension et les connaissances dans un domaine spécifique. Elle a pour but non seulement de fournir un éclairage sur une question particulière liée à un domaine d'étude spécifique, mais aussi de proposer des résultats fondés sur une démarche scientifique rigoureuse. En ce qui concerne notre recherche, nous avons trois objectifs principaux.

Le premier objectif est théorique. Par notre travail, nous proposons de contribuer à l'avancement des connaissances en urbanisme et au débat actuel sur la recherche de formes urbaines plus durables. La cohérence urbaine est une notion présente dans la littérature mais qui n'est pas suffisamment étudiée, en plus d'être hautement polysémique. Le contenu disponible dans la littérature est éparpillé et il n'existe pas à notre connaissance de rassemblement clair sur le sujet. Notre ambition est d'apporter un contenu théorique clair et précis à cette notion, par une synthèse de la littérature sur le sujet. Ainsi, ce travail pourra servir de fondement pour d'autres qui voudraient approfondir cette notion par la suite.

Le second objectif est de proposer une méthode claire pour quantifier la cohérence urbaine. La notion est abordée d'une manière qualitative, ou encore décrite suivant un certain nombre de règles à respecter dans la littérature. Il n'existe cependant pas de méthode claire pour évaluer la cohérence urbaine à l'échelle d'une agglomération. Cet objectif ne pourra être atteint qu'après une bonne compréhension des tenants et aboutissants de la notion, ainsi que l'identification de critères de référence. Cette méthode d'évaluation se veut transposable et applicable sur n'importe quelle agglomération. La « métrique » de cohérence urbaine se présente aussi comme un potentiel outil d'aide à la décision pour les planificateurs, à partir de

laquelle ils peuvent avoir une appréciation quantitative de la cohérence urbaine d'une agglomération.

Le troisième objectif est d'enrichir les connaissances sur les villes algériennes. Bien que de nombreux chercheurs se soient penchés sur ces dernières, la littérature manque tout de même de visions alternatives. Celle que nous proposons se base sur les sciences de la complexité et considère la ville comme un système complexe auto-organisé. Notre recherche semble être pionnière en raison de l'approche que nous utilisons, basée sur les sciences complexes pour analyser les villes algériennes. Il est alors intéressant d'analyser les villes algériennes selon cette approche originale qui donnera potentiellement des résultats et des conclusions inattendues. En outre, le contenu de cette thèse pourra servir de base à l'élaboration d'outils décisionnels pour les villes algériennes. En ayant connaissance des critères de cohérence urbaine que nous tenterons de mettre en évidence dans ce travail, les décideurs pourront être plus éclairés sur la bonne manière d'aménager de nouvelles parties de villes.

Cinq villes algériennes de taille moyenne à l'étude

Les villes algériennes choisies pour l'étude seront des villes de taille moyenne, en raison du caractère exploratoire du travail proposé ici. Les villes moyenne semblent plus maîtrisables et préférables pour l'étude d'une notion en cours de construction comme la cohérence urbaine. Un échantillon de cinq villes sera sélectionné. L'intérêt d'un échantillon de plusieurs villes est de pouvoir comparer et discriminer entre-elles, toute évaluation impliquant aussi logiquement un classement.

Parmi les villes choisies, la ville de Tlemcen sera prise comme cas d'étude principal. Il s'agit déjà d'une ville que nous connaissons bien en tant qu'habitant. Nous avons conscience de certains problèmes, comme la congestion présente à l'entrée de certains quartiers périphériques de la ville, ou encore de la rupture particulièrement marquée entre centre et périphérie. Notre recherche sera aussi l'occasion d'apporter des éléments de réponse à ces problèmes rencontrés quotidiennement.

Démarche méthodologique et plan de la thèse

Afin de réaliser notre travail et répondre aux questions de recherche posées, nous devons utiliser une méthode scientifique rigoureuse et clairement exposée. Notre travail s'articulera autour de trois parties principales qui suivent l'enchaînement logique de l'intitulé, en développant

d'abord le constat actuel de discontinuité spatiale des villes contemporaines, puis en allant vers la notion de cohérence urbaine.

La première partie, constituée de deux chapitres, s'intéressera à l'état de fait des villes contemporaines, ainsi qu'à leurs problématiques et enjeux. Le premier chapitre traitera plus précisément des villes algériennes, à travers un état de fait de leur morphologie. Pour ce faire, nous nous aiderons de plusieurs travaux de recherche ayant déjà abordé la question, que nous tenterons de synthétiser pour en extraire l'essentiel, notamment ceux de Chorfi (2019), de Mebirouk (2011) et de Semmoud & Aït-Amirat (2014). Ensuite, nous proposons une lecture morphologique sur carte de Tlemcen qui nous permettra de prendre acte de la discontinuité de son tissu urbain. Ce travail apporte une contribution originale qui, à notre connaissance, n'a pas encore été réalisée. Pour ce faire, nous optons pour la télédétection à partir d'images satellites, ce qui permet d'observer l'évolution de l'urbanisation au fil des années. Le deuxième chapitre étend le constat de discontinuité des formes urbaines à l'ensemble des villes contemporaines et introduit les notions clés qui permettent la compréhension de ce phénomène. Par la suite, nous introduisons les enjeux principaux autour des villes contemporaines, notamment la nécessité d'une vision renouvelée et de nouveaux outils en raison de leur complexité particulière ainsi que la recherche de la durabilité des formes urbaines.

La deuxième partie sera consacrée à une exploration exhaustive et générale de la notion de cohérence urbaine dans la littérature. Dans un troisième chapitre, la cohérence urbaine fonctionnelle, centrée autour de l'enjeu de proximité de la forme urbaine est étudiée. Dans un quatrième chapitre, nous nous penchons sur la cohérence urbaine morphologique, centrée autour de l'enjeu de consistance de la forme urbaine. Dans un cinquième chapitre, nous expliquons notre choix de nous concentrer uniquement la cohérence urbaine morphologique. L'exploration se concentre alors sur cette seule dimension et s'articule autour de l'approche holistique de la ville, portée par Alexander (2004) et Salingaros (2000a) La seconde partie du chapitre s'intéresse plus en détail aux sciences de la complexité, qui serviront alors de base à toute la construction de la méthode d'évaluation amenée par la suite.

La troisième partie se concentre sur l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique et définit un processus méthodologique clair et reproductible. Le sixième chapitre explore la science des réseaux complexes, et explique en quoi la cohérence urbaine morphologique s'appuie sur le réseau viaire. Le processus méthodologique d'évaluation de la cohérence

urbaine est ensuite expliqué en détail au chapitre sept. Il se base sur trois aspects : la correspondance avec une loi de puissance du réseau viaire, la connectivité du réseau primaire ainsi que l'artérialité du réseau viaire. La détermination de ces aspects s'appuie sur des méthodes d'analyse des distributions de fréquences et des modèles statistiques, ainsi que sur des lectures cartographiques. L'étude des lois de puissance permet alors de caractériser des objets complexes, tels que les réseaux viaires. Elles sont particulièrement pertinentes dans l'étude des phénomènes complexes comme les systèmes auto-organisés, et les processus fractals. Le huitième chapitre est consacré à la présentation des résultats issus de l'application du protocole méthodologique sur cinq villes algériennes de taille moyenne. Enfin, nous entamons une discussion sur les villes algériennes puis sur Tlemcen en particulier, à la lumière des résultats obtenus.

PREMIERE PARTIE :

Constats et observations sur la ville
contemporaine : un nécessaire changement
de paradigme.

Introduction de la première partie

La forme urbaine des villes n'a pendant longtemps, pas été un problème, ni un objet de débat concentrant autour de lui tant de fougue et d'animosité. La ville, jusqu'au siècle dernier, était une entité parfaitement identifiable et la définition faisait l'unanimité, dont l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert nous donne un aperçu assez net : « *c'est une enceinte fermée de murailles qui renferme plusieurs quartiers, des rues, des places publiques et d'autres édifices* » (Berque, 2015). La ville est spatialement limitée et s'inscrit en négatif de la campagne.

Actuellement, cette définition de la ville est totalement dépassée, si bien qu'elle ne plus en mesure d'expliquer la production urbaine contemporaine. Face à ce glissement paradigmatique, un débat s'est ouvert sur le statut des villes contemporaines. Peut-on encore parler de ville ?

Nous verrons que ce débat, au-delà d'acter l'entrée dans une nouvelle aire urbaine et du constat d'éclatement morphologique, pose la question plus large de la compréhension des formes urbaines contemporaines, à laquelle est associée l'enjeu d'une forme urbaine plus durable et vertueuse.

Nous passerons d'abord en revue les villes algériennes et plus particulièrement le cas d'étude principal : Tlemcen. Ce choix est motivé par la volonté de partir d'un cas concret auquel nous sommes confrontés au quotidien et dont les dysfonctionnements sont bien identifiés. Nous aborderons ce premier point à travers une revue de la littérature sur les formes urbaines algériennes, suivie d'une lecture morphologique sur carte de Tlemcen qui nous permettra de prendre acte de la discontinuité de son tissu urbain.

Ensuite, nous étendrons ce constat aux villes contemporaines en général. Ceci imposera de facto la nécessité d'un changement de paradigme pour approcher ces dernières, au vu de leur complexification substantielle. Nous explorerons ensuite quelles sont les lectures alternatives au constat morphologique pour les villes contemporaines, dans un souci d'une compréhension plus globale. Ceci nous amènera à centrer la suite de notre réflexion sur la notion de cohérence urbaine.

Chapitre I
Constats morphologiques sur les villes
algériennes : la discontinuité spatiale de
Tlemcen à l'étude

Introduction du premier chapitre

Ce travail a été initié d'un constat fait sur le tissu urbain de Tlemcen, très interrompu et sujet aux ruptures. Ce chapitre sera consacré à l'approfondissement et à la confirmation de ce constat. Il se concentrera essentiellement sur les villes algériennes dans un premier temps, en présentant les principales caractéristiques inhérentes à leur morphologie et les causes multiples qui ont mené à un tissu fortement fragmenté et discontinu. Dans un second temps, s'appuyant sur une analyse cartographique de la croissance urbaine de la ville de Tlemcen, nous donnerons des éléments concrets qui corroborent le constat de discontinuité duquel nous partons. L'approche sera essentiellement spatiale et morphologique au cours de ce chapitre. Cette première vision sur la morphologie des villes algériennes nous conduira par la suite à élargir ce constat à l'ensemble des villes contemporaines.

Dans ce chapitre, nous tenterons de donner des éléments de réponse. Au départ, à travers une vision sur la morphologie des villes algériennes, car il demeure évident que Tlemcen n'est pas un cas isolé en Algérie. L'histoire et le cadre législatif et politique communs, partagés par les villes algériennes nous permet d'opérer cette généralisation. Nous reviendrons ensuite à Tlemcen, sur laquelle nous nous attarderons, en tâchant de donner des éléments bien plus tangibles, en termes beaucoup moins prosaïques quant au premier constat présenté ci-dessus.

Tlemcen, point de départ du constat.

Dans cette introduction, nous exposons nos perceptions et expériences en tant que résidents de la ville de Tlemcen, ainsi que les premières observations qui ont suscité les questionnements à l'origine de cette recherche. Nous prions le lecteur de bien vouloir excuser le style légèrement moins formel adopté ici, jugé plus approprié pour le récit que nous entreprenons.

Les natifs de Tlemcen pourraient digresser pendant des heures sur le glorieux passé de la ville ainsi que sur la fertilité des sols qui l'entouraient. L'ancienne ville était jadis circonscrite à des murailles encore visibles aujourd'hui et les quartiers qui la bordent portent encore les noms emblématiques des anciennes portes : « Bab el Djiad », « Bab Wahran », « Bab Sidi Boumediene », « Bab Zir » sont des noms bien familiers aux Tlemceniens. Autour de cette muraille, au Nord de l'ancienne ville s'étaient jadis des champs à perte de vue qu'on désigne communément comme « le croissant fertile ». Aujourd'hui, ce sont des plants aux pieds de béton et à l'enveloppe rougeâtre de brique qui y poussent.

L'urbanisation effrénée a clairement pris le dessus sur les terres agricoles. Cependant, il subsiste encore çà et là quelques étendues champêtres. Ce qui est assez frappant, c'est le sentiment de changement de décor lorsqu'on se déplace du centre vers la périphérie. On a l'impression d'être sorti de la ville, soudain entourés par les champs et les terres agricoles, puis arrivés à l'entrée d'une des extensions périphériques, le tissu urbain reprend son cours.

Depuis l'un des points les plus hauts de la ville, le plateau de Lalla Setti, on peut apercevoir la ville qui s'étend en contrebas. On voit alors que la ville n'a pas de forme bien définie et qu'elle est entrecoupée de zones non urbanisées.

Devant une telle vision, nous avons voulu comprendre quels étaient les mécanismes qui ont mené à une telle forme urbaine ? Et quelles étaient les implications d'une telle forme urbaine dans le fonctionnement des villes algériennes dans un premier temps, puis des villes contemporaines de manière générale ? Dans ce chapitre, nous tenterons de donner des éléments de réponse à ces questions. Au départ, à travers une vision sur la morphologie des villes algériennes.

1 Entre échecs de la régulation et de la planification urbaine, les causes des ruptures morphologiques dans les villes algériennes.

La question urbaine est particulièrement prégnante en Algérie. Depuis son indépendance, on estime que le nombre de citadins est passé de 30% en 1966 à près de 65% en 2008⁴ et que le nombre de villes de plus de 100.000 habitants est passé de 3 en 1962 à 38 en 2008 (des estimations donnent le chiffre de plus de 60 villes à l'heure actuelle) (Belguidoum, 2018). Cette explosion démographique s'est accompagnée d'un étalement urbain. Ce phénomène, au départ alimenté par l'exode rural, a laissé la place ces dernières années à de nouvelles dynamiques urbaines. Il n'en demeure pas moins que la ville algérienne continue toujours de croître. Dans cette partie, nous examinerons la ville algérienne, ainsi que les processus qui l'ont façonné. Dans un premier temps, nous présenterons un portrait global des villes algériennes à travers une lecture chronologique du fait urbain en Algérie. Nous verrons ensuite dans quelle mesure les villes algériennes sont particulièrement touchées par la fragmentation spatiale de leur tissu, en s'interrogeant sur les causes qui sont à l'origine de cet état de fait.

1.1 Lecture chronologique du fait urbain en Algérie

En Algérie, l'urbanisation a évolué de manière significative depuis la période coloniale jusqu'à aujourd'hui. Sous la colonisation française (1830-1962), des transformations majeures ont été imposées, modelant les villes sur le modèle européen et introduisant des plans d'urbanisme structurés. Après l'indépendance (1962-1978), l'État algérien, initialement peu engagé dans les politiques urbaines, a progressivement reconnu leur importance, notamment en réponse à des défis tels que l'exode rural. Entre 1970 et 1978, l'Algérie adopte une approche interventionniste, intégrant la planification urbaine aux décisions économiques. Durant les années 1980-1990, l'État se désengage partiellement du secteur de l'habitat, entraînant une urbanisation accrue et une croissance de l'auto-construction. De 1990 à 1999, une crise politique profonde conduit à la révision des politiques et outils d'urbanisme. De 2000 à 2013, on assiste à une accélération de la production urbaine avec un retour marqué de l'État providence. Enfin, depuis 2014, face à une crise économique renouvelée, l'État révisé ses approches en matière d'urbanisme, tout en reconnaissant les défaillances des outils existants. Cette évolution chronologique permet de mieux comprendre la morphologie actuelle des villes algériennes.

1.2 La ville algérienne, un rapide survol de l'état de fait morphologique

⁴ Dernier recensement en date (RGPH 2008)

Les villes algériennes semblent présenter un caractère particulièrement mêlé et hybride. Elles apparaissent comme une superposition de tissus, où ville précoloniale (casbahs, médinas), ville coloniale (plan orthogonal, îlots en damier) et ville postcoloniale (grands ensembles d'habitat collectif, villes nouvelles) se juxtaposent. Ces tissus, en plus d'être par nature hétéroclites, traduisent un déni mutuel d'une époque pour la précédente pour des raisons politico-historiques notamment, ce qui rend par essence leur intégration difficile.

Selon Bendjelid & Hafiane (2010, p. 2), la ville algérienne présente aujourd'hui " [...] un formidable étalement urbain doublé d'un éclatement manifeste de bâtis résidentiels et fonctionnels souvent inachevés". Aussi, les villes algériennes « se caractérisent par des localisations ponctuelles qui soulignent une discontinuité spatiale » Bendjelid & Hafiane (2010, p. 40). L'espace urbanisé est jalonné et parcouru de ruptures. Bendjelid & Hafiane (2010, p. 44) en distinguent trois. Premièrement, les ruptures morphologique ou physiques, qui « se rapportent à la topographie, aux axes de communication, aux zones de servitude, aux parcelles agricoles, à la présence de forêts protégées ». Deuxièmement, les ruptures typologiques, visible dans la grande hétérogénéité des tissus urbains, les nouveaux tissus urbains ne s'articulant pas avec les tissus existants. Enfin, les ruptures d'ordre juridique des terrains qui peuvent entraver la projection de programmes demandant de vastes assises. Il subsiste au sein de l'espace urbain des zones qui ne peuvent pas être urbanisées pour des raisons de nature juridique (biens habous).

On retrouve dans la littérature tout un vocabulaire de la rupture et de l'éclatement. La notion de fragmentation spatiale est utilisée pour caractériser le tissu urbain des villes algériennes, presque systématiquement associée à la discontinuité spatiale. (Bendjelid, 1998), (Madani, 2002), (Mebirouk, 2011), (Laouar et al., 2019). Selon (Bendjelid & Hafiane, 2010, p. 55), « le constat observable d'une fragmentation physique existe bel et bien dans les grandes villes algériennes et tend même à caractériser de nombreuses villes moyennes », ce qui est aussi confirmé par Madani (2002, p. 11) qui affirme que « l'éclatement du tissu urbain et la fragmentation spatiale peuvent être observés sans grande difficulté ».

1.3 La ville incontrôlable, le poids de l'informel dans la ville algérienne

1.3.1 (1962-1990) De la ville duale à la ville hybride

La ville algérienne, depuis la période coloniale présente deux facettes : la ville coloniale, une ville planifiée, officielle et donc voulue, ainsi qu'une ville « indigène » parallèle, informelle, non-contrôlée et difficilement contrôlable. Ceci est conceptualisé par la théorie de la ville duale, où les deux modèles de ville et de société présentés ci-dessus se confrontent. Avec

l'indépendance de l'Algérie, la dualisation socio-spatiale et « l'informel de la misère » de la ville s'atténue progressivement, notamment grâce au relogement des résidents des zones périphériques dans des biens vacants. Malgré une orientation politique socialiste et un État providence dominant, la demande en logement public dépasse rapidement l'offre disponible. De plus, avec l'accent mis sur le développement industriel en milieu urbain, les villes deviennent des centres d'attraction, générant un exode rural massif. Cela conduit peu à peu à une croissance non régulée en périphérie des villes. Entre 1970 et 1990, l'exode rural diminue mais d'autres dynamiques⁵ alimentent la croissance des villes. Pourtant, le phénomène d'urbanisation informelle ne décroît pas d'intensité et les programmes de logement public prenant du retard entérinent ce constat. Les périphéries urbaines accueillent sans cesse de nouveaux occupants « en attente de ville », revendiquant eux aussi leur droit d'accès à la citoyenneté, dont le premier acte est le bidonville (Bendjelid, 1998). A partir des années 80, l'urbain informel se complexifie et ne s'explique plus par les traditionnelles oppositions population intégrée / sous-intégrée⁶ et devient ainsi un phénomène socialement légitimé et accepté. On peut dire ainsi selon la formule de (Belguidoum & Mouaziz, 2010, p. 105) que « *l'informel prend possession de la ville* », la ville devient ainsi un hybride, entre zones informelles et zones planifiées.

1.3.2 (1990 -) Ville officielle et ville informelle, une complexification des interactions

Les pratiques urbaines informelles au départ n'étaient que le fait des populations les plus défavorisées. On va assister progressivement à une infiltration de l'informel qui se généralise, jusqu'à devenir un moteur de reconfiguration sociale et urbaine. Ce constat est valable même pour les nouvelles couches moyennes et supérieures, tant sur le plan des pratiques constructives que sur les moyens d'acquisition des lots (Chorfi, 2019).

Malgré son désengagement, l'État essaie tout de même de juguler le phénomène, notamment par l'introduction du permis de construire à partir de 1982 en vain. Aussi, ce désengagement de l'État provoque une spéculation foncière sur le marché. On recense d'autres formes d'appropriation du foncier dans une sorte de logique de rente, comme le détournement des terres agricoles ou plus récemment l'obtention d'assiettes foncières par des promoteurs immobiliers. La production urbaine est donc guidée par la recherche du profit pécunier des acteurs, la

⁵ Telles que les décohabitations familiales, l'accroissement de la population, les créations d'emplois et nouveaux services.

⁶ Les différentes enquêtes menées sur les zones d'habitat informel/illicite montrent que les taux d'emploi et de scolarisation sont identiques à ceux de l'ensemble de la population urbaine. (Lakjâa, 2009).

planification urbaine devenant selon (Boumedine, 2008, p. 118) « *un outil de création de rente sous diverses formes et un révélateur de nouvelles formes de prélèvement* ».

Les pratiques informelles se diffusent même au niveau de l'Etat, qui dépassé par la croissance urbaine est contraint d'agir dans l'urgence. Proposant ainsi bien souvent des réponses rapides et ponctuelles, loin de s'inscrire dans une stratégie urbaine globale et pensée sur le long terme, l'État développe « *un urbanisme de fait* » (Belguidoum & Mouaziz, 2010, p. 109). Cet urbanisme de l'urgence peut être assimilé à une pratique informelle mais institutionnalisée par l'État, faisant fi de toute la réglementation habituelle pourtant édictée par lui-même. La création du quartier de Haï Nedjma⁷ à Oran est l'exemple typique de cet informel contrôlé.

L'ampleur du phénomène de l'informel dans la ville algérienne montre la fuite en avant du processus d'urbanisation, qui échappe constamment à toute tentative de planification ou même de régulation. Résultat de pratiques aussi bien volontaristes de la part de l'État que d'initiatives individuelles souvent informelles, la ville algérienne se présente comme un « patchwork », où plusieurs fragments de villes se retrouvent juxtaposés, sans réelle cohérence entre eux (Belguidoum & Mouaziz, 2010).

1.4 La ville planifiée, un échec des politiques urbaines et des instruments d'urbanisme ?

1.4.1 (1962-1990) Les instruments de première génération : une vision techniciste et quantitative de l'urbain

La planification urbaine en Algérie s'est beaucoup inspirée du modèle français, et ce depuis son indépendance. Juste avant celle-ci, la France s'orientait vers une planification urbaine techniciste et rationnelle suivant les principes de l'Urbanisme Fonctionnaliste. Le plan de Constantine est un résidu de cette doctrine, repris après l'indépendance. L'histoire de la planification urbaine en Algérie montre bien la prégnance de l'idéologie techniciste.

Le PUD (Plan d'Urbanisme Directeur), résidu lui aussi de l'administration coloniale reste pendant longtemps l'instrument majeur de planification urbaine, du moins. Cependant, il est désigné comme « instrument alibi » derrière lequel se cachait le véritable processus de planification urbaine (Chorfi, 2019). Ce dernier s'articule autour de trois éléments : le PCD (Plan Communal de Développement), gère les besoins en équipements de la population à travers un programme financier, l'ordonnance 74-26 portant constitution des réserves foncières au profit des communes permet à ces dernières de s'octroyer des assiettes foncières en prévision

⁷ Cette agglomération est une création ex-nihilo des pouvoirs publics en 1984, qui en fait une zone de relogement des bidonvilles d'Oran, mais aussi le lieu de réponses aux demandes insatisfaites de lots de terrains. Après les émeutes de 1988, le Wali d'Oran attribuera 4900 lots. (Belguidoum & Mouaziz, 2010).

de l'urbanisation future. Le processus se traduit enfin par la projection d'entités spatiales qui sont soit des ZHUN pour l'habitat collectif, soit des lotissements pour l'habitat individuel. A cela s'ajoute la « grille théorique d'équipements », définissant des unités spatiales dites « de voisinage » selon lesquelles sont projetés les équipements publics. Ce processus de planification urbaine encadre l'urbanisation d'une manière très sommaire, en ne définissant que des objectifs quantitatifs en termes de besoin en équipement ainsi le périmètre urbanisable et la nature de l'affectation des sols. Aucune mention n'est faite de la forme du bâti ou de l'architecture, laissée entre les mains des techniciens du domaine. En outre, ce processus d'urbanisation n'est porteur d'aucune vision stratégique et a seulement pour but de répondre à des besoins. (Djermoune, 2014).

1.4.2 (1990-) Les instruments de seconde génération : une volonté de rupture claire mais nuancée dans les faits

La loi 90-29 en Algérie visait à moderniser l'urbanisme, introduisant le Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (PDAU) pour mieux aménager l'espace. Malgré une approche plus détaillée avec le Plan d'Occupation des Sols (POS), les PDAU répètent des pratiques antérieures, basées sur des données sociodémographiques sans une réelle vision ou concertation. Le processus lent de leur élaboration les rend obsolètes face à la réalité urbaine dynamique. Les POS, bien qu'ils définissent les droits d'usage des sols, restent limités dans leur impact sur la forme urbaine et la densité. En conséquence, les PDAU et POS n'ont pas réussi à contrôler la croissance urbaine ni à proposer une vision stratégique cohérente, perpétuant une approche technocratique et un découpage de la ville en zones et secteurs.

1.4.3 Les défis de la planification en Algérie : entre informel et l'échec des politiques urbaines

Le fait d'aborder la ville algérienne à travers deux angles d'attaque, à savoir à travers le poids de l'informel et les échecs de la planification, met en évidence un phénomène de fuite en avant perpétuel de l'urbain. Cela a toujours posé d'extrêmes difficultés aux autorités planificatrices de la ville, agissant en permanence dans l'urgence et inaptes à proposer un projet de ville cohérent et logique. Cela peut amener à penser que c'est ce manque de contrôle et cette incapacité de juguler la croissance urbaine qui aggrave le constat de fragmentation spatiale dans les villes algériennes (Mebirouk, 2011) On relève aussi à travers l'analyse chronologique que les politiques urbaines ont souvent été changeantes et non suivies d'une période à l'autre, tout comme la position de l'Etat, tantôt interventionniste à outrance et tantôt désengagé face à la question urbaine. Il y a aussi la question de la mobilité urbaine, qui est souvent orchestrée suivant un processus de planification totalement disjoint de la planification urbaine. Une vision

encore très routière de la mobilité avec un clair avantage pour la voiture individuelle et des transports publics encore trop en retrait (Boubakour & Merazga, 2006). Les routes et roades en grand nombre morcellent les villes, ce qui aggrave le constat de morcellement de l'espace (Héran, 2011)

Tout au long de cette première partie de chapitre, nous avons examiné la ville Algérienne, notamment les causes qui exacerbent le constat de rupture morphologique et spatiale. Parmi elles, les dysfonctionnements en termes de régulation et de planification urbaine. Dans la partie suivante, nous nous focaliserons sur la ville de Tlemcen, en tâchant de confirmer le constat de discontinuité spatiale duquel nous partons.

2 Analyse de la discontinuité spatiale de Tlemcen

Après exploration de la morphologie des villes algériennes, nous arrivons au constat d'une rupture et d'une fragmentation spatiale du tissu urbain. Nous voulons maintenant nous concentrer sur l'agglomération de Tlemcen. Cette fois-ci, il s'agit de comprendre et de valider la discontinuité spatiale dans les villes algériennes, et plus particulièrement Tlemcen, au-delà de l'aspect politique et décisionnel avancé dans la partie précédente, quelque peu déconnecté de la spatialité de la question morphologique. Pour ce faire, nous commencerons par introduire quelques préalables théoriques sur l'objet de notre étude : la discontinuité spatiale, suivi d'un état de la question morphologique à Tlemcen, en nous appuyant sur des travaux publiés à ce sujet. Ensuite, nous entamerons une analyse cartographique, sous deux angles d'attaque. Premièrement, à travers la croissance urbaine de l'agglomération et dans un second temps en étudiant les coupures et contraintes du site de Tlemcen.

2.1 Préalables théoriques et état de l'art sur la morphologie de l'agglomération tlemcenienne.

Afin de mieux cerner ce que nous voulons étudier, seront présentés dans cette partie quelques concepts et travaux associés à la discontinuité spatiale, notamment les effets de coupure en milieu urbain. Ensuite, nous présenterons un tour d'horizon des travaux ayant précédemment traité de la morphologie de Tlemcen.

2.1.1 L'appréhension des discontinuités : quels préalables théoriques ?

- Discontinuités spatiales, discontinuités urbaines : définitions

Selon le dictionnaire Larousse, une discontinuité est « une absence de continuité matérielle ». Le terme « spatial » qui s'y ajoute indique une spatialisation du phénomène, qui est à comprendre dans ce sens. La notion de discontinuité spatiale est très usitée en géographie et désigne les « ruptures, interfaces, frontières [...]. Elles peuvent être mesurées dans l'espace par un gradient plus ou moins brutal : différence d'intensité d'un phénomène sur une surface donnée [...]. Les frontières sont les discontinuités spatiales le plus souvent majeures » (*Discontinuités — Géoconfluences*, 2021). A l'échelle urbaine, on parle plutôt de « discontinuité urbaine », que Reux (2014, p. 68) décrit comme « une morphologie à l'échelle parcellaire avec des phénomènes de dispersion de l'habitat produits par l'alternance de parcelles bâties et de parcelles non bâties ». Pouyanne (2014, p. 589) le décrit à son tour comme « la présence d'espaces non bâtis au sein d'un espace urbanisé ». La croissance urbaine discontinue est connue dans la littérature anglo-saxonne sous le nom de « *leapfrog development* », qui est l'une des formes de l'étalement urbain. Elle est définie comme étant le « manque de continuité dans l'expansion urbaine » (Clawson, 1962). Ces définitions nous donnent un aperçu global du phénomène que nous voulons étudier. En outre, l'une des caractéristiques principales de la croissance urbaine discontinue est le mitage qui s'opère entre ville et campagne, où « les terres éloignées sont urbanisées avant les terres pourtant plus proches du centre-ville » (Bar-Ilan & Strange, 1996, p.89). Cette dernière définition fait particulièrement écho aux observations primaires effectuées sur la ville de Tlemcen.

La discontinuité urbaine est donc une rupture dans la continuité du tissu urbain, interrompu par des assiettes assez larges, dont les vocations peuvent être multiples et qui ne sont pas urbanisées. Elle s'oppose donc à l'idée de croissance continue de la ville.

- Ruptures et coupures urbaines

Le langage de la discontinuité étant par essence aussi celui de la rupture, nous approfondissons ici les définitions sur l'interruption de la croissance urbaine. En plus des surfaces non urbanisées, il existe d'autres éléments qui provoquent l'arrêt de l'urbanisation. L'ouvrage de référence de Héran (2011), intitulé « *la ville morcelée* » traite du sujet d'une manière exhaustive. Ainsi, il évoque plusieurs types de coupures, parmi lesquelles les coupures linéaires infranchissables, comme les autoroutes ou voies ferrées ; les barrières de trafic, qui présentent un danger à être franchies, comme les boulevards très circulés ; les voiries impraticables,

dangereuses à longer à pied car elles ne comportent pas les aménagements nécessaires pour les piétons ou les vélos ; les coupures surfaciques, provoquées par les grandes emprises, comme les grands équipements, zones d'activités ou encore des terres agricoles. Il existe aussi des ruptures topographiques qui peuvent causer l'interruption du tissu urbain, qui peuvent être linéaires (ravin, cours d'eau) comme surfaciques (lac, relief montagneux). La discontinuité du tissu urbain peut donc être remise en perspective dans un cadre plus large, celui des ruptures urbaines en général. La discontinuité peut ainsi être vue comme une rupture de l'urbanisation provoquée par une large emprise non urbanisée.

Ces définitions théoriques nous permettent de mieux cerner l'objet de l'analyse qui sera développée plus bas, à savoir la discontinuité de l'agglomération de Tlemcen. Cependant, ces définitions restent sommaires. Nous abordons d'une manière volontairement superficielle le sujet en réalité bien plus large de l'urbanisation discontinue, qui sera traité dans le chapitre suivant plus en détail et à la lumière d'enjeux plus larges.

2.1.2 La morphologie de l'agglomération de Tlemcen, que dit la littérature ?

L'agglomération de Tlemcen est située au Nord-Ouest de l'Algérie, à une cinquantaine de kilomètres de la frontière marocaine. Elle se compose de quatre communes qui forment le groupement « Tlemcen-Mansourah-Chetouane-Beni Mester ». L'agglomération s'étend sur une superficie de 3512 Ha . Sa population était estimée à 252 000 habitants en 2012. Elle affirme sa position de pôle économique majeur, concentrant 42% de l'activité économique dans la Wilaya (Direction de l'Urbanisme et de la Construction, rapport de synthèse du PATW Tlemcen) et pesant pour 27% du poids démographique, pour une densité de 2205 habitants/km² (Recensement Général de la Population et de l'Habitation de 2008). Tlemcen figure au 16^e rang des villes selon la population agglomérée et est classée comme grande ville⁸. Cependant, les chiffres étant assez anciens, son statut devrait se rapprocher actuellement plus d'une métropole. Mais en réalité, en tenant compte de son classement au sein de l'armature urbaine algérienne, Tlemcen fait figure de « ville moyenne ».

⁸ Selon la loi 01-20, une agglomération de plus de 100 000 habitants est classée comme une « grande ville ». Une agglomération de plus de 300 000 habitants est classée comme « métropole »

Selon Karoui (2016, p. 101), « *une discontinuité est observée sur le tissu urbain de la ville avec les nouvelles urbanisations différentes les unes des autres* ». Cette observation vient conclure son travail sur l'étalement et les recompositions urbaines dans l'agglomération de Tlemcen. Le travail de Fekih (2016, p. 165), qui s'intéresse à la mobilité et la forme urbaine de la ville, arrive à une conclusion similaire, en notant le « *développement d'un tissu urbain fragmenté et satellitaire* ». Hamzaoui (2014, p. 196) évoque quant à elle des « *extensions urbaines qui apparaissent sous forme de tâches localisées qui vont augmenter l'impression de ville en fragments* ». Les travaux plus récents de Djebbar (2021, p. 137) notent « *l'éclatement de la ville* » ainsi que « *la prolifération des anciens noyaux à l'intérieur et des plus récents à l'extérieur* » qui « *laissent apparaître des « no mans land » (vides). Cela crée une discontinuité voire une rupture entre ces différentes entités de la ville. Ainsi la difficulté de rejoindre toute partie de la ville est ressentie* ».

Bien que la littérature sur la morphologie de la ville ne soit pas très fournie, toutes les références disponibles sur le sujet s'accordent à reconnaître une discontinuité du tissu urbain de Tlemcen. Ce dernier point est remis en perspective par la nature du site de la ville, qui est particulièrement générateur de ruptures et par plusieurs contraintes qui expliquent en partie la forme discontinue de l'urbanisation. On cite ainsi les contraintes physiques et topographiques, comme les reliefs et oueds, ainsi que le croissant fertile qui entourent la ville (Hamzaoui, 2014).

2.2 Analyse cartographique : la discontinuité à travers la croissance urbaine dans l'agglomération de Tlemcen

Le phénomène d'étalement urbain est en fait assez récent dans l'histoire millénaire des villes. De tous temps, les villes étaient ceintes de murailles, denses et spatialement bien délimitées. Ce n'est qu'avec la croissance urbaine démesurée des villes qu'on observe le phénomène d'éparpillement de l'urbain, que nous voulons justement caractériser dans l'exemple de Tlemcen. En Algérie, les villes ont gardé leur intégrité spatiale jusqu'au début des années 70, période à partir de laquelle on observe un exode rural massif, qui se traduit par d'importantes projections urbaines en périphérie⁹. Il s'agira donc dans cette partie, à travers une analyse diachronique du tissu urbain, d'observer la croissance urbaine de la ville et de la caractériser, qualitativement et quantitativement, afin de mettre en évidence la discontinuité des nouvelles extensions par rapport aux parties les plus anciennes.

⁹ On cite l'exemple des Zones Industrielles et des ZHUN.

2.2.1 Démarche et éléments de méthode

- Périodes choisies pour l'analyse

La croissance urbaine sera analysée suivant deux périodes. La première s'étale de 1966 à 1990. Nous nous baserons sur les données fournies par le PDAU pour faire état de cette première période. La seconde s'étale de 1990 à 2020. Nous utiliserons la télédétection, à l'aide d'images satellitaires pour faire état de cette seconde période. Le choix de ces périodes s'explique en premier lieu par les données disponibles, le PDAU n'offrant pas de période intermédiaire entre 1966 et 1986 pour caractériser la croissance urbaine. D'une autre part, les données satellitaires ne sont pas exploitables avant le début des années 90, à partir desquelles on peut obtenir une image satellitaire suffisamment précise pour observer l'échelle d'une ville. En outre, nous gardons en tête que notre objectif est surtout de montrer le caractère discontinu de l'urbanisation et non de la décrire d'une manière précise, ce qui nécessiterait dans ce cas une périodisation bien plus fine. Des travaux plus détaillées à ce sujet ont été effectués par Karoui (2016). Enfin, cette périodisation est synchronisée avec le début des années 90, date à partir de laquelle l'urbanisation explose en Algérie.

- Logiciels et set de données

Afin de mettre en évidence la discontinuité de l'agglomération, nous avons utilisé la méthode de la télédétection. La télédétection satellitaire est une technologie avancée qui permet d'observer et de mesurer les caractéristiques de la Terre depuis l'espace, à l'aide d'images satellite. Nous avons utilisé les images satellites Landsat 4, 5 et Sentinel 2, en raison de leur résolution suffisamment précise à l'observation de phénomènes tels que l'urbanisation, mais aussi pour leur disponibilité en libre accès. Ces images sont extraites et ensuite traitées sur Quantum GIS, un logiciel de SIG. Ensuite, à l'aide d'un plugin de classification semi-automatique, nous avons mis en place un algorithme de reconnaissance des zones construites. En effet, les bandes satellitaires Landsat permettent de distinguer la nature des surfaces au sol grâce à une captation de leur rayonnement infrarouge. Ainsi, nous pouvons identifier les zones bâties, qui émettent dans des combinaisons de bandes bien spécifiques. Ces zones sont marquées par une couleur différente. Nous pouvons ainsi déterminer la forme de la tâche urbaine ainsi que sa superficie pour chaque époque.

- Mise en évidence de la discontinuité urbaine

Afin de mettre en évidence le caractère discontinu ou non de la croissance urbaine, nous délimitons trois périmètres autour de la partie la plus ancienne de la ville (Fig.2).

- Périmètre de croissance continue : Cette ceinture est dessinée suivant le fragment urbain principal en 2020, autour duquel on peut dessiner un agglomérat d'un seul tenant et relativement continu. Elle correspond aux parties de la ville urbanisées en continuité avec le centre historique et les faubourgs présents avant 1966.
- Première couronne : Ce deuxième périmètre encercle une zone comprise entre la limite du premier périmètre et la barrière physique formée par la rocade périphérique de Tlemcen.
- Deuxième couronne : Ce troisième périmètre encercle une zone comprise entre la limite de la première couronne et les limites communales des communes, en l'occurrence Tlemcen, Mansourah et Chetouane, ainsi que la barrière physique causée par le passage de l'autoroute Est-Ouest au Nord de la ville.

Suivant la localisation des nouvelles zones urbanisées, nous pourrions déterminer le mode de croissance qui y est associé. La croissance en continuité se fera à l'intérieur du périmètre de croissance continue, alors que la croissance en discontinuité se situera dans les deux couronnes périphériques. Nous pourrions alors comparer les surfaces urbanisées en continuité et en discontinuité. Aussi, suivant l'évolution de la forme de la tâche urbaine, nous pourrions déterminer d'une manière qualitative la discontinuité des nouvelles régions urbanisées, mais aussi d'autres phénomènes, comme les croissances urbaines qui s'effectuent en discontinuité avec la tâche urbaine principale mais qui démarrent d'un noyau bâti préexistant, ou encore les phénomènes de conurbation (Figure 1). Cette méthode est aussi utilisée par Inostroza et al. (2013) pour quantifier la fragmentation spatiale dans des villes d'Amérique Latine.

2.2.2 De 1966 à 1990 : Une croissance considérable en relative continuité

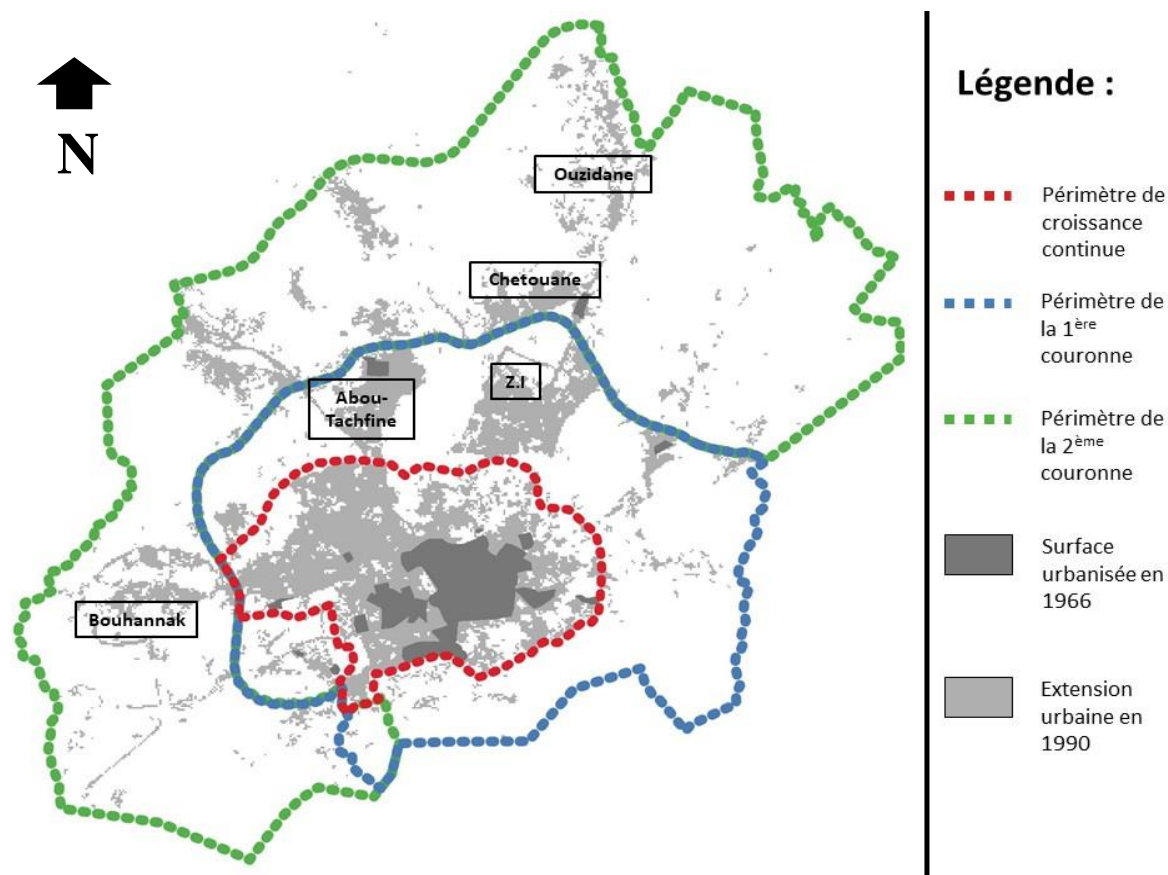


Figure 1 : Extension urbaine de Tlemcen entre 1966 et 1990. Source : auteur

Périmètre de croissance continue	
Surface urbanisée en 1966 (Hectares)	286.53
Extension urbaine en 1990 (Hectares/Pourcents)	700.41 (144%)
Part de la croissance urbaine totale	39%
Périmètre de la 1^{ère} couronne	
Surface urbanisée en 1966 (Hectares)	15.52
Extension urbaine en 1990 (Hectares/Pourcents)	500.81 (3127%)
Part de la croissance urbaine totale	27%
Périmètre de la 2^{ème} couronne	
Surface urbanisée en 1966 (Hectares)	5.78
Extension urbaine en 1990 (Hectares/Pourcents)	625.57 (10723%)
Part de la croissance urbaine totale	34%

Tableau 1: Extension urbaine de Tlemcen entre 1966 et 1990, détail des surfaces

On observe la relative compacité de la forme urbaine en 1966. Hormis certains petits villages en lointaine périphérie, la quasi-totalité de la ville était inscrite dans la zone de croissance compacte.

Après 24 ans, la surface urbanisée a littéralement explosé (Tableau 1). On passe d'une surface totale de 308 Ha à 2134 Ha, soit une augmentation totale de 593 %. La croissance urbaine s'inscrit pour la plus grande part dans le périmètre de croissance continue, qui enregistre 39% de l'extension urbaine totale en son sein.

Dans la première couronne, on enregistre une croissance urbaine plus modérée qui s'élève à 27%. Dans la deuxième couronne, on enregistre une croissance plus élevée qui se chiffre à 34%. Les zones urbaines situées dans ces deux derniers périmètres sont classées comme étant discontinues puisqu'elles se situent plus dans la zone de croissance continue. Aussi, on observe qu'une bonne part des extensions en dehors de la zone de croissance continue s'agglomèrent autour des noyaux d'habitats préexistants en 1966. C'est le cas d'Abou Tachfine et de Saf-Saf, dans la première couronne, respectivement au Nord et à l'Est, ou encore Chetouane dans la deuxième couronne. Cependant, il est aussi à noter que certaines zones d'extension sont projetées « ex-Nihilo », comme la zone industrielle au Nord-Est dans la première couronne, ou encore la ZHUN Champ de tir (Bouhannak) à l'Ouest dans la deuxième couronne.

Aussi des zones d'urbanisation éparées, qui correspondent à des noyaux d'habitat informel comme Koudia au Nord-Ouest dans la deuxième couronne ou encore Ouzidane au Nord-Est, apparaissent dans les deux couronnes.

Finalement, entre 1966 et 1990, le constat de la discontinuité est déjà bien présent. La surface d'extension urbaine en discontinuité, qui s'élève à 61% est supérieure à celle en continuité. Cependant, c'est tout de même une part non négligeable de 39% de l'extension urbaine qui se fait en continuité, ce qui nous amène à nuancer le constat de discontinuité pour cette période.

2.2.3 De 1990 à 2020 : Une croissance toujours aussi soutenue, une discontinuité urbaine qui s'accroît.

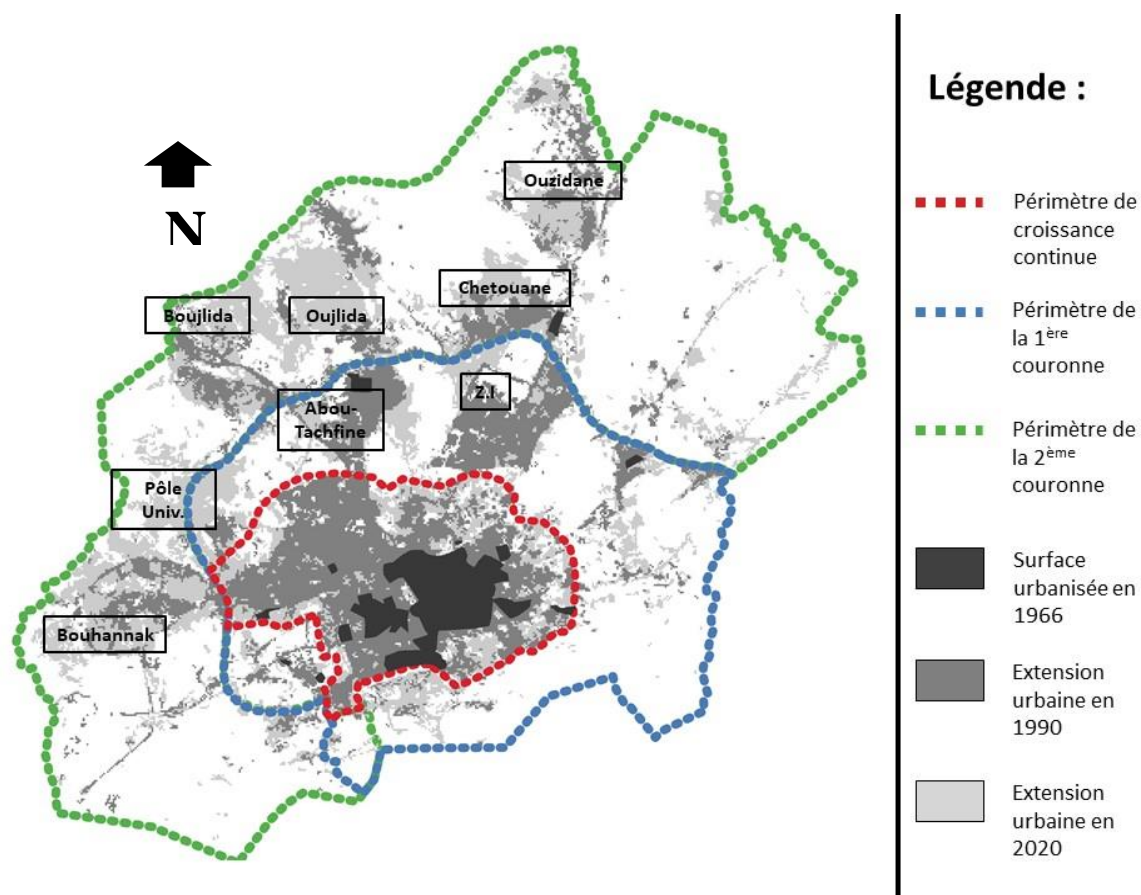


Figure 2 : Extension urbaine de Tlemcen entre 1966 et 1990. Source : auteur

Périmètre de croissance continue	
Surface urbanisée en 1990 (Hectares)	986.94
Extension urbaine en 2020 (Hectares/Pourcents)	337.14 (34%)
Part de la croissance urbaine totale	16%
Périmètre de la 1 ^{ère} couronne	
Surface urbanisée en 1990 (Hectares)	516.33
Extension urbaine en 2020 (Hectares/Pourcents)	503.28 (97%)
Part de la croissance urbaine totale	24%
Périmètre de la 2 ^{ème} couronne	
Surface urbanisée en 1990 (Hectares)	631.35
Extension urbaine en 2020 (Hectares/Pourcents)	1271.61 (201%)
Part de la croissance urbaine totale	60%

Tableau 2 : Extension urbaine de Tlemcen entre 1990 et 1990, détail des surfaces

La croissance urbaine se continue à un rythme toujours aussi effréné pour cette deuxième période. On passe d'une surface totale de 2134 Ha à 4246 Ha, soit une augmentation totale de 99% (Tableau 2). Bien que cette période enregistre une extension totale proportionnellement plus faible que la précédente, c'est elle qui l'emporte en termes de surface urbanisée, avec 2112 Ha contre 1826 Ha entre 1966 et 1990.

La croissance urbaine dans le périmètre d'urbanisation continue est bien plus anecdotique pour cette période, totalisant à peine 16% de l'urbanisation totale. La relative saturation de ce périmètre déjà effective en 1990 explique en partie la faible extension urbaine dans cette zone. Aussi, une bonne partie de l'extension dans cette zone est due à la croissance de l'habitat épars à l'Est et au Nord-Est.

La première couronne enregistre une extension de 503 Ha et voit ainsi sa surface urbanisée doubler. Elle pèse pour 24% de l'urbanisation totale pour cette période. Ce chiffre, bien que plus élevé que dans la première couronne, reste tout de même assez modéré. On observe que les nouvelles zones urbanisées se font en continuité avec les zones déjà présentes en 1990, à l'exception du nouveau pôle universitaire, qui est projeté ex-nihilo au Nord-Ouest, à la limite avec la deuxième couronne. Les grandes zones vides au Nord conservent globalement la même forme, bien que l'urbanisation semble y grapiller du terrain. On note aussi l'apparition de zones d'habitat épars à l'Est, qui se greffent sur les noyaux bâtis existants en 1990.

La deuxième couronne quant à elle enregistre une progression fulgurante de 201%, correspondant à 1271 Ha de surface urbanisée. Elle pèse pour plus de 60% de l'urbanisation totale de cette période. Ce chiffre montre l'ampleur de l'urbanisation dans la lointaine périphérie de la ville. La plupart des extensions se greffent à l'urbanisation déjà présente en 1990. Les quartiers de Chetouane et d'Ouzidane au Nord-Est grandissent considérablement, tout comme Oujlida au Nord et Bouhannak à l'Ouest. Certains quartiers sont projetés ex-nihilo, comme la ville nouvelle de Boujlida au Nord. En outre, la croissance urbaine est telle dans ces zones qu'on assiste à des phénomènes de conurbation entre certaines parties de la ville qui étaient bien distinctes en 1990 et qui se rejoignent désormais en 2020. Cela vient paradoxalement nuancer le constat de croissance urbaine discontinue, croissance qui est d'une telle ampleur que les vides jadis présents ont tendance à se combler de plus en plus. On observe par exemple une conurbation entre Chetouane et la Zone Industrielle, entre Oujlida et Abou-Tachfine, ou encore entre Bouhannak et la zone Ouest du périmètre de croissance continue (Figure 2).

Pour conclure sur cette période entre 1990 et 2020, il apparaît que la croissance urbaine s'est poursuivie à un rythme toujours aussi soutenu. La plus grande part s'est faite en discontinuité avec la tâche centrale de l'agglomération. Ainsi, c'est 84% de l'urbanisation qui se fait en dehors de la zone de croissance continue, dont 60% est située en lointaine périphérie, dans la deuxième couronne. La discontinuité spatiale est donc formellement mise en évidence, encore plus pour cette période qui confirme la tendance relevée dans la période précédente. Nous apportons toutefois quelques nuances à ce constat. Commençons tout d'abord par préciser que les nouvelles zones d'extension urbaines se greffent pour la plupart à des zones déjà existantes avant 1990. Nous parlons donc de discontinuité avec la tâche centrale de l'agglomération, délimitée par le périmètre de croissance continue. Ensuite, les multiples phénomènes de conurbation font que de multiples zones urbaines se rejoignent de plus en plus, ce qui pourrait laisser présager une résorption des vides à l'avenir, et ainsi une atténuation de la discontinuité.

Cette première analyse cartographique conforte donc le constat de discontinuité urbaine pour l'agglomération de Tlemcen. Elle nous permet aussi de mesurer l'ampleur de la croissance urbaine de la ville, ainsi que d'apporter un regard qualitatif sur cette dernière et de montrer ainsi qu'elle se fait bien en discontinuité.

2.3 Analyse cartographique : la discontinuité à travers les coupures et les contraintes du site

Après avoir caractérisé la discontinuité urbaine à travers l'analyse diachronique de la croissance urbaine, il convient d'y apporter un complément sur les coupures physiques et les contraintes spatiales auxquelles est soumise l'agglomération de Tlemcen. Cette approche permettra de compléter le constat de discontinuité urbaine et d'apporter des clarifications sur ses causes. En effet, certains éléments, naturels ou artificiels « coupent » et morcellent le tissu urbain, provoquant ainsi une discontinuité. Ce sont ces derniers que nous cherchons à identifier, dans le cadre d'une analyse cartographique complétant celle déjà exposée dans la partie précédente. Nous utilisons un autre type d'images satellitaires appelé SRTM et qui permet de connaître la topographie à partir d'une technologie de radar interférométrique. A partir de ces images, nous déterminons le relief pour toute l'agglomération de Tlemcen, dans le cadre de l'étude des contraintes physiques génératrices de discontinuités.

2.3.1 Urbanisation et contraintes naturelles

Le site de Tlemcen présente de nombreuses contraintes naturelles (Figure 3). Parlons en premier lieu du relief. Au Sud, la ville est adossée à des montagnes, le plateau des Beni-Ourid (Prenant, 1957) dont fait partie Lalla Setti qui culmine à 1000m d'altitude. A l'Est, on retrouve un relief plus modéré, mais toujours présent. Au Nord, on note la présence de ravins avec de fortes pentes, notamment entre Oujlida et Ain-el-Houtz et aussi entre Chetouane et Ouzidane, à l'endroit du passage de l'Oued Saf-Saf. A l'Ouest, le relief semble plus aplati, bien qu'il subsiste des zones accidentées au Sud-Ouest, entre Mansourah et les contreforts du plateau des Beni-Ourid. Aussi, on note le début d'un relief accidenté à l'extrême Ouest, en allant vers Boudjemil.

En ce qui concerne le réseau hydrographique de la ville de Tlemcen, on note la présence de trois cours d'eau. A l'Est, l'Oued Saf-Saf ; à l'Ouest, l'Oued Makhokh et entre les deux l'Oued Sikkak. Ces Oueds irriguent une bonne partie des terres arables du site de Tlemcen.

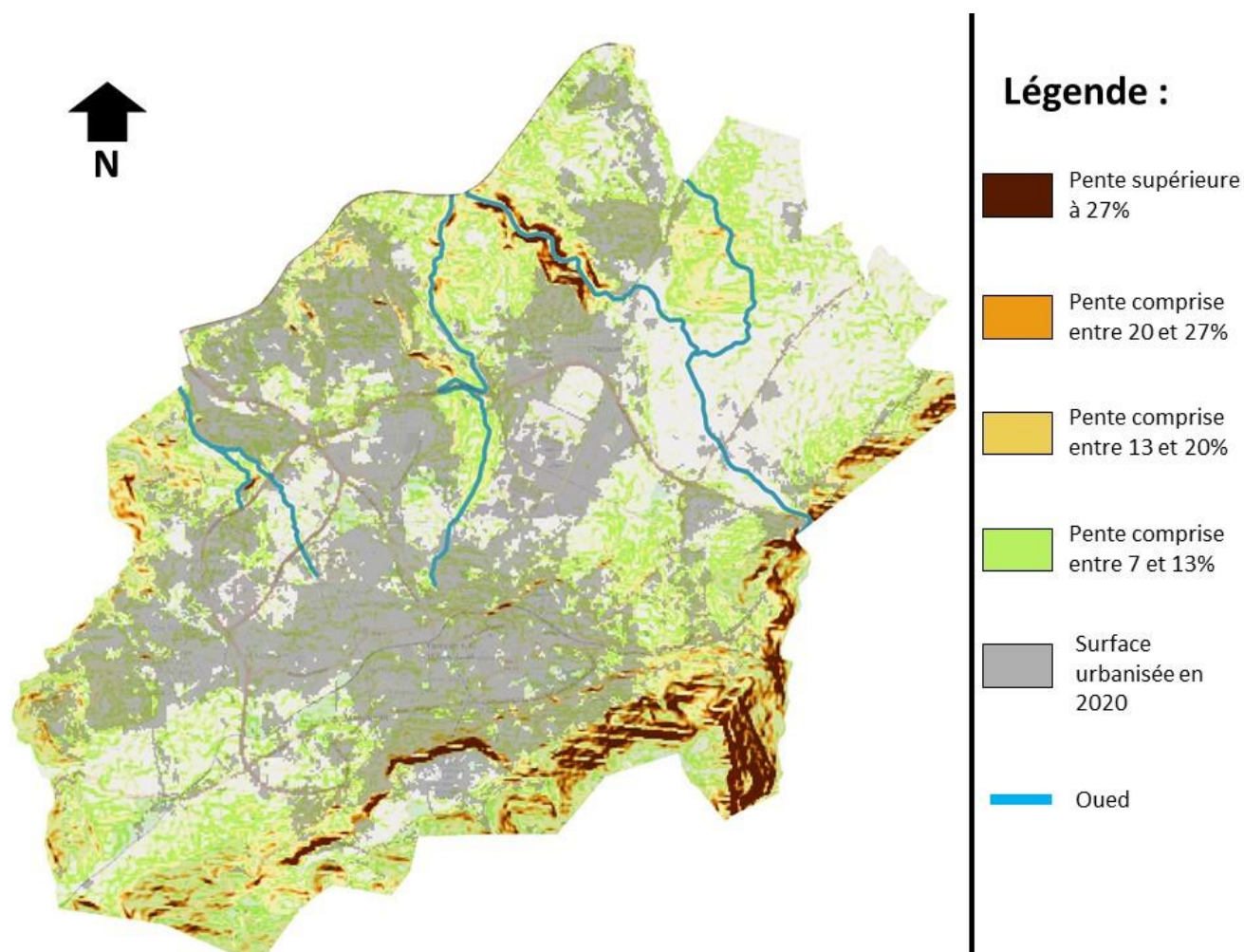


Figure 3 : Contraintes naturelles de l'agglomération de Tlemcen. Source : auteur

Ces contraintes naturelles du site ont orienté l'urbanisation et expliquent en partie la forme urbaine actuelle de la ville de Tlemcen. L'extension ne pouvant s'effectuer au Sud et étant difficile à l'Ouest, compte tenu du relief, elle s'est massivement reportée à l'Ouest et au Nord. Les zones plates de l'agglomération ont presque toutes été consommées, à l'exception des terres agricoles qui subsistent encore. Les oueds expliquent aussi la forme urbaine, formant un obstacle naturel et drainant des terres non constructibles au Nord, entre la première et la deuxième couronne de l'agglomération. Ces éléments expliquent en partie la discontinuité de l'urbain dans cette zone.

Il apparaît donc après analyse que les contraintes naturelles du site de la ville de Tlemcen ont constitué des barrières à l'urbanisation, créant des ruptures et des poches vides dans le tissu urbain. Ainsi, cela contribue à mieux comprendre la forme discontinue de l'urbain.

2.3.2 Grandes emprises et coupures liées aux transports

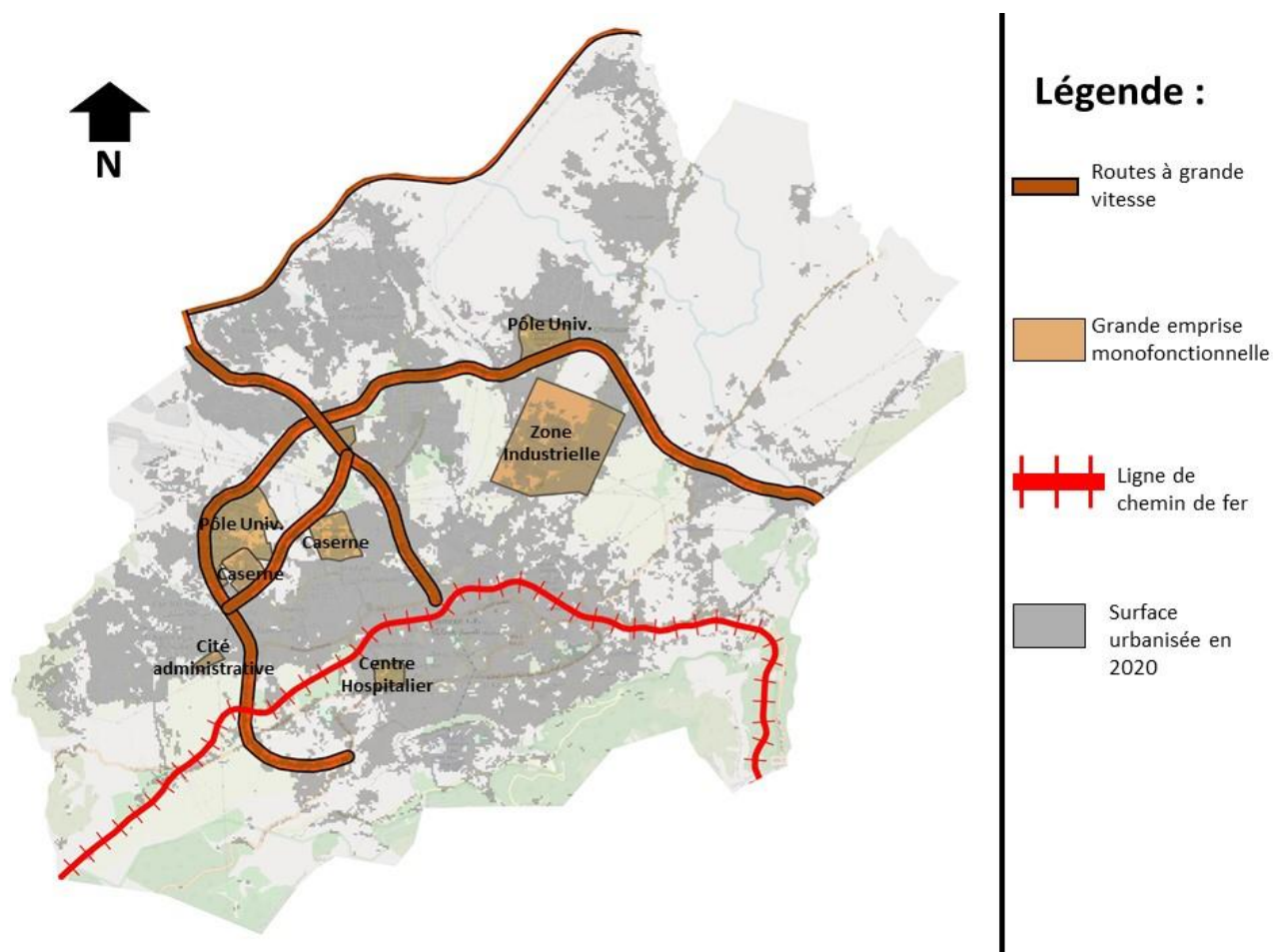


Figure 4 : Coupures liées aux grandes emprises et aux axes de transport de l'agglomération de Tlemcen.
Source : auteur

Intéressons-nous maintenant aux contraintes relatives aux grandes emprises monofonctionnelles et aux axes routiers. Nous répertorions ici les contraintes qui peuvent avoir

une influence sur la morphologie urbaine, à partir de l'ouvrage de Héran (2011). Dans les routes à grande vitesse, on répertorie le périphérique de Tlemcen qui dessert l'ensemble des quartiers périphériques. Nous rappelons aussi qu'il constitue la limite entre la première et la deuxième couronne évoquées plus haut (Figure 4). La Route Nationale 22 qui permet l'accès à la ville et pénètre jusqu'au centre-ville est la deuxième route à grande vitesse. C'est une barrière difficilement franchissable qui fracture le tissu urbain où elle passe, elle constitue la limite entre les quartiers « les Dahlias » et « les Oliviers ». Enfin, la présence de l'Autoroute Est-Ouest au Nord constitue une limite de taille à l'urbanisation dans cette direction.

En ce qui concerne la ligne de chemin de fer, elle passe en plein dans la tâche centrale de l'agglomération et constitue l'une des fractures majeures du tissu urbain. Elle s'additionne à une rupture topographique à son passage à proximité du centre ville, ce qui le sépare de toute la partie Nord-Est de la ville, du quartier d'Agadir et de Sidi-Said jusqu'à la Zone Industrielle en contrebas. Plus à l'Ouest, la ligne de chemin de fer se fait moins sentir, grâce aux nombreux ponts, plus nombreux que les passages à niveau.

Enfin, la présence de nombreuses grandes zones monofonctionnelles et généralement cloturées constitue aussi une des catégories de ruptures morphologiques anthropiques. Ces zones, généralement cloturées et difficilement contournables pour les usagers piétons, peuvent aussi créer d'importantes ruptures au sein de tissu urbain. Parmi les zones recensées, on note la Zone Industrielle, mastodonte en termes de superficie et actuellement en désuétude. Nous répertorions en plus les deux casernes militaires à l'Ouest de la ville, les pôles universitaires de la Rocade et de Chetouane, ou encore la cité administrative à Bouhannak et le centre hospitalier. Ces grandes emprises, bien que faisant partie de l'urbanisation, constituent tout de même des obstacles de taille, pouvant être perçus comme une interruption du tissu urbain et accentuent la discontinuité spatiale (Héran, 2011).

2.3.3 Urbanisation et terres agricoles

La présence de nombreux terrains agricoles, venant interrompre l'urbanisation au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre, est l'une des caractéristiques bien connues de l'urbanisation contemporaine. Dubois-Taine & Chalas (1997) abordent ce point à travers la figure de la « ville nature ». Ainsi, la campagne s'entremêle avec la ville et devient elle-même un espace qui est pratiqué et englobé, par lequel on passe forcément et qu'on pratique éventuellement. A Tlemcen, les terrains agricoles s'inscrivent en négatif de la surface urbanisée. Dans cette partie, nous verrons les interactions entre ville et campagne, afin d'explicitier le rôle des terrains agricoles dans la discontinuité urbaine et de quantifier l'ampleur de l'urbanisation sur ces

derniers. Pour ce faire, nous réutilisons les données de surface urbanisée pour l'étude de la croissance urbaine de Tlemcen que nous recoupons avec les données des terrains agricoles extraites du PDAU.

Les terres agricoles forment un croissant autour de la tâche centrale de l'agglomération, dans la première couronne (Figure 5). Elles s'étalent en quatre poches. D'Ouest en Est, la première se situe autour de Mansourah au Sud-Ouest ; la deuxième au Nord-Ouest, se situe à l'endroit du pôle Universitaire de la Rocade ; la troisième au Nord, se situe entre le quartier d'Abou Tachfine et la Zone Industrielle ; la quatrième se situe à l'Est, entre la Zone Industrielle et Saf-Saf. Les terres agricoles se continuent dans la deuxième couronne au-delà du périphérique, surtout à l'Est et au Sud-Est.

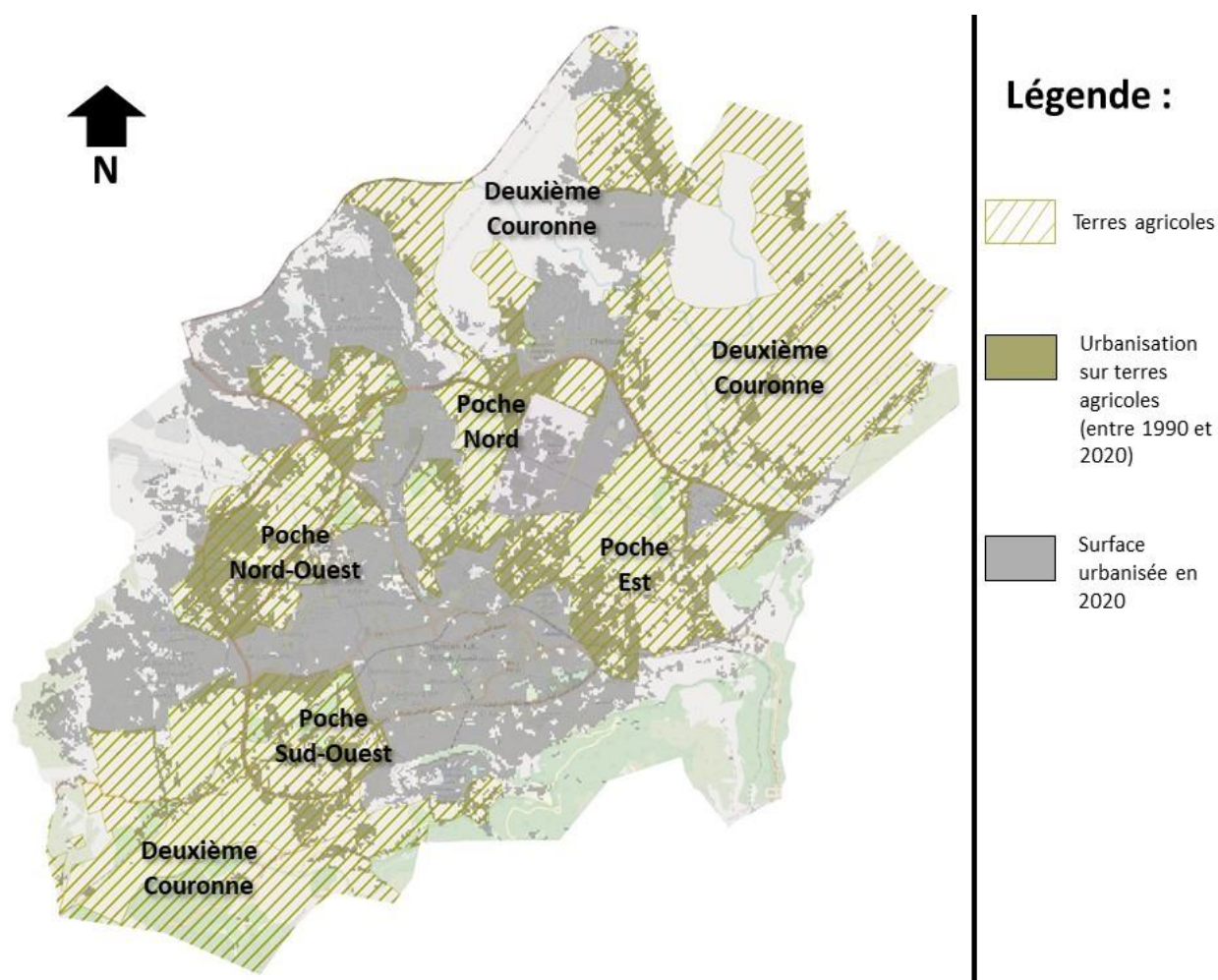


Figure 5 : Urbanisation et terres agricoles pour l'agglomération de Tlemcen. Source : auteur

Il est à constater l'énorme concurrence entre terrains agricoles et urbanisation au sein de la première couronne. Les terrains agricoles ont globalement conservé leur forme entre 1990 et 2020, bien

que l'urbanisation ait considérablement empiété dessus. L'urbanisation dans la poche Nord-Ouest est plus agressive, avec l'extension du quartier Imama et au Nord-Ouest avec la projection du pôle universitaire de la Rocade, ainsi qu'une multitude de logements pour étudiants et enseignants. L'urbanisation est plus mesurée dans la poche Nord, on note tout de même une extension des quartiers de Sidi-Saïd au Sud et Abou Tachfine au Nord, de l'école nationale des ingénieurs et du centre anticancer à l'Est, en continuité avec la Zone Industrielle.

Première Couronne	
Poche Sud-Ouest, Surface urbanisée (Hectares)	123.24
Poche Nord-Ouest, Surface urbanisée (Hectares)	179.64
Poche Nord, Surface urbanisée (Hectares)	147.57
Poche Est, Surface urbanisée (Hectares)	246.70
Deuxième Couronne	
Surface urbanisée sur terres agricoles (Hectares)	456.87
Total	
Surface urbanisée sur terres agricoles (Hectares)	1154,02

Tableau 3 : Urbanisation sur les terres agricoles de l'agglomération de Tlemcen. Source : auteur

La poche Est quant à elle enregistre aussi une urbanisation considérable, avec l'extension de la tâche centrale vers l'Est. Cette urbanisation est bien plus diffuse, en raison du caractère informel des constructions dans cette zone, dans les quartiers de Sidi Othmane et Sidi Daoudi. Ces noyaux informels étaient déjà présents en 1990 et commençaient déjà à empiéter sur les terres agricoles. C'est ce qui explique la surface urbanisée sur terres agricoles qui est la plus élevée pour cette poche, puisqu'elle comprend aussi l'urbanisation diffuse avant 1990. En tout, ce sont 1154 Ha de terres agricoles qui ont été rattrapées par l'urbanisation entre 1990 et 2020. Ce chiffre est à comparer avec l'extension urbaine totale dans cette période, qui est de 2111 Ha, ce qui nous donne le chiffre considérable de 54% de l'urbanisation totale qui se fait sur des terrains agricoles¹⁰.

Cette analyse de l'interaction entre terres agricoles et urbanisation permet de mettre en évidence l'énorme pression qu'exerce l'urbanisation et la résistance difficile des terrains agricoles. La moitié de l'urbanisation entre 1990 et 2020 s'est faite sur des terrains agricoles. Aussi, cette analyse nous offre un éclairage intéressant sur les causes de la discontinuité urbaine

¹⁰ Cependant, nous estimons le chiffre réel plus à la baisse, en raison de la prise en compte de l'urbanisation informelle avant 1990.

dans l'agglomération de Tlemcen, qui s'explique en partie par la présence de terres agricoles dans l'immédiate proximité avec la tâche centrale. Ainsi, les terres agricoles, de par leur vocation mais aussi de par leur statut foncier souvent privé, constituent un obstacle à une urbanisation planifiée en immédiate continuité.

Les éléments présentés tout au long de cette section confirment la thèse, unanimement présente dans la littérature, de la discontinuité spatiale de l'urbain pour la ville de Tlemcen. A travers les différentes analyses cartographiques, mettant en relief la discontinuité urbaine à travers la croissance urbaine et les contraintes du site, nous sommes non seulement en mesure de confirmer la présence d'une forme urbaine discontinue de l'agglomération de Tlemcen, mais aussi de mieux comprendre ses fondements.

Conclusion du premier chapitre

Nous avons abordé à travers ce chapitre, la morphologie des villes algériennes. D'abord d'une manière générale, en présentant leurs principales caractéristiques spécifiques, en s'appuyant sur une lecture chronologique du fait urbain en Algérie. Par la suite, une autre lecture des villes algériennes a été faite, à travers les ruptures morphologiques et leurs causes, éclairée par une vision s'appuyant sur la planification urbaine et la mobilité. Est ensuite abordée la question de la discontinuité urbaine de la ville de Tlemcen dans une deuxième partie. Cette forme urbaine est mise en évidence, d'abord par une revue de la littérature des travaux ayant abordé la question pour la ville de Tlemcen. S'ajoutent à cela deux analyses cartographiques, traitant respectivement de la croissance urbaine discontinue de l'agglomération de Tlemcen et des contraintes naturelles et anthropiques.

Ce premier chapitre prend pleinement acte du constat de rupture morphologique des villes algériennes d'une manière générale, et de celui de la discontinuité urbaine de l'agglomération de Tlemcen plus précisément. C'est à partir de ces constats, propres au contexte national algérien que nous entamerons dans un deuxième chapitre une lecture plus large de la forme urbaine des villes contemporaines. Il nous a paru important de démarrer notre réflexion du particulier, en se basant d'abord sur une factualité avérée, pour ensuite pouvoir élargir selon les constats de ce premier chapitre. Ainsi, notre chemin vers une compréhension des villes

contemporaines se poursuit, riche des enseignements des villes algériennes et tourné vers une exploration plus généraliste de la littérature à ce sujet.

Chapitre II
Débat et questions sur la ville
contemporaine : les enjeux d'une vision
renouvelée

Introduction du deuxième chapitre

La ville est une création historique particulière. C'est l'une des grandes conquêtes de l'être humain sur son environnement et une étape décisive de son histoire. Depuis l'apparition des premières civilisations il y a plus de 5000 ans, la ville est toujours au cœur de l'histoire de l'humanité. Tout au long de l'histoire des villes, on retrouve un certain nombre de caractéristiques immuables, qui amènent à classer dans une même catégorie les villes dites « préindustrielles ».

Cet ordre urbain millénaire fut ébranlé une première fois suite au bouleversement majeur que fut la révolution industrielle. Face à une croissance démographique exceptionnelle, couplée à la maîtrise de nouvelles énergies et de nouvelles technologies, les villes entament une mutation profonde. Il est aussi ébranlé une seconde fois au 20^e siècle, qui avec la progression constante des technologies de construction et des moyens de transport, voit émerger un urbanisme rationaliste « savant », connu sous le nom « d'Urbanisme Fonctionnaliste ». Il est reconnu que cet urbanisme a radicalement changé le visage des villes de son époque, et ses traces subsistent encore aujourd'hui.

Si ces deux événements de l'histoire des villes marquent un réel bouleversement et ont changé à jamais leur visage, ce qui transforme véritablement les villes n'est pas tant une succession d'évènements, mais plutôt un ensemble de processus à l'œuvre. Ces processus amènent à une forme urbaine caractéristique des villes contemporaines, connue sous le nom d'étalement urbain.

Le chapitre précédent nous donnait un aperçu sur les villes algériennes contemporaines. Certains phénomènes morphologiques, comme la discontinuité urbaine et l'étalement urbain d'une manière plus générale, ont été mis en évidence. A partir de cela, nous souhaitons élargir notre exploration sur les villes contemporaines. Dans ce chapitre, nous tenterons de dresser un portrait morphologique plus généraliste des villes contemporaines, de manière à arriver à une compréhension plus globale des causes de leur forme urbaine actuelle, ainsi que des enjeux qu'elles cristallisent et des questions qu'elles soulèvent.

1 La ville contemporaine, constats morphologiques.

Dans cette première section, nous nous attacherons à caractériser l'étalement urbain, ainsi que ses causes et les enjeux qu'il soulève. Suite à quoi nous apporterons un peu plus de détail à la discontinuité urbaine, une forme spécifique de l'étalement urbain, mise en évidence dans le chapitre précédent pour la ville de Tlemcen. Ensuite, nous exposerons les remises en question et les enjeux pour les villes contemporaines qu'une telle morphologie suscite.

1.1 L'étalement urbain, forme urbaine des villes contemporaines

L'étalement urbain est un concept hautement polysémique par le fait qu'il englobe toute une série de phénomènes dérivés. Il apparaît difficile à cerner et à définir. La littérature sur l'étalement urbain étant extrêmement prolifique, notre objectif ici n'est pas d'en dresser une synthèse exhaustive, mais plutôt d'en présenter les grandes lignes. Nous cernons notre exploration autour de la dimension morphologique¹¹ du phénomène, faisant abstraction de toute la théorie économique qui y est associée. Nous nous intéresserons aussi à ses causes, ainsi qu'aux enjeux qu'il soulève, notamment en ce qui concerne la dimension durable et énergétique.

1.1.1 Etalement(s) urbain(s), un phénomène global

Le concept d'étalement urbain articule autour de lui une série de termes renvoyant plus ou moins à la même chose. On peut citer à cet effet les termes suivants : « suburbanisation », « périurbanisation », « ville diffuse ». Selon le dictionnaire Larousse, le terme étalement est « le nom masculin de l'action étaler » dont le sens est : « disposer sur une surface ; état de ce qui est étalé ». Selon Wiel (2010, p. 9), l'étalement urbain désigne « *la propension des agglomérations urbaines à croître sur de beaucoup plus larges périmètres qu'autrefois* ». L'Agence Européenne de l'Environnement le décrit comme la forme physique d'une expansion en faible densité des grandes régions urbaines sous l'effet des conditions de marché, et principalement au détriment des surfaces agricoles avoisinantes. L'étalement urbain est une forme de croissance urbaine mais avec une grande augmentation de la surface de l'aire urbaine, par dé-densification. Selon Pumain, c'est un processus d'accroissement des zones urbanisées en périphérie des villes, qui s'accompagne généralement d'un processus de desserrement des

¹¹ Nous entendons par morphologie l'étude de la forme physique et spatiale d'une ville (Choay & Merlin, 2010, p. 497,498).

populations et de activités urbaines (Paquot et al., 2006, p. 112-113). Afin de mieux saisir l'étendue du phénomène, nous présenterons dans les sous parties suivantes une revue de littérature succincte des différentes dénominations et approches de l'étalement urbain selon différents pays.

- *L'Urban Sprawl, le cas américain*

Le terme "urban sprawl" (étalement urbain) a été popularisé par Smith (1958) pour décrire le dépeuplement des centres-villes américains et l'expansion des banlieues. Favorisé par l'expansion des autoroutes, la fiscalité locale, le désir d'habitations individuelles, et l'esprit d'individualisme, ce phénomène est accentué aux États-Unis. Les bureaux quittent également les centres pour la périphérie. Los Angeles est souvent citée comme l'exemple extrême de cet étalement. Le terme "sprawl", en plus d'être descriptif, a une connotation négative, évoquant le gaspillage d'espace, les impacts environnementaux et la ségrégation sociale.

- *La citta diffusa, le cas italien*

L'expression italienne "*citta diffusa*" décrit l'urbanisation dispersée en Europe. Initialement introduite par De Carlo et la *dispersione urbana* en 1962 et évoluée par Piccinato en 1986, c'est l'urbaniste Francesco Indovina qui la consolide. Elle désigne une urbanisation qui englobe une région entière, mais de manière dispersée, fusionnant ville et campagne. B. Secchi la compare à une "peau de léopard" (Paquot et al., 2006). Contrairement au périurbain qui dépend du centre, la "*citta diffusa*" voit la disparition des polarités centrales, avec un mélange de logements, entreprises, services et équipements sur un vaste territoire. Les cas d'études, comme Venise et Bruxelles, montrent que la ville diffuse est encouragée par des spécificités régionales, comme le réseau ferroviaire développé du Brabant Belge au XIXe siècle.

- *Rurbanisation et périurbanisation, le cas français*

L'étalement urbain en France, connu sous le nom de périurbanisation, est marqué par les mouvements centrifuges de la population, principalement les classes moyennes cherchant un meilleur cadre de vie. Historiquement, cet étalement a été organisé à travers les ZUP¹² de 1958 à 1968 avec l'appui de l'État, puis s'est transformé en une forme d'expansion plus spontanée. Actuellement, la périurbanisation est définie par des critères statistiques tels que la *couronne*

¹² Zone à Urbaniser en Priorité

*périurbaine*¹³ et *l'aire urbaine*¹⁴. Parallèlement, le terme « rurbanisation » (Bauer & Roux, 1976), évoquant l'urbanisation des zones rurales autour des villes et l'adoption d'un mode de vie urbain par les nouveaux résidents. Cette dynamique illustre le flou grandissant entre ville et campagne, où l'opposition traditionnelle s'efface.

- *Zwischenstadt, le cas allemand :*

Le concept d'"entre-ville" (Sieverts, 2003) décrit un espace intermédiaire entre nature et culture, spontanéité et planification. Il illustre une zone urbaine encore en formation, façonnant de nouvelles formes et pratiques urbaines. Inspiré par la région du Ruhr, l'entre-ville englobe des espaces interstitiels ponctués de friches industrielles recyclées, reliant divers pôles urbains d'importance comme Duisburg et Dortmund. Aucun pôle ne s'affirme comme dominant, où centres et périphéries s'entremêlent, un peu sur le même modèle que celui de "la ville diffuse" italienne. Les espaces interstitiels entre les pôles urbains étaient souvent ponctués de friches industrielles qui ont été recyclées et intégrés dans le parc métropolitain, devenant ainsi l'entre-ville et le liant entre les différents pôles urbains.

A travers ces différentes manifestations de l'étalement urbain, on prend conscience de la globalité du phénomène, qui est présent aussi bien dans les villes du Nord que dans les villes du Sud. Néanmoins, des différences s'observent suivant les contextes, notamment par rapport à l'importance des pôles urbains. Pourtant, tous les concepts se rejoignent en ce qui concerne la morphologie des formes urbaines générées par le phénomène, toutes dispersées et peu denses. L'étalement urbain constitue donc, en termes de morphologie, un dénominateur commun à l'ensemble des villes contemporaines.

1.1.2 Etalement urbain et dynamiques urbaines, quels facteurs et quels effets ?

Le phénomène d'étalement urbain étant complexe, il peut être délicat de distinguer ses causes de ses effets. Selon (Da Cunha & Von Ungern-Sternberg, 2003), le phénomène « se renforce

¹³ L'ensemble des communes d'une aire urbaine, à l'exception de son pôle urbain, dont au moins 40% des actifs résidents travaillent dans le pôle ou dans les communes attirées par celui-ci.

¹⁴ Ensemble de commune d'un seul tenant et sans enclave, constitué d'un pôle urbain de plus de 10000 emplois et par d'une couronne de communes rurales

lui-même et on peine à distinguer ses causes de ses effets ». Nous tentons cependant dans les paragraphes suivants de fournir un aperçu synthétique de ses principales causes et effets.

- *Facteurs et causes de l'étalement urbain*

Depuis le 19^e siècle, la population mondiale a augmenté de près de 600%, entraînant une urbanisation massive due à l'exode rural. La part de la population rurale a diminué de 66% à 44% entre 1960 et 2018 (Banque Mondiale) favorisant la croissance des villes. Parallèlement, l'évolution des moyens de transport, notamment l'automobile, a changé la perception de la distance, permettant des déplacements plus rapides et une expansion urbaine plus étendue, conformément à la conjecture de Zahavi (Zahavi, 1974) sur un budget-temps de transport constant d'environ une heure. L'attrait pour des terrains moins chers et plus vastes en périphérie a provoqué une délocalisation des ménages et des entreprises hors des centres urbains. Cette tendance est renforcée par le développement des infrastructures routières, facilitant l'accès aux zones périphériques et accentuant l'étalement urbain. Cette dynamique crée un cercle vicieux de décentralisation et d'expansion urbaine continue.

- *Effets et impacts de l'étalement urbain*

L'étalement urbain, caractérisé par une faible densité et une grande dispersion, entraîne une consommation énergétique accrue due à des déplacements plus longs. Newman & Kenworthy (1989) ont établi une corrélation inverse entre la densité urbaine et la consommation de carburant par habitant. Ils montrent alors que les villes à faible densité consomment jusqu'à huit fois plus d'énergie, principalement en raison d'une forte dépendance à l'automobile (Figure 6). Cette forme d'urbanisation a également des impacts environnementaux considérables, tels que la destruction des terres agricoles et des écosystèmes, la perte de biodiversité, l'artificialisation des sols et une augmentation des émissions de gaz à effet de serre, aggravant la pollution et le réchauffement climatique. D'un point de vue économique, l'étalement urbain s'avère coûteux, notamment en raison des infrastructures nécessaires pour desservir des zones dispersées (ODT, 2000). Sur le plan social, il favorise la fragmentation urbaine et la privatisation des espaces, créant des "archipels urbains" sans continuité et renforçant les divisions sociales. Cette fragmentation, qui englobe des aspects physiques, institutionnels, fonctionnels et sociaux, exige une nouvelle forme de gouvernance et accentue les difficultés d'accès et de connexion entre différentes parties de la ville (Navez-Bouchanine, 2002; Séguin, 2011).

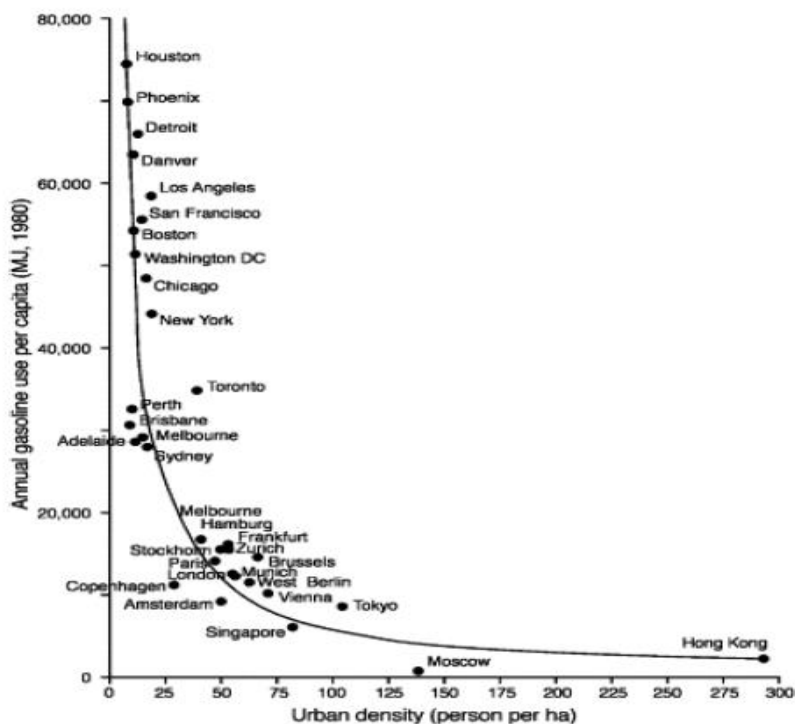


Figure 6 : Consommation annuelle de carburant par personne en fonction de la densité urbaine

L'étalement urbain décrit particulièrement bien les formes urbaines contemporaines et cristallise autour de lui une ribambelle de sous-concepts, dépassant le seul cadre de la morphologie urbaine. La littérature sur le sujet est si riche et prolifique qu'il peut être délicat d'opérer une synthèse. En effet, nous avons vu que l'étalement urbain se manifeste différemment suivant les pays. Ce concept d'étalement urbain, lui-même dérivé du phénomène qu'il entend décrire reste peut-être trop généraliste. Ainsi, la suite de notre exploration se veut plus cernée, et se poursuit sur l'une des formes de l'étalement urbain, déjà abordée auparavant pour la ville de Tlemcen, qui est l'urbanisation discontinue.

1.2 Regards sur l'urbanisation discontinue

L'étalement urbain s'est imposé comme le mode d'urbanisation par excellence à partir de la seconde moitié du XXe siècle. Il est assimilé au mode de croissance des villes contemporaines (Pouyane, 2004b, p. 24) et s'affirme comme un phénomène global. Selon May, « *la ville ne cesse de s'étaler, de s'éparpiller. Immense et indéchiffrable kaléidoscope, elle semble se fragmenter en zones fonctionnelles que ne relie aucune continuité lisible* » (May et al., 1998, p.25). La partie suivante aura pour objectif d'aborder l'une des dimensions morphologiques de l'étalement urbain, qui est l'urbanisation discontinue, ainsi que ses implications sur les dynamiques urbaines contemporaines.

1.2.1 La discontinuité urbaine : un outil de compréhension des formes urbaines contemporaines

La littérature regorge de termes, souvent associés à des séminaires ou projets de recherche, associant la ville au vocabulaire de la rupture morphologique. De « *la ville éclatée* » de May, à « *la ville éparpillée* » de Bauer et Roux, en passant par « *la ville émiettée* » de Charmes ou encore « *la ville morcelée* » de Héran, la discontinuité semble être devenue une clé de lecture des tissus urbains contemporains. Le nombre si important de vocables et de termes différents reflète à la fois un besoin et une difficulté à caractériser les formes urbaines actuelles ainsi qu'à les saisir dans leur ensemble. Dans la littérature anglophone, Ewing associe « *leapfrog development* » et « *scattered development* » (Ewing, 1997), deux termes présents dans la littérature mais qui désignent tous deux à peu de choses près la discontinuité du tissu parcellaire à l'échelle urbaine, qui laisse des parcelles libres pour s'établir plus loin.

La Nouvelle Économie Urbaine, avec une approche monocentrique, examine l'étalement urbain en reliant le centre (où se trouvent les emplois) à la périphérie résidentielle, basé sur des facteurs économiques (Pouyanne, 2004b). Bien que cette vision considère un espace continu, les formes urbaines peuvent être discontinues. Aussi, l'approche de la croissance urbaine par les discontinuités permet un changement d'échelle d'analyse. En effet, (Carrion-Flores & Irwin, 2004) font un parallèle entre étalement urbain et urbanisation discontinue : « *L'étalement est défini comme un développement urbain nouveau qui se fait d'une manière fragmentée (discontinue) et dispersée (non compacte) à travers le paysage* ». Ce changement d'échelle apporte ainsi un cadre plus précis et une caractérisation plus fine des formes urbaines contemporaines, tout en conservant le cadre fonctionnel d'analyse de l'étalement urbain.

En outre, de par une vision plus fine et axée sur la morphologie, la lecture des villes à travers la discontinuité implique une prise en compte des temporalités urbaines. Le phénomène d'urbanisation discontinu ne peut en effet être expliqué par une vision statique de la ville. La réalité complexe des villes est façonnée par des décennies de sédimentation urbaine, qu'il faut forcément prendre en compte lors de l'étude morphologique.

1.2.2 La discontinuité urbaine et ses figures morphologiques.

Les travaux de Reux (2015) abordent les discontinuités urbaines selon quatre notions, chacune reposant sur une vision et des outils de mesure différents. Cette multiplicité d'approches complémentaires, que nous rapportons dans les paragraphes suivants, nous permet d'avoir une vision d'ensemble des formes urbaines discontinues.

- La dilution

La dilution, d'après Enault (2004) décrit la désagrégation des espaces urbains en mesurant la décroissance des densités de construction du centre à la périphérie. En ajoutant une dimension temporelle, il analyse la progression de cette dilution. Trois aspects clés sont identifiés : le point d'échauffement, la force de dilution et l'aire de dilution. Cependant, la précision de cette méthode dépend de l'échelle utilisée et ne détaille pas la distribution exacte du bâti.

- L'émiettement urbain

Cette notion, théorisée par Charmes (2011) est une notion basée sur les classifications de l'INSEE. Elle distingue les "pôles urbains", zones d'emploi urbaines, des "communes périurbaines", définies par la proportion de leurs résidents travaillant dans l'aire urbaine. L'émiettement souligne le caractère discontinu et dispersé de la croissance urbaine, où des zones urbanisées semblent être comme des "villages dans des écrans verts" plutôt que des extensions continues des centres urbains. Cette notion s'adapte surtout au contexte français et met en évidence l'inégalité spatiale résultant de la fragmentation communale.

- La dispersion

Les mesures de dispersion morphologique analysent la répartition de l'urbanisation. Deux méthodes principales sont utilisées : l'autocorrélation spatiale et les semis de points. L'autocorrélation étudie la similarité des zones en fonction de leur proximité spatiale via l'indice de Moran, adaptée à une échelle régionale. Les semis de points évaluent la dispersion du bâti en mesurant l'éloignement relatif des points. Ces analyses cherchent à comprendre à partir de quel seuil l'urbanisation est considérée comme discontinu.

- La fragmentation

La figure s'intéresse à la discontinuité urbaine en utilisant des indicateurs d'écologie du paysage, se concentrant à la fois sur les zones bâties et non bâties (Slak & Vivière, 2000). L'urbanisation discontinue affecte le foncier agricole, augmentant son contact avec les zones urbaines. Les

travaux de divers chercheurs utilisent ces indicateurs pour analyser la dispersion du tissu urbain. Ces indicateurs offrent une vision détaillée de l'urbanisation, complétant les analyses basées sur la densité du bâti, et peuvent intégrer une dimension fonctionnelle.

La discontinuité urbaine observée dans les villes contemporaines conduit à une forme urbaine qu'on pourrait qualifier d'amorphe, sans forme particulière bien définie et surtout associée à des conséquences néfastes, qui conduisent à la qualifier de non durable. De telles formes urbaines amènent toute une série de questionnements et d'enjeux. Comment est-il possible d'évoluer vers une forme urbaine plus durable et vertueuse ? Sommes-nous même encore en présence d'une entité qu'on peut encore appeler « ville » ? La partie suivante s'efforcera d'apporter des éléments de réponses à ces questions centrales.

2 Mort ou renaissance de la ville ? Débat et questions autour des villes contemporaines

Nous avons vu dans la section précédente comment l'étalement urbain, et plus précisément la discontinuité urbaine, caractérise la morphologie des formes contemporaines. Et pourtant, pendant des millénaires, la seule définition de la continuité morphologique suffisait à caractériser et à définir la ville. Depuis l'avènement de la voiture individuelle, la limite entre ville et campagne a perdu toute matérialité, le tout étant dilué dans un continuum urbain rural (Arlaud et al., 2005). Devant cette perte de forme, certains chercheurs tirent la sonnette d'alarme. On assisterait à la mort des villes et au règne de l'urbain généralisé (Choay, 1994). Dans cette section, nous rapportons les débats et remises en question qui tournent autour de la morphologie des villes contemporaines, ainsi que les tentatives conceptuelles de renouveler la manière de les aborder et de les comprendre. Enfin, dans une dernière partie, nous présenterons les enjeux autour de la ville contemporaine, rendant d'autant plus importante la question de leur compréhension.

2.1 Mort de la ville et l'éloge de la densité, échecs et limites du modèle de la ville compacte

La mort de la ville est une thématique qui a secoué le milieu de la recherche urbaine en France à la fin des années 90. Cela conduit à formuler un modèle de ville idéalisé, à l'opposé de « ce qui a tué la ville », c'est-à-dire la dilution de l'urbain dans la périphérie, qu'on appelle « ville compacte ». Nous aborderons les grandes lignes de ce modèle de ville, en présentant ses apports et en pointant ses limites.

2.1.1 Fin de la ville ou mort de l'urbanité ?

La thématique de « mort de la ville » est lancée par l'article pour le moins radical de Choay (1994), qu'elle intitule « *le règne de l'urbain et la mort de la ville* ». La ville périphérique est opposée à la ville dense et centrée, la ville est opposée à l'urbain. De nombreux chercheurs français partagent cette vision catastrophiste de la fin de la ville. La question ne se cantonne pas uniquement au contexte français. Après la publication de l'ouvrage de Jane Jacobs « *The Death and Life of Great American Cities* » en 1961, déclenche tout un débat aux Etats-Unis. Cette affirmation pour le moins choquant de « mort » de la ville paraît encore plus irréaliste de nos jours, d'autant plus que nous sommes à l'avènement d'une civilisation urbaine mondiale. Il peut être légitime de se demander ce qu'on entend précisément par mort ? Selon Mongin (1995), cette question trouve sa réponse non pas à travers une mais deux morts. En premier, il s'agit bien d'une mort, mais de la mort d'une ville en particulier, celle de la ville d'un moment particulier de l'histoire qui correspond à la ville européenne du 19^e siècle, dont le Paris haussmannien reste la plus parfaite des manifestations. Paris est l'exemple même de la ville dense unifiée et porteuse d'une urbanité spécifique. En second, il s'agit de la mort de la ville en tant qu'espace rêvé et érigé en modèle. C'est la prise de conscience de l'échec des utopies urbaines des 19^e et 20^e siècle. C'est ainsi qu'est introduite l'idée de la « troisième ville », comme une utopie contemporaine d'une ville à repenser et à réinventer, en tirant des leçons des utopies despotiques et rigides des siècles précédents. L'expression « mort de la ville » est en fait un constat de la disparition d'un modèle d'urbanité¹⁵, tout autant que l'expression « règne de l'urbain » désigne l'ouverture d'une nouvelle ère de crise de l'urbanité.

2.1.2 L'idéal de la ville compacte, une réaction face à l'urbanisation discontinue

Face aux nombreuses critiques formulées à l'égard de l'urbanisation discontinue et de l'étalement urbain, d'une manière logique, même presque intuitive, se formule en réaction le modèle de la ville compacte et continue. Le modèle de la ville compacte prône un retour à des formes urbaines, perçue comme une forme d'urbanisme plus durable (Emelianoff, 1999), voire même comme la seule forme d'urbanisation vertueuse. Des études, (Newman & Kenworthy,

¹⁵ Au sens de « *caractère proprement urbain d'un espace. L'urbanité procède du couplage de la densité et de la diversité des objets de société, tangibles et symboliques, au sein d'un espace urbain donné* » (Lévy & Lussault, 2003, p. 873).

1989a ; Naess & Sandberg, 1996), établissent une corrélation directe entre densité urbaine et réduction de la consommation d'énergie et des émissions de polluants. La ville compacte favorise une mobilité plus écologique, réduisant la dépendance à l'automobile au profit des transports en commun et de la marche Ewing & Cervero (2001). Elle offre des avantages tels qu'une meilleure accessibilité, une concentration des activités, des déplacements plus courts et une réduction de la congestion routière. Économiquement, elle permet une utilisation plus efficiente des terres et des ressources, bien qu'il n'y ait pas de consensus sur le lien entre densité et coûts d'urbanisation. De nombreuses politiques urbaines, adoptées dans divers pays, visent à promouvoir la densification et la préservation des centralités urbaines, ainsi que le renouvellement des centres-villes et la limitation de l'urbanisation au-delà de certains périmètres, dans le but de créer des villes plus durables et moins consommatrices d'énergie (Breheny, 1995; Ewing, 1997; Goze, 2002; Welkers, 1997).

2.1.3 Echecs et limites du modèle de la ville compacte

L'idéologie de la ville compacte est remise en cause, principalement sur deux terrains. La remise en cause est d'une part théorique, pointant du doigt les limites des arguments avancés en faveur de la ville compacte, mais aussi pratique, soulignant la faisabilité discutable d'un tel modèle.

D'un point de vue théorique, les défenseurs de la ville compacte ont longtemps argumenté en faveur d'économies de compacité dues à une urbanisation plus dense. Cependant, cette densification présente également des inconvénients. D'abord, elle requiert une intervention politique active, car elle ne se produit pas spontanément et va à l'encontre de la tendance à la déconcentration des ménages, un moteur clé de l'étalement urbain. Ainsi, la compaction peut être perçue comme une contrainte pour les consommateurs. De plus, la densité n'est pas toujours synonyme de vertus. Historiquement, la densité a été critiquée pour des raisons d'insalubrité et de propagation des maladies, comme l'indiquent les courants hygiénistes du 19e siècle (Clément & Guth, 1995). Les travaux d'Edward T. Hall sur la proxémie soulignent l'importance d'une distance minimale entre les individus, suggérant un seuil de densité optimal pour éviter des conséquences négatives (Hall, 1966). Enfin, il existe une distinction entre densité réelle et densité perçue¹⁶, cette dernière ayant souvent plus d'impact sur les

¹⁶ Cette dernière dépend de critères individuels et situationnels et se différencie de la densité réelle de par sa perception subjective

comportements humains. Une forme urbaine visiblement dense peut influencer négativement les perceptions et les interactions des individus.

D'un point de vue opérationnel, la mise en œuvre de la ville compacte nécessite une intervention politique importante, car elle va à l'encontre de la tendance naturelle à la déconcentration des ménages. Selon Korsu et al., (2012), les résultats modestes des politiques de compaction s'expliquent par l'écart entre les ambitions politiques idéalisées et la réalité complexe du terrain. De plus, la densité est souvent rejetée, alors que la demande d'espace augmente. L'idéal de densité des planificateurs s'éloigne des valeurs sociales et requiert des mesures coercitives pour contrôler la localisation des ménages. Orfeuil (2000) note que les déplacements automobiles internes à l'agglomération représentent seulement 21%, tandis que les déplacements inter-agglomération de moins de 100 km comptent pour 51% du trafic total. La circulation automobile urbaine ne constituerait que 10% de la consommation d'énergie des transports (Massot & Orfeuil, 2007). Enfin, les politiques de compaction, en limitant la croissance urbaine, augmentent inévitablement les prix du foncier, excluant les populations à revenus modestes et entraînant des dynamiques de gentrification¹⁷ dans les centres-villes, parfois même jusqu'à une muséification excessive. D'autres visions, telles que la « ville judicieusement compacte », qui renvoie à une forme urbaine où on recherche une optimisation de la densité, de manière à profiter de ses avantages et à réduire ses inconvénients (Camagni & Gibelli, 1997) ; ou encore celle de la ville polycentrique en réseau.

2.2 Une nouvelle manière d'appréhender l'urbain, quels nouveaux concepts ?

Le débat entre ville discontinue et continue souligne la difficulté de résoudre l'étalement urbain uniquement par l'urbanisme et met en évidence la nécessité de dépasser la vision traditionnelle de la ville en tant qu'entité spatiale et morphologique. Pour appréhender la complexité du phénomène périurbain, une réflexion plus approfondie et des concepts innovants sur la ville contemporaine sont nécessaires, alimentant un débat toujours actif dans la littérature urbaine. Devant l'éclatement des formes urbaines contemporaines, il apparaît nécessaire de voir et d'approcher la ville à partir de nouvelles idées et concepts, la morphologie compacte, délimitée et continue n'étant plus un critère suffisant pour définir où est la ville et où est la campagne. Nous présentons dans cette partie quelques concepts qui pensent la ville contemporaine, à la

¹⁷ La gentrification est le phénomène de repeuplement des centres urbains par les catégories sociales les plus favorisées.

lumière des nouvelles dynamiques qui l'animent et qui refusent d'acter la mort de la ville, ou même d'accepter la ville compacte, à la fois comme seule posture épistémologique possible et comme seule solution à la nouvelle réalité morphologique des villes.

2.2.1 Une remise en perspective temporelle, le début d'une nouvelle ère urbaine

Portzamparc, dans la préface qu'il fait de l'ouvrage « Vers la troisième ville » de Mongin (1995) parle de trois âges de la ville. L'âge I, qu'il appelle la « première ville » ou « ville de l'âge I » est caractérisée par « une extraordinaire constance », conditionnée par la rue qui organise son espace. *« C'est la ville de l'harmonie classique [...], de l'unité formelle, [...], compacte, fortement centripète et par la même essentiellement minérale [...]. La ville d'hier est la ville de la densité et, de ce fait, elle est également la ville de la proximité, la ville de la mixité »* (Dubois-Taine & Chalas, 1997, p. 239). L'âge II est quant à lui défini par une rupture totale avec l'âge I. Il correspond à l'urbanisme fonctionnaliste des CIAM, consigné dans la charte d'Athènes et porté par Le Corbusier. La rue est substituée aux voies de dessertes ou aux couloirs et ne structure plus l'espace urbain, les relations complexes entre bâti et non bâti sont éclipsées par des objets architecturaux massifs et isolés, tournant le dos à toute contextualisation spatiale ou temporelle, la mixité socio-fonctionnelle de l'espace disparaît, remplacée par la séparation fonctionnelle suivant un zonage. L'âge III est l'âge des villes contemporaines, celui que nous connaissons actuellement. C'est un âge d'incertitude, posant les enjeux d'une ville qui doit être abordée et comprise différemment. C'est sur cela qu'est fondée l'idée de « troisième ville » de Mongin, une vision de la ville qui se veut utopique, mais cependant désillusionnée de toutes les utopies déchues du passé.

Dans le même sens, Wiel (1999) évoque le passage d'une ville pedestre à une ville motorisée, en inscrivant la démocratisation de la voiture individuelle comme la raison principale de ce changement de paradigme urbain.

2.2.2 Dilution de l'urbain et polarisation métropolitaine, un autre regard sur la réalité urbaine contemporaine

L'urbanisation au 21^{ème} siècle est caractérisée par une polarisation croissante autour des métropoles, avec un accent particulier sur l'émergence des très grandes villes. (Ascher, 1995) dans "Métapolis, ou l'avenir des villes", remet en question la notion traditionnelle de métropole en raison de sa focalisation limitative sur l'idée de ville et de sa méconnaissance des nouvelles

dynamiques socio-économiques et spatiales urbaines. Il introduit alors le concept de "métropole", définie comme un ensemble d'espaces hétérogènes, non nécessairement contigus, intégrés dans le fonctionnement d'une métropole à travers les habitants, les activités économiques, et les territoires. Les métropoles, en concentrant activités et populations, s'intègrent dans des réseaux de transport nationaux et internationaux, se positionnant ainsi dans un contexte de mondialisation, et induisent une restructuration de l'armature et des hiérarchies urbaines existantes.

2.2.3 La ville émergente : une synthèse des nouvelles figures de la ville contemporaine

Le thème de la ville émergente est lancé par Dubois-Taine & Chalas (1997) et s'inscrit justement dans le débat sur le statut des villes contemporaines. Bien qu'étant parti du contexte français, le caractère synthétique et global du thème de la ville émergente résume à lui seul les réalités des villes contemporaines. La ville émergente, de par sa dénomination même, reconnaît la ville contemporaine comme une période de transition, d'où le terme « émergente ». L'incertitude qui accompagne la ville contemporaine n'est en fait que le reflet du monde actuel, changeant et globalisé et interroge l'impact de ces derniers sur l'espace, les modes de vies et les formes de la ville. Afin de mieux saisir ces nouvelles réalités urbaines, Dubois-Taine & Chalas (1997) proposent une synthèse, à travers six grandes « figures », qui se veulent des outils de compréhension et de réflexion théorique. Derrière ces figures de la ville émergente, se cachent en fait des principes, tels que la mobilité, la nature, la polycentralité, ayant toujours existé. Cela conforte l'idée que la ville n'est pas morte mais a en fait subi une reconfiguration profonde. La ville émergente se caractérise donc par les figures suivantes :

- La Ville Mobile :

La mobilité modifie la perception de la proximité et intègre des espaces de transit dans l'environnement urbain. L'individu moderne, vu comme nomade, utilise des lieux tels que gares et autoroutes comme espaces de vie, fusionnant avec l'espace urbain (Amar, 2010).

- La Ville Territoire :

La ville s'étend au-delà de ses limites traditionnelles, devenant coextensive au territoire. Les citadins apportent leur culture urbaine à la campagne, créant une nouvelle urbanité dans les zones rurales.

- La Ville Nature :

La ville englobe la nature, dépassant l'opposition ville-campagne traditionnelle. La ruralité devient un espace d'urbanité nouvelle, tandis que la ville intègre des éléments ruraux et naturels.

- La Ville Polycentrique :

Malgré l'étalement périurbain, de nouvelles centralités émergent, liées à la consommation, aux transports et aux loisirs. Ces nouvelles centralités sont caractérisées par une vision intercommunale plutôt qu'une organisation hiérarchisée traditionnelle.

- La Ville au Choix :

La mobilité permet aux individus de définir leurs propres proximités et interactions sociales, créant une "ville à la carte" où l'individu peut choisir son mode d'accès aux services et interactions.

- La Ville Vide :

La ville contemporaine accepte le vide comme élément d'articulation de l'espace, remettant en question les normes traditionnelles d'harmonie et d'équilibre urbain en faveur d'une esthétique de rupture et de discontinuité (Corboz, 1992).

Ces divers aspects illustrent la complexité et la pluralité de la ville contemporaine, reflétant des changements significatifs dans la manière dont les espaces urbains sont perçus et utilisés. Cependant, on pourrait lui reprocher une idéalisation peut être trop excessive, allant parfois jusqu'à « valoriser le chaos, l'éphémère, le transitoire, l'anecdotique » (A. Levy, 1999, p. 59). D'une manière plus générale, la reconnaissance de la particularité de l'ère urbaine contemporaine en tant que transition dépasse le constat de mort des villes. La compréhension des formes urbaines contemporaines est ainsi érigée en enjeu et en objet de recherche. Cependant, les villes d'aujourd'hui, au-delà de cet enjeu théorique autour de leur compréhension, concentrent en réalité de nombreux autres enjeux.

3 Enjeux de la ville contemporaine : entre durabilité et nécessité d'une vision renouvelée

Si l'incertitude conceptuelle et opérationnelle autour des villes contemporaines était un thème de recherche très en vogue à la fin des années 90, et même s'il reste toujours d'actualité, un

autre thème majeur semble lui avoir succédé, celui de la ville durable. Les deux sont d'ailleurs fortement corrélés, l'étalement urbain étant diabolisé justement pour son caractère énergivore et non durable. Aussi, la nécessité d'un nouveau regard sur les villes contemporaines, voire même d'une nouvelle « science », est maintenant suffisamment acté pour en parler comme un enjeu majeur de la recherche actuelle en urbanisme (Batty, 2013). Dans cette partie, qui vient en synthèse de la précédente, nous avançons les deux enjeux majeurs relevés lors des chapitres précédents et qui constitueront deux fondations majeures sur lesquels nous appuierons la suite de la réflexion autour des villes contemporaines, notamment à travers la cohérence urbaine.

3.1 Interrogations sur une forme urbaine plus efficace et durable

Le constat d'étalement urbain des villes contemporaines est partagé d'une manière unanime dans la littérature scientifique sur le sujet. Cette forme urbaine est à juste titre diabolisée en raison de son coût environnemental, social et économique important. La posture réactionnaire de l'idée inverse, à savoir la ville compacte, par simplicité conceptuelle, semble cependant ne pas être une solution viable pour autant. La prise de conscience des enjeux de durabilité des villes est de plus en plus constatée et le concept de ville durable est maintenant bien ancré dans les esprits. Si la ville durable est en théorie fondée autour du triptyque économique, environnemental et social, le volet environnemental occupe une place clairement plus importante. Une grande partie de ce dernier est lui-même centré autour des questions des déplacements, qui consomment une part considérable d'énergie¹⁸. Ces préoccupations s'articulent principalement autour du concept de mobilité durable, qui englobe toute la recherche à propos d'une ville moins énergivore, moins polluée, plus accessible et plus efficace, notamment à travers la forme urbaine.

3.1.1 La ville durable

A la fin des années 1990, semble s'opérer une prise de conscience écologique. Les sociétés contemporaines sont cataloguées comme ayant un mode de développement qui nuit à l'environnement et aux générations futures, ce qui va donner naissance au concept de Développement Durable. Le rapport Brundtland paru en 1987 est parmi ses textes fondateurs. Il y est défini comme « un mode de développement qui répond aux besoins des générations

¹⁸ En France, les transports consommeraient 32% de l'énergie finale et seraient responsable de 35% des émissions de gaz à effet de serre (CITEPA, 2019). C'est pourquoi des réflexions autour d'une mobilité urbaine plus durable ont vu le jour.

présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ». La charte d'Aalborg (1994) est ainsi à l'origine de la notion d'urbanisme durable. Au départ restreint aux villes européennes, les idées et concepts véhiculés par cette dernière deviennent rapidement mondiaux. Ainsi apparaît l'expression de « ville durable », résultant de l'application des principes du développement durable aux villes.

Cependant, l'absence d'une réflexion vraiment consistante sur l'espace, notamment en ce qui concerne l'articulation de ses échelles spatiales¹⁹, fait que la ville durable n'a pas encore trouvé ses marques et « *reste encore à inventer dans son espace, c'est-à-dire dans sa forme, sa densité, sa mobilité (distance-temps), son habitat, son fonctionnement, son esthétique* » (A. Levy, 2009). Pour cette raison, la « ville durable » se pose aujourd'hui plus comme un horizon à atteindre que comme un modèle prédéfini à reproduire. Les moyens de l'atteindre restent encore à déterminer et à préciser, ce qui ouvre donc un vaste champ à la recherche et à l'innovation urbanistique.

3.1.2 L'enjeu central de la mobilité durable

La forme étalée de la ville contemporaine, en raison de sa consommation élevée d'énergie et de sa dépendance à l'automobile, est considérée comme non durable. Newman & Kenworthy (1989) ont établi une corrélation inverse entre la densité urbaine et la consommation d'énergie. Cette dépendance à l'automobile, soulignée par Dupuy (1999), entraîne des coûts économiques dus à la congestion urbaine, en plus de problèmes de santé publique liés au manque de transports actifs, à l'augmentation de l'obésité et à la pollution de l'air (Murena, 2004). Sur le plan spatial, une part significative de l'espace urbain est consacrée aux infrastructures routières et aux parkings : 70% à Bruxelles (Bruxelles Environnement, 2015) et 50% à Paris (Breteau, 2016). La mobilité durable, promue dans *le livre vert de la Commission Européenne*²⁰, apparaît comme une solution face à ces défis, proposant une remise en question des systèmes de transport traditionnels pour une approche plus écologique et efficiente.

Les leviers pour atteindre cette mobilité durable sont nombreux, parmi lesquels la nécessité de réduire le besoin de se déplacer, à travers les technologies de l'information et de la communication, ou encore le télétravail (Lyons & Kenyon, 2003; Moriset, 2004), les politiques

¹⁹ La réflexion autour de l'imbrication des différentes échelles de la ville est une question centrale dans la ville durable. Les stratégies d'aménagement sont amenées à changer suivant l'échelle dans laquelle on se place (Hamman, 2014).

²⁰ Commission Européenne. (1992). Le Livre vert de la Commission européenne sur l'impact du transport sur l'environnement.

de transport qui doivent encourager le report modal sur les transports en commun et décourager l'utilisation de la voiture individuelle, ou encore la sensibilisation et l'implication de l'ensemble de la société civile. A ce propos, Banister (2008) évoque le manque de conscience collective de la population sur le sujet comme étant l'une des raisons principales de sa non adoption, voire même de son rejet.

3.2 Remises en question épistémologiques, la nécessité d'une vision renouvelée sur la ville contemporaine.

L'histoire de l'urbanisme a été ponctuée de plusieurs théories ayant eu un apport plus ou moins avéré et qui ont fait progresser la connaissance dans le domaine. En fonction des défis de l'époque, la discipline qui étudie les villes a su évoluer en conséquence. A chaque âge de l'histoire urbaine, ses théories. Aux villes insalubres de la révolution industrielle au 19^e siècle, répondait l'hygiénisme qui a par la suite donné les grands travaux d'Hausmann à Paris. A l'apparition de nouveaux matériaux de construction et la démocratisation de la voiture, en même temps que le besoin de reconstruction post Seconde Guerre Mondiale, répondait l'urbanisme fonctionnaliste des CIAM. La ville de l'âge III comme l'appelle Portzamparc se cherche encore et n'est pas encore parvenue à trouver « sa théorie » capable de la comprendre et de l'expliquer. La ville contemporaine est devenue tellement complexe qu'il n'est pas incongru de poser l'enjeu de sa compréhension comme un enjeu majeur, au même titre que la recherche d'une ville durable.

3.2.1 Sortir des théories traditionnelles pour comprendre la ville d'aujourd'hui.

Les villes ont connu d'importantes évolutions au fil des décennies, notamment en matière d'aménagement de l'espace, de mobilité et d'intégration de nouvelles fonctions urbaines. Ces transformations, décrites par certains comme une "transition urbaine", sont liées à l'augmentation de la mobilité et à des forces socioéconomiques majeures. Ces profondes mutations, apportant sans cesse de nouvelles couches de complexification remettent en question tant les théories urbaines que la pratique de l'aménagement et de la planification. Les solutions apportées par les planificateurs ne sont pas toujours motivées par la priorité de la compréhension profonde. Par exemple, les tendances actuelles de la « smart-city » prônent l'intégration des technologies dans la ville. Cette vision mise sur l'utilisation intensive de technologies pour une optimisation en temps réel des fonctionnements urbains, sans

nécessairement comprendre ou planifier à long terme. D'un autre côté, on observe aussi un regain d'intérêt pour les approches plus holistiques et culturalistes comme celle des patterns d'Alexander et al. (1977), ou encore les idées de Jacobs (1961) d'une ville plus centrée sur l'humain qu'elle illustre dans son ouvrage « *The Death and Life of Great American Cities* ». Face à la complexité croissante des problématiques urbaines et aux incertitudes liées à la connaissance sur l'évolution des villes, il est devenu délicat de soutenir des modèles prétendant anticiper précisément l'expansion urbaine et la meilleure localisation des fonctions et infrastructures. De telles théories, dites classiques, étaient encore courantes il y a quelques décennies, telles que la théorie des lieux centraux, l'accessibilité gravitaire ou encore l'aménagement par zonage. Elles ont pour point commun de faire abstraction des questions de forme urbaine et supposent un espace isotrope et parfait.

3.2.2 La transition des théories fortes vers les théories faibles : la reconnaissance de la complexité des villes

Devant les profondes mutations des zones urbaines contemporaines, il est évident qu'il n'est plus possible d'aborder la ville à travers des outils théoriques dépassés ou inadaptés. Se pose ici l'enjeu épistémologique d'un renouveau des concepts et de la méthodologie de la connaissance sur la ville. Fusco (2018) observe à cet effet une distinction entre théories fortes et théories faibles. Les théories fortes sont les théories classiques et qui entendaient pouvoir simplifier l'étude des phénomènes observables à l'étude des relations de cause à effet. Elles appartiennent au paradigme scientifique connu sous le nom de positivisme. Le positivisme est associé au nom d'Auguste Comte, qui le définit comme le stade ultime de connaissance juste, sur la base d'une démarche scientifique, fondée sur la rationalité et l'observation, et en ayant prioritairement recours aux mathématiques et à la logique. Et pourtant, il existe des sciences qui sont ontologiquement aveugles à ce paradigme, car leur objet d'étude est par essence incertain et diffus. Ainsi, l'étude de la ville se place dans les théories dites « faibles », reconnaissant l'incertitude, la complexité du sujet d'étude, la multiplicité des approches et admettant l'impossibilité d'une connaissance totale et parfaite parce que fondée sur la raison. La métaphore de l'organisme vivant pour désigner la ville est couramment employée, pour cause la difficulté de la saisir par une approche directe. A plus forte raison, la ville contemporaine, s'étendant sur un territoire vaste et sans limites précises, se présente comme un système complexe d'une manière relativement évidente. En outre, la notion de complexité organisée, qui caractérise des systèmes où un nombre relativement élevé de facteurs sont reliés

dans un tout organique semble particulièrement bien adaptée à la description de la ville (Weaver, 1991). Cette réflexion fait écho aux théories de Nicolis & Prigogine (1977) sur l'émergence de l'auto-organisation dans les systèmes complexes. L'organisation d'un tel système au niveau macroscopique serait le résultat de structures dissipatrices de l'énergie, qui diminuerait ainsi son entropie par une ouverture sur son environnement. La ville contemporaine semble donc s'apparenter à un système complexe, susceptible de s'inscrire dans le paradigme des sciences de la complexité.

Conclusion du deuxième chapitre

Au courant de ce chapitre, nous nous sommes attachés à décrypter la morphologie des villes contemporaines à travers le concept d'étalement urbain, que nous limitons par la suite à une forme particulière, celle de l'urbanisation discontinue. Les apports théoriques de la notion permettent de mieux saisir la forme fuyante et « sans forme » des villes contemporaines. Aussi, la forme urbaine discontinue introduit une remise en question majeure quant à la définition actuelle d'une ville. Le débat sur la forme et le statut de la ville contemporaine est lancé. Si certains parlent de « mort » et de « fin » de la ville, au profit d'un amas indifférencié appelé urbain, d'autres apportent une nouvelle manière de voir et d'approcher les villes d'aujourd'hui et soutiennent la thèse d'une recomposition au lieu d'une décomposition. Ce débat, avant tout théorique à première vue, cache en réalité des enjeux d'envergure.

Premièrement, la question qui se pose est celle d'une forme urbaine plus vertueuse et plus durable que celle des villes actuelles. Dans ce sens, des actions de densification et de compaction, entrant dans le cadre de la ville compacte ont été menées dans plusieurs pays. D'une manière plus générale, les enjeux de durabilité des villes actuelles sont regroupés sous la notion de « ville durable ». Il s'agit d'un cadre de conception et de réflexion urbaine qui prône principalement le respect de l'environnement, mais prend également en compte des enjeux sociaux, économiques et culturels. Parmi les différents champs d'action mis en avant, celui de la mobilité durable, qui vise à diminuer les impacts négatifs des transports, tels que la pollution et la congestion, semble revêtir une certaine importance. C'est dans cette perspective que s'inscrit la recherche de formes urbaines alternatives à l'étalement urbain, qui par l'intermédiaire d'une morphologie et d'un agencement spatial mieux réfléchi, permettraient un impact sur les déplacements, de manière à limiter la consommation d'énergie et les nuisances leur étant associées.

Deuxièmement, la nécessité d'une compréhension renouvelée des formes urbaines se pose. La difficulté de caractérisation des formes urbaines actuelles ainsi que les débats autour de la question de la mort de la ville dénotent bien la complexité à laquelle est soumis le chercheur face aux villes contemporaines. Parmi ces tentatives de compréhension, certains chercheurs soulignent l'apport des théories faibles, en rapport avec les sciences des systèmes complexes.

Conclusion de la première partie

Après un état de fait des villes contemporaines, nous pouvons aboutir à la conclusion que la discontinuité urbaine est une des formes d'urbanisation les plus présentes de nos jours. Cette dernière, découlant de l'étalement urbain, a pour spécificité de s'effectuer par « saut de grenouilles »²¹ en laissant des parcelles vides. Ce phénomène a d'abord été mis en évidence pour Tlemcen, ville que nous prenons comme cas d'étude. Dans le second chapitre, nous exposons d'une manière plus générale ce constat de discontinuité. D'une manière plus générale, l'étalement urbain est rejeté et diabolisé, parce que vu comme une forme d'urbanisation couteuse et dispendieuse. Face à ce rejet, qui donne alors lieu à tout un débat sur le statut des villes contemporaines et pose une série de questions et enjeux. Premièrement celui d'une forme urbaine plus durable, qui doit guider l'exploration et l'élaboration de nouvelles formes urbaines plus efficaces et applicables. Deuxièmement celui d'une compréhension renouvelée et éclairée des formes urbaines contemporaines, loin des visions dogmatiques et simplistes. Dans la partie suivante, dans la continuité des enjeux mis en évidence, nous introduisons la notion de cohérence urbaine.

²¹ Cette expression fait référence au terme de « leapfrog development » qui désigne l'urbanisation discontinue en anglais.

DEUXIEME PARTIE :

La cohérence urbaine : des enjeux de proximité et de consistance aux sciences de la complexité.

Introduction de la deuxième partie

Notre cheminement conceptuel, impulsé par une volonté de dépassement du simple constat morphologique de discontinuité urbaine des formes urbaines actuelles, nous a amené à une réflexion globale sur la ville contemporaine. Les multiples regards que nous avons relaté dans les chapitres précédents, notamment en ce qui concerne les enjeux des villes contemporaines en matière de mobilité durable, mais aussi dans une volonté de mieux saisir leur réalité hautement complexe et fuyante, nous conduisent à introduire un champ de la recherche émergent connu sous le nom de cohérence urbaine.

Selon le dictionnaire Larousse, la « cohérence » est la propriété de ce qui est « cohérent », « *Dont les parties s'enchaînent bien et présentent entre elles des rapports logiques* ». Le mot est lui-même dérivé du latin « *cohaerens* », qui signifie « être attaché ensemble ». Le terme revêt différentes acceptions selon le domaine d'utilisation. Ainsi, en physique, la « cohérence » est la « liaison étroite » en parlant des molécules d'un corps. Dans une acception plus commune, en parlant des parties d'un tout ou de ce tout en lui-même, le terme désigne « Harmonie, rapport logique, absence de contradiction dans l'enchaînement des parties de ce tout » (CNTRL).

Après examen de la synonymie et de la proxémie du mot, on remarque de fortes corrélations sémantiques avec des mots comme « cohésion », « logique », « union », « association », « entente », « harmonie ».

Ce terme de « cohérence » entre particulièrement en résonance avec le principal mot-clé de la partie précédente, à savoir la discontinuité, sans pour autant tomber dans le piège d'une réponse simplifiée et raccourcie, comme la réponse de la ville compacte à l'étalement urbain. La notion de cohérence pose déjà le problème d'une manière particulièrement intéressante. En effet, cela implique de considérer l'objet d'étude d'une manière bien plus globale et apporte surtout une vision systémique, puisqu'elle considère des « parties » qui doivent fonctionner en harmonie pour créer un « tout ». Cette vision nous semble particulièrement intéressante à appliquer sur les villes contemporaines, qui sont malgré leur discontinuité perçues comme un tout, mais dont les mécanismes existants entre les parties demeurent obscurs, notamment en raison de la perte de la compacité et de la complexification considérable des formes urbaines actuelles. La ville est ainsi considérée comme un écosystème complexe et interdépendant.

La cohérence urbaine sous-entend aussi une idée de « bonne forme urbaine » apporte une connotation méliorative. L'idée d'une ville cohérente implique une ville équilibrée et optimisée, ce qui résonne particulièrement bien avec l'étalement urbain, forme urbaine non vertueuse et La ville cohérente n'est pas la ville idéale ou la ville compacte, pas même la ville durable, mais

plutôt une ville de l'équilibre et de la juste mesure. Bien que ses critères restent encore à déterminer, la cohérence urbaine semble laisser une plus grande latitude théorique à la recherche d'une forme urbaine plus vertueuse (Pouyanne, 2004b, p. 168).

La cohérence urbaine vient en réponse aux deux enjeux fondamentaux posés à la fin de la partie précédente. Le premier, surtout théorique et épistémologique, est d'ajouter un regard à la multiplicité des regards sur la ville, à travers une notion originale et peu étudiée. A travers la cohérence urbaine, nous avons l'ambition de développer une des visions parmi l'infinité de possibles sur la ville contemporaine. Elle pourra contribuer à une meilleure compréhension de leur complexité, en s'inscrivant dans les théories dites « faibles ». La notion de cohérence urbaine n'a pas la prétention d'offrir une compréhension parfaite et totale des villes actuelles, mais plutôt de dépasser la posture trop simple et confortable à notre goût, de la diabolisation systématique de ces dernières (Choay, 1994). L'aboutissement de nos recherches conduira peut-être à reconsidérer cette posture, en raison de certains principes d'organisation de la ville passés sous silence à cause d'une vision trop académique et simpliste.

Le second, plus pratique, s'inscrit dans la recherche d'une forme urbaine plus durable. La courbe de Newman et Kenworthy montre bien de quelle manière la forme urbaine peut influencer sur les déplacements quotidiens et par conséquent sur la dépense énergétique due aux transports. A partir de ce lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne, se déploie une littérature importante. Ce sujet est récurrent lorsqu'il s'agit de forme urbaine plus durable. Les travaux de Cervero & Kockelman (1997) offrent une vision synthétique de toute la question à travers trois critères d'influence de la forme urbaine sur les flux de déplacement quotidiens qui sont la densité, la diversité et le dessin urbain. Ces paramètres influencent directement le caractère durable d'une forme urbaine. Deux enjeux sont identifiés à partir de là. Le premier est un *enjeu de proximité*, dérivant de la densité et de la diversité, indique la capacité de la forme urbaine à permettre et à organiser spatialement une proximité relative entre les activités des individus. Le deuxième, dérivant du dessin urbain et de la théorie de la toile urbaine (Salingaros, 1998) est un *enjeu de consistance* de la forme urbaine et indique la capacité de la forme urbaine à offrir une toile de fond morphologique structurée, lisible, connectée et permettant d'ancrer les individus à l'espace et une perméabilité suffisante aux flux, suivant toute une diversité d'échelles.

La notion de cohérence urbaine est encore à construire (Pouyanne, 2004b). C'est justement l'objet de notre démarche tout au long de cette partie puisque nous voulons y apporter un

contenu précis et documenté dans un premier temps. Les deux premiers chapitres exposeront une revue de la littérature exhaustive, à travers les deux enjeux de proximité et de consistance énoncés dans les lignes précédentes. Un troisième chapitre expliquera le choix de continuer à explorer la cohérence urbaine morphologique, découlant directement de l'enjeu de consistance. Ce chapitre introduira les sciences de la complexité, qui sont un passage obligé et qui constituent la trame de fond conceptuelle et théorique pour la construction d'un cadre d'analyse basé sur la cohérence urbaine. Dans un second temps, nous développerons cette notion de manière à la rendre opérationnelle et applicable aux villes contemporaines, en particulier les villes algériennes qui constitueront un champ d'application préliminaire.

**Chapitre III : La cohérence urbaine
fonctionnelle à travers l'enjeu de
proximité de la forme urbaine :
littérature, expériences et indicateurs**

Introduction du chapitre trois

La cohérence urbaine est une notion qui a déjà un fondement théorique bien présent dans la littérature. Plusieurs études ont abordé la question, notamment à travers le prisme de l'interaction entre forme urbaine et mobilité (Ewing & Cervero, 2010). Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la littérature sur le sujet de la cohérence urbaine, à partir de ce que nous avons appelé dans l'introduction précédente l'enjeu de proximité, basé sur la réduction des déplacements. Autour de cet enjeu, se regroupent toutes les préoccupations et efforts pour une forme urbaine plus durable à travers l'optimisation des flux de déplacements quotidiens dans la ville. Devant l'étalement urbain, qui est considéré comme une forme énergivore et dispendieuse, et face à la performance en demi-teinte de la ville compacte, de nouvelles pistes sont proposées par certains auteurs, portant plus d'attention à la proximité des activités pour arriver à cet idéal d'une forme urbaine plus vertueuse.

Nous aborderons dans un premier temps l'interaction forme urbaine mobilité, qui aborde la forme urbaine comme une distribution d'emplois et de résidences, soit une vision très fonctionnelle de la ville. Elle est à la base de la cohérence urbaine selon l'enjeu de proximité. Nous définissons à cet effet ce champ de recherche comme celui de la « cohérence urbaine fonctionnelle ». Nous verrons alors comment en découle l'approche appelée « Ville cohérente » (Korsu et al., 2012) appliquée à l'Ile de France. Ensuite, nous relaterons une série d'expériences politiques de planification urbaine menées surtout en Europe, dont l'objectif est d'agir sur les déplacements afin de les limiter, notamment par une redistribution des fonctions urbaines. Enfin, nous présenterons quelques indicateurs potentiels pouvant servir de base pour évaluer la cohérence urbaine fonctionnelle.

1 L'interaction entre forme urbaine et mobilité quotidienne, une vision fonctionnelle de la ville

Avant d'entamer l'exploration du lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne, il nous semble nécessaire de nous attarder quelque peu sur les mots-clés, que sont « forme urbaine » et « mobilité quotidienne ». D'abord, la notion de forme urbaine, à laquelle jusqu'à maintenant, on donnait une définition purement morphologique, entendue comme la forme physique et spatiale d'une ville. Cependant, la forme urbaine reste une notion très vaste, voire même vague, et qui ne fait pas l'objet d'un consensus parmi les chercheurs. Ainsi, il existerait plusieurs registres de forme urbaine, dont la forme spatiale et physique ne serait qu'une des définition

possible (A. Levy, 2005). Pour l'étude des liens entre forme urbaine et mobilité quotidienne, la forme urbaine est d'abord entendue et représentée d'une manière purement fonctionnelle, comme étant un agencement urbain d'emplois et de résidences.

La notion de mobilité quant à elle, désigne la propension d'une population à se déplacer. L'ajout du terme de « quotidien » fait appel à une périodisation journalière et se définit comme « l'ensemble des pratiques de déplacements d'une population dans son cadre habituel » (Segaud et al., 2002). De ce fait, la mobilité quotidienne étudie les déplacements « pendulaires » dans une ville et se révèle donc particulièrement efficace pour l'analyse des déplacements domicile travail. Elle est donc à distinguer de la mobilité résidentielle, ou encore de la mobilité sociale. Nous entamerons l'exploration du lien forme urbaine mobilité par le glissement du cadre d'analyse de la ville monocentrique à la ville polycentrique. Ensuite, nous développerons une caractérisation plus fine du lien forme urbaine mobilité, relevant d'une vision qualitative de la forme urbaine.

Au courant de cette section, nous abordons la question du lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne à travers les 3D : densité, diversité et dessin urbain, reconnu comme étant les trois principaux critères d'influence de la forme urbaine sur les déplacements quotidiens (Cervero & Kockelman, 1997)

1.1 L'étude du lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne à travers les densités

Selon la courbe de Newman & Kenworthy, un environnement urbain dense est associé à une consommation d'énergie bien inférieure, en raison du nombre de déplacements beaucoup moins élevé. Cette constatation semble très logique et s'impose facilement à l'esprit. Un environnement urbain densifié a la capacité d'offrir un accès efficace à un plus grand nombre de destinations, grâce à une proximité spatiale des sites. Aussi, un environnement urbain plus dense décourage l'usage de l'automobile en raison des difficultés à circuler à cause de la congestion et du manque de places de parking. A l'inverse, il encourage l'usage de transports en commun et les modes de déplacements doux comme la marche à pied ou le vélo. Le lien entre densité et déplacements (Bento et al., 2003; Cervero & Duncan, 2006; Cervero & Kockelman, 1997; Pouyanne, 2004a) a été abordé par de très nombreuses études. La densité est évaluée suivant de nombreuses variables, comme le nombre de ménages, le nombre d'habitants, ou encore le nombre d'emplois par unité de surface. La densité est évaluée en fonction du

VMT²². Les études se montrent assez nuancées. Certaines montrant une corrélation négative très claire entre les deux variables, ce qui signifie qu'une densité élevée est associée à un flux de véhicules plus faible (Bhatia, 2004; Chatman, 2008; Zhou & Kockelman, 2008). Cependant, la grande majorité des études arrivent à une corrélation très peu significative, voire même nulle (Ewing & Cervero, 2010). Ce critère de densité est donc à nuancer, tout autant que la ville compacte est à nuancer comme réponse pertinente à l'étalement urbain.

Historiquement parlant, la densité a été le premier critère caractérisant la forme urbaine. Notamment dans le cadre de la Nouvelle Economie Urbaine (Derycke & Huriot, 1996; Pouyanne, 2004b). La ville est modélisée comme une entité spatiale ayant un centre unique, siège de tous les échanges, emplois et activités, et une périphérie, contenant uniquement des activités résidentielles, se répartissant suivant un gradient de densité décroissant à partir du centre. L'espace est considéré comme neutre, homogène et réduit à sa seule distance avec le centre. La concentration des emplois au centre implique un type unique de déplacements radiaux, aussi dits pendulaires. L'étude de la mobilité quotidienne est par conséquent très simplifiée et dépend uniquement de l'éloignement des ménages par rapport au centre unique. D'autres approches, prenant en considération l'apparition de nouvelles centralités périphériques apparaît par la suite, qui donne la structure urbaine polycentrique.

La densité serait un paramètre « proxy », qui regroupe en réalité plusieurs autres sous-paramètres (Ewing & Cervero, 2010). La densité serait en réalité une notion assez vague et fourre-tout, notamment parce qu'elle peut être indicatrice ou révélatrice de plusieurs autres paramètres et dynamiques urbaines, comme par exemple l'accessibilité, la disponibilité du transport ou encore la diversité des usages du sol. Ainsi, on comprend qu'à travers le temps, la densité est un paramètre qui donne une vision trop « économique » et quantitative de la ville. Elle devient de moins en moins pertinente à elle seule à décrire la forme urbaine.

1.2 L'étude du lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne à travers la diversité des usages du sol

Selon (Pouyanne, 2004b), la spécialisation des nouvelles centralités périphériques, ainsi que l'action attractive²³ de certaines zones urbaines sans rapport avec les densités amène non

²² Vehicle Miles Traveled, ou véhicule-kilomètres parcourus. C'est une unité de mesure correspondant au mouvement d'un véhicule sur un kilomètre. Elle est utilisée pour quantifier la totalité des déplacements à l'échelle d'une zone ou d'une agglomération, et constitue ainsi le véritable « output » des comportements de mobilité.

²³ Aussi appelés générateurs de déplacement, ce sont des zones qui polarisent un flux entrant important, par exemple les centres commerciaux ou les équipements scolaires.

seulement à dépasser la vision de la ville sous le seul angle de la densité, mais plus généralement à outrepasser la simple appréciation quantitative de la forme urbaine. Au profit d'une approche prenant en compte l'aspect qualitatif de la forme urbaine, c'est-à-dire la nature des espaces étudiés.

La diversité des usages du sol est associée à l'idée que « *plus les usages du sol sont variés, plus la probabilité qu'une destination soit proche sera élevée* » (Pouyanne, 2004b). Ainsi, elle fait écho à l'idée de mixité fonctionnelle, qui est récurrente dans la littérature sur l'urbanisme durable. Alors même que les villes contemporaines se relèvent difficilement de la logique du zoning imposée à la moitié du 20^e siècle par l'urbanisme des CIAM, sous-tendue par une ville qui assume pleinement l'apologie de la vitesse et le recours massif à la voiture individuelle. Le zonage monofonctionnel a pour effet de produire des effets-tunnels, les lieux n'étant plus connectés que par leur origine et leur destination. Cela produit « *des fragments de ville dans lesquels il est difficile, voire impossible, de vivre* » et donc « *impose [aux habitants] des déplacements forcés.* » (OCDE, 1994). Au contraire, la mixité fonctionnelle apparaît comme un moyen de réduire les déplacements, en permettant l'accès à plus de possibilités pour une même distance donnée.

L'un des moyens d'approcher la diversité des usages du sol est l'étude de la répartition proportionnelle entre emplois et résidences (*jobs-housing balance*). A travers la mise en place d'un ratio emplois / résidences, on peut estimer le niveau de diversité d'une zone urbaine. Le niveau d'échelle utilisé apparaît la encore crucial²⁴. C'est pourquoi Peng (1997) propose l'adoption d'une échelle intermédiaire (*meso-scale*) définie par un rayon de 5 à 7 miles, à partir du lieu de résidence de chaque individu. Prenant pour ville d'étude Portland, il fait une analyse des distances moyennes parcourues en fonction du ratio emploi – résidences (Voir Fig.). Il note que plus le ratio emploi -résidences est élevé, plus le VMT est faible, ce qui confirme les intuitions théoriques de l'influence de la diversité sur la mobilité. Aussi, il remarque qu'au-delà d'un certain seuil (ratio de 1,2), se produit un aplatissement de la courbe, qui correspondrait à l'atteinte d'un état d'équilibre à partir duquel la diversité n'aurait presque plus d'effet sur la mobilité. De nombreuses études ont abordé la question et sont clairement moins mitigées que pour la densité. Dans la méta analyse de Ewing & Cervero (2010), le VMT a effectivement une corrélation négative avec le job-housing balance (Figure 7).

²⁴ En effet, faire le ratio emploi-résidence d'une zone, c'est en réalité ne prendre en considération que les seuls déplacements internes à la zone. Cela apparaît réducteur, compte tenu que dans la réalité, les travailleurs peuvent très bien ne pas résider dans la zone dans laquelle ils travaillent.

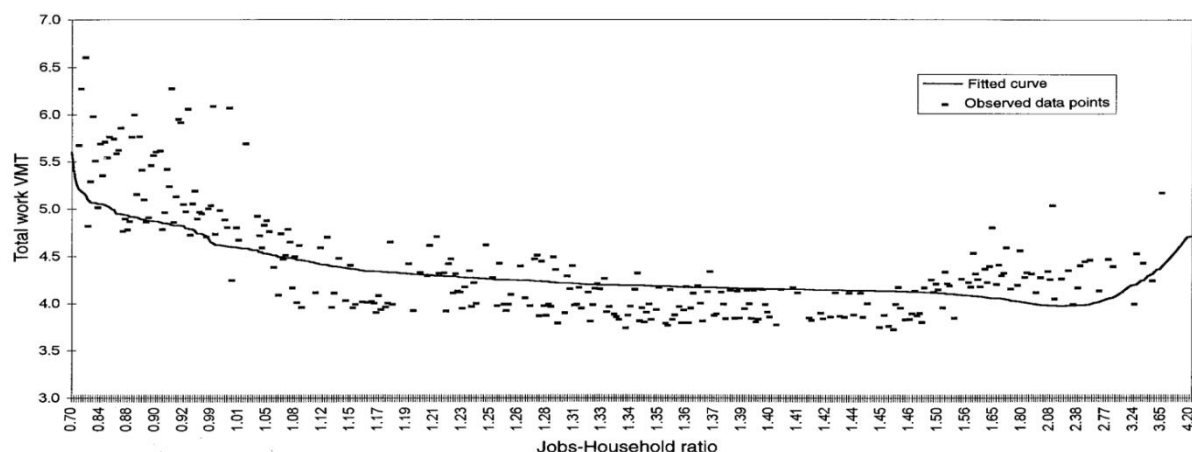


Figure 7 : VMT en fonction du ratio emploi – résidences ajusté par une fonction spline cubique. Déplacements selon motifs professionnels. Source : (Peng, 1997)

1.3 L'étude du lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne à travers le dessin urbain

Le dessin urbain (ou design urbain) est aussi mentionné comme une variable de la forme urbaine pouvant influencer sur la mobilité. Selon Cervero & Kockelman (1997), sur une zone donnée, sa détermination est basée sur la configuration du réseau viaire, sur la capacité à recevoir des flux piétons et cyclistes, ainsi que sur la capacité à offrir des commodités à l'accueil des flux automobiles. Ewing & Cervero (2010) répertorient plusieurs études mettant en lien dessin urbain et véhicules-kilomètre parcourus (VMT). Il ressort de cela une première corrélation positive entre le nombre de véhicules-kilomètre par foyer et la proportion d'îlots rectangulaires (Cervero & Kockelman, 1997). Une seconde corrélation, négative cette fois entre le nombre de véhicules-kilomètre par foyer et la densité des intersections du réseau viaire. (Boarnet et al., 2003) ; (Ewing et al., 2009) ; (Greenwald, 2009).

Ewing & Cervero (2010) cataloguent d'autres travaux étudiant l'impact du dessin urbain sur la part modale de la marche à pied et du vélo. Plusieurs indicateurs ressortent comme étant en corrélation avec la part modale des modes doux. Encore une fois, la densité des intersections est positivement corrélée avec le nombre de miles parcourus en marche à pied (Boer et al., 2007) ; (Boarnet et al., 2008) ; (Greenwald, 2009). Aussi, la taille des îlots apparaît comme étant négativement corrélée avec le nombre de déplacements à pied par personne (Targa & Clifton, 2005) ; (Boarnet et al., 2011) et avec le nombre de miles parcourus par personne (Boer et al., 2007). Aussi, la présence de trottoirs est positivement corrélée à la part modale de la marche à pied (Rodríguez & Joo, 2004) ; (Ewing et al., 2009).

En outre, Ewing & Cervero (2010) affirment même que certains critères relatifs au dessin urbain densité d'intersection et connectivité des rues sont plus fortement associés à la réduction du VMT que les critères associés à la densité et à la diversité, ce qui est assez étonnant vu l'intérêt

relativement limité porté à l'égard du dessin urbain quant à l'étude de l'interaction forme urbaine – mobilité.

Le dessin urbain pose aussi la question plus large de l'influence de la forme du bâti sur la mobilité. A cet effet, Camagni et al. (2002) notent une corrélation entre une forme particulière d'urbanisation (contiguïté/linéaire et complément/contiguïté) et les coûts environnementaux liés à la mobilité²⁵. Dans la même logique, Van Diepen & Voogd (2001) montrent que la consommation de carburant est positivement corrélée à la proportion de logements individuels. Cela nous porte à croire que les recherches doivent être plus poussées dans cette direction. En effet, la morphologie urbaine et la forme urbaine physique semblent avoir un réel impact sur la mobilité. Néanmoins, ce critère de dessin urbain semble être quelque peu délaissé. Une approche qualitative de la forme urbaine passe par une appréciation de sa diversité et de sa forme urbaine physique (dessin ou design urbain). Ces deux critères complètent le critère de densité et les résultats empiriques présentés ci-dessus appuient leur prégnance en tant que paramètres influençant les comportements de mobilité. Ce critère de dessin urbain, bien qu'il se place dans le cadre d'un enjeu de minimisation des distances, demeure bien plus vaste, notamment dans l'organisation et la structuration urbaine (Salingaros, 2005). Il sera exploré plus en détail au chapitre suivant, à travers l'enjeu de consistance de la forme urbaine.

La littérature sur l'interaction entre forme urbaine et mobilité quotidienne demeure riche et complexe. La tentative de synthèse à partir des 3D de (Cervero & Kockelman, 1997) ne reflète pas toute l'étendue des études à ce sujet. Il existe aussi de multiples autres paramètres de la forme urbaine qui sont reconnus pour influencer la mobilité, telle que l'accessibilité ou encore la distance aux transports en commun. D'autres auteurs abordent aussi la question d'une manière bien plus complexe et selon une approche systémique, tels que (Pouyanne, 2004b) à travers l'interaction triangulaire. Cette approche implique un lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne, mais fait entrer en jeu un troisième paramètre de caractéristiques sociodémographiques. Ces trois paramètres s'influencent mutuellement dans des liens causaux à double sens. Nous rappelons aussi que la présentation des interactions entre forme urbaine et mobilité a été faite dans cette partie dans un souci d'introduire la réflexion vers une forme urbaine plus durable. Ainsi, une telle forme urbaine devrait en théorie respecter des règles de bonne densité, de bonne diversité ainsi qu'un dessin urbain favorable, dans un souci de

²⁵ Cela renvoie au lien entre faible densité et consommation d'énergie, qui a été discuté au début du chapitre.

minimiser les distances à parcourir. Malgré l'échec du modèle de ville compacte que nous avons expliqué dans le chapitre précédent, il existe un autre modèle qui en reprend les fondements tout en l'outrepassant. Ce modèle, appelé « la ville cohérente » cherche à conserver les bénéfices du modèle de la ville compacte, notamment la proximité, sans pour autant en avoir les inconvénients. Dans la partie suivante, nous aborderons ce modèle alternatif de la ville cohérente.

2 La ville cohérente : un modèle de forme urbaine soutenable au-delà de la ville compacte

2.1 Un dépassement conceptuel de la ville compacte

Le modèle de la ville compacte, conçu en opposition à l'étalement urbain, se présente comme une solution controversée et difficile à appliquer. Ce modèle vise à réconcilier la forme urbaine avec la mobilité, en densifiant les espaces pour réduire les distances et, théoriquement, la consommation d'énergie. Cependant, les études montrent que la densité n'est pas le seul facteur influençant la mobilité urbaine. Ainsi, repenser une forme urbaine durable implique de considérer d'autres facteurs au-delà de la densité. L'idéal de la ville compacte s'élargit donc pour inclure la mixité, tant fonctionnelle que sociale, remettant en question sa conception initiale. A cet effet, le modèle dit « rhénan » est promu en tant qu'exemple à suivre (Bieber et al., 1993), car proposant des systèmes multipolaires et la mixité des fonctions urbaines. La mixité sociale est vue comme la possibilité de permettre aux actifs et aux résidents de ne pas toujours être spatialement dissociés, s'opposant ainsi à la logique du zoning de l'urbanisme des CIAM. Le modèle de la ville compacte change progressivement de définition, par l'ajout de nouveaux éléments issus de sa critique et finit par ne plus correspondre avec la définition originale. C'est ainsi que Pouyanne (2004) propose de l'amender, et introduit le concept pour décrire cette forme urbaine soutenable, qu'il nomme « *Ville Cohérente* »²⁶.

La seule dimension morphologique de la forme urbaine à travers les densités, prônée par la ville compacte est dépassée. Désormais, il s'agit de réduire les distances à parcourir, non pas par une compaction de la forme urbaine, mais par un rapprochement des lieux fréquentés quotidiennement, ce qui en termes un peu plus savants s'exprime par « une mise en cohérence des bassins de vie » (Korsu & Massot, 2004), c'est-à-dire un rapprochement des lieux de

²⁶ Pouyanne précise que cette dénomination est semble-t-il due à Jean Pierre Orfeuil, lors d'un colloque en 2004, intitulé « *Les Transports au XXI^e siècle : enjeux, innovations, choix et financements* ».

domicile et de travail. J.P Orfeuil définit la ville cohérente à travers un critère de proximité temporelle : c'est la ville qui doit permettre à chacun d'occuper « un domicile dans un rayon maximal de 15 minutes en automobile de son lieu d'emploi ».

A travers cette définition, la « cohérence » exprime l'idée d'un agencement urbain efficient qui minimiserait dans une certaine mesure les déplacements quotidiens et donc par conséquent leurs impacts négatifs, permettant ainsi de prétendre au titre de « forme urbaine soutenable ».

La ville cohérente est le produit d'une évolution conceptuelle, à travers une compréhension plus profonde des liens entre forme urbaine et mobilité. Mais ne serait-elle pas elle aussi un modèle de plus ? L'histoire de l'urbanisme démontre bien l'inefficacité des modèles urbains idéalisés, si bien qu'aucun n'a survécu à l'épreuve du temps. Selon Pouyanne (2005), la ville cohérente, similaire à la ville compacte, nécessite une forte intervention de l'autorité publique pour contrer les lois du marché. Aussi, son idéal de mixité fonctionnelle va souvent à l'encontre des tendances urbaines naturelles vers la spécialisation. Cette vision idéalise des concepts tels que la "vie de quartier" ou le "village urbain", qualifiés par Pouyanne (2004) d'"utopie réalisable".

2.2 La ville cohérente appliquée à l'Ile de France, penser autrement la proximité

Le concept de ville cohérente tel qu'introduit par Pouyanne (2004) a par la suite été repris, développé et appliqué dans une étude prenant l'Ile de France comme terrain de vérification. Dans leur étude intitulée « *La ville cohérente, penser autrement la proximité* », Korsu et al., (2012) reprennent l'idée de réduire les distances à parcourir en rapprochant les lieux d'emplois et de résidence. Il n'est plus question de compaction, ni de morphologie, paramètre dont les auteurs s'affranchissent volontairement. La ville cohérente se définit alors comme « un agencement urbain où chacun est à proximité des principaux endroits où il a à se rendre » dont l'aménagement permet à tout résident de se situer à moins de « t minutes »²⁷ de son emploi. Une telle étude, de par sa richesse heuristique, constitue un matériau précieux pour la compréhension de la cohérence urbaine.

2.2.1 La ville cohérente : objectifs et enjeux

L'île de France est prise comme terrain d'essai du concept de la ville cohérente. Elle est vue comme un territoire d'exception, concentrant à elle seule 23% des emplois à l'échelle nationale

²⁷ Le temps de référence est de 30 min, correspondant plus ou moins au temps de transport moyen supportable. La conjecture de Zahavi énonce que les temps de déplacement quotidiens s'agglomèrent autour de la valeur moyenne de 60 minutes, ce qui donne un trajet domicile travail de 30 minutes, d'où cette valeur de référence.

et se déployant sur un rayon de 70 km. La pertinence de ce choix s'explique par son étendue, faisant qu'une part des déplacements se fait sur de grandes distances²⁸, à laquelle s'ajoute son caractère imperméable vis-à-vis des déplacements de ses actifs, avec à peine 1.7% des actifs travaillant en dehors.

Le concept s'affirme aussi de par son caractère normatif. Il énonce un état idéal vers lequel une ville devrait tendre, dans lequel un seuil de proximité temporelle entre emplois et résidences serait respecté. En référence à cet idéal, trois questions sont posées :

- Quelle distance sépare la métropole parisienne actuelle de l'idéal de la ville cohérente ?
- Dans quelle mesure l'écart entre la réalité et l'idéal de la ville cohérente est expliqué par une inadéquation entre offre et demande de logements autour des lieux de travail ?
- Si la métropole parisienne était plus cohérente, quel impact cela aurait-il sur la mobilité, notamment automobile. La ville cohérente est-elle associée à des économies de distance parcourues en voiture ?

2.2.2 La ville cohérente : résultats et implications

En Île-de-France, entre un quart et un tiers des ménages sont considérés comme mal localisés, un pourcentage relativement modéré. Cette situation semble davantage liée à la concentration des lieux d'emploi, notamment à Paris où 46,4% des ménages mal localisés travaillent, qu'aux caractéristiques socio-démographiques des ménages. Les prix élevés de l'immobilier dans les zones d'emploi denses excluent de nombreux ménages. Si les ménages mal localisés se relocalisaient de manière optimale, les distances parcourues pourraient être réduites de 30%, avec une diminution significative de 46% pour les transports publics et de 12% pour la voiture. Cette réduction est plus marquée pour les transports en commun, qui sont utilisés pour les trajets longue distance, tandis que la voiture reste privilégiée pour les distances intermédiaires. Bien que la réduction des distances parcourues en voiture ait été surestimée, la diminution des distances pour les transports en commun est notable, avec des avantages en termes de temps et de confort.

2.2.3 Quelles implications pour la recherche ?

Le concept de la ville cohérente, semble être presque fait « sur mesure » pour la région Ile-de-France. Ainsi, nous pouvons nous interroger de ce qu'il adviendrait du concept de ville

²⁸ Les déplacements longue distance sont ceux qui pèsent le plus dans la balance des kilomètres parcourus. Selon (Korsu et al., 2012, p. 64), « La minorité d'actifs (14%) qui admet des trajets supérieurs à 20 km, réalisent plus de 40% des distances parcourues pour le travail. »

cohérente si on devait l'appliquer sur des agglomérations nettement plus petites ? Quelle serait sa pertinence ? En termes de distance, peu d'agglomérations atteignent l'envergure de la région parisienne, qui s'étale sur près de 70 km de rayon. Cependant, certains éléments²⁹ nous portent à croire que malgré l'immensité de ce territoire « d'exception », des logiques de proximité se mettent spontanément en place et limitent la portée des déplacements.

Ainsi, on peut penser que la taille de l'agglomération n'impacte pas autant qu'on pourrait le penser la longueur des déplacements. La conjecture de Zahavi n'énonce-t-elle pas la normalisation des déplacements autour d'un seuil temporel à peu près constant, peu importe la taille de la ville ? En outre, les recherches récentes sur l'excès de navettage, notamment celles de (Charron, 2007, p. 166), qui compare entre cinquante aires métropolitaines Nord-Américaines, vont aussi dans ce sens, montrant que la distance moyenne de navettage observée reste comprise dans une fourchette entre 7 et 15 km, et ce malgré un différentiel de taille des villes choisies très important. Ces éléments portent à croire que la taille d'une agglomération n'est pas un critère suffisant pour se prononcer sur la structure des navettes domicile-travail qu'elle peut porter.

3 Expériences et politiques urbaines : La cohérence urbaine soumise à l'enjeu de la durabilité et construite autour de la notion de proximité

Le concept de la ville cohérente offre une base conceptuelle solide à l'étude de la cohérence urbaine selon l'enjeu de proximité. Ce modèle se substitue à l'idéal réactionnaire de l'étalement urbain et propose une autre vision de la proximité. Après cette présentation théorique, nous allons dans la prochaine partie présenter une série d'expériences de planification urbaine reposant sur les principes de la ville cohérente. Elles reposent pour la plupart sur un principe de compaction et de mixité fonctionnelle et sociale, en cohérence avec le principe des 3D.

A partir des années 90, l'émergence de la notion de développement durable vient apporter la nécessité d'une remise en question des pratiques de planification urbaine, face à un processus d'étalement urbain galopant. Le développement durable devient un enjeu politique et des lois ayant pour objectif d'impulser une gestion plus raisonnée des villes apparaissent. En filigrane, se développe aussi l'idée de l'articulation entre urbanisme et mobilité, toujours poussée par la recherche d'une forme urbaine plus durable. Au cours de cette partie, nous tenterons de

²⁹ Notamment la faible proportion à l'égard de l'échelle du territoire francilien du nombre de ménages mal localisés,

répertorier les politiques s'inscrivant dans l'interaction forme urbaine – mobilité, sous-tendues en arrière-plan par l'urbanisme durable et la recherche d'une cohérence urbaine. L'idée de proximité est toujours présente, l'objectif de ces politiques étant de réduire les distances à parcourir.

3.1 L'expérience Française : Loi SRU et SCOT, l'impératif de cohérence territoriale.

En 2000, la loi SRU (Solidarité et Renouvellement Urbain) marque le début d'une profonde refonte des pratiques de planification urbaine. Elle est une réponse au constat des coûts engendrés par une mauvaise gestion de la planification et introduit l'idée d'une conjugaison des politiques spatiales, de déplacements et d'habitat. Elle s'axe aussi sur un objectif de « mobilité durable », en proposant d'articuler entre urbanisme et transports. Un nouvel outil de planification est mis en place, au nom ambitieux et aussi pour nous particulièrement évocateur : Le Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) (Desjardins & Leroux, 2007).

Le SCOT est un document d'urbanisme français qui remplace l'ancien SDAU. Il incorpore l'aspect de la durabilité car il prend en considération les préoccupations sociales, économiques et environnementales. Il a notamment pour objectif la maîtrise de l'étalement urbain, la mixité sociale et fonctionnelle, ainsi qu'une utilisation économe et équilibrée de l'espace. L'une des ambitions du SCOT est d'articuler urbanisme et déplacement, de surcroît avec l'intégration de la démarche du développement durable. Ainsi, des dispositions sont prises pour lier droit des sols et transports en commun. L'ouverture à l'urbanisation de nouvelles zones est soumise à la condition d'une desserte en transport collectifs suffisante (Desjardins & Leroux, 2007).

Aussi, l'une des questions majeures soulevées par le SCOT est la définition d'une aire d'action qui soit pertinente. Les découpages administratifs servant en général de référence ne correspondent souvent pas aux dynamiques réelles des agglomérations. Le périmètre du SCOT est volontairement étendu et dépasse cette échelle. Il est établi sur la base des aires urbaines, à partir des déplacements domicile-travail, renvoyant ainsi à la définition de la ville cohérente proposée par (Korsu & Massot, 2004) , comme permettant la « mise en cohérence des bassins de vie ».

Enfin, les principes mis en avant par le SCOT semblent se recouper en partie avec les préconisations de la forme urbaine durable vues en partie précédente. Le principe d'équilibre peut être rapproché de l'équilibre entre les emplois et les résidences et va dans le sens d'une mixité des fonctions. Il est complété par le principe de mixité sociale qui peut permettre aux emplois et aux résidences d'être localisés dans les mêmes secteurs. Le principe de renouvellement urbain indique une prise de conscience en faveur d'un développement urbain

qui ne devrait plus être exclusivement dirigé vers la périphérie et se recoupe ainsi avec la recherche d'une urbanisation plus dense. Auxquels s'ajoutent les deux derniers principes de gestion économe des sols et de préservation de l'environnement. La conjugaison de ces cinq principes semble permettre une baisse des coûts généraux de l'urbanisation. En effet, selon (J. Levy, 1998), « la diversité dense coûte moins cher [...] en respect de l'environnement ».

3.2 L'expérience néerlandaise : La politique du VINEX, vers une autre compacité

La politique VINEX au Pays-Bas est un exemple d'application des politiques de compacité « originale. Les Pays-Bas se caractérisent par l'une des densités de population la plus élevée en Europe et par une superficie relativement limitée. C'est pourquoi la lutte contre l'étalement urbain est un enjeu majeur. Dès 1985, devant le constat de la fuite des habitants du centre-ville après la mise en place des villes nouvelles notamment autour d'Amsterdam³⁰, l'Etat instiguit toute une série de mesures à travers des politiques de compacité. Le VINEX³¹ adopté dès 1993 propose une structure urbaine compacte, dont l'un des objectifs notables est de limiter la croissance automobile pour la mobilité personnelle.

Le VINEX affiche clairement sa volonté d'atteindre une forme urbaine durable par la compacité, cependant les moyens d'action élaborés pour atteindre cet objectif et le cadre de réflexion stratégique adopté la différencient de l'approche de la ville compacte vue au chapitre précédent. Les mesures que prône le VINEX sont la densité, mixité d'usage du sol et le renouvellement urbain (Vanco, 2011).

L'action s'articule autour de deux points essentiels :

3.2.1 Une politique d'habitat volontariste et qui encourage la densification.

L'Etat lance des projets massifs de construction de logement publics, grâce à une maîtrise foncière et un soutien financier massif. Les logements sont construits en immédiate proximité des zones déjà urbanisées, s'inscrivant ainsi dans le renouvellement urbain. La densité qui n'est pas toujours acceptée par les individus, est rendue « plus supportable », en favorisant la construction de maisons individuelles avec jardin. L'Etat donne des subventions aux villes à la hauteur des infrastructures de transport ou zones de loisirs et d'activité qu'elles aménagent à

³⁰ Ce serait plus de 150 000 habitants qui fuient le centre d'Amsterdam pour s'installer en périphérie, ce qui provoque paupérisation et congestion du centre-ville.

³¹ Acronyme en néerlandais de « Quatrième document de politique nationale sur l'aménagement de l'espace »

proximité des quartiers « VINEX », cela est aussi une manière d'encourager une mixité fonctionnelle.

3.2.2 Une politique de transport luttant contre la dépendance automobile

La politique d'habitat aux Pays-Bas est étroitement liée à une politique de transport intégrée, illustrant une approche holistique en matière de planification urbaine. Cette stratégie comprend une forte promotion de la mobilité cyclable, ancrée dans la culture néerlandaise, avec des mesures telles que les « zones 30 », la gratuité des parkings à vélo et des incitations fiscales pour les cyclistes, dans le cadre du BMP (Plan Néerlandais pour la Bicyclette) ((Baudelle, 2014; Héran, 2015). L'élément le plus innovant est la politique « ABC », basée sur l'idée que la localisation des entreprises a un impact significatif sur la mobilité quotidienne (Martens & van Griethuysen, 1999). Concrètement, cela se traduit par la mise en place de profils types. D'une part, on attribue à chaque entreprise un profil type selon sa nature et la quantité de déplacement qu'elle est susceptible de générer³². D'une autre part, on attribue aussi un profil type aux localisations, selon leur accessibilité³³. Des mesures de régulation du stationnement sont également mises en place, limitant les places de parking pour les entreprises proches des nœuds de transport en commun. Bien que globalement bien acceptée, la nature contraignante de la politique ABC a entraîné un assouplissement de son application dans certaines régions (Conférence Européenne des Ministres des Transports, 2001). Cette approche néerlandaise est un exemple de recherche de cohérence urbaine, intégrant habitat et transport.

3.3 L'expérience Nord-américaine : Smart Growth et New Urbanism.

L'expérience nord-américaine, s'étant appliquée surtout aux Etats-Unis et au Canada, est connue sous le nom de « Smart Growth »³⁴. Elles sont en partie basées sur les acquis de la ville compacte, qu'elles complètent par un certain nombre de mesures. Cela place donc ces politiques dans le champ de la cohérence urbaine.

³² Ces profils types sont au nombre de 3 : A : correspond à des activités, en général dans le secteur du tertiaire, attirant un grand nombre de visiteurs (bureaux, musées, etc.). B : correspond aux centres de production, recherche et grande distribution. C : correspond aux activités logistiques et de livraison ou stockage.

³³ Ces profils d'accessibilité sont au nombre de 4 : A : Nœuds principaux de transports publics. B : Assez bien desservis par les transports en commun et accessible en voiture. C : Localisation à forte dépendance automobile. R : Mauvaise accessibilité, en voiture et en transports publics.

³⁴ Qu'on peut traduire par « développement urbain efficient ».

3.3.1 Smart Growth : une idée américaine du développement urbain durable

Le "Smart Growth" est une approche d'aménagement durable à échelle régionale, visant à promouvoir un développement urbain durable, à réduire la dépendance à l'automobile et à encourager les modes de transport alternatifs (Cervero & Kockelman, 1997). Ce concept privilégie un développement urbain compact, incluant des stratégies de renouvellement urbain, de revitalisation des centres-villes et de rétention urbaine, tout en insistant sur une densité assortie d'une mixité fonctionnelle (Danielsen et al., 1999). Aux États-Unis, Portland est un exemple emblématique de l'application du smart growth, avec des investissements dans les transports publics multimodaux et la mise en place du premier « Pedestrian Master Plan » du pays, ainsi qu'une politique stricte de rétention urbaine pour préserver les espaces naturels. Au Canada, Vancouver est reconnue pour son « *Livable Region Strategic Plan* » de 1995, qui vise à créer une agglomération compacte et mixte, bien desservie par les transports en commun et propice à la marche. Le gouvernement canadien soutient ces démarches en récompensant les municipalités exemplaires (Ouellet, 2006). Le Smart Growth répond aux défis d'étalement urbain et de diversité des politiques urbaines aux États-Unis, où l'autonomie des États rend la mise en œuvre d'urbanisme uniforme complexe.

3.3.2 New Urbanism :

Le New Urbanism, apparu en Amérique du Nord, est lié mais diffère du Smart Growth, notamment par son échelle d'application plus ciblée et son approche plus concrète. Ce mouvement, regroupant des professionnels au sein du « *Congress for the New Urbanism* » et des figures de référence (Hack & Fishman, 2012)³⁵, promeut une réduction de la dépendance automobile et vise à recréer une forte vie communautaire semblable à celle des quartiers du début du XXe siècle (Lund, 2003). Selon Fulton (1996), il vise à créer des environnements urbains favorisant la convivialité et le contact social, tout en étant propices à la marche et aux transports en commun. Basé sur des principes de design urbain, le New Urbanism privilégie des développements compacts, le transport en commun et l'intégration de diverses fonctions urbaines, tout en impliquant divers acteurs dans une démarche participative (Ouellet, 2006). Des projets comme Seaside et Celebration en Floride, Prospect New Town au Colorado et Val

³⁵ On peut citer Calthorpe, Duany, Zyberk, McCormick.

d'Europe en France illustrent l'application de ces principes. Au Canada, Gatineau adopte une approche de village urbain inspirée par le New Urbanism (Duquette, 2004).

On peut ressortir de ces expériences avec plusieurs conclusions. La première est la proximité entre la poursuite de l'idéal d'une forme urbaine durable et la volonté d'articuler un ensemble de politiques sectorielles, notamment celles d'habitat, de mobilité et de planification urbaine, dans une démarche intégrée et prenant en considération le développement urbain d'une manière globale. La notion de cohérence urbaine peut en premier lieu être comprise comme la volonté d'articuler un ensemble de décisions et de politiques suivant un objectif global. En second lieu, il faut noter l'importance accordée à un développement urbain compact. En effet, l'ensemble des expériences abordées se basent sur une politique de compaction qui peut prendre différentes formes (rétention urbaine, renouvellement urbain). On retrouve là l'idée que la ville cohérente dérive bien de la ville compacte. Cependant, cette recherche de la densité n'est pas sans s'accompagner de mesures complémentaires, notamment à travers la recherche d'une mixité des fonctions ou encore la volonté de rendre la densité plus « agréable »³⁶. L'accent est mis sur la proximité des activités dans l'optique d'une forme urbaine plus durable. Toutes les expériences abordées condamnent l'usage de la voiture individuelle et proposent des solutions pour sortir de la dépendance automobile, que ce soit à travers des politiques d'encouragement du vélo, la création de formes urbaines propices à la marche et aux modes doux, une gestion de la localisation des entreprises et des résidences ou encore un développement urbain autour des nœuds de transports en commun.

4 Indicateurs et outils : des pistes d'évaluation de la cohérence urbaine fonctionnelle

L'enjeu de proximité, dont découle la définition de la cohérence urbaine fonctionnelle³⁷, est basé sur le principe fondamental que le rapprochement des lieux fréquentés quotidiennement par les individus conditionne la cohérence urbaine d'une agglomération. Ainsi, nous identifions dans la littérature deux grandes familles d'indicateurs, en accord avec l'enjeu de proximité et qui permettent une évaluation de la cohérence urbaine fonctionnelle. En premier lieu, les

³⁶ Dans l'expérience néerlandaise, les logements proposés dans le cadre des politiques VINEX sont prioritairement des logements individuels. On peut aussi citer les villages urbains qui visent à recréer une densité agréable et interactive « à l'ancienne ».

³⁷ Pour rappel, c'est le nom que nous donnons au champ de recherches urbaines autour de l'enjeu de proximité et fondé sur un dépassement de la ville compacte. Il est basé sur une vision fonctionnelle de la ville qui s'intéresse à la répartition spatiale des emplois et résidences.

indicateurs de mixité et de diversité fonctionnelle, qui quantifient le degré de déconcentration des activités dans l'espace urbain. En second lieu, les indicateurs basés sur la distance (ou le temps) de navettage, qui quantifient l'éloignement entre les lieux de résidence et d'emploi.

4.1 Indicateurs de la mixité et de la diversité fonctionnelle

La charte d'Athènes (Le Corbusier, 1943) instituait il y a presque un siècle de cela, le zoning fonctionnel et la séparation stricte des fonctions au sein d'une ville. Dans leur idéal, les urbanistes des CIAM pensaient simplifier la ville en y appliquant une planification rationalisée. Cependant, une telle conception de la ville a très rapidement montré ses limites, mettant en avant aussi par la même occasion la nécessité d'une mixité fonctionnelle. De très nombreuses doctrines et théories urbaines actuelles soulignent l'importance d'une mixité fonctionnelle, telles que le Smart Growth (Geller, 2003), le New Urbanism (Fulton, 1996), ou encore la ville durable et s'accompagnent d'une prescription sur la forme urbaine, compacte et incitant aux modes de déplacement doux. Les bénéfices de la mixité fonctionnelle sont multiples, telles que le rapprochement des lieux d'activités et de résidence (Charron, 2007)³⁸, la réduction de la dépendance à l'automobile, ou encore la promotion des modes de déplacement actifs et l'impact sur la santé publique qui en découle.

Il existe dans la littérature de nombreuses méthodes de mesure de la mixité et de la diversité fonctionnelle. Dans cette section, nous exposerons quelques méthodes parmi les plus répandues dans la littérature. Elles peuvent être divisées selon deux catégories : les méthodes agrégées et les méthodes désagrégées (Song et al., 2013). Nous n'avons pas vocation dans cette section de produire une méthode détaillée et originale d'évaluation de la cohérence urbaine fonctionnelle, mais plutôt d'apporter des pistes de réflexion et des éléments concrets déjà présents dans la littérature. Les indicateurs présentés peuvent servir de point de départ vers une quantification plus précise de la cohérence urbaine fonctionnelle.

4.1.1 Les méthodes de mesure agrégées de la mixité fonctionnelle

Les méthodes de mesure agrégées, en considérant une zone spatiale dans laquelle seraient réparties des fonctions urbaines³⁹, donnent une information générale et globale sur la répartition

³⁸ Charron (2007) montre que la mixité fonctionnelle admet une corrélation très forte avec la minimisation des distances de navettage. Il se confond d'ailleurs même avec le navettage minimal permis par la forme urbaine.

³⁹ Nous utiliserons l'expression « *fonction urbaine* » comme la traduction approximative de l'expression « *land-use* » dans la littérature anglophone.

des fonctions au sein de cette zone. Par conséquent, les méthodes agrégées ne sont pas sensibles aux variations d'échelle inférieure au sein de la zone étudiée. Ces méthodes sont aussi sensibles à la taille des zones étudiées, plus ces zones sont grandes et plus la précision des résultats sera approximative⁴⁰. Toutefois, les méthodes de mesure agrégées de la mixité fonctionnelle sont les plus faciles à calculer et donnent des résultats aisément compréhensibles.

- **Pourcentage et proportions :**

Cette méthode est utilisée lorsque le nombre de fonctions urbaines n'excède pas un. Elle calcule simplement le pourcentage d'occurrence d'une fonction urbaine dans une zone. Cela implique bien entendu de définir l'unité et le type de quantité mesurée (surface, parcelles, etc.) et d'avoir le nombre total de cette quantité dans la zone étudiée. Cette méthode peut être efficace lorsque la fonction urbaine étudiée est relativement rare et peut donner, malgré sa simplicité une information relativement pertinente.

- **Indice d'équilibre**

Cette méthode mesure le degré auquel deux fonctions urbaines existent en équilibre dans la zone d'étude (Voir Annexe 1). La valeur résultante est comprise entre 0 et 1, les valeurs plus élevées étant associées à une plus grande mixité fonctionnelle (donc aussi un niveau d'équilibre plus grand). Cet indice s'impose d'une manière relativement claire et ne pose pas de problème quant à son interprétation, tout en demeurant relativement facile à calculer. Il est idéal lorsque les fonctions urbaines à calculer sont au nombre de deux (zones résidentielles / zones non résidentielles), il existe néanmoins des généralisations à plus de deux (Song et al., 2013). L'indice d'entropie est aussi symétrique⁴¹. Cependant, il peut nécessiter une base de données géographique précise et fournie.

- **Indice d'entropie**

Cette méthode utilise l'indice d'entropie (Voir Annexe 1), qui mesure la mixité fonctionnelle en prenant en considération le pourcentage relatif de représentation de chaque fonction urbaine

⁴⁰ Ce problème est connu dans la littérature sous le nom de MAUP (Modifiable Area Unit Problem) (Dark & Bram, 2007). Par exemple, une zone plus large pourra apparaître plus mixte fonctionnellement, en raison d'un plus grand nombre d'éléments pris en considération, et donnera donc un résultat plus proche de l'équilibre.

⁴¹ Un indice symétrique signifie que la mesure de la mixité fonctionnelle qu'il fournit sera équivalente, même en cas de permutation des fonctions urbaines. La symétrie peut-être une propriété mathématique et conceptuelle intéressante, cependant, une mesure asymétrique est inévitable dans le cas où la méthode ne prend en considération qu'une seule fonction urbaine.

de la zone étudiée. La dénomination de cet indice dérive de la thermodynamique, dans laquelle deux corps en interaction arriveront naturellement à un état d'équilibre, qui correspond à une entropie maximale. De la même manière, une mixité fonctionnelle plus élevée correspondra à des valeurs plus élevées de l'indice d'entropie. La valeur résultante est comprise entre 0 et 1. Cet indice est généralement utilisé lorsque les fonctions urbaines sont supérieures ou égales à 2. Cependant, la méthode de calcul basé sur l'indice d'entropie est parfois remise en cause, car elle repose sur l'hypothèse qu'une équivalence parfaite entre toutes les fonctions urbaines est la configuration qui donne la mixité fonctionnelle la plus élevée, ce qui n'est pas en adéquation avec la réalité urbaine complexe des villes contemporaines. Dans ce cas, il est recommandé de calibrer l'indice d'entropie suivant les données géographiques de la zone à étudier (Song et al., 2013).

4.1.2 Les méthodes de mesure désagrégées de la mixité fonctionnelle

Les méthodes de mesure désagrégées, par opposition aux méthodes agrégées, donnent une mesure plus précise de la mixité fonctionnelle au sein d'une zone. Elles sont sensibles aux variations des fonctions urbaines à plus petite échelle. Ces méthodes reposent généralement sur une subdivision de la zone étudiée en zones prédéfinies (par exemple des ilots au sein d'un quartier, ou des sous-divisions administratives). Bien qu'elles soient plus précises que les méthodes agrégées, les méthodes désagrégées présentent tout de même certaines limites. Ainsi, elles ne sont pas sensibles aux variations à très petite échelle à l'intérieur des districts, tout comme elles ne sont pas sensibles à la configuration spatiale de la forme urbaine. Aussi, tout comme les méthodes agrégées, elles sont sensibles à la taille des subdivisions. Enfin, en raison des données plus conséquentes, ces méthodes sont considérablement plus complexes à calculer.

- **Indice de dissimilarité**

L'indice de dissimilarité (Voir Annexe 1) mesure à quel point la distribution des fonctions urbaines à l'intérieur des districts est similaire à la distribution totale de la zone d'étude. Il peut donc être compris comme une mesure du degré d'uniformité des fonctions urbaines à travers les districts. L'indice se situe entre 0 et 1, une valeur proche de 0 indiquant une mixité fonctionnelle élevée. La méthode de calcul de l'indice de dissimilarité peut être utilisée dans le cas où les fonctions urbaines sont supérieures ou égales à 2⁴². Elle demeure relativement simple

⁴² La formule de l'indice de dissimilarité présentée plus bas s'applique pour la détermination de la mixité fonctionnelle avec deux fonctions urbaines.

à calculer dans la mesure où elle ne nécessite pas de protocole particulier, en dehors de la détermination des surfaces des fonctions urbaines pour chaque district. Cette méthode a aussi l'avantage de ne pas nécessiter de calibration, puisque le pourcentage d'occurrence de chaque fonction urbaine dans les districts est pondéré par sa taille. En revanche, si la zone d'étude présente de très grandes disparités dans ses fonctions urbaines, l'indice de dissimilarité sera moins précis. Dans ce cas, Song et al. (2013) suggèrent de compléter la méthode en faisant recours à une mesure agrégée de la mixité fonctionnelle.

- **Indice de concentration**

L'indice de concentration (Voir Annexe 1) mesure le degré de concentration d'une fonction urbaine à travers une zone d'étude, et par conséquent à quel point cette fonction urbaine est ségréguée par rapport aux autres. Il est compris entre 0 et 1, les valeurs les plus proches de 1 indiquant une concentration plus forte et donc une mixité fonctionnelle moins élevée. Cette méthode de mesure de la mixité fonctionnelle à la particularité d'être sensible à la disposition spatiale des fonctions urbaines mesurées, en introduisant la distance relative entre les districts, elle présente donc un intérêt particulièrement élevé dans les études urbaines. Si cette méthode se révèle être très précise, elle n'en demeure pas moins considérablement difficile à calculer et nécessite un grand nombre de données. Aussi, l'indice de concentration reste lui aussi assez sensible à la taille des districts, ce pourquoi il doit être testé avec différentes tailles de subdivisions.

- **Indice de Gini**

L'indice de Gini (Voir Annexe 1), issu des travaux du sociologue italien Gini (1912), calcule l'uniformité de la distribution de deux fonctions urbaines à travers les districts. Il est similaire à l'indice de dissimilarité, puisqu'il mesure l'éloignement plus ou moins grand de l'équilibre des fonctions urbaines dans les districts. Ainsi, étant lui aussi compris entre 0 et 1, une valeur proche de 0 indiquera une plus grande mixité fonctionnelle (ou une égalité parfaite entre tous les districts de la zone d'étude). L'indicateur est symétrique. Cependant, la méthode de calcul s'avère plus délicate, en raison des districts qui doivent être placés dans l'ordre croissant et du calcul des sommes cumulées qui constitue une étape préliminaire. Cette complexité de calcul et sa proximité avec l'indice de dissimilarité font qu'il est assez peu usité et recommandé pour le calcul de la mixité fonctionnelle (Song et al., 2013).

Dans cette première partie, nous avons répertorié plusieurs méthodes de mesure de la mixité et de la diversité fonctionnelle. Elles sont classées suivant deux catégories : les méthodes

agrégées, qui fournissent une information générale, correspondant à la moyenne de toutes les fonctions urbaines dans une zone d'étude ; les méthodes désagrégées qui donnent une information plus fine et précise, en se basant sur une subdivision de la zone d'étude et la détermination des ratios des fonctions urbaines pour chaque subdivision. La mixité fonctionnelle est un des indicateurs clés de la cohérence urbaine fonctionnelle, puisqu'il conditionne directement la proximité des activités au sein de l'espace urbain. Nous allons maintenant nous intéresser à une autre famille de méthodes en relation avec les distances de navettage.

4.2 Indicateurs de navettage

4.2.1 Navettage et excès de navettage : une définition conceptuelle

Le navettage, trajet quotidien entre le domicile et le lieu de travail, est une base solide pour étudier la mobilité quotidienne en milieu urbain. Selon Charron (2007), il combine deux axes : la forme urbaine, représentant la configuration spatiale des lieux de résidence et de travail, et la mobilité, définie comme le déplacement et le potentiel de déplacement, ou « la capacité à accéder physiquement aux possibilités de la forme urbaine ». Le navettage influence fortement la structuration spatiale urbaine, les déplacements domicile-travail étant les plus contraignants et réguliers. Il s'inscrit ainsi dans l'étude de la cohérence urbaine par l'enjeu de proximité. L'excès de navettage, concept basé sur la différence entre la distance réelle et la distance minimale de navettage permise par la forme urbaine, est un cadre d'analyse simplifié mais efficace pour évaluer l'efficacité de la forme urbaine et les préférences individuelles de proximité. Depuis trente ans, les recherches sur l'excès de navettage enrichissent la littérature, offrant des perspectives sur la réalisation d'une forme urbaine plus durable (Hamilton & Röell, 1982; Horner, 2002; Peng, 1997).

4.2.2 Forme urbaine et méthode d'appariement des emplois et résidences

- **Nature de la forme urbaine et préalables méthodologiques**

Dans le cadre conceptuel imposé par le navettage en excès, la forme urbaine est considérablement simplifiée. Elle se présente comme étant une configuration spatiale d'éléments ponctuels représentant les emplois et les résidences. Pour le calcul du navettage, il est supposé qu'il existe autant d'emplois que de résidences, puisque ces deux éléments sont regroupés par paire. Il est aussi postulé que ces emplois et résidences sont interchangeables,

excluant ainsi toute différence de nature dans les emplois (services, industries, etc.) ou dans les résidences (habitat collectif, pavillonnaire, etc.). L'espace est aussi considéré comme étant absolu et plat, sans aucune contrainte liée à la morphologie ou à la capacité de se déplacer des individus. La principale donnée étudiée sera la distance ou le temps qui sépare les emplois des résidences.

- **Matrice d'appariement et méthode simplex**

Les emplois et les résidences forment des paires, il existe donc une paire pour chaque emploi et résidence, caractérisée par la distance entre les deux. Chaque paire est ainsi placée dans une matrice d'appariement des lieux d'emploi et de résidence. Pour illustrer notre propos, nous faisons appel à un marché fictif d'emplois et de résidences constitué de 4 lieux d'emplois et 4 lieux de résidence (voir Annexe 2), appariés d'une manière aléatoire. Cet appariement représente un des possibilités de navettage sur les 16 possibles. De la même manière, la méthode simplex traditionnellement utilisée dans le cadre du calcul du navettage excessif repose sur une matrice d'allocation optimisée de façon itérative. Ainsi, la possibilité de navettage qui minimise la distance est celle pour laquelle la somme pondérée des distances de navettage est la plus petite.

4.2.3 Possibilités et mesures du navettage

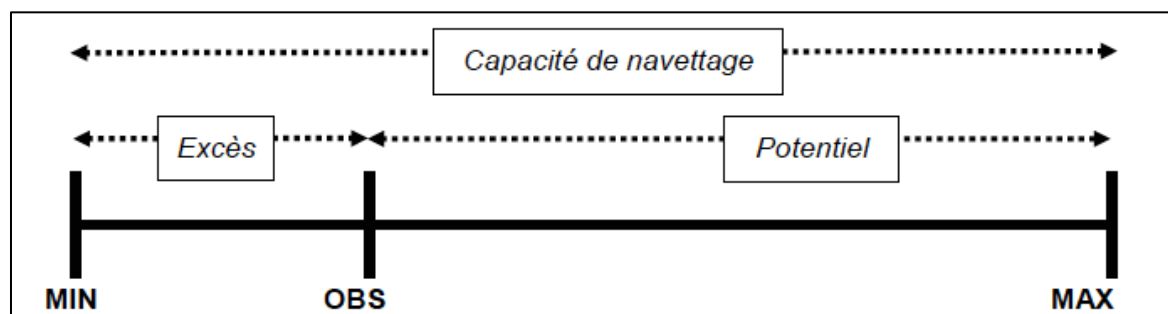


Figure 8 : Les valeurs clés du navettage. Source : (Charron, 2007)

Le cadre théorique du navettage excessif introduit certaines valeurs repère (Figure 8), utiles pour la comparaison de différents contextes et pratiques de navettage (Voir Annexe 3). Le cadre conceptuel du navettage excessif se révèle être relativement pertinent et complet dans l'évaluation de la proximité entre lieux d'emploi et de résidence. Il repose sur des variables indépendantes et fixes de la forme urbaine, telles que MIN, MOY et MAX, qui sont des valeurs repères, autant que des indicateurs morphologiques ; ainsi que sur l'unique variable dépendante OBS qui exprime le comportement réel de navettage observé. Suivant la position de OBS, on peut déduire les comportements des travailleurs en fonction des possibilités offertes par la

forme urbaine. En outre, l'excès de navettage apporte un complément aux indicateurs de mixité fonctionnelle, cette dernière étant nécessaire mais loin d'être suffisante pour réduire les distances à parcourir. C'est justement dans sa capacité à quantifier l'écart entre le potentiel de réduction des distances et les distances effectivement parcourues que l'excès de navettage s'avère particulièrement efficace. Cependant, le cadre conceptuel de l'excès de navettage présente de nombreuses limitations, quant à sa méthode et aux simplifications parfois radicales mais inévitables. C'est pourquoi il faut considérer les valeurs présentées plus haut surtout comme indicatives et les compléter par une approche plus axée sur la morphologie physique et spatiale.

D'une manière générale, les méthodes et indicateurs présentés dans cette première partie font écho à l'enjeu de proximité dont découle la cohérence urbaine fonctionnelle. Nous avons parlé de deux grandes familles d'indicateurs : les indicateurs de mixité et de diversité fonctionnelle et les indicateurs de navettage. Ce ne sont pas les seuls existants pour quantifier la proximité dans une agglomération, mais en raison de leur autorité et de leur présence dans la littérature, nous estimons qu'ils offrent une base solide pour l'étude de cette dernière. Ces indicateurs affichent cependant des lacunes, principalement dans le fait qu'ils appartiennent à une vision fonctionnelle de la ville, passant sous silence sa réalité multiple et complexe.

Conclusion du chapitre trois

Ce chapitre dédié à l'exploration de la cohérence urbaine dite « fonctionnelle », à travers l'enjeu de proximité a permis de mettre à jour des pans de la recherche scientifique centrés autour d'une forme urbaine plus durable. L'enjeu de proximité est basé sur une volonté de minimiser les distances. En démarrant de l'interaction forme urbaine mobilité, nous avons pu expliquer les leviers d'influence que la forme urbaine, vue comme une distribution d'emplois et de résidences couplées, pouvait avoir sur la mobilité quotidienne, notamment à travers la densité, la diversité et le dessin urbain. Nous revenons ensuite sur l'après ville compacte, par l'intermédiaire du modèle de la ville cohérente, qui cherche à tirer les avantages de la compacité sans pour autant en avoir les inconvénients. Pour ce faire, la ville cohérente se base sur une minimisation des distances temporelles sans imposer une proximité spatiale. Ce modèle de la ville cohérente est ensuite testé sur la région Ile de France et donne de nombreux enseignements bénéfiques à la compréhension de la cohérence urbaine, notamment en ce qui concerne la relative proximité déjà existante entre les emplois et les résidences. Ensuite, nous abordons une série d'expériences de planifications urbaines européennes, qui apportent du concret à cet idéal de

minimisation des distances à parcourir. Deux points sont à noter : la recherche de proximité s'accompagne toujours d'une recherche de diversité fonctionnelle, l'application de telles politiques urbaines implique un très haut niveau de contrôle et d'interventionnisme. Enfin, nous présentons des pistes d'indicateurs pour estimer et évaluer la cohérence urbaine fonctionnelle. Ces derniers se subdivisent en deux grandes familles. D'un côté, les indicateurs de diversité fonctionnelle et d'un autre les indicateurs de navettage. De telles métriques peuvent constituer le point de départ vers une méthode d'évaluation plus poussée de la cohérence urbaine fonctionnelle.

La vision fonctionnelle de la ville développée dans ce chapitre passe cependant sous silence sa réalité multiple et complexe. C'est d'ailleurs là l'intérêt majeur de la notion de cohérence urbaine que nous développons dans cette thèse, de traiter conjointement la ville contemporaine sous les prismes combinés d'une vision à la fois fonctionnelle et morphologique. C'est pourquoi nous présentons dans le chapitre suivant une vision complémentaire de la cohérence urbaine fonctionnelle, que nous appellerons « cohérence urbaine morphologique ». Cette dernière est centrée autour d'un deuxième enjeu, celui de la consistance de la forme urbaine et s'appuie sur l'étude de la forme physique et spatiale de la ville

.

**Chapitre IV : La cohérence urbaine
morphologique à travers l'enjeu de
consistance de la forme urbaine :
littérature, fondements théoriques et
indicateurs**

Introduction du chapitre quatre

Dans le chapitre précédent, la forme urbaine revêtait la signification d'une distribution spatiale d'emplois et de résidences. Ce n'est pas la seule définition admise pour la forme urbaine. En effet, ce terme est aussi très souvent associé à la forme physique et spatiale d'une ville et étudier les éléments physiques tels que le bâti et le réseau routier. Les flux étudiés dans le chapitre précédent sont en réalité indissociables des canaux physiques qui les supportent. Ces canaux sont limités spatialement et ne peuvent accueillir une infinité de flux. Aussi, leur capacité influence directement l'intensité des flux qu'ils portent, tout comme leur configuration spatiale. Les flux peuvent être perturbés par des coupures physiques et des obstacles.

Dans ce chapitre, nous développons une vision autre de la cohérence urbaine, bien que tout à fait complémentaire de la cohérence urbaine fonctionnelle. Elle est centrée autour de l'enjeu de « consistance » de la forme urbaine, terme qui nous a semblé le plus approprié et résumant au mieux le contenu de cette partie de la littérature. Dans cette vision de la cohérence urbaine, l'enjeu majeur est celui d'une forme urbaine plus connectée, plus perméable aux flux et aux mouvements, en adéquation avec les déplacements qu'elle porte, mais aussi mieux structurée et ordonnée. Elle obéit toujours au même objectif que la cohérence urbaine fonctionnelle, à savoir une forme urbaine plus efficace et durable. Nous appellerons désormais ce champ de la littérature *cohérence urbaine morphologique*.

Nous présenterons dans un premier temps la littérature autour de l'enjeu de consistance de la forme urbaine, qui constitue la fondation théorique de la cohérence urbaine morphologique, particulièrement centrée autour d'une vision de la ville comme un système complexe. Dans un second temps, nous ferons un point sur les indicateurs existants dans la littérature et qui permettent de quantifier la cohérence urbaine morphologique.

1 Littérature et fondements théoriques de la cohérence urbaine morphologique : les théories fondatrices de Christopher et Salingaros

Dans cette section, nous présentons la littérature centrée autour de l'enjeu de consistance de la forme urbaine. Nous présenterons à cet effet les travaux pionniers d'Alexander à l'origine d'une approche holistique de la ville. Ces travaux sont absolument fondamentaux dans la compréhension des mécanismes sous-jacents qui structurent un système aussi complexe qu'une ville et seront déterminants pour la suite de notre recherche. Ensuite, nous aborderons la cohérence urbaine à travers la vision de Salingaros, qui donne des clés de lecture de la notion à

travers une vision complexe des villes actuelles. Nous reviendrons alors à Alexander à travers son célèbre ouvrage « *a pattern langage* », qui décrit des modèles types d'aménagement de villes pour atteindre une cohérence urbaine.

1.1 Les rapports fondamentaux entre les parties et le tout, entre cohérence, « wholeness » et théorie des centres : l'approche holistique d'Alexander

Nous introduisons là un champ d'études connu sous le nom de « holistique ». Bien que toujours d'actualité, cette vision a d'abord été introduite par Jacobs (1961) dans son essai fondateur « *The Death and Life of Great American Cities* ». Elle y défend, en dépit des idées fonctionnalistes, l'idée que les villes sont des systèmes complexes et dynamiques, mieux compris « de bas en haut » à travers l'observation des rues et des quartiers, plutôt que par des modèles théoriques. Ce champ de réflexion s'inscrit dans une vision systémique de la ville. Dans cette perspective, la ville est présentée comme un système complexe et interconnecté, où les domaines sociaux, économiques, environnementaux, culturels et technologiques interagissent et se renforcent mutuellement. Adopter une approche holistique signifie reconnaître que les interventions dans un aspect de la ville peuvent avoir des conséquences dans d'autres domaines, et qu'une compréhension complète nécessite une vision globale et intégrée. Une importance considérable est donnée à l'interaction entre tous les éléments du système, de telle manière à ce que l'ensemble ne puisse être simplement décrit par la somme de ces éléments. Cette vision holistique est absolument fondamentale dans la compréhension de la cohérence urbaine.

Dans un premier temps, l'étude des formes urbaines sera reléguée au second plan, au profit d'une présentation de principes abstraits. En effet, nous ne parlons pas concrètement de ville, mais plutôt de systèmes et de méréologie⁴³. Bien que cet effort puisse sembler hors de propos, nous insistons sur la nécessité d'introduire cette branche de la logique formelle. Si nous voulons comprendre la cohérence urbaine, il faut comprendre la science des systèmes, et pour comprendre la science des systèmes, il faut comprendre les relations qui peuvent exister entre les parties et comment ces parties s'assemblent pour former un tout. A cet effet, nous présentons dans cette section la vision d'Alexander (2004), qu'il développe dans son essai « *The Nature of Order* », dans lequel il essaie de comprendre ce qui rend vivant les objets architecturaux et urbains, à travers une analogie avec les propriétés géométriques présentes dans la nature. Ses théories sont particulièrement intéressantes à étudier, parce qu'il est avant tout architecte et

⁴³ La méréologie est une branche de la philosophie et de la logique formelle qui étudie les relations entre les parties et le tout, ainsi que les relations entre les parties elles-mêmes.

urbaniste, et qu'il propose une vision très aboutie et complète à propos des environnement bâtis. Plus loin dans ce chapitre, nous présenterons l'aboutissement des principes théoriques que nous développons dans cette partie

1.1.1 Théorie des centres et « wholeness »

L'idée de *wholeness*⁴⁴ se recoupe en de nombreux points avec la notion de système dans les sciences de la complexité. Elle peut se traduire par la propriété intrinsèque d'un ensemble d'objets distincts en interaction et qui forment ensemble un « tout » cohérent et intelligible. Alexander définit la notion de « whole » comme une structure définie dans une certaine portion d'espace par toutes les entités cohérentes la constituant et par la manière dont ces entités se recoupent et échangent entre elles. A cette définition encore abstraite, il donne l'exemple d'une feuille de papier sur laquelle on aurait dessiné un point noir au milieu. La feuille, même blanche reste perçue comme un tout, mais une fois le point noir dessiné, des lignes de force se créent et Alexander identifie plus de 20 entités spatiales dérivant de l'introduction de ce simple point (Figure 9). Le wholeness est ainsi défini comme la propriété acquise par l'ensemble de ces zones perçues consciemment ou inconsciemment, reconnues comme étant le système « feuille de papier avec un point au milieu ».

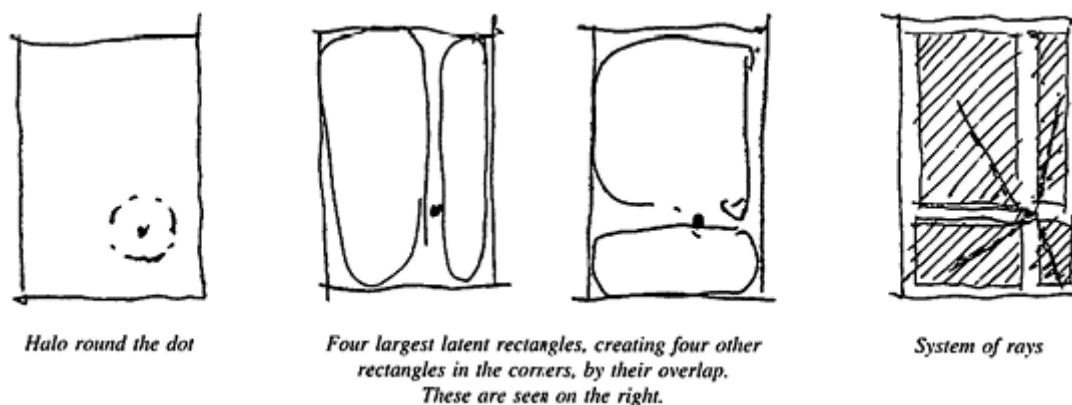


Figure 9 : Zones et lignes de forces créés par l'introduction d'un point noir sur une feuille de papier blanche

Par la suite, Alexander émet quelques observations sur les entités qui forment le tout. Il remarque notamment que ces entités sont délimitées spatialement, symétriques à l'échelle

⁴⁴ Le terme anglais est « wholeness » que nous pouvons approximativement traduire par « intégralité », « entièreté », « totalité », « l'idée d'un tout » ou encore « unité surgissant d'un tout ». Cependant, pour rester exact et fidèle à l'esprit de l'auteur, nous conservons le terme original de « wholeness ».

locale, relativement homogènes, connectées topologiquement ce qui fait qu'on les reconnaît comme étant compactes.

En complémentarité avec la notion de wholeness, Alexander définit la notion de « centre », afin de mieux préciser le statut de l'ensemble des éléments qui constituent un tout, qui n'existent pas en dehors de ce tout. Un centre est alors défini comme un ensemble physiquement structuré, délimité dans l'espace, ayant une cohérence interne et de par sa différenciation avec les autres éléments qui l'entourent est reconnu comme un objet ou évènement distinct qui focalise l'attention sur lui⁴⁵. C'est ensuite à partir de cette notion de « centre » qu'Alexander affine sa définition de « wholeness » : « *Le wholeness de toute partie du monde est ce système de centres plus grand et plus petits, dans leur connections et chevauchements* » (Alexander, 2004, p. 90,91). Ce cadre de réflexion, qui consiste à voir le monde en termes de « centres » et de « wholes », constitue la fondation de tout le propos qu'Alexander déploie dans les quatre volumes de son essai, autour du sujet principal de la « Vie ». Dans une démarche biophilique⁴⁶, il cherche à recréer la vie qui était associée aux constructions humaines avant l'ère du modernisme.

1.1.2 Quinze propriétés fondamentales des centres en interaction à l'origine de l'émergence la vie

L'une des idées principales d'Alexander, dans son essai « *The Nature of Order* » est que la « Vie » est une propriété qui est loin de se limiter à la biologie, qu'il définit très subjectivement comme un ressenti, une essence, une aura se dégageant de certains systèmes qui ne sont pas nécessairement vivants au sens biologique. Ainsi, une ville, un bâtiment, un lac, un océan, un morceau de bois peuvent être définis suivant leur « degré de vie ». Par la suite, il pose l'hypothèse que le degré de vie d'une entité, situation ou système est une caractéristique fondamentale et objective, qui existe en dehors de toute perception humaine, et qui donc par conséquent peut être observée et mesurée.

Alexander explique que la vie de toute partie de l'espace vient de la manière dont ses centres interagissent et créent une cohérence entre eux pour arriver à un certain « wholeness ». Plus loin dans son essai, Alexander note une remarque qui attire particulièrement notre attention, et qui justifie la place de sa pensée dans cette partie traitant de la littérature sur la cohérence. Il

⁴⁵ Pour Alexander, un centre peut aussi bien être un objet comme un évier, une fenêtre, une colonne, un ornement, tout comme il peut être un rayon de lumière, un espace, un débat entre deux personnes. Cette définition non restrictive 'intéresse à des portions de l'espace qui attirent et focalisent l'attention sur eux, d'où l'appellation de centres.

⁴⁶ La démarche de conception biophilique (biophilic en anglais) cherche à recréer un lien avec la nature dans la conception et le design. Ce concept se recoupe en partie avec celui de « biomimétisme ».

assimile la vie, propriété qu'il s'efforce d'expliquer et de développer au degré de cohérence perçu dans une partie de l'espace⁴⁷. Il donne ainsi une autre définition du « wholeness », plus axée sur la cohérence. Pour une région de l'espace donnée, qu'il nomme R, le « wholeness » W de cette région peut être compris à partir des sous régions les plus cohérentes de cet espace (qu'il appelle les centres) et qui présentent un degré de vie supérieur. Le « wholeness » se dégage de l'ensemble de cette région R peut alors être globalement arrondi et compris uniquement à l'aide d'une fraction des sous régions (les centres) qui le constituent.

Il pose alors une série de quinze propriétés, après avoir comparé de multiples exemples entre eux, il remarque que parmi eux, ceux qui avaient un degré de vie supérieur semblent obéir à des règles structurelles bien précises et récurrentes. Il identifie ainsi quinze propriétés découlant de l'interaction entre les centres, desquelles semblent rayonner un degré de vie plus intense. Nous n'entrerons pas dans les détails complexes qu'Alexander déploie dans son essai, nous nous contenterons d'un bref résumé pour chacune de ses propriétés⁴⁸.

- Niveaux d'échelle :

Les centres constituant un tout ont différents niveaux d'échelles. Ils s'assemblent selon un rapport de proportion raisonnable (ni trop grand ni trop petit) de manière à se renforcer mutuellement.

- Centres forts

Parmi les centres, certains apparaissent comme plus forts, plus intenses dans leur capacité à focaliser l'attention sur eux. Un système constitué de centres forts dégage plus de vie.

- Limites

La manière dont certains centres parviennent à attirer l'attention à travers un renforcement de leurs limites, limites qui elles-mêmes sont des centres. Ces deux types de centres, de par cette interaction se consolident mutuellement.

- Répétition alternée

⁴⁷ « Il est clair que notre intuition attribue spontanément un certain degré de cohérence à chaque région de l'espace. Nous avons cette capacité à reconnaître la cohérence à travers le monde. Cette cohérence, c'est justement cette propriété à laquelle je fais allusion dans le livre I comme la vie ». (Alexander, 2004, p. 446). Traduction de l'auteur.

⁴⁸ Voir (Alexander, 2004, p. 143, 243 Chapitre 5)

La répétition des centres selon un certain rythme crée un champ d'intensification, à travers lesquels les centres sont mutuellement renforcés.

- Espace positif

Les centres sont disposés dans l'espace de manière à respecter une certaine convexité des formes⁴⁹, intelligibles et cohérentes, de manière à ce qu'un objet soit reconnaissable même si le plein venait à prendre la place du vide.

- Bonne forme

Propriété des centres qui ont une forme géométrique qui dégage indéniablement quelque chose de beau. Cette propriété se définit aussi d'une manière récursive : ces centres « à la bonne forme » sont eux même constitués d'autres centres reconnaissables par leur « bonne forme ».

- Symétries locales

Les symétries locales, à distinguer des symétries globales qui au contraire appauvrissent et dénaturent les centres par leur rigidité, sont des appariements de centres à petite échelle. Ces symétries à l'échelle locale sont responsables de la cohérence perçue de l'ensemble⁵⁰ (Figure 10,11).

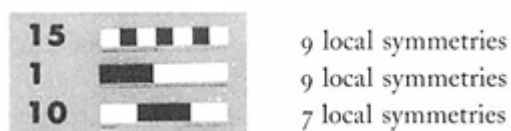


Figure 10 : Combinaisons avec le plus de symétries locales, donc les plus cohérentes.

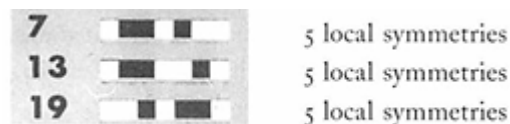


Figure 11 : Combinaisons avec le moins de symétries locales, donc les moins cohérentes.

- Ambiguïté et enchevêtrement profond :

⁴⁹ Une forme convexe est définie comme un polygone ayant des angles inférieurs à 180°. Alexander note qu'un espace est positif lorsqu'il semble « gonfler vers l'extérieur » (Alexander, 2004, p. 173)

⁵⁰ A cet effet, Alexander relate une expérience dans laquelle il dispose une combinaison linéaire de 3 carrés noirs et 4 carrés blancs sur des bandes de papier (Fig. et .). Les 35 combinaisons ainsi obtenues sont soumises à un test, où plusieurs observateurs doivent instinctivement les classer par ordre de cohérence. Ce sont les combinaisons les plus structurées, les plus à même d'être décrites simplement mais aussi celles qui présentent le plus de symétries à l'échelle locale qui figurent parmi les plus cohérentes. Alexander déduit de cette expérience que la cohérence d'une composition est une propriété objective partagée par l'ensemble des observateurs.

Les centres sont imbriqués spatialement les uns dans les autres par un ancrage profond et s'unissent par l'intermédiaire d'autres centres. De là se crée une certaine ambiguïté, car un tel ancrage peut brouiller les frontières de centres imbriqués entre eux.

- Contraste :

Les centres, dans leur différenciation, crée bien au-delà d'une simple opposition une véritable dialectique qui révèle, met en valeur et renforce mutuellement les centres, mettant ainsi en lumière un profond sentiment d'unité.

- Gradient

Le changement de nature, de taille, de texture des centres ne s'effectue jamais de manière abrupte, mais progressive et douce. En raison du caractère changeant et non-uniforme de l'espace et des conditions extérieures dans le monde réel, les structures faisant partie de cet espace suivent naturellement le cours des forces subtiles et aléatoires qui les modèlent, éliminant ainsi toute répétition monotone et créant un phénomène de changement progressif qui prend la forme de gradients.

- Irrégularité

Les centres ne s'assemblent pas d'une manière rigide et parfaitement géométrique, mais irrégulière et laissent se déployer des forces d'arrangement subtiles, qui bien loin de rendre une composition imparfaite et inachevée, lui donnent profondeur et vie.

- Résonances

Les centres partagent une certaine similitude entre eux, de manière à ce que l'un fasse écho et résonne avec un autre. Cela contribue à créer une unité et une cohérence globale.

- Le vide

Le jeu des centres pleins et vides apporte une profondeur. Les centres vides, loin de créer une rupture, participent au « wholeness » de l'ensemble et permettent d'apporter un répit, un relâchement qui rend plus vigoureux les centres pleins.

- Simplicité et calme inné

La qualité qu'ont les centres lorsqu'ils rayonnent une simplicité, une facilité à être saisis dans leur intégralité. Cette simplicité ne rejette en aucun cas la complexité, mais au contraire

l'accueille lorsqu'elle n'ajoute pas de détails superflus. Cette simplicité est aussi associée à une propriété qu'Alexander nomme « calme inné », désignant une profonde sérénité, venant de la cohérence et de l'harmonie globale se dégageant d'une composition où ces deux propriétés coexistent.

- Non séparation (connexion) :

Cette propriété, déjà implicitement contenue dans les précédentes pourrait aussi être comprise comme une propension à l'unité réciproque qu'ont les centres. Les centres doivent s'interconnecter formant un continuum profond, presque infini et à toutes les échelles.

Ces quinze propriétés résument selon Alexander le degré de vie (et donc aussi selon ses mots le degré de cohérence) d'une structure dans l'espace. Ces propriétés, bien qu'à la base empiriques et basées sur l'observation, nous donnent une bonne base pour la compréhension de la cohérence urbaine. D'une manière plus générale, le cadre de pensée construit par Alexander fonde une vision holistique particulièrement subtile et pertinente sur laquelle nous nous appuyerons dans la section suivante pour définir plus en détail la notion de cohérence urbaine à travers l'enjeu de consistance de la forme urbaine.

1.2 La cohérence urbaine selon Salingaros, une définition de référence

La pensée et les travaux d'Alexander bénéficient d'une postérité remarquable, dans de nombreux domaines. En urbanisme, ses travaux ont été repris et enrichis par Salingaros (2005), notamment à travers son ouvrage « Principles of Urban Structure », dans lequel il donne une des définitions les plus exhaustives de la cohérence urbaine dans la littérature. Dans cette partie, nous nous intéresserons plus en détail à la notion de cohérence en urbanisme, en rapport avec l'enjeu de consistance défini plus haut, principalement à travers la vision développée par Salingaros.

1.2.1 Les huit règles de cohérence urbaine

Salingaros (2005) considère que la cohérence urbaine est une propriété désirable de la forme urbaine. Il développe une réflexion normative et tâche de construire des règles que doivent respecter les environnements urbains pour atteindre cette cohérence urbaine. Sa réflexion s'inspire grandement de celle d'Alexander et s'appuie sur la théorie des systèmes complexes. Cette approche par les systèmes complexes est particulièrement importante à noter et sera de plus en plus prégnante dans la suite de notre recherche.

Dans son article « *Complexity and urban coherence* », Salingeros (2000) définit la cohérence urbaine comme étant une qualité formelle qui lie ensemble d'une manière ordonnée tous les éléments dans une ville. Selon lui, il est nécessaire de respecter certaines règles d'interaction dans un système complexe pour que toutes les parties coopèrent de façon à ce que l'ensemble fonctionne d'une manière correcte et cohérente. Cet équilibre est d'abord basé sur le respect d'une hiérarchie d'échelles, les petites échelles déterminant les plus grandes et où il existe une continuité dans la succession de ces dernières. Salingeros définit alors huit règles importantes pour assurer la cohérence d'un système urbain :

- Règle 1 - Les couplages

Les éléments de même échelle se couplent pour former un module. Il ne doit pas y avoir d'éléments non connectés dans un module

- Règle 2 - La diversité

Les éléments similaires ne forment pas de couples. Une diversité critique d'éléments différents est nécessaire car certaines vont servir pour les autres d'agent catalyseur des couplages

- Règle 3 - Les frontières :

Les modules différents forment des couples via leur éléments de frontière. Les connexions se forment entre les modules et non à partir d'éléments internes

- Règle 4 - Les forces

Les interactions à courte portée sont naturellement plus fortes alors que les interactions à longue portée sont plus faibles. L'inversion de cette règle crée des pathologies.

- Règle 5 - L'organisation

Les forces de longue portée créent la forme à grande échelle à partir de structures bien définies aux petites échelles. Les alignements ne s'établissent pas, mais peuvent détruire les couplages à courte portée

- Règle 6 - La hiérarchie

Les composants d'un système s'assemblent progressivement de la plus petite vers la plus grande échelle. Ce processus génère des unités liées définies à de nombreuses échelles distinctes.

- Règle 7 - L'interdépendance

Les éléments de ces modules aux échelles différentes ne dépendent pas les uns des autres d'une manière symétrique. Les grandes échelles ont besoin des petites échelles mais l'inverse n'est pas vraie.

- Règle 8 - La décomposition

Un système cohérent ne peut pas être complètement décomposé en ses parties constituantes. Il existe de nombreuses décompositions non équivalentes basées sur différents types d'unités.

Ces huit règles représentent une synthèse de tout le propos que Salingeros développe par la suite, rentrant dans les détails des origines et des fondements de ce qu'il entend par cohérence urbaine.

1.2.2 Les forces de couplage et la formation des modules de composition

L'une des idées fortes de Salingeros est que la cohérence urbaine est d'abord basée sur la petite échelle. Salingeros propose de décomposer les villes non pas en objets géométriques ou en pleins et vides, mais plutôt en forces de couplages, qui sont les interactions réciproques entre les différents éléments de la ville ayant un ordre de grandeur comparable à l'humain. « *Briques, pavés, sentiers, arbres, murs, portes, fenêtres, trottoirs, bancs, panneaux* » sont tous des éléments à la plus petite échelle susceptibles de créer des interactions à la fois entre eux, mais surtout avec les êtres humains (Salingeros, 2000a, p. 295). Cet ensemble d'éléments, incluant l'utilisateur piéton forme « un module ». Pour être effectives, les forces de couplage doivent se faire entre deux éléments non similaires mais complémentaires, ainsi ils se renforcent mutuellement. Le couplage est considéré comme fort lorsque les éléments associés acquièrent des propriétés nouvelles et sont plus forts ensembles que s'ils étaient pris séparément, ainsi un module est formé à partir d'éléments d'échelle inférieure. Ces couplages existent prioritairement à l'échelle la plus petite et sont beaucoup plus forts (Figure 12).

A partir des liens de couplage à petite échelle, Salingeros définit la notion de module. Un module est une structure dont le nombre de connexions internes excède le nombre de connexions avec l'environnement extérieur. Les modules se forment d'abord à petite échelle, à partir d'éléments ayant le même ordre de grandeur, et peuvent former des structures à des échelles plus grandes. Les modules se connectent entre eux, non pas par proximité géométrique mais de quatre façons : par continuité géométrique, par une voie de circulation, par l'échange de personnes et par l'échange d'informations.

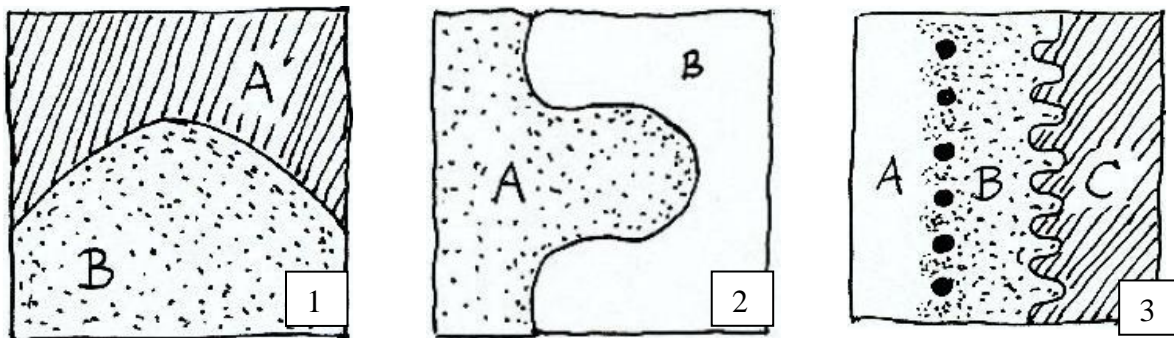


Figure 12 : Couplage géométrique par contraste de texture (1) ; Couplage géométrique par couleur (2) ; Couplage géométrique via un élément intermédiaire (3). Source : Salingaros (2000a)

1.2.3 Les interfaces fractales et la diversité critique des éléments

L'approche fractale prend appui sur une branche des mathématiques, qui étudie les formes complexes et récursives. Elle offre une vision nouvelle dans l'étude de la morphologie des villes. Une structure fractale est organisée d'une manière à garantir une invariance d'échelle à tous les niveaux⁵¹. Selon Salingaros, cette propriété est particulièrement visible dans les villes anciennes. Elles affichent un ordre de complexité géométrique à chaque itération d'échelle décroissante. La ville croît par itérations successives de ses composants, ainsi, les individus et les relations complexes qu'ils entretiennent avec leur espace, sur un temps très long façonnent cette dernière, aboutissant à une structure irrégulière et inhomogène, mais obéissant à un ordre géométrique, où tous les objets entretiennent des relations avec les échelles voisines et s'imbriquent les uns dans les autres. Cet ordre géométrique sous-jacent qui sous-tend tout système complexe est un préalable nécessaire à la cohérence de l'ensemble. Les forces de couplage à petite échelle sont à l'origine des interfaces fractales et perméabilisent finement le tissu urbain. En résulte ainsi une géométrie irrégulière et rugueuse, mais aussi hautement génératrice de connexions⁵².

La diversité des éléments à petite échelle semble aussi être une condition importante aux forces de couplage. Certains éléments, outre leur fonction première vont agir comme des catalyseurs, permettant à deux autres éléments de se coupler par leur intermédiaire. La cohérence urbaine se crée en fait grâce aux interactions au sein même et entre les modules, et la mixité des éléments aide à catalyser les interactions. C'est pourquoi une ville planifiée selon un zonage,

⁵¹ La géométrie fractale est une branche des mathématiques, théorisée par le mathématicien Mandelbrot. Elle s'intéresse aux objets géométriques présentant une structure similaire à toutes les échelles. La géométrie Elle a de nombreuses applications, notamment en urbanisme. On peut citer les travaux de Frankhauser (1993), qui prend le parti d'étudier les formes urbaines à la lumière de la géométrie fractale.

⁵² On retrouve ici une analogie avec l'une des quinze propriétés d'Alexander, qui est « l'ambiguïté et l'enchevêtrement profond ».

fonctionnalisée et rationalisée à l'extrême échoue à créer de la cohérence, car deux éléments similaires et juxtaposés ne se couplent pas.

1.2.4 Une ville n'est pas un arbre : la décomposition d'un système cohérent

Dans un article devenu célèbre dans la littérature scientifique urbaine, Alexander (1968) développe l'idée, très curieuse et novatrice à une époque où la voiture dominait la ville et où le zoning des fonctions faisait encore autorité dans la planification urbaine, qu'une ville ne doit pas être conçue selon un système de hiérarchie stricte. Cette hiérarchie rigide est assimilable à celle d'un arbre, où les éléments ne sont interconnectés d'une manière récursive à sens unique, sans permettre un enchevêtrement entre des éléments d'échelles non-consécutives. Alexander défend l'idée qu'une ville doit avoir un système de hiérarchie assimilable à un semi-treillis au lieu d'un arbre, ce qui autorise une certaine flexibilité dans la hiérarchie. Cela est résumé par cette phrase de Salingeros : « Si vous pouvez soigneusement séparer les fonctions ou les régions sur le plan d'une ville, cela représente un arbre et, par conséquent, il n'est pas vivant ». Un système cohérent, comme l'indique la huitième règle énoncée plus haut ne devrait pas être décomposable facilement, ce qui indique en réalité une complexité fonctionnelle et formelle.

1.2.5 La distribution des éléments dans un système cohérent et la théorie du champ de l'information urbain

L'une des propriétés cruciales d'un système cohérent est la présence d'une organisation hiérarchique à travers des échelles successives (Salingeros, 2000a). Selon Salingeros et West (1999), dans un tel système, les échelles⁵³ doivent se lier successivement les unes aux autres, de la plus petite vers la plus grande, par un facteur d'échelle globalement compris entre 2 et 5. Ce facteur d'échelle est garant d'une connectivité optimale entre les échelles et de la présence de niveaux d'échelle bien déterminés. En effet, si ce facteur est trop petit, le système devient chaotique car les échelles ne seraient pas suffisamment différenciées. En revanche, s'il est trop grand, les échelles ne pourraient pas se lier entre-elles. L'organisation fractale observée dans les systèmes complexes, qui implique une invariance d'échelle et la présence d'information à tous les niveaux, conduit naturellement à une distribution obéissant à une loi de puissance inverse. Une telle distribution implique que les éléments appartenant aux échelles les plus petites sont les plus nombreux et inversement, les éléments appartenant aux échelles les plus

⁵³ Une échelle est à comprendre comme un ensemble d'éléments ayant approximativement la même taille.

grandes sont les moins nombreux. Cette loi permet en quelque sorte de maximiser le potentiel d'interaction au sein du système⁵⁴.

En référence à cette loi fondamentale, Salingaros formule sa théorie dite « du champ de l'information urbain » (Salingaros, 1999). En se déplaçant dans l'espace urbain et en observant les objets urbains, le piéton reçoit un ensemble d'informations sensorielles (visuelles et sonores, mais également tactiles). Dans la mesure où l'information fournie aux piétons est riche et présente à tous les niveaux de l'organisation hiérarchique de la complexité urbaine, le champ urbain optimise l'entropie des messages renvoyés aux piétons et maximise ainsi son contenu informationnel : trop peu d'entropie, et l'espace urbain est perçu comme pauvre et artificiel, trop d'entropie et la perception est celle d'un espace chaotique, sans organisation apparente. Cette approche conceptuelle unifie l'urbanisme et l'architecture comme étant des échelles différentes d'une seule et même entité.

1.2.6 De la petite à la grande échelle : ordonner les éléments à l'échelle urbaine

La cohérence urbaine s'initie depuis la petite échelle, par l'établissement de forces de couplage puissantes entre les éléments. A l'inverse, les forces s'appliquant à la grande échelle sont nécessairement moins fortes, mais conservent aussi une certaine importance selon Salingaros. Ces « forces d'alignement » comme il les nomme doivent permettre de diminuer l'entropie de l'ensemble à travers une organisation « presque ordonnée » (Hillier, 1999). Cependant, un alignement parfait à grande échelle, signe d'une planification imposée et rigide, détruit selon lui toute cohérence, en raison d'une trop brutale diminution d'entropie. Aligner des éléments suivant une logique géométrique rigide ne permet pas leur couplage. Par exemple sur une grille, les éléments disposés donnent à voir un ordre visuel certes satisfaisant mais trompeur et faussement connectif. Les structures à grande échelle sont dotées d'une bien plus grande inertie, ce qui signifie qu'il est bien plus difficile de les changer. Cela signifie aussi que toute logique de planification suivant un processus vertical, où les grandes échelles sont dessinées avant les petites, affectera grandement les forces de couplage à petite échelle. L'enjeu posé ici par toute cette réflexion est une planification vertueuse, ayant la capacité d'ordonner une ville à grande

⁵⁴ Les travaux de Watts et Strogatz (1998) comparent, d'un côté, des réseaux où les liens sont de très grande portée ou de petite portée à, d'un autre côté, des réseaux où les liens suivent une loi de distribution inverse. Ils arrivent à la conclusion que les réseaux avec une loi de distribution inverse offrent une connectivité bien supérieure.

échelle sans nuire aux principes fondamentaux de la structure urbaine qui par le passé se déployaient d'eux-mêmes sur un temps bien plus long.

Ces suggestions nous permettent de mieux percevoir la complexité de la structure d'une ville et de comprendre la nature de ce que Salingeros entend par cohérence urbaine. Elle apparaît comme une qualité géométrique des tissus urbains, répondant à certaines règles fondamentales. La réflexion de Salingeros remet certains principes géométriques et structurels qu'on retrouvait dans les villes anciennes au cœur du débat, tout en essayant d'intégrer les enjeux et les impératifs des villes contemporaines en proposant des solutions concrètes pour retrouver une certaine cohérence. Aussi, l'influence des travaux d'Alexander est bien perceptible, notamment la théorie du wholeness et les quinze propriétés qui en sont dérivés, ou encore la théorie des design patterns, dont Salingeros se revendique clairement. Dans la partie suivante, nous abordons plus en détail cette théorie, qui constitue une application concrète des principes d'Alexander et de Salingeros que nous développons depuis le début du chapitre.

1.3 Des schémas-types pour atteindre la cohérence urbaine : les patterns d'Alexander.

La théorie des design patterns d'Alexander soutient qu'un arrangement caractéristique et récurrent de modules appelé « pattern »⁵⁵ peut permettre de résoudre les problèmes auxquels les concepteurs sont confrontés, par une logique allant au-delà de la simple géométrie. L'ouvrage « *A pattern language* » (Alexander et al., 1977) est considéré comme fondateur de la théorie. Selon la théorie des design patterns, aucune invention, création ou production n'est originale et créée ex-nihilo, mais dérive d'un processus de création collectif partagé par une société. C'est une théorie de la forme idéale, où l'essence culturelle et anthropologique est maintenue, mais dans laquelle on s'affranchit de toute rigidité géométrique. A cet effet, Salingeros en parle comme étant « *la décomposition la plus intelligente des systèmes architecturaux et urbains qui ait jamais été tentée* » (Salingeros, 2000a, p. 305). L'un des grands objectifs d'Alexander à travers cette théorie était d'apporter une méthode pour générer de la cohérence au sein de l'environnement bâti. Selon Salingeros (2000b, p. 152), il serait

⁵⁵ Les patterns sont des formes socio-géométriques qui ne sont pas l'objet d'une quelconque fantaisie conceptuelle, mais le fruit d'une intelligence collective. Ces formes ont été construites, affinées, vécues et expérimentées pendant des siècles. Cette épaisseur historique garantirait leur viabilité renfermerait une complexité inaccessible à tout effort conceptuel spontané et individuel. Nous utiliserons par la suite le terme de « pattern » en référence à cette définition, sans nous risquer à tout effort de traduction hasardeux.

même impossible de concevoir des environnements auxquels les humains peuvent se connecter sans recourir à des patterns. Dans cette partie, nous présenterons quelques patterns à l'échelle urbaine, que nous soumettrons à analyse. Nous chercherons à comprendre en quoi de telles formes urbaines permettent d'arriver à une cohérence urbaine. Naturellement, nous suivrons une analyse suivant un emboîtement d'échelles, de la plus grande vers la plus petite, qui est d'ailleurs aussi la manière dont Alexander et al. (1977) présentent les choses dans « *A pattern langage* ». L'ouvrage présente plus de 250 schémas-types idéaux qu'il faudrait respecter, au moins dans leur essence, afin d'arriver à construire un environnement bâti plus vivant et accueillant.

1.3.1 L'échelle interurbaine : séparer la ville de la campagne

Dans la première série de « patterns » présentée, une attention toute particulière est portée à l'interaction entre ville et campagne.

Dans le *pattern n°3 : City Country Fingers*, est mise en avant la nécessité d'organiser le territoire suivant des doigts d'urbanisation linéaire et filiforme, ou chaque doigt d'urbanisation ne dépasserait pas 1,6 km de large. Ces derniers s'enchevêtrent avec d'autres doigts de campagne, d'au moins 1,6 km de large. L'objectif est de permettre un accès rapide à la campagne, tout en maintenant une taille raisonnable des zones urbanisées. (Figure 13)

Le *pattern n°4 : Agricultural Valley* préconise d'aménager les zones urbanisées en priorité dans les collines et les reliefs, alors que les vallées en contrebas sont réservées pour les zones agricoles (Figure 13). Le *pattern n°5 : Lace of Country Streets* propose d'aménager des habitations rurales tout le long des routes de campagne placées sur les limites entre les terrains agricoles. En complément, le *pattern n°6 : Country Towns* suggère la préservation des hameaux déjà existants et encourage la formation de nouvelles petites villes rurales, placées aux intersections des routes de campagne (Figure 13).

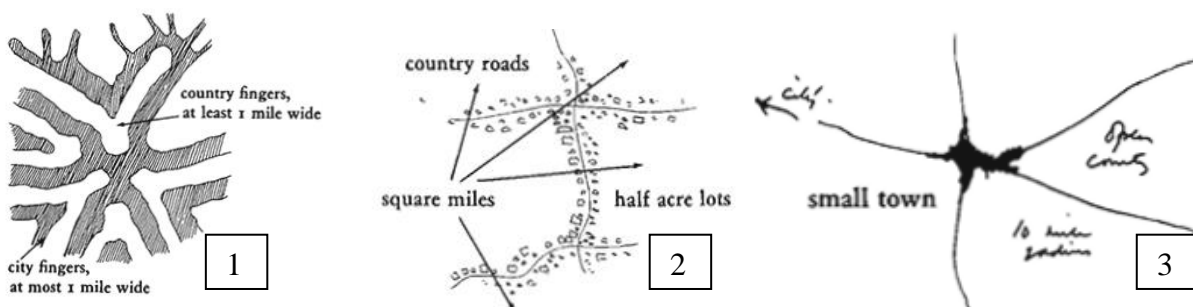


Figure 13 : Pattern n°3 : City country fingers (1) ; Pattern n°5 : Lace of country streets (2) ; Pattern n°6 : Country towns (3). Source : Alexander et al. (1977)

1.3.2 L'échelle urbaine : une mosaïque de quartiers et de communautés mixtes

Au sein des doigts d'urbanisation, seront dispersés des espaces d'échelles inférieure, d'abord définis socialement. Ainsi, le *pattern n°8 : Mosaic of subcultures* préconise une solution intermédiaire entre des sous espaces hétérogènes, où une trop grande mixité sociale finira par supprimer toute différenciation et des sous espaces homogènes, sur le modèle des ghettos. Dans le *pattern n°8*, chaque sous espace porte une culture et une communauté bien précise. Ces sous-espaces urbains sont aussi appelés communautés et sont séparés par des frontières qui sont elles-mêmes des espaces (Figure 14). Le *pattern n°13 : Subculture Boundary* suggère que cet espace soit au moins large de 60 m. Ces frontières peuvent aussi bien être naturelles, comme des espaces verts, des cours d'eau qu'artificielles, comme des routes. Lorsqu'il est possible d'aménager cet espace, des zones d'activité fonctionnalisées doivent être privilégiées (lieux de rencontre, lieux de travail, etc.). Les zones de travail et de production ne doivent pas être centralisées mais au contraire dispersées, comme le conseille le *pattern n°9 : Scattered Work* (Figure 14).

Afin de relier ces différentes communautés, une série de patterns axés sur le transport et la voirie sont proposés. Le *pattern n°11 : Local Transport Areas* propose de découper l'espace urbain en zones de transport locales d'environ 2 à 3 km de large (Figure 14). A leurs limites, sont déployées des rocade périphériques à grande vitesse (*Pattern n°17 : Ring Roads*) ainsi que quelques parkings (*Pattern n°22 : Nine Per Cent Parking*). Des routes parallèles à sens unique traversent ces zones et absorbent le trafic à grande vitesse (*Pattern n°23 : Parallel Roads*). Une telle disposition permet de les rendre efficace uniquement pour accéder aux rocades et non pas pour les trajets courts. Enfin, les zones locales de transport seront finement parcourues par une multitude de chemins piétons et de pistes cyclables passant prioritairement par les centres d'activité (*Pattern n°51 : Green Streets ; Pattern n°56 : Bike Paths and Racks*).

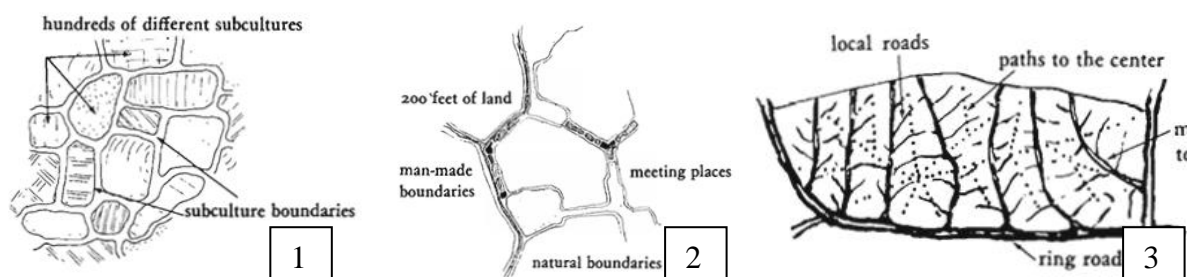


Figure 14 : Pattern n°8 : Mosaic of subcultures (1) ; Pattern n°13 : Subcultures boundaries (2) ; Pattern n°11 : Local Transport Areas. Source : Alexander et al. (1977)

1.3.3 L'échelle du quartier : un enchevêtrement de nœuds d'habitat et de nœuds d'activités

L'unité spatiale de base évoquée par la suite est le quartier, qui se trouve à une échelle inférieure par rapport aux « *subcultures* » et communautés. Le *pattern n°14 : Identifiable Neighborhood* souligne la nécessité d'unités spatiales bien définies et identifiables, ne dépassant pas 275 m en travers et 500 habitants. Une grande attention est portée aux frontières des quartiers, à travers le *pattern n°14 : Neighborhood Boundary* qui suggère la mise en place de limites marquées et imperméables, entrecoupées de portes d'accès (Pattern n°53 : Main Gateways) et d'espaces publics de rencontre (Pattern n°32 : Shopping Street ; Pattern n°64 : Pools and Streams) (Figure 15). Aussi, la notion de centre est évoquée, comme étant des espaces publics dotés d'une certaine attractivité et ayant pour but de lier entre elles les entités spatiales d'échelle inférieure au sein ou en bordure du quartier. Le *pattern n°30 : Activity Nodes* suggère la présence de nœuds d'activités très finement dispersés tous les 300 m (ce qui correspond à l'échelle d'un quartier), prenant la forme de petites placettes (Pattern n°61 : Small Public Squares), entourées par des installations attirant du public (Pattern n°84 : Shopfront School ; Pattern n°85 : Individually Owned Shop), et reliées par des chemins aménagés en promenade (Pattern n°31 : Promenade).

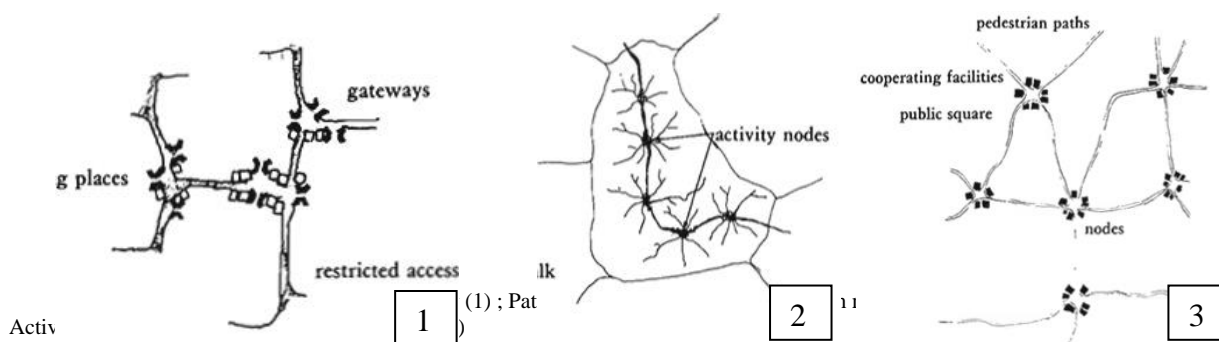


Figure 15 : Pattern n°14 :

1.3.4 L'échelle du pâté de maison : De petits groupes face à face

L'échelle en dessous de celle du quartier est celle du pâté de maison, qu'on pourrait aussi appeler îlot d'habitation. Dans le cas de figure d'une densité réduite, le *pattern n°37 : House Cluster* propose de regrouper les habitations par lot de 8 à 12, autour d'un espace commun semi-public (Pattern n°67 : Common Land) (Figure 16). Il est aussi suggéré d'accompagner chaque groupement d'un atelier commun et de quelques places de parking. Pour le cas d'une densité plus élevée, le *pattern n°38 : Row Houses* décrit des habitations longues et fines, disposées en rangées le long de chemins piétons, séparées par un espace vert commun. Pour

des densités encore plus élevées, le *pattern n°39 : Housing Hill* évoque une forme d'habitat plutôt originale, en proposant de superposer les habitations sur une colline (naturelle ou artificielle), sans dépasser 3 ou 4 niveaux. Chaque habitation est accessible par un escalier commun central et bénéficie d'une grande terrasse. Dans le cas d'une colline artificielle, des parkings seront aménagés en contrebas des habitations. L'espace commun est disposé à proximité directe des escaliers centraux. Cette forme d'habitat permet d'offrir une densité élevée, sans pour autant sacrifier l'ancrage au sol et les jardins privés.

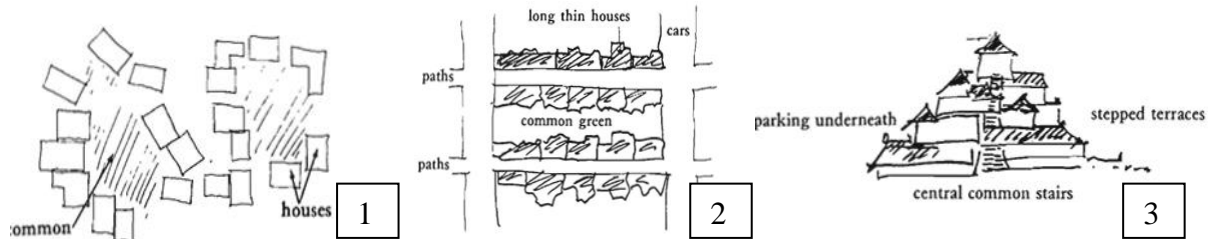


Figure 16 : Pattern n°37 : House cluster (1) ; Pattern n°38 : Row Houses (2) ; Pattern n°39 : Housing Hill. Source : Alexander et al. (1977)

1.3.5 L'échelle de la communauté de travail :

Les communautés de travail sont des sous-espaces ayant le même ordre de grandeur qu'un groupement d'habitations et qui sont dispersés à travers les quartiers, prioritairement dans les frontières entre communautés et quartiers (*Pattern n°13 : Subculture Boundary ; Pattern n°15 : Neighborhood boundary*), mais aussi dans les nœuds d'activité (*Pattern n°30 Activity Nodes*). Le *pattern n°41 : Work Community* précise que de tels espaces doivent regrouper environ une quinzaine de locaux, avec une mixité dans les types de métiers exercés (Figure 17). Ces locaux sont regroupés autour d'un espace central, tel qu'une cour ou un square. Pour des espaces industriels de plus grande envergure, le *pattern n°42 : Industrial Ribbon* explique comment le fait de disposer les usines en rangées, le long des frontières entre communautés permet à la fois de profiter de la proximité d'une rocade pour la desserte des camions, d'écarter l'activité industrielle nuisible en périphérie des zones d'habitat et de conserver tout de même une certaine proximité avec les riverains, qui peuvent venir y travailler sans trop de difficultés.

Le *pattern n°46 : Market of Many Shops* propose d'aménager des marchés, avec une multitude de petits étals spécialisés au lieu de grands supermarchés, avec leur propre système d'allées, directement connectées aux principales rues piétonnes environnantes. Enfin, le *pattern n°48 : Housing in Between* réitère l'importance d'une mixité entre zones résidentielles et non résidentielles et propose d'intégrer quelques habitations au cœur de chaque zone d'activité.

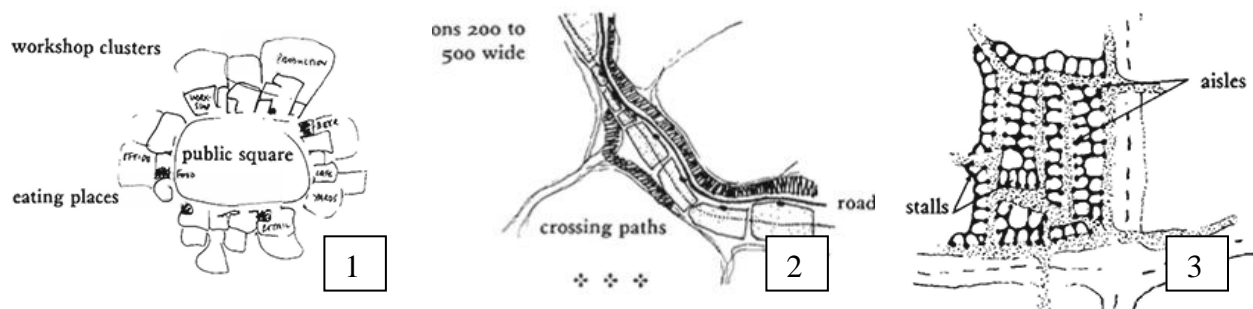


Figure 17 : Pattern n°41 : Work community (1) ; Pattern n°42 : Industrial Ribbon (2) ; Pattern n°46 : Market of many shops. Source : Alexander et al. (1977)

1.3.6 A pattern langage : Au-delà d'un modèle utopique, un ensemble cohérent de patterns pour un environnement bâti cohérent

On peut avoir l'impression que "A pattern langage" retombe dans le piège des utopies urbaines en proposant des modèles de ville. D'un côté, il peut être légitime de le penser, puisque la démarche des patterns est avant tout normative, en cherchant à organiser l'espace de la meilleure des manières. Aussi, la démarche peut sembler quelque peu archaïque et naïve au 21^e siècle, en vue des contraintes et des phénomènes à l'œuvre dans les villes contemporaines.

Mais il faut aussi reconnaître que les patterns, loin d'être des modèles rigides préconçus comme toutes les utopies urbaines passées, sont d'une flexibilité surprenante, n'imposant jamais des règles fixes. De plus, les patterns semblent renfermer un bon sens et une sagesse intemporelle, à un tel point qu'il est surprenant de remarquer que malgré leur presque 50 ans d'âge, ils demeurent aujourd'hui plus que jamais d'actualité. De nombreux courants d'urbanisme contemporains reprennent les mêmes principes. On peut citer le New Urbanism qui cherche à remettre l'usager piéton au centre de la ville, ou encore la ville durable qui prône la mixité fonctionnelle et sociale, tout autant que les principes de mobilité durable qui y sont associés, largement retrouvés à travers les patterns d'Alexander (marche à pied, parkings en périphérie, vélos, etc.).

Enfin, les patterns nous donnent une idée concrète des principes de cohérence urbaine vus plus haut. La notion de connectivité y est omniprésente. Les frontières ne sont plus séparatrices mais sont au contraire l'instrument principal de couture entre les différentes entités spatiales dans la ville, à travers des interfaces hautement génératrices d'activité. La notion d'échelles successives emboîtées y est aussi centrale, par exemple à travers l'existence de patterns à grande échelle totalement cohérents et compatibles avec les patterns à plus petite échelle. C'est bien le sens dans lequel Alexander et ses collaborateurs ont pensé et conçu cet ouvrage, comme un langage de "patterns", ou chaque pattern à sa place dans un ensemble bien plus grand.

Selon l'enjeu de consistance de la forme urbaine, la cohérence urbaine est une propriété géométrique et physique de la forme urbaine, lorsque celle-ci permet une connectivité et une complexité optimale à toute les échelles, liant la ville dans un tout ordonné et consistant. Les travaux d'Alexander et de Salingaros sont à la base de la cohérence urbaine morphologique que nous continuerons à développer dans les parties suivantes. Ces deux auteurs sont à l'origine d'une vision de la ville comme système complexe interactif et se complètent mutuellement. Les patterns à l'échelle urbaine d'Alexander et al. (1977) nous donnent un aperçu concret des principes de cohérence urbaine développés par Salingaros. Dans la partie suivante, nous présentons une série d'indicateurs présents dans la littérature pouvant quantifier la cohérence urbaine morphologique.

2 Indicateurs et outils d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique

Nous rappelons que l'enjeu de consistance implique une forme urbaine structurée d'une telle manière à permettre une friction minimale quant aux flux de mobilité, suivant une hiérarchie d'échelles équilibrée et admettant une complexité suffisante. La cohérence urbaine, suite aux principes théoriques définis dans précédemment, est une propriété désirable de la forme urbaine définie à partir de certaines règles et normes. Par conséquent, il devient pertinent de se poser la question de sa quantification. Dans cette section, nous tâcherons de réunir des méthodes et indicateurs pertinents pour l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique. L'importance du caractère multiscalair de la réflexion mis en évidence dans la section précédente nous amènera aussi à considérer des indicateurs à l'échelle locale, en complément des indicateurs à l'échelle de l'agglomération.

2.1 Indicateurs de cohésion et de cohérence urbaine morphologique : les méthodes présentes dans la littérature

Nous commençons par exposer deux méthodes présentes dans la littérature et dont la définition se recoupe partiellement avec la notion de cohérence urbaine telle que définie autour de l'enjeu de consistance. Nous verrons que ces méthodes, bien qu'offrant un éclairage intéressant sur l'évaluation de cette dernière n'en présentent pas moins des lacunes. Cela nous conduira à aborder la question de l'évaluation de la cohérence morphologique d'une manière originale.

2.1.1 La cohésion urbaine, un concept pour les nouvelles réalités urbaines des villes contemporaines

Devant certains constats faits sur la ville contemporaine, tels que la fragmentation morphologique du territoire et la discontinuité des formes urbaines, la perte d'attractivité et la fuite des centres vers la périphérie, Pinto & Remesar (2012) introduisent le concept de cohésion urbaine, à travers lequel ils proposent une série d'indicateurs. Ces derniers sont centrés autour de l'espace public, supposé être le premier vecteur de cohésion⁵⁶ urbaine. Le concept de cohésion urbaine s'articule autour de deux enjeux essentiels : d'une part l'équilibre territorial, lié à la forme physique de la ville et à ses connections ; d'une autre part un équilibre socioéconomique, lié à l'accès aux biens et services, à la mixité fonctionnelle mais aussi aux vecteurs identitaires et culturels⁵⁷. Le concept de cohésion urbaine intègre aussi une réflexion à plusieurs échelles spatiales, l'échelle territoriale n'offrant pas une appréciation suffisante des phénomènes morphologiques de rupture et de discontinuité.

Pinto & Remesar (2012) donnent trois principes clés qui caractérisent un espace urbain cohésif : *l'inclusion sociale*, qui permet aux individus de se déplacer facilement et d'accéder aux biens et services indépendamment de leur statut social ; *l'accessibilité de l'infrastructure*, qui doit lier efficacement chaque partie d'une ville et encourager les modes de déplacement doux ; *l'attractivité*, à travers les fonctions, les activités, la morphologie, doit permettre de générer un processus d'appropriation de l'espace. A partir de ces trois principes, une série de 5 propriétés désirables⁵⁸ pour atteindre une certaine cohésion urbaine sont énoncés :

- **Continuité** : Cette propriété concerne essentiellement l'accessibilité et la mobilité dans la ville. Il ne doit pas y avoir de zones isolées. Toutes les parties d'une ville doivent être connectées à toutes les échelles, par l'intermédiaire d'un réseau viaire et d'un système de transport en commun multimodal.
- **Ancrages** : Ce sont des espaces de centralité qui structurent le réseau viaire et jouent le rôle de nœuds. Ces espaces sont généralement des lieux de rencontre et d'échange, que ce soit à petite ou à grande échelle.

⁵⁶ Les auteurs donnent la définition suivante pour le terme « cohésion » : « L'action ou l'effet de lier ou de joindre des éléments ensemble ou la matière dont ils sont constitués » (Traduction de l'auteur). Cette définition est très proche du terme de « cohérence ».

⁵⁷ Il est à remarquer que les enjeux du concept de cohésion urbaine se recoupent avec la réflexion que nous développons de notre côté pour la cohérence urbaine. D'une part l'enjeu de consistance de la forme urbaine qui se rapproche de l'enjeu d'équilibre territoriale, d'une autre part l'enjeu de proximité qui partage la notion de mixité fonctionnelle avec l'enjeu d'équilibre socioéconomique.

⁵⁸ Ces propriétés peuvent aussi être vues comme des indicateurs de cohésion urbaine.

- **Multifonctionnalité** : La mixité des fonctions urbaines permet la génération de dynamiques socioéconomiques et un usage de l'espace public. C'est aussi une manière de promouvoir l'équité dans l'accès aux fonctions au sein d'une ville.
- **Diversité** : La capacité d'un territoire à brasser et intégrer un ensemble d'individus de tous horizons et de toutes classes sociales, cette propriété encense la mixité sociale. Elle est reliée à la présence de plusieurs typologies de logement.
- **Identité** : Cette propriété est liée aux représentations individuelles ou collectives de l'espace, à travers les relations sociales entre individus et l'ordre qu'elles imposent. Cela se traduit par un ensemble de codes, savoirs, traditions et de symboles, matérialisés ou non.

Ces cinq propriétés sont traduites à travers trois échelles imbriquées : l'échelle régionale, l'échelle urbaine et l'échelle du quartier. L'espace public fait office de liant entre toutes les échelles et constitue un élément invariant qu'on retrouve dans l'ensemble des 5 propriétés.

Le concept de cohésion urbaine développé par Pinto & Remesar (2012), offre une vision originale sur la ville contemporaine, à travers une synthèse tout à fait fondée de ses problématiques. Elle semble orientée vers l'action, comme le laissent penser les axes d'intervention majeurs donnés à travers les cinq propriétés vues plus haut. Cependant, aucune méthode de mesure vraiment concrète et applicable à une ville réelle n'est donnée, en dehors de quelques recommandations faites pour la banlieue Sud de Lisbonne. L'évaluation de la cohésion urbaine n'est pas clairement formulée dans ce travail et reste avant tout une appréciation qualitative. Par conséquent, nous ne pouvons pas réellement nous baser sur cette méthode pour l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique, bien qu'elle confirme certains éléments théoriques de notre réflexion.

2.1.2 Une mesure de la cohérence urbaine morphologique basée sur l'indice de Gini-Simpson

Les travaux de Caliskan & Mashhodi (2017), en prenant appui sur les références théoriques les plus solides sur le sujet (Alexander, 2002; Salingeros, 2000a), tentent d'apporter une quantification de la notion de cohérence urbaine, présente dans la littérature mais souffrant encore d'un manque de clarté quant à son évaluation. Ils mettent alors en place un cadre

conceptuel⁵⁹ et s'appuient alors sur les définitions suivantes de la cohérence : « Etat de connexion harmonieuse des différentes parties qui forment un tout solide » ; « Connexion ou relation logique, congruence, continuité » ; « l'action d'attacher ou de coller ensemble ». De ces définitions, sont tirés deux indicateurs spatiaux que sont la proximité et la consistance⁶⁰. La proximité est définie comme l'état de rapprochement spatial des éléments constituant au sein d'un système. La consistance est définie comme un état de continuité où les parties d'un système se complètent de manière à former un tout, ou encore comme le degré de régularité de la proximité des éléments entre eux à travers les échelles.

Caliskan & Mashhodi (2017) proposent alors de quantifier ces deux indicateurs par l'indice de Gini-Simpson⁶¹. Cet indice donne la probabilité que deux incidences choisies au hasard appartiennent à la même catégorie, c'est donc une mesure de la similarité entre les incidences.

$$\lambda = \sum p_i^2$$

$$p_i = n_i / N$$

p_i : Probabilité qu'un incident appartienne à la catégorie i
 n_i : Montant d'incidences observé appartenant à la catégorie i
 N : Nombre total d'incidences

Pour les besoins d'une analyse urbaine spatialisée, les éléments spatiaux analysés sont discrétisés en pixels, appartenant à deux catégories P et Q⁶². Dans ce cas, n_i devient le nombre de pixels Q observés à proximité d'un pixel P et N le nombre de pixels total compris dans le rayon d'analyse r ⁶³. L'indice de Gini-Simpson représente alors une mesure numérique de la cohérence morphologique, des valeurs plus élevées indiquant un niveau de similarité plus grand entre les pixels P et Q.

⁵⁹ Les auteurs citent Thagard (1989, 2000), qui donne une définition cognitive de la cohérence, selon laquelle elle est un jugement inconscient de l'esprit, s'appliquant à une multitude de fragments d'informations (concepts, images, actions) arrangés et disposés d'une manière satisfaisante. Ils cherchent alors à étendre cette logique de réflexion à la morphologie urbaine.

⁶⁰ Nous faisons ici remarquer que les deux termes de « consistance » et de « proximité » sont aussi les mêmes que nous avons utilisé plus haut pour définir les enjeux de la cohérence urbaine. Cependant, ces termes n'ont pas le même sens dans ce contexte. Pour Caliskan & Mashhodi (2017), la proximité est à comprendre comme le rapprochement mutuel d'entités spatiales fixes et immobiles, et pas au sens de réduction des distances par l'optimisation des flux comme nous l'expliquons dans l'enjeu de proximité. De même, la consistance est à comprendre comme une continuité de certaines propriétés indépendamment de l'échelle choisie et liant de ce fait les parties dans le tout (dans ce sens, cette définition peut être rapprochée de la fractalité), et pas au sens où nous l'entendons dans l'enjeu de consistance, c'est-à-dire la capacité de la forme urbaine à faciliter la connexion entre les lieux, par une structuration et une complexité adéquate. Il est cependant intéressant de remarquer comment à partir de deux logiques initialement différentes, les deux mêmes termes sont retrouvés.

⁶¹ Cet indice est à différencier de l'indice de Gini donné plus dans le chapitre précédent pour la mesure de la mixité fonctionnelle. L'indice présenté ici est plus connu dans la littérature comme indice de Simpson.

⁶² Ces valeurs P et Q correspondent à des pixels noirs et blancs, cela peut être associé aux espaces bâtis et non bâtis.

⁶³ La méthode utilise plusieurs niveaux de rayons d'analyse, variant de 1 à 8 pixels. La proximité des éléments Q par rapport au pixel P choisi est circonscrite au rayon d'analyse r . L'échelle la plus grande est celle qui est considérée pour la comparaison des différentes dispositions spatiales.

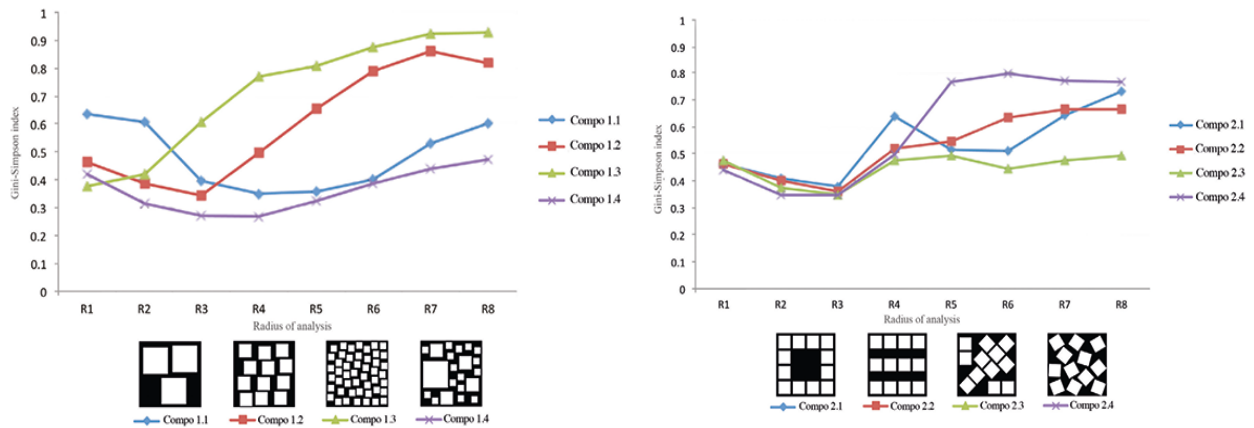


Figure 18 : Différentes dispositions spatiales testées avec l'indice de Gini-Simpson. Source : Caliskan & Mashhodi (2017)

Les résultats obtenus par Caliskan & Mashhodi (2017) pour cette méthode d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique (Figure.18) montrent que les dispositions les plus dispersées et avec des éléments similaires de petite taille (Compo 1.3) et en plus grand nombre présentent une valeur de l'indice de Gini-Simpson plus élevée, et donc une cohérence morphologique plus élevée. A l'inverse, les dispositions avec des éléments similaires de grande taille (Compo 1.1) et des éléments de taille variable (Compo 1.4) présentent les valeurs d'indice de Gini-Simpson les moins élevées, alors même que ce sont les compositions qui paraissent à première vue les plus solides géométriquement. Ces résultats suggèrent que les tissus traditionnels, dans lesquels les bâtiments sont plus proches et pour lesquels la forme urbaine est plus dense sont plus cohérents que les tissus modernes avec de très grandes emprises bâties. Ces résultats vont aussi dans le sens de Salingeros (2000) qui affirme que les alignements et les motifs géométriques euclidiens échouent à créer de la connexion et détruisent au contraire la cohérence du tissu urbain, comme nous pouvons le constater avec la Composition 2.3, qui génère l'indice de Gini-Simpson le plus bas, alors même que les compositions alignés sur une grille (Compo 2.1 et 2.2) ont une valeur bien plus élevée. Par contraste, la composition (Compo 2.4) qui ne semble suivre aucune logique géométrique est celle pour laquelle l'indice de Gini-Simpson est le plus élevé. Cette méthode de mesure rejoint les principes fondamentaux de la cohérence urbaine tels que posés par Alexander et Salingeros, que nous avons exposé dans le chapitre précédent. Elle offre une quantification précise de la cohérence morphologique, à l'aide de l'indice de Gini-Simpson. C'est d'ailleurs peut-être là sa principale lacune, en le fait que cette méthode propose une approche très géométrisée et mathématique de la forme urbaine, réduisant ainsi la compréhension de la cohérence urbaine à la seule disposition spatiale des éléments entre eux. En outre, bien qu'elle intègre la notion d'échelle multiple, elle semble passer à côté d'une vision

configurationnelle, permettant de révéler les relations hiérarchiques subtiles entre les éléments d'un système.

2.2 L'évaluation de la cohérence urbaine morphologique à l'échelle piétonne

Nous avons vu dans le chapitre précédent l'importance de l'échelle humaine dans la cohérence urbaine morphologique. Telle que définie par Salingaros (2000), la cohérence urbaine se base avant tout sur des couplages forts à la plus petite échelle. Aussi la cohérence urbaine s'appuie sur une certaine complexité organisée, qui se traduit par une répartition des éléments suivant une loi exponentielle inverse en fonction de leur taille. Cela implique donc que les petites échelles sont aussi les plus complexes et les plus riches en information, comme l'exprime Salingaros (1999) dans sa théorie du champ de l'information urbain⁶⁴. En plus de l'analyse de l'échelle urbaine, une vision plus fine à l'échelle piétonne semble relativement fondée, compte tenu l'importance de cette dernière dans la définition de la cohérence urbaine. Dans cette partie, nous présenterons quelques indicateurs présents dans la littérature. Pour cela, nous nous baserons sur les travaux de Ewing & Clemente (2013), qui proposent à travers leur ouvrage « *Measuring urban design metrics for livable places* » une série d'indicateurs de design urbain à l'échelle du piéton.

2.2.1 Quelles sont les propriétés les plus pertinentes pour la mesure de la cohérence urbaine morphologiques à l'échelle piétonne ?

Ewing & Clemente (2013) recensent plus de 51 propriétés du design urbain à l'échelle piétonne qui reviennent dans les recherches urbaines, parmi lesquels ils en sélectionnent 8 en raison de leur importance dans la littérature. Parmi lesquels l'imagibilité, l'entourage, l'échelle humaine, la transparence, la complexité, la cohérence, la lisibilité et la liaison. Ces trois dernières propriétés semblent être relativement en accord avec la définition de cohérence morphologique :

- **Cohérence** : Un sens de l'ordre et de l'unité visuelle qui se traduit par la continuité et la complémentarité entre les échelles. Lorsque les éléments en apparence différents semblent se compléter, sans pour autant se juxtaposer à en être de simples répétitions. La cohérence est une propriété qui se comprend en complémentarité avec la complexité. Ainsi, les espaces urbains qui combinent cohérence et complexité, loin d'être des environnements désordonnés présentent une information visuelle riche sans pour autant être chaotique (Kaplan et al., 1989). La définition donnée ici de la cohérence diffère

⁶⁴ Voir Chapitre 4, 2.2.5

quelque peu de la définition de Salingaros et se trouve être bien plus axée sur l'aspect visuel et paysager de l'espace urbain, ce qui est compréhensible au vu de l'échelle étudiée.

- **Lisibilité** : La facilité avec laquelle la structure spatiale d'un espace urbain peut être lue, saisie et comprise par un piéton, et par conséquent la facilité d'orientation et de navigation dans cet espace qui en découle. Selon Kevin Lynch (1964, p.3), la lisibilité est définie comme étant « *la facilité avec laquelle le paysage urbain peut être reconnu et organisé en un assemblage cohérent* ». Lynch avance l'idée que les usagers piétons créent une carte mentale de l'espace qui les entoure, autour de cinq points essentiels : les chemins, les limites, les quartiers, les nœuds et les points de repère. Des environnements urbains fortement caractérisés par des points de repère, des quartiers à l'architecture particulière, des nœuds d'activité seront plus à même d'être lisibles. Cette propriété semble aussi reliée à la forme de la trame viaire. Ainsi, une trame en grille facilitera la navigation mais rend plus difficile la distinction d'une rue, alors qu'une trame irrégulière aura tendance à embrouiller un visiteur non habitué des lieux, mais participera à créer un environnement reconnaissable et caractérisé.
- **Liaison** : La force des connexions physiques et visuelles entre les éléments de l'espace urbain, par exemple la connexion entre bâti et rue, entre rue et rue, ou entre un côté de la rue et son autre côté. Cette propriété donne un espace public unifié et continu. Elle n'est pas sans rapport avec la connectivité vue plus haut et se recoupe aussi en partie avec l'idée de couplage avancée par Salingaros (2000). En guise d'exemple, un bâtiment peut renforcer sa connexion avec une rue par l'intermédiaire d'un élément tiers, comme une rangée d'arbre agissant comme un élément catalyseur d'interaction, liant ainsi psychologiquement les deux entités initiales (Arnold, 1980).

Ces trois premières propriétés retrouvent de nombreux points de chute communs à la définition de la cohérence urbaine (Salingaros, 2000). Cependant, ces dernières n'ont pas été retenues par Ewing & Clemente (2013), en raison de la difficulté de définir une méthode opérationnelle de mesure qui soit fiable et suffisamment objective⁶⁵. Parmi les cinq propriétés restantes, nous en avons choisi trois qui semblent être plus en accord avec la définition de la cohérence urbaine

⁶⁵ Ewing & Clemente (2013) soumettent les huit propriétés retenues à un processus de test rigoureux, à l'issue duquel ils déterminent quels sont les propriétés qui peuvent être mesurées avec suffisamment de précision et d'objectivité. 5 des 8 propriétés sont alors retenues pour être opérationnalisées en indicateurs de mesure.

de Salingaros (2000). Nous nous intéresserons donc à l'échelle humaine, à la transparence ainsi qu'à la complexité.

2.2.2 Echelle humaine

L'échelle humaine est une propriété qui se base sur les objets, textures et entités qui correspondent à l'échelle du corps humain et avec lesquels un usager piéton peut facilement interagir. Ainsi, un environnement bâti à échelle humaine, avec des rues bien définies bordées de bâtiments à hauteur raisonnable⁶⁶, des arbres, du mobilier urbain aident à créer un environnement plus rassurant et plus susceptible de générer de l'interaction. Cette propriété est aussi liée à la vitesse de déplacement du piéton. Ainsi, les objets démesurément agrandis sont souvent pensés pour les automobilistes qui circulent à 50km/h, alors que les objets à taille humaine n'excèdent pas les limites du champ de vision et du champ auditif humain.

Pour mesurer cette propriété, Ewing & Clemente (2013) suggèrent les indicateurs suivants :

- ***Lignes de vision lointaine*** : Le nombre de lignes de vision dans la paysage ou la vue est dégagée au-delà de 300 mètres depuis une rue.
- ***Proportion d'ouvertures au rez-de-chaussée*** : Une estimation de la proportion plein vide du rez-de chaussée, par incréments de 10%. Le résultat est compris entre 0 et 100 %
- ***Hauteur des bâtiments*** : Une estimation de la hauteur des bâtiments du côté de la rue, pondérée par la longueur relative de chaque bâtiment.
- ***Végétation en pot*** : Le nombre de plantes ou d'arbustes en pot avec une base de moins d'1 m² dans la zone étudiée, se trouvant sur l'espace public.
- ***Objets d'aménagement urbain*** : Le nombre d'objets d'aménagement urbain dans la zone étudiée se trouvant dans l'espace public, du côté de la rue mesurée. On peut distinguer plusieurs catégories : le mobilier urbain, les tables en terrasse et l'éclairage urbain.

2.2.3 Transparence

La transparence fait référence au degré de perméabilité visuelle entre rue et bâti, plus spécifiquement au degré auquel les usagers piétons peuvent percevoir l'activité humaine à l'intérieur des bâtiments. Cette propriété est donc fortement soumise à la nature opaque ou transparente des façades au rez-de-chaussée. Elle peut aussi être plus subtilement liée à une perception indirecte de l'activité humaine au-delà de sa définition physique et matérielle. Ainsi,

⁶⁶ Selon Alexander et al., (1977), cette limite ne devrait pas excéder les 4 étages.

une rue avec de nombreuses petites intersections renforcera la sensation de transparence. Certains éléments, comme les cours, enseignes, écoles ou sites religieux ajouteraient à la transparence dans une rue, alors que les reculs des bâtiments, les arcades et les vitres réfléchissantes la diminueraient. En outre, cette propriété semble être directement liée aux interactions humaines, ce pourquoi nous l'avons choisi dans les indicateurs de cohérence à l'échelle piétonne.

- ***Proportion d'ouvertures au rez-de-chaussée*** : Une estimation de la proportion pleine vide du rez-de chaussée, par incréments de 10%. Le résultat est compris entre 0 et 100 %
- ***Proportion de façade continue sur rue*** : Une estimation de la proportion de façade continue le long d'une rue. Les éléments linéaires de plus de 1,50 m de haut, placés à moins de 3m du trottoir et obstruant plus de 60% du champ de comptent. Les ruptures, comme une parcelle non bâtie, ou un parking en plein air ne sont pas comptés. Le comptage se fait des deux côtés de la rue mesurée. Le résultat s'estime en pourcentage, par incréments de 10%.
- ***Proportion d'activités humaines*** : Une estimation de la proportion des bâtiments présentant une activité humaine accessible au public depuis la rue. Un bâtiment privé ou résidentiel ne rentre pas dans le comptage. Le résultat s'estime en pourcentage, par incréments de 10%.

2.2.4 Complexité

Cette propriété fait référence à la richesse visuelle d'un environnement urbain et dépend de la variété et de la diversité architecturale des bâtiments environnants, mais aussi de la richesse de leur ornementation. Rapoport (1990) définit la complexité comme le nombre de nuances notables pouvant être observées par un usager par unité de temps. Cela opère donc une distinction entre l'utilisateur motorisé et l'utilisateur piéton, bien plus lent et nécessitant ainsi un champ d'information bien plus riche. Certains éléments du paysage comme les arbres participent aussi à ajouter de la complexité à l'environnement urbain, par exemple à travers leurs innombrables feuilles et les jeux d'ombre et de lumière qu'ils projettent. Le mobilier urbain contribue lui aussi à la complexité visuelle, en ajoutant des éléments à échelle humaine riches en détail. Enfin, la présence d'activité humaine à travers les foules de personnes déambulant dans l'espace public, de par leur nombre mais surtout de par leur mouvement ajoute aussi grandement à la complexité d'une scène urbaine. Cette propriété est aussi partiellement

reliée à la cohérence vue plus haut, ces deux propriétés se supportant mutuellement pour créer des environnements urbains très riches en détail mais pas pour autant chaotique. La cohérence venant ordonner la grande quantité d'informations reçues par le piéton

- ***Bâtiments*** : Le nombre de bâtiments distincts comptés dans la zone étudiée, des deux côtés de la rue.
- ***Couleurs et nuances de couleurs des bâtiments*** : Le nombre de couleurs basiques comptées dans la zone étudiée, des deux côtés de la rue. On compte dans un premier temps les couleurs basiques. Une couleur basique correspond à la couleur dominante d'un bâtiment, sans prendre en compte les nuances. On compte ensuite les nuances de couleur dans chaque bâtiment.
- ***Objets d'aménagement urbain*** : Le nombre d'objets d'aménagement urbain dans la zone étudiée se trouvant dans l'espace public, du côté de la rue mesurée. On peut distinguer plusieurs catégories : le mobilier urbain, les tables en terrasse et l'éclairage urbain.
- ***Œuvres d'art publiques*** : Le nombre de monuments, sculptures, ou toute forme d'expression artistique se trouvant sur l'espace public. Les œuvres doivent être à échelle humaine.
- ***Piétons*** : Le nombre de passants piétons comptés dans la zone étudiée, du côté de la rue mesurée. Ne sont comptés que les passants en mouvement. Le comptage se fait en marchant le long de la rue, en quatre fois. Le nombre de passants est une moyenne de ces quatre comptages.

Conclusion du Chapitre 4

L'exploration de la littérature selon l'enjeu de consistance de la forme urbaine fonde ce que nous avons appelé en début de chapitre « cohérence urbaine morphologique ». La théorie à ce propos est principalement apportée par Alexander et Salingaros, à travers une approche qui se veut holistique puisqu'elle considère la ville comme un ensemble composé de sous-systèmes fonctionnant en bonne intelligence. La pensée d'Alexander est d'abord exposée pour sa théorisation du « wholeness » et des centres, qui n'est ni plus ni moins qu'une manière d'expliquer les mécanismes cognitifs qui permettent de reconnaître des formes géométriques comme des ensembles cohérents, dans la continuité de la méréologie. Cette théorie fait écho à

une autre théorie appartenant à la psychologie cognitive appelée « gestalt⁶⁷ ». Nous présentons ensuite la pensée de Salingeros, clairement dans la continuité de celle d'Alexander. Il s'agit d'une des définitions les plus complètes et reconnues dans la littérature anglo-saxonne sur la cohérence urbaine, qualifiée comme étant une propriété géométrique des tissus urbains et normée par un certain nombre de règles portant sur la structuration globale du système. D'une manière plus générale, la cohérence urbaine est replacée dans le contexte plus global de la science des systèmes complexes en interaction et s'appuie sur des champs de recherche annexes comme la fractalité et les lois thermodynamiques comme l'entropie et la théorie du champ de l'information. La synthèse de ces deux parties théoriques s'opère particulièrement bien à travers les patterns d'Alexander, qui sont une tentative de transcription spatiale des principes d'organisation structurelle observables dans de nombreuses villes anciennes organiques, à travers des schémas-types répétables et centrés autour de l'humain. Quelques-uns de ces schémas-types, en particulier ceux sur l'organisation à l'échelle urbaine sont présentés. On y retrouve les principes de liaison, de connectivité et de structuration hiérarchique inhérents à la définition de la cohérence urbaine.

En ce qui concerne les indicateurs de cohérence urbaine morphologique, il existe quelques tentatives dans la littérature. Nous en avons relevé principalement deux. La première s'intéresse à la cohésion urbaine, qui est une notion dont la définition est assez proche de celle de la cohérence urbaine et basée sur l'étude de l'espace public comme vecteur de liaison. Elle est vérifiée d'une manière qualitative selon une grille de lecture basée sur la continuité du tissu urbain ou encore la diversité des fonctions. La deuxième approche se veut quant à elle beaucoup plus géométrique et quantitative, en se basant sur l'empreinte des bâtiments. La cohérence urbaine est quantifiée à l'aide d'un indice de Gini-Simpson et dépend de l'orientation et de la proximité des bâtiments. Ces deux premières tentatives s'intéressent à la cohérence urbaine à l'échelle urbaine plus large et sont complétées par une présentation d'indicateurs à l'échelle piétonne. Dans cette perspective, la cohérence urbaine devient bien plus visuelle que structurelle et peut être quantifiée en étudiant l'homogénéité et la transparence des façades, ou encore la perméabilité de l'espace public.

⁶⁷ La Gestalt est une théorie de la psychologie originaire d'Allemagne au début du 20e siècle qui étudie la manière dont les humains perçoivent les objets et les situations. Elle part du principe que l'esprit perçoit les choses de manière globale, organisée et comme un ensemble structuré plutôt que comme des éléments isolés. Le terme "Gestalt" lui-même est souvent traduit par "forme" ou "configuration". Les principes fondamentaux de la Gestalt insistent sur l'idée que "le tout est différent de la somme de ses parties".

Si les indicateurs de cohérence urbaine à l'échelle piétonne semblent être particulièrement logiques et convaincants, il n'en est pas de même pour l'échelle urbaine. En effet, lors de nos recherches, nous avons clairement identifié un manque dans les méthodes de quantification de la cohérence urbaine morphologique à l'échelle d'une agglomération. Les études existantes que nous avons rapportées ne permettent pas en réalité de quantifier l'organisation structurelle complexe d'une ville, telle qu'expliqué par Alexander et Salingaros. Ce point nécessite approfondissement. Il est nécessaire d'aborder la cohérence urbaine morphologique par d'autres angles d'attaques que l'approche directe par le mot-clé « cohérence » que nous employons dans ce chapitre. Un travail de réflexion semble être nécessaire afin de relier la cohérence urbaine à d'autres concepts différents mais complémentaires et qui pourront apporter un éclairage nouveau à notre recherche. Comme constaté précédemment, la notion de cohérence urbaine demeure assez floue, notamment en ce qui concerne sa quantification et reste à construire.

Dans la suite de notre recherche, nous explorons un champ disciplinaire qui est apparu à de multiples reprises au courant de ce chapitre, qui est celui des sciences de la complexité. La cohérence urbaine est systématiquement reliée à ce sujet, à juste titre puisqu'il est admis que l'étude de cette dernière prend place au sein d'une ville, assimilée à un système complexe.

**Chapitre V : Les sciences de la
complexité, prélude à l'étude de la
cohérence urbaine morphologique**

Introduction du chapitre cinq

Lors du chapitre précédent, nous avons noté l'importance d'une vision holistique associée à la notion de cohérence urbaine dans la littérature. Cette approche est associée à l'idée de système, comme étant un ensemble lui-même composé de sous-ensemble travaillant en harmonie. Les différentes parties du tout sont interdépendantes et ne peuvent être totalement décomposés tant ils sont intriqués. A cette idée de système, est aussi associée l'idée de complexité. Les systèmes étant souvent considérés comme des objets complexes auxquels les règles conventionnelles des sciences dites « positives » ne s'appliquent pas, une science de la complexité s'impose pour les comprendre (Fusco, 2018). Afin de mieux comprendre la nécessité d'une approche respectueuse de la complexité des villes, faisons un retour vers le passé pour voir l'impact et le danger d'une vision non complexe.

Dans une volonté de continuer à approfondir la notion de cohérence urbaine morphologique, nous axerons ce chapitre sur la présentation des sciences de la complexité appliquées à la ville. A ce moment de notre recherche, nous avons fait un exposé relativement exhaustif de la littérature sur la cohérence urbaine. Nous avons pu définir deux types de cohérence urbaine, en fonction des deux enjeux de proximité et de consistance posés au début de la deuxième partie. Pour la suite de notre recherche, nous choisissons de continuer à approfondir la cohérence urbaine morphologique. Ce choix n'est pas fortuit et les raisons de ce choix seront explicitées au début de ce chapitre. Ensuite, nous introduirons les sciences de la complexité d'abord à travers un tour d'horizon des principes fondamentaux. Nous poursuivrons alors en abordant plus précisément les sciences de la complexité appliquées à la ville, ce qui nous amènera à étudier plus en détail les règles de structuration au sein d'une ville. L'approche holistique d'Alexander, ainsi que les règles de cohérence urbaine énoncées par Salingeros s'inscrivent en réalité dans ce cadre plus large qu'est l'étude des villes selon le paradigme de la complexité. Nous tenons aussi à rappeler que nous parlons encore de morphologie urbaine. La cohérence urbaine morphologique, définie à partir de l'enjeu de consistance de la forme urbaine, est jusque-là comprise comme étant une qualité formelle qui lie d'une manière ordonnée et structurée tous les éléments dans une ville. Cependant, il reste encore à clarifier cette notion, dans l'idée de pouvoir arriver à la quantifier précisément. L'étude d'un système complexe peut s'avérer être une tâche ardue. Dans ce cas, une approche à travers la morphologie, qui bien souvent est le seul élément directement accessible à l'étude, peut très bien être un bon point de départ (Salingeros, 2005).

1 Justifications sur le choix de l'étude de la cohérence urbaine morphologique

Tout au long du chapitre précédent, la cohérence urbaine a été décryptée à la lumière des éléments présents dans la littérature, sous l'angle des deux aspects fonctionnels et morphologiques. La suite de notre recherche sera exclusivement concentrée sur la cohérence urbaine morphologique. Nous expliquons dans la section qui suit pourquoi nous avons fait le choix d'étudier la cohérence urbaine sous son aspect morphologique.

1.1 La présence d'outils déjà éprouvés pour la cohérence urbaine fonctionnelle

L'approche de la ville cohérente développée par (Korsu et al., 2012) est un exemple parlant de l'étude de la cohérence urbaine fonctionnelle. L'étude de la région Ile de France, à travers le navettage permet de savoir d'une manière précise dans quelle mesure les emplois et les résidences sont proches. La présence de nombreux indicateurs de navettage mis en évidence dans le chapitre quatre est aussi le signe d'une littérature riche et abondante sur le sujet. De plus, la pléthore d'indicateurs de mixité fonctionnelle, qui facilitent l'évaluation du niveau de diversité des fonctions au sein d'une zone urbaine, renforce également l'idée d'une relative abondance en informations propices à l'étude de la cohérence urbaine fonctionnelle. La notion demande cependant encore à être creusée. Bien que s'appuyant sur le navettage, elle n'en est pas pour autant réduite à ce dernier. Dans notre vision des choses, la cohérence urbaine n'est pas forcément un indicateur chiffré, mais plutôt une appréciation de la capacité d'une ville à offrir une diversité fonctionnelle et une proximité relative aux services et aux biens, à partir d'un ensemble de données.

A contrario, nous avons relevé un vide relativement palpable lors de la revue de la littérature des indicateurs de cohérence urbaine morphologique. D'un point de vue théorique, la notion est solidement fondée (Alexander, 2004; Salingaros, 2000a). D'un point de vue pratique, il n'existe pas vraiment de méthode d'évaluation ou d'étude aussi directe que pour la cohérence urbaine fonctionnelle. Nous identifions donc à cet endroit de la littérature un vide à combler. La suite de l'exploration se concentrera sur l'approfondissement de la notion de cohérence urbaine morphologique. L'objectif étant de fournir d'abord un travail de réflexion théorique, à partir des éléments déjà présents dans la littérature, pour ensuite proposer un cadre d'étude et d'évaluation.

1.2 L'insuffisance des données pour l'étude de la cohérence urbaine fonctionnelle des villes algériennes

L'objectif de notre travail est triple. Premièrement, il cherche à donner un contenu précis à la notion de cohérence urbaine, suite à une réflexion de départ sur les villes contemporaines et le constat de discontinuité. D'une autre part, il a pour but de proposer un cadre d'évaluation de la cohérence urbaine, axée autour de son aspect morphologique. Troisièmement, il s'agit d'étudier les villes algériennes à travers une vision originale et inédite, autour de la cohérence urbaine morphologique et sous le prisme des sciences de la complexité. Pour rappel, notre cas d'étude est l'agglomération de Tlemcen, une ville algérienne de taille moyenne. Le choix de la cohérence urbaine morphologique s'explique par élimination, de par l'absence de données adéquates pour l'étude de la cohérence urbaine fonctionnelle. En effet, l'étude cette dernière, puisque basée sur le navettage, nécessite un très grand nombre de données, notamment les données des déplacements des ménages dans le cadre d'une enquête ménage – déplacement⁶⁸. Il n'existe pas à notre connaissance de telles données pour les villes algériennes. Le dernier recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) a eu lieu en 2008 et celui de 2018 n'a toujours pas été publié à ce jour. Il serait difficile, en vue des moyens à notre disposition pour la réalisation de ce travail, de produire de telles données. Par voie de conséquence, nous ne pouvons pas nous lancer dans l'étude de la cohérence urbaine fonctionnelle. L'étude de la cohérence urbaine morphologique apparaît comme un choix plus raisonné en termes de faisabilité, puisque basé sur la forme urbaine, un élément plus palpable et pouvant être représenté spatialement. Les données cartographiques sont disponibles et accessibles en libre-service, notamment grâce aux avancées des technologies de télédétection. Nous les avons d'ailleurs utilisés au début de cette thèse lors de l'étude de la discontinuité spatiale de l'agglomération de Tlemcen.

2 Ville et sciences de la complexité : définitions, théories et champ d'applications

L'émergence des sciences de la complexité trouve ses racines dans une période de remise en question et d'évolution des paradigmes scientifiques. Historiquement, les sciences positives, dominantes depuis la révolution scientifique du XVIIe siècle, se caractérisent par une approche

⁶⁸ Une enquête ménage déplacement (ou EMD) est une étude qui vise à collecter des données sur les habitudes de déplacement des individus au sein d'une région ou d'une zone géographique spécifique. Cette enquête recueille des informations détaillées sur les déplacements effectués par les membres d'un ménage sur une journée typique.

réductionniste et déterministe. Cette approche a engendré d'innombrables succès dans des domaines comme la physique newtonienne, la chimie, et la biologie classique. Cependant, au fil des avancées scientifiques, cette approche montre ses limites, particulièrement dans le traitement des systèmes complexes. Des domaines tels que la mécanique quantique et la théorie de la relativité ont commencé à remettre en cause l'idée de lois universelles simples et prédictibles. De plus, dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle, avec l'essor de l'informatique et la découverte de systèmes biologiques et écologiques plus complexes, il est devenu évident que de nombreux phénomènes ne pouvaient pas être pleinement expliqués par une approche strictement réductionniste. Les années 1960 et 1970 ont vu naître les précurseurs des sciences de la complexité, notamment avec les travaux sur la théorie du chaos et les systèmes dynamiques. Ces études ont révélé que dans de nombreux systèmes, de petites variations dans les conditions initiales peuvent entraîner des changements drastiques et imprévisibles dans le comportement du système, défiant ainsi l'idéal de prédictibilité des sciences positives.

L'intérêt grandissant pour l'étude des systèmes complexes a conduit à la formation de domaines de recherche interdisciplinaires, comme la cybernétique, la théorie des systèmes, et plus tard, la science des réseaux. L'accent est mis sur une compréhension plus holistique et intégrative des systèmes, mettant en lumière l'importance des relations, des interactions, et des comportements émergents.

2.1 Quelques fondements théoriques à la science de la complexité

Nous commençons par examiner ce que l'on entend par complexité. Malgré une multitude d'approches et de définitions possibles, il est possible de cerner certains invariants théoriques qui caractérisent la complexité. La première caractéristique s'apparente au flou et à l'imprécision auquel on se confronte lors de l'étude d'un système complexe. Ainsi, la complexité est à différencier de complication, car il est impossible d'avoir une connaissance précise et exhaustive d'un système complexe, peu importe les efforts déployés (Fusco, 2018). L'imprévisibilité des systèmes complexes est aussi l'une des caractéristiques fondamentales. Ils sont en effet extrêmement sensibles à la moindre variation des contraintes extérieures. L'ambiguïté, due à la coprésence de logiques antagonistes au sein du même système, est aussi l'une des caractéristiques inhérentes à la complexité. Cela rend d'ailleurs toute tentative d'analyse par la logique fastidieuse, voire impossible (Cambien, 2008).

Edgar Morin (1994, 2015), sociologue de la pensée complexe, nous donne aussi un éclairage intéressant sur la science de la complexité, en identifiant sept principes qui fondent selon lui l'étude des systèmes complexes (Tableau 4).

Principe	Définition
Approche holistique	Le tout est différent de la somme des parties. L'interaction entre les parties d'un système produit certaines propriétés qui ne sont pas identifiables dans chaque partie prise séparément.
Autonomie/Dépendance	Un système complexe dépend de ses relations avec l'environnement externe, tout en conservant une autonomie et une organisation vis-à-vis de ce dernier.
Hologrammétrie	Les parties d'un système portent chacune en elles des informations sur l'organisation de l'ensemble.
Boucles de rétroaction	Il n'existe plus de simples liens à cause à effet. Les effets peuvent rétroagir sur les causes
Boucles de récursivité	Chaque élément est généré par une génération antérieure qui entraîne à son tour la suivante
Dialogie	La coexistence de logiques opposées et contradictoires au sein d'un même système.
Réintroduction du connaissant dans toute connaissance	Il est impossible d'obtenir une connaissance parfaitement objective du système, car l'interaction du sujet avec l'objet de connaissance l'inclut de ce fait dans ce système.

Tableau 4 : Les sept principes de la pensée complexe d'Edgar Morin (Fusco, 2018)

La science de la complexité porte l'enjeu d'un renouvellement épistémologique, en faveur d'un décloisonnement de la science en savoirs disciplinaires étanches, en mettant la complexité croissante des phénomènes observés au cœur du débat.

2.2 Des théories positives de la ville à la reconnaissance de la complexité

Tout au long du 20^e siècle, une série de théories et de paradigmes interprétatifs se sont littéralement appropriés l'urbanisme et l'aménagement, se distinguant notamment par le recours à la rationalité et à une prétendue scientificité pour leur œuvre de planification de l'espace urbain. On peut considérer cette vision comme « positive » puisqu'elle considère la ville d'un point de vue strictement quantitatif et comme un objet d'étude exact et prévisible. Ces théories dérivent essentiellement de l'économie spatiale, se basent sur des postulats et visions simplificatrices de la réalité et n'acceptent pas à ce sens la complexité de la ville. Parmi

ces théories, on peut notamment citer la théorie des lieux centraux de Christaller (Christaller, 1980), la théorie de l'accessibilité gravitaire (Isard, 1956), l'approche fonctionnaliste en architecture ainsi que l'urbanisme fonctionnaliste des CIAM (Le Corbusier, 1924, 1943). L'aménagement spatial est considéré avant tout comme un processus de décision rationnel, globalement réduit à la projection de fonctions et de quantités préétablies. La planification urbaine est surtout focalisée sur l'usage des sols et la distance est le principal indicateur spatial. La question de la forme urbaine est passée sous silence car vue comme n'ayant pas d'importance sur l'ensemble. La composition urbaine⁶⁹ est dissociée de l'urbanisme à grande échelle. En ce qui concerne cette échelle de « détail » de la composition urbaine, on observe la même radicalité scientifique. Les règles de construction sont strictes et codifiées, l'ornementation est bannie, l'alignement sur rue est remplacé par des voies desservant des bâtiments flottant dans une étendue de verdure. De très nombreuses voix se sont élevées contre cette idéologie prétendument scientifique, dont celle de Salingeros (2005, p. 13) ou encore Jacobs (1961) qui adressent une critique à l'urbanisme des CIAM, en affirmant qu'ils nient le caractère ontologiquement auto-organisé de la ville. Pour les urbanistes modernes, la ville se réduit à un problème de complexité non organisée. Ainsi, l'action de la rationalité humaine est indispensable pour organiser le chaos d'une multitude d'habitants, de flux, d'entreprises, faute de quoi une ville ne pourrait atteindre une certaine cohérence spatiale et fonctionnelle. En définitive, une considération simpliste des formes urbaines induit une connaissance suffisamment certaine de la ville, alors même que la ville est caractérisée par des phénomènes incertains et imprévisibles

2.3 Quelle complexité pour la ville ?

La science de la complexité couvre de nombreux champs disciplinaires, dans une étendue peut-être aussi vaste que celle de la connaissance elle-même. Cependant, à ce stade de notre exploration, nous estimons légitime de cerner la complexité qui s'applique à notre objet d'étude qui est la ville. Pour ce faire, nous définirons la complexité organisée, qui est la plus à même de caractériser la ville, puis nous reviendrons sur la notion de système complexe.

Dans son article fondateur, Manson (2001) distingue trois types de complexité, parmi lesquels la complexité agrégée, définie comme un ensemble d'interactions entre les éléments d'un système, formant des structures macroscopiques auto-organisées (*patterns*), à travers des échanges avec un environnement extérieur. Cette organisation demeure globalement stable

⁶⁹ Au sens de la conception des formes physiques et spatiales de la ville (ou Urban Design)

dans le temps, tout en étant en perpétuel changement, car les structures auto-organisées sont aussi dissipatives d'énergie, ce qui rend l'organisation de la structure dépendante des échanges avec l'extérieur. Chez Dauphiné (2003), la complexité structurelle, utilisée pour caractériser l'espace géographique, est définie globalement de la même manière que Manson, à travers l'interaction des éléments et l'émergence de macrostructures qui en émergent. Cependant, Dauphiné donne une grande importance à l'imbrication des différentes échelles entre elles, formant ainsi des sous-systèmes spatiaux, ce qui participe à la complexité du système.

Jane Jacobs (1961), dans son ouvrage « *The Death And Life Great American Cities* » résume la ville à un problème de complexité organisée, par analogie avec un organisme vivant. A partir de cette analogie, Marshall (2012) propose de décortiquer la complexité organisée selon quatre types (Fig.).

- Complexité artefactuelle : Désigne la complexité d'objets s'apparentant à des systèmes bien délimités. Un concepteur crée et place délibérément chaque partie selon un ordre préétabli, de manière à atteindre une finalité recherchée. Le système est normalement connaissable dans son intégralité, car l'organisation est portée de l'extérieur.
- Complexité biologique : Désigne la complexité d'un organisme ou système biologique vivant. En un sens, il s'agit toujours d'un système délimité et fini, ayant toujours une finalité bien précise. Cependant, l'ordre n'est plus préétabli mais est qualifié d'auto-organisé. Sa connaissance, bien qu'autrement plus complexe que celle de l'artefact, reste soumise à des principes biologiques définis.
- Complexité écologique : Désigne la complexité d'écosystèmes naturels vastes et ouverts. Cette complexité se différencie par l'existence d'un ensemble de communautés d'organismes vivants, en interaction entre-elles et avec les composantes non vivantes de l'environnement. Le système n'est pas délimité, se présente comme un continuum dépourvu de limites spatiales claires et ne poursuit pas une finalité bien claire. Le système est très ouvert, de nouvelles composantes s'y ajoutent et s'y soustraient en permanence, changeant aussi l'organisation interne du système, la rendant ainsi bien plus difficilement connaissable.
- Complexité de systèmes d'artefacts : Désigne la complexité d'un ensemble d'artefacts, d'origine humaine, cependant si les éléments sont conçus selon un ordre préétabli,

l'ensemble n'obéit à aucun programme prédéfini dans sa totalité⁷⁰. L'organisation émerge d'une dialectique entre auto-organisation et tentatives de contrôle par l'humain. Tout comme les écosystèmes, l'ensemble n'obéit à aucun objectif précis et demeure très ouvert, ainsi l'ajout ou la suppression d'éléments provoque un changement dans l'organisation interne.

La ville se place dans cette quatrième catégorie, nuanciant de ce fait l'analogie courante avec un système organique. Ainsi, la ville serait plus proche de l'écosystème naturel, ouvert et adaptatif, qu'avec un organisme biologique délimité.

2.4 La ville, objet de connaissance incertaine

Le lien entre complexité et incertitude semble relativement évident, du moment qu'une situation complexe, à travers les principes moriniens énoncés plus haut comme l'hologrammétrie ou la dialogie, où encore à travers la définition de la complexité organisée, se caractérise par l'impossibilité d'une connaissance certaine et précise de son état passé, présent et futur. Fusco (2018) place la question de l'incertitude comme étant centrale dans la réflexion sur la connaissance de la ville appréhendée en tant que système complexe. D'un point de vue épistémologique, Hayek (1978) distingue entre la connaissance détaillée, qui explique les phénomènes par une prédiction exhaustive en identifiant leurs causes et conséquences, et la connaissance de principe, qui se contente d'énoncer des règles générales jamais absolues. L'étude des systèmes complexes se situe dans ce deuxième type de connaissance dite de principe, ce qui implique une évaluation bien plus quantitative des phénomènes.

Selon Passeron (1991), il existe un décalage entre le formalisme quantitatif et la connaissance qui en découle dans les sciences non-expérimentales. L'observation faite d'un phénomène et l'interprétation qui en est donnée produit de ce fait une connaissance soumise là aussi à une incertitude et demeure dépendante du sujet humain. Le caractère évolutif et ouvert des systèmes complexes auto-organisés semble à lui seul remettre en question toute tentative de construction catégories logiques à travers lesquelles nous identifions les éléments et les niveaux d'organisation de ce système. Finalement, devant l'incapacité à modéliser avec précision l'état ou l'évolution d'un système complexe, l'anticipation qualitative des phénomènes typiques, avec la conscience de l'existence de phénomènes imprévisibles, serait la seule voie du chercheur en sciences non expérimentales à la recherche d'une voie opérationnelle. Cette idée

⁷⁰ Sauf cas isolés, comme une ville nouvelle entièrement planifiée ou une langue inventée.

est décisive quant au processus de réflexion et de planification de l'espace, qui doit se faire en considérant cette incertitude ontologique associée à la ville. Cependant, cette incapacité de prédire avec précision ne doit pas être un prétexte à l'inutilité de toute connaissance urbaine, qui devrait au contraire l'intégrer dans son modus operandi (Fusco, 2018).

Enfin, nous finirons cette section par cette citation de Batty (2013, p. 24) qui nous éclaire sur les enjeux d'une connaissance nouvelle sur la ville :

« Nous tous articulons notre compréhension de la ville de différentes manières, impliquant ainsi que les villes sont des kaléidoscopes d'une pluralité, d'une multiplicité d'idées, de perceptions, de théories, de modèles – à vrai dire de toute possible abstraction que nous pouvons imaginer pour elle. Il est ainsi relativement difficile de nous convaincre qu'une approche en particulier pour la compréhension de la ville doit être prioritaire sur une autre, et cela rend le développement d'une science des villes construite dans la tradition de la science classique comme on la connaît depuis les temps de Newton simplement impossible ».

3 Système complexe, approche systémique et ville

Après avoir défini le cadre épistémologique associé à la science de la complexité, et avoir introduit dans quelle mesure cette dernière est pertinente pour appréhender un objet aussi complexe qu'une ville, nous introduisons l'étude d'une ville en tant que système complexe, notamment à travers l'approche systémique.

3.1 Qu'est-ce qu'un système complexe

Attardons-nous maintenant quelque peu sur la notion de système. Ce mot a pu être utilisé dans les lignes précédentes pour qualifier une situation complexe, notamment pour caractériser la ville, qui se présenterait comme un système. Une définition courante et très généraliste d'un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but (Rosnay, 2014). Au-delà de cette définition générique, on distingue de manière pragmatique deux aspects dans un système : un aspect structural et un aspect fonctionnel. Les aspects structuraux d'un système décrivent l'organisation spatiale des éléments du système. Les limites, définissant une délimitation plus ou moins précise du système avec l'environnement externe ; les éléments qui sont les constituants de base, pouvant être assemblés en catégories ; ou encore des réseaux de communication, qui permettent les échanges et la circulation des flux entre les éléments d'un système ; comptent parmi les différents traits structuraux d'un système. Les aspects fonctionnels quant à eux, caractérisent les phénomènes dépendant du temps, comme

flux d'information, de matière ou d'énergie ; les vannes qui régulent et contrôlent les flux traversant le système ; ou encore les boucles de rétroaction positives ou négatives

Les systèmes sont aussi caractérisés par d'autres propriétés telles que l'existence d'une finalité qui détermine le comportement du système, le principe d'arborescence qui se manifeste par une organisation hiérarchisée en sous-systèmes, la variété qui est une condition sine qua non à leur capacité d'adaptation, ou encore une capacité à l'auto-organisation à travers leur capacité à maintenir un équilibre interne en fonction de conditions externes changeantes⁷¹ (Cambien, 2008).

3.2 Etude des systèmes complexes : l'approche systémique

Une définition générale de la systémique est l'étude des systèmes, comme ensemble complexe d'interactions. Elle se distingue des approches scientifiques classiques par une vision décloisonnée, globale et holistique, au lieu de se limiter au détail de chaque partie. Rosnay (2014) distingue entre approche systémique et approche analytique, dont nous exposons quelques différences dans le Tableau 5. Les systèmes sont en général représentés dans leur rapport avec leur environnement, comme étant une boîte noire⁷² transformant des variables d'entrées en variables de sorties. Tout système contient en son sein deux types de variables : les variables de flux, qui dépendent du temps et qui traduisent l'écoulement d'une grandeur entre deux instants ; et les variables d'état, qui traduisent une propriété figée non dépendante du temps dans le système. La systémique accorde aussi une importance toute particulière aux boucles de rétroaction, qui sont caractéristiques des systèmes complexes. Les liens de cause à effet n'existent plus puisque les effets peuvent rétroagir sur les causes. Aussi, ces boucles de rétroaction sont impliquées dans la régulation du système.

Historiquement, la systémique a connu une reconnaissance scientifique à partir des années 70, date à partir de laquelle de nombreux chercheurs⁷³ de disciplines différentes apportent un contenu théorique précis à la science des systèmes. Cette tentative de généralisation conduit au développement de la dynamique des systèmes⁷⁴. Science de la modélisation quantitative à caractère prédictif et donc opérationnel, elle rencontre vite un vif succès, aussi doublé de

⁷¹ Cette définition d'un système ne coïncide pas parfaitement avec la définition de la complexité organisée de systèmes d'artefacts vue plus haut, notamment sur le point de la finalité du système. En effet, un système d'artefacts, catégorie à laquelle on assimile une ville, n'a pas toujours une finalité bien claire, en dépit des tentatives de planification humaines.

⁷² Ce terme de boîte noire est employé par rapport à la complexité des interactions au sein du système, qu'il est impossible de connaître avec certitude.

⁷³ Parmi lesquels H. Simon, H. von Foerster, J. Forrester, E. Morin, I. Prigogine, H. Atlan, J.L. Le Moigne.

⁷⁴ Notamment à travers les travaux de Forrester (1970) considéré comme le père de la dynamique des systèmes.

difficultés. Ce qui amène à l'apparition d'une autre branche de la systémique dite de deuxième génération ou « System Thinking » qui met plus l'accent sur l'intelligibilité du système au lieu d'essayer d'en prédire le comportement.

D'un point de vue méthodologique, l'approche systémique se base essentiellement sur trois points. La première des méthodes est la triangulation systémique et postule qu'un système complexe peut généralement être abordé sous trois angles de vue complémentaires. L'aspect structurel du système, l'aspect fonctionnel du système et son aspect historique. Nous avons déjà expliqué plus haut les deux premiers aspects, rentrant par ailleurs dans la définition d'un système complexe. Le troisième considère le caractère évolutif et dynamique dans le temps, rendant légitime une telle approche historique. Une seconde méthode, dite de découpage systémique, s'attache à délimiter et définir les sous-systèmes formant le système d'ensemble, dans un premier temps, pour ensuite comprendre leur interrelations, frontières et finalités. Enfin, une troisième méthode, dite d'analogie, considère, dans une approche transdisciplinaire, la possibilité d'établir des correspondances entre deux systèmes, afin d'arriver à une meilleure compréhension de l'un des deux. La segmentation morphologique et fonctionnelle avancée par la triangulation systémique fait particulièrement écho à la dualité de même nature mise en évidence dans les chapitres précédents pour la cohérence urbaine. En outre, la considération décloisonnée et holistique préconisée par l'approche systémique n'est pas sans rappeler les idées d'Alexander et de Salinger sur la ville. Ces observations confortent dans leur légitimité

Approche analytique	Approche systémique
Isole : se concentre sur les éléments	Relie : se concentre sur les interactions entre les éléments
Considère la nature des interactions	Considère les effets des interactions
S'appuie sur la précision des détails	S'appuie sur la perception globale
La validation des faits se réalise par la preuve expérimentale dans le cadre d'une théorie	La validation des faits se réalise par comparaison du fonctionnement du modèle avec la réalité
Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles	Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires et fortes
Conduit à un enseignement par disciplines	Conduit à un enseignement pluridisciplinaire
Indépendante de la durée : les phénomènes considérés sont réversibles.	Intègre la durée et l'irréversibilité

Tableau 5 : Comparaison entre approche analytique et approche systémique. Source : auteur

le choix d'aborder la cohérence urbaine par l'approche transversale des sciences de la complexité.

3.3 L'approche systémique appliquée au système complexe « ville »

L'approche systémique se montre à première vue particulièrement pertinente pour l'étude d'un système complexe comme une ville et semble apporter des outils conceptuels appropriés. La double considération, structurelle et fonctionnelle de l'approche systémique s'adapte particulièrement bien à la ville et paraît fournir un cadre de compréhension englobant. Le critère d'arborescence des systèmes complexes semble aussi s'adapter au système ville, organisé en de nombreux sous-systèmes hiérarchisés. Bien que certaines difficultés subsistent, notamment la question des limites du systèmes, surtout dans les villes contemporaines qui se caractérisent par l'absence de délimitation morphologique claire ou encore celle de la finalité, qui n'est pas aussi évidente que pour un artefact ou un organisme biologique. Rosnay (2014) développe dans son ouvrage « *Le macroscope, vers une vision globale* » une vision holistique de la ville, où il opère sans la nommer une triangulation systémique. Après une description historique explicative de l'évolution des villes, il mène une description structurelle et fonctionnelle, en comparant encore une fois la ville à un organisme vivant. Ainsi, la ville se caractérise à la fois par sa morphologie et ses éléments physiques, tels que les rues, les avenues, les pâtés de maisons, les gares, etc. ; et par des flux d'énergie, de matériaux, d'information, etc. Le système urbain comprend de grandes fonctions, comme culture et loisir, communications et transports, organismes administratifs et financiers. Cette organisation fonctionnelle induit une organisation structurelle différenciée, chaque élément physique étant caractérisé par une fonction. Cette analyse constitue une phase d'exploration systémique, s'inscrivant dans la systémique de deuxième génération, cherchant à mettre en évidence le fonctionnement et le comportement du système. La dualité structure-fonction selon laquelle un système complexe peut être décomposé n'est pas sans rappeler la dualité « fonctionnelle/morphologique » mise en évidence dans les deux chapitres précédents pour la cohérence urbaine.

La dynamique des systèmes a aussi eu de nombreux exemples d'application à l'objet ville. Un modèle est construit sur la base de variables d'état, de flux et d'informations. Une fois le modèle construit, on passe par une phase de simulation et de calibration, suite à laquelle on valide le modèle, qui prendra ainsi toute sa dimension prédictive. Forrester (1970), pionniers de la dynamique des systèmes, a lui-même proposé un modèle de simulation de la croissance urbaine à très long terme. Le modèle se base sur trois sous-systèmes : l'industrie, le logement et la population. Ce dernier lui permet de tirer des conclusions sur la contre-intuitivité du système

urbain et sur son inertie au changement suite à des décisions politique. La tentative de Forrester, bien que relativement rudimentaire, a ouvert la voie à la modélisation quantitative urbaine. Ainsi, des modèles autrement plus compliqués voient le jour des décennies plus tard. MOBISIM est un exemple de modèle très complexe qui a été conçu dans le but de simuler les questions ayant trait à la mobilité urbaine. Ce modèle, développé par le laboratoire THEMA de l'Université de Bourgogne Franche Comté, est construit comme un outil d'aide à la décision, qui permet aux non-initiés de tester différents scénarios. MOBISIM est d'une grande complexité et prend en compte un grand nombre de variables, comme la localisation résidentielle et des emplois, le trafic, les jeux d'acteurs, le choix modal, etc.

4 L'organisation et la structuration d'une ville à travers les sciences de la complexité

Nous abordons dans cette section un point fondamental qui est celui de la structuration et l'organisation complexe d'une ville. A la fin du chapitre précédent, nous relevions un manque au niveau des indicateurs de cohérence urbaine morphologique. Pour rappel, la cohérence urbaine morphologique, que nous avons défini d'une manière assez imprécise pour le moment, en utilisant les éléments disponibles dans la littérature, est la qualité d'une ville à être organisée de la bonne manière et à être perméable aux flux qui la traversent. Ce manque d'indicateurs est l'une des raisons qui expliquent la bifurcation vers l'étude des villes selon les sciences de la complexité. Nous verrons donc au courant de cette partie quels sont les apports des sciences de la complexité à l'étude de la structuration profonde d'une ville.

4.1 Les différents registres de la forme urbaine

La forme urbaine est un concept porteur de nombreuses significations. Nous avons eu l'occasion de le constater au courant de notre exploration dans les chapitres précédents. Désignant tantôt la forme physique et spatiale de la ville, au sens morphologique du terme, tantôt une organisation spatio-fonctionnelle d'emplois et de résidences. A ce propos, Levy (2005) soumet cinq registres de la forme urbaine, chacun résultant d'une vision différente de la réalité urbaine. Le premier est celui du *paysage urbain*, selon lequel la forme urbaine est comprise comme l'espace visuellement perceptible par le piéton, dans sa tridimensionnalité. Le second est celui de la *forme sociale*, entendue comme une organisation spatiale des fonctions et des dynamiques sociales, elle s'intéresse tout particulièrement aux espaces publics, lieux essentiels de socialisation. Elle est en quelque sorte le signifié de la forme physique. La *forme bioclimatique* constitue le troisième registre, s'intéresse à l'espace urbain dans sa dimension environnementale. La forme urbaine est évaluée suivant son impact sur l'environnement. Le

quatrième registre s'intéresse à la *forme des tissus urbains*, notamment à travers l'analyse typomorphologique. Elle est comprise comme une dialectique entre parcelles, bâti et voiries et sert de support à l'étude des processus historiques morphogénétiques. Le dernier registre est celui de la *forme des tracés urbains*, à travers la géométrie organisatrice de son réseau viaire. Dans une certaine mesure et à une échelle globale, le plan de la ville peut être assimilé à sa forme urbaine.

Ainsi, la complexité de la forme urbaine réside dans ses manifestations aussi multiples que complémentaires. L'enjeu, autant théorique que pratique, réside dans la prise en compte de tous les registres de la forme urbaine. Au vu de l'imbrication entre chaque registre de la forme urbaine, tout en sachant que dans la réalité, ces aspects ne sont absolument pas dissociés, on ne peut opérer une simplification en étudiant qu'un seul registre. C'est pourquoi il est hautement pertinent de prendre en compte la forme urbaine dans sa globalité. Cette idée est au fondement de nombreux travaux sur la forme urbaine, dans le cadre d'une approche complexe de la ville. Pour autant, nous avons choisi de nous concentrer sur l'aspect physique et spatial de la forme urbaine, en étudiant la cohérence urbaine morphologique. Il s'agit de la forme visible et palpable, qu'on peut observer à travers une carte ou une image satellite. Le système ville possède un substrat physique d'éléments tangibles (bâtiments, rues, arbres, équipements techniques, mobilier urbain, etc.), temporellement plus stables, qui constituent le réceptacle du mouvement des autres éléments et interagissent avec eux. La forme urbaine est l'organisation spatiale de ces éléments physiques. La forme urbaine, comprise dans ce sens, constitue la première interface avec un système complexe ainsi qu'un médiateur éclairant la compréhension de phénomènes complexes sous-jacents. La citation de (Salingaros, 2005) fait ici particulièrement sens : « *Dans l'étude de processus mal connus, comme souvent dans les systèmes complexes, la morphologie observée peut offrir la seule base disponible pour essayer d'appréhender les mécanismes hautement complexes sous-jacents* ».

4.2 La structuration hiérarchique, une propriété fondamentale des systèmes complexes

L'un des premiers à mettre en avant l'emboîtement des sous-systèmes comme structure d'organisation des systèmes complexes est Simon (1962). Ainsi, chaque système est lui-même constitué de sous-systèmes à plus petite échelle (module), et ainsi de suite. Il est fait mention d'une hiérarchie d'inclusion. Selon Simon, cette structuration autoriserait une grande stabilité à l'échelle macroscopique aux systèmes auto-organisés, tout en demeurant suffisamment perméable aux évolutions à petite échelle. Il postule aussi leur quasi-décomposabilité. Il

existerait alors une décomposabilité verticale, qui divise les sous-systèmes en échelles spatio-temporelles : les grandes échelles sont des structures relativement statiques et stables dans le temps, comparées aux niveaux inférieurs ; ainsi qu'une décomposabilité horizontale, qui pose une supériorité des relations intra-hiérarchiques sur les relations inter-hiérarchiques.

Cette vision d'un emboîtement parfait dans l'organisation des systèmes est remise en question, notamment par Lane (2006) qui enrichit la compréhension des hiérarchies de nouvelles catégories. En plus des hiérarchies d'inclusion décrites plus haut, il y aurait des hiérarchies d'ordre, ordonnant des entités de même nature suivant un paramètre donné ; les hiérarchies de niveaux nécessitant l'identification de niveaux fonctionnels ordonnés dans le système ainsi que des hiérarchies de contrôle, reliées aux relations de commandement entre sous-systèmes.

Les hiérarchies d'inclusion de Simon, pertinentes pour l'explication d'objets artificiels ou de machines, ne seraient pas les plus appropriées pour décrire les systèmes complexes auto-organisés, notamment en raison du caractère incertain et aléatoire de tels systèmes, ce qui ne vérifierait pas des hiérarchies parfaitement emboîtées. Ces derniers seraient mieux caractérisés par les hiérarchies de fonction. Selon Lane, on peut reconnaître à de tels systèmes certaines propriétés, parmi lesquelles un enchevêtrement des échelles hiérarchiques, au lieu d'un emboîtement et d'une quasi-décomposabilité presque parfaite, la présence d'échelles intermédiaires entre l'échelle macro et micro (mésos-structure).

En ce qui concerne les hiérarchies d'ordre, d'un point de vue statistique, (Barabási & Albert, 1999; Salingaros & West, 1999) concluent à une distribution des éléments d'un système complexe en fonction de leur taille suivant une loi de puissance inverse. C'est-à-dire que dans un système complexe, les éléments plus grands et importants décroissent d'une manière exponentielle, ce qui implique que des éléments de plus petite taille sont bien plus nombreux⁷⁵. Cette distribution des éléments avait déjà été relevée au chapitre précédent et semble être une propriété relativement importante dans l'étude de la structuration morphologique d'une ville.

4.3 Les théories morpho-fonctionnelles de l'urbain

Dans son ouvrage majeur « *Principles of Urban Structure* » traitant de la morphologie urbaine et de l'organisation spatiale interne d'une ville, Salingaros (2005), donne des pistes particulièrement intéressantes et apporte des clés de compréhension de la complexité de la ville. Il propose ainsi différents schémas de décomposition morphologiques des formes urbaines. Ainsi, il considère la forme urbaine comme étant un ensemble de bâtiments, qui constituent les

⁷⁵ Cette propriété organisationnelle est particulièrement importante à retenir et nous aurons l'occasion de revenir dessus bien plus en détail par la suite.

unités fondamentales du système et qui sont reliées par un ensemble de parcours, cette vision rejoint celle de la forme urbaine en tant que tissu urbain. Dans un autre schéma, la ville est vue comme un ensemble d'activités et interactions humaines, prenant support sur des bords et interfaces urbaines. Dans une autre conceptualisation, il considère la forme urbaine comme étant un système de parcours ancrés par un ensemble d'éléments bâtis. C'est à partir de cette dernière qu'il formule sa théorie de la toile urbaine (urban web).

Cette théorie est une approche à la complexité structurelle de la ville, en l'assimilant à un réseau. Ce réseau que Salingeros appelle toile urbaine est constitué de nœuds d'activités dans la ville, reliés par un ensemble de connexions. Un nœud n'est pas juste un bâtiment, mais tout objet avec lequel un usager peut interagir (arrêt de bus, banc, place de parking, etc.) Les connexions s'établissent entre les nœuds, de nature différente, par le mouvement à travers l'espace et le temps des usagers (flux de personnes, d'énergie, d'information, de marchandise, etc.). Ces connexions sont supportées et canalisées par des éléments physiques tangibles (rues, trottoirs, autoroutes, chemins de fer). Les connexions à l'échelle piétonne sont selon Salingeros les plus importantes, car aussi les plus fines et les plus susceptibles de créer une activité urbaine riche. Ainsi, la trame piétonne est la plus fondamentale et doit être pour Salingeros une toile de fond sur laquelle doivent s'ajouter sans l'entraver d'autres connexions d'échelle supérieure. La théorie de la toile urbaine introduit une notion fondamentale, celle de l'indépendance entre les connexions et les canaux qui les supportent. Pour Salingeros, les connexions sont antérieures aux réseaux de canaux et se créent spontanément entre les différents nœuds, c'est pourquoi créer une nouvelle route ou une nouvelle ligne de tramway n'est pas équivalent à créer une nouvelle connexion. Aussi, le rôle de la planification urbaine est de faire coïncider l'ensemble des connexions de la toile urbaine et canaux physiques supportant les interactions.

A travers la théorie de la toile urbaine, Salingeros affirme le caractère réticulaire de l'espace urbain. En conceptualisant le système ville comme un ensemble d'interactions dynamiques entre des nœuds de nature nécessairement différente⁷⁶, elle soulève des questions autour de la capacité de la forme urbaine à canaliser, voire même à catalyser les interactions, autour de la mixité fonctionnelle ou encore autour de la connectivité des réseaux viaires. Elle constitue un cadre d'analyse englobant plusieurs registres de la forme urbaine, ceux de la forme des tissus, des tracés et de la forme socio-fonctionnelle. Ainsi, elle pose des perspectives de recherche combinant à la fois l'aspect structurel et fonctionnel du système ville, à travers ce que Fusco

⁷⁶ Selon Salingeros (2005), dans un système urbain, une connexion ne peut se créer qu'entre des éléments de nature différente (par exemple deux nœuds ayant une fonction différente).

(2018) appelle une analyse morpho-fonctionnelle de la ville. La théorie de la toile urbaine est aussi très intéressante en ce fait qu'elle considère la ville comme un réseau. Il s'agit bien là d'une simplification de la complexité infinie de la réalité, mais d'une simplification acceptable car elle est essentiellement formelle et non interactionnelle. En d'autres termes, on peut toujours étudier les interactions entre les différents éléments d'un réseau, même si l'élément en lui-même est simplifié et représenté comme un segment ou un point. Cette idée retient particulièrement notre attention et sera développée plus loin dans notre recherche.

4.4 L'approche configurationnelle de la forme urbaine, une perception nouvelle de l'espace

Nous avons vu dans la partie précédente comment il était possible d'assimiler la ville en tant que système complexe à un réseau. Cette approche réticulaire est issue d'une branche de la littérature qui traite de l'analyse des réseaux complexes et ouvre le champ à un nouveau registre de la forme urbaine : celui de la configuration.

L'approche configurationnelle est selon Lévy (2005) une tentative de renouveler les approches de la forme urbaine, pour laquelle il donne déjà cinq registres⁷⁷. La configuration fait référence à un niveau de lecture plus profond de l'organisation structurelle au sein d'une ville, à travers l'étude de son réseau viaire. Cette approche se concentre sur la topologie du réseau viaire, c'est-à-dire sur la manière dont les rues sont connectées entre elles, plutôt que sur leurs caractéristiques physiques ou géométriques. Selon Hillier (2007), l'approche configurationnelle de la forme urbaine permettrait de mieux appréhender le fonctionnement urbain à partir de la spatialité de la ville. Si la ville peut être comprise comme une économie de mouvement, c'est en se focalisant sur le réseau viaire qui est une représentation physique et spatiale de ce dernier puisqu'il le porte et le canalise, qu'on peut mieux comprendre son fonctionnement socio-économique. Implicitement, cela revient à reconnaître l'importance supérieure des réseaux dans les localisations des activités urbaines et dans la structuration de l'espace. Cette idée s'oppose à la traditionnelle logique des transports selon laquelle la localisation des fonctions est supérieure, précède et détermine les flux sur le réseau viaire. Batty (2013), dans son ouvrage « *The new science of cities* » évoque l'importance d'une approche configurationnelle basée sur les réseaux dans la compréhension d'une ville : « *En bref, notre argument pour une nouvelle*

⁷⁷ Lévy donne à la forme urbaine, notion hautement polysémique, cinq registres : Le paysage urbain, la forme sociale, la forme bioclimatique, la forme des tissus urbains et la forme des tracés urbains.

science est basé sur la notion que, pour comprendre un lieu, nous devons comprendre les flux et que, pour comprendre les flux, nous devons comprendre les réseaux » (Batty, 2013, p. 20)⁷⁸. L'une des principales théories configurationnelles est connue sous le nom de « space syntax » (Hillier & Hanson, 1989 ; Hillier, 2007). Cette théorie de la syntaxe spatiale considère la forme urbaine non plus comme un tissu, mais renverse le point de vue et met au centre l'espace public pratiqué par les piétons, vu comme un vide entouré du plein bâti. Elle se focalise donc sur le seul réseau viaire. Elle s'appuie sur la capacité de l'utilisateur piéton à « lire » l'espace et à comprendre instinctivement sa structure, par une simple saisie visuelle de l'environnement dans lequel il évolue. Sans entrer dans le détail de la méthode, la syntaxe spatiale fait appel à une carte axiale correspondant avec les lignes de vue, ou les axes tracés font référence à la géométrie de l'espace piéton, qui est ensuite convertie en graphe du réseau. C'est à travers ce graphe qu'on peut extraire des informations sur la topologie et la connectivité du réseau, ce qui apporte une dimension nouvelle à la forme urbaine qui permet de comprendre comment l'espace est organisé, ordonné, configuré par ses voies. La syntaxe spatiale peut être qualifiée d'approche computationnelle de la forme urbaine, puisqu'elle utilise la computation informatique pour calculer les paramètres configurationnels.

4.5 L'espace à travers les réseaux : distance spatiale et distance topologique

La théorie de la syntaxe spatiale se recoupe avec les approches complexes de la ville, car le réseau viaire d'une ville peut être considéré en soi comme un système complexe, dans lequel on retrouve plusieurs caractéristiques de la complexité telle que définie par Morin⁷⁹. Cette approche est aussi fondamentalement holistique, car elle permet de mettre en commun un ensemble de « chemins », extraits de la forme urbaine, et de caractériser les interrelations mutuelles découlant de leur positionnement réciproque dans l'espace urbain.

La syntaxe spatiale a eu un retentissement mondial et s'est propagée dans de nombreux pays. Elle a aussi le mérite d'avoir ouvert et crédibilisé l'approche configurationnelle des tissus urbains. Néanmoins, elle n'est pas la seule possible. Deux grandes familles d'approche configurationnelle sont identifiées dans la littérature (Porta et al., 2006b, 2006a). Une première est basée sur la distance métrique, dans laquelle les lignes sont des voies avec une longueur et

⁷⁸ Traduction reprise depuis Fusco (2018, p. 94)

⁷⁹ On retrouve notamment le fait que l'ensemble n'est absolument pas équivalent à la somme des parties, le but d'un réseau étant justement dans la connexion de ses parties constituantes. On retrouve aussi le principe de dialogie, car le mouvement des flux est en quelque sorte aléatoire mais reste toujours canalisé par des réseaux physiques.

les nœuds des intersections. La seconde fait intervenir la distance topologique et s'appuie sur une représentation plus abstraite du réseau viaire⁸⁰. La première devrait être préférée car plus fidèle aux propriétés spatiales réelles de la forme urbaine. Cependant, les apports de la seconde approche, quant à l'identification de l'organisation hiérarchique du réseau viaire, ne doivent pas être niées.

L'hypothèse de prééminence des réseaux sur les localisation et sur les flux amène Fusco (2018) à en formuler une autre, à travers laquelle il remet en question une idée bien ancrée dans la géographie urbaine : la distance⁸¹ est en soi le principe organisateur premier de l'espace. Ce ne serait pas la distance (entre un couple de points dans l'espace) qui dans l'absolu organiserait l'espace urbain, mais plutôt la position réciproque de ce couple de points dans une configuration à travers un réseau. On parle alors de distance réseau, où la distance compte mais n'est plus suffisante pour comprendre les flux. C'est là le principal point de divergence entre les deux aspects fonctionnels et morphologiques de la cohérence urbaine discutés dans les chapitres précédents. L'approche fonctionnelle considère uniquement la distance entre deux points, tandis que l'approche morphologique (via la configuration du réseau viaire par exemple) donne de l'importance à la distance réseau. En d'autres termes, un point spatialement proche n'équivaut pas un point configurationnellement proche.

Conclusion du chapitre

La volonté d'aborder la cohérence urbaine morphologique par une entrée transversale autour des sciences de la complexité était motivée en premier lieu par le constat d'un manque d'indicateurs pertinents et fiables. La notion de complexité revient d'une manière récurrente, concomitamment à la cohérence urbaine. Cette branche de la littérature aborde la ville avec recul et humilité, en reconnaissant d'emblée l'incertitude et la complexité inhérente à un tel objet d'étude. La ville est ainsi assimilée à un système complexe, non décomposable en termes de liens causaux, et qui obéit à certaines règles, telles que l'auto-organisation ou la structuration hiérarchique. Dans ce chapitre, nous avons abordé les sciences de la complexité, dans la continuité de notre exploration de la cohérence urbaine morphologique. En premier lieu, nous avons justifié le choix de poursuivre notre recherche dans ce sens, motivés notamment par la

⁸⁰ La syntaxe spatiale appartient à cette deuxième catégorie.

⁸¹ Ici, la distance est entendue au sens euclidien, c'est-à-dire la distance linéaire qui sépare deux points dans l'espace.

faisabilité de l'étude ainsi que par la volonté de combler le manque de méthodes pour l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique. Ensuite, nous présentons des généralités sur les sciences de la complexité, parmi lesquels certains principes fondamentaux à l'étude de phénomènes complexes, comme le tout qui est différent de la somme des parties, de l'existence simultanée de parties opposées, l'incertitude, ou encore les boucles de rétroaction. Nous replaçons ensuite l'objet ville dans le cadre de la complexité de systèmes d'artefacts, qui se caractérise par un système artificiel ouvert et non délimité. Ensuite, nous abordons plus en détail le système ville, à travers l'approche dite « systémique », composante des sciences de la complexité. Cette approche prône une approche globale et décroisonnée. La systémique est aussi riche en enseignements, notamment la triangulation systémique qui aborde un système complexe sous le triple angle fonctionnel, morphologique et historique. On retrouve là la dualité mise en évidence entre la cohérence urbaine fonctionnelle et morphologique, ce qui conforte la légitimité d'aborder la cohérence urbaine sous l'angle de la complexité. Nous abordons ensuite la structuration et l'organisation interne de la ville au travers d'une vision complexe. Cet axe s'inscrit dans la continuité de la compréhension de la cohérence urbaine morphologique, définie comme étant une propriété désirable d'une ville morphologiquement bien structurée et perméable aux flux qui la traversent. L'exploration met d'abord en évidence la présence d'une structuration hiérarchisée, suivant une loi de distribution inverse. Il est aussi à retenir que parmi toutes les possibilités de représentation d'une ville, celle du réseau semble être particulièrement pertinente à l'étude d'un système complexe. Dans cette perspective, l'approche configurationnelle, un champ de la littérature s'intéressant aux propriétés topologiques des réseaux viaires ressort comme étant une piste intéressante à explorer. Il existe d'ailleurs toute une science très prolifique s'intéressant aux réseaux complexes et à leurs propriétés et ayant des champs d'application extrêmement variés.

Nous confirmons donc à l'issue de ce chapitre la pertinence du choix d'étudier la cohérence urbaine à travers les sciences de la complexité. L'apport de ces dernières à notre recherche est considérable, puisqu'elles constituent une trame de fond théorique solide et pouvant servir de base au développement d'un cadre d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique. Il s'agit là de l'étape suivante et finale de notre recherche, à laquelle nous consacrons les trois derniers chapitres.

Conclusion de la Deuxième Partie

A l'issue du constat morphologique de discontinuité sur les villes contemporaines, ainsi qu'à la lumière des enjeux pour une forme urbaine plus durable, la cohérence urbaine s'est imposée comme étant une piste de recherche particulièrement intéressante. Pour rappel, ces deux enjeux concernent la nécessité d'une vision renouvelée sur les villes contemporaines devant leur complexité croissante, ainsi que la recherche d'une forme urbaine plus durable. La cohérence urbaine, de par le champ sémantique et sa proxémie, la rendant proche de termes tels que « liaison », « cohésion », « harmonie », cristallise particulièrement bien les efforts de recherche d'une ville vertueuse et durable, tout en s'affranchissant des simplifications réactionnaires de la ville compacte par rapport aux villes contemporaines étalées et diffuses. En posant le problème de cette manière, la ville n'est plus réduite à une forme urbaine mais plutôt à un système. En d'autres termes, un ensemble de parties en interaction et reliées entre elles d'une manière ou d'une autre.

Après examen de la littérature, il peut être conclu que les travaux et recherches sur la cohérence urbaine s'articulent globalement autour de deux enjeux. Le premier, que nous avons appelé *enjeu de proximité*, regroupe les recherches autour de la capacité de la forme urbaine à permettre et à organiser spatialement une proximité relative entre les activités des individus. Le second, que nous avons appelé *enjeu de consistance*, regroupe les recherches autour de la capacité de la forme urbaine à offrir une toile de fond morphologique structurée, lisible, connectée et permettant d'ancrer les individus à l'espace et une perméabilité suffisante aux flux, suivant toute une diversité d'échelles. Ces deux enjeux donnent respectivement naissance à deux types de cohérence, que nous avons nommé *fonctionnelle* et *morphologique*, en référence à la définition de la forme urbaine, fondamentalement différente pour chacune des approches.

En ce qui concerne la cohérence urbaine fonctionnelle, on retrouve une littérature riche et abondante. Il y a de nombreux exemples d'expériences urbaines, surtout en Europe et aux États-Unis, qui dans une volonté de réduire les distances à parcourir, se caractérisent par la mise en place des politiques de planification urbaine de diversification fonctionnelle. Dans la même perspective, l'approche de la ville cohérente (Korsu et al., 2012) introduit une condition de proximité temporelle de moins de trente minutes entre domicile et travail et la simule sur la région Ile de France. Les résultats indiquent que la grande majorité des ménages répondent déjà à cette condition, malgré une réelle possibilité d'amélioration. En ce qui concerne les indicateurs de cohérence urbaine fonctionnelle, on retrouve de nombreuses pistes, telles que le navettage et le navettage en excès, qui quantifie la proportion de déplacements en excès pour une forme urbaine donnée, ou encore de nombreux indicateurs de diversité fonctionnelle.

La cohérence urbaine morphologique dispose aussi d'une trame théorique de fond assez solide, majoritairement basée sur les travaux d'Alexander et de Salingeros, qui défendent une vision holistique et globale de la ville et pour qui la cohérence urbaine est une propriété désirable se manifestant dans les ensembles urbains bien structurés, notamment dans les villes anciennes. En revanche, les indicateurs pouvant quantifier la cohérence urbaine morphologique sont bien moins nombreux, voire inexistantes.

Notre travail s'inscrit dans la volonté de combler ce manque dans la littérature et nous choisissons d'axer la suite de l'exploration exclusivement sur l'aspect morphologique de la cohérence urbaine. Afin d'élargir le champ des connaissances, nous avons abordé dans le troisième chapitre de cette partie les sciences de la complexité appliquées à la ville. Les enseignements tirés des sciences de la complexité sont précieux et serviront de base à la partie suivante.

La troisième et dernière partie de ce travail sera consacrée à l'élaboration d'un cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique. En d'autres termes, il s'agit d'arriver à une méthode qui permette de quantifier et d'estimer la cohérence urbaine d'une agglomération. C'est dans cette prochaine partie que nous apporterons une contribution à la science urbaine, d'abord à travers un travail de synthèse commencé au début de la partie deux, que nous achèverons, puis ensuite par un travail de construction méthodologique. Cette « métrique » de cohérence urbaine renseignera sur la bonne structuration d'une ville et sa capacité à laisser passer les flux qu'elle supporte sans trop de friction. Nous introduirons aussi dans cette dernière partie la base de données sur laquelle nous allons appliquer la méthode d'évaluation de la cohérence urbaine. Nous choisirons plusieurs villes algériennes, bien que la ville de Tlemcen reste le cas d'étude principal. Ce travail constitue une première dans l'étude de la morphologie des villes algériennes, bien souvent abordées d'une manière assez superficielle et systématiquement diabolisées. En plus d'apporter une méthode d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique généralisable à n'importe quelle agglomération, l'étude des villes algériennes sous l'angle des sciences de la complexité pourrait donner des résultats assez surprenants.

TROISIEME PARTIE :

La cohérence urbaine morphologique :
exploration, évaluation et application sur
cinq villes algériennes.

Introduction de la troisième partie

Durant la seconde partie de ce travail, nous avons répondu aux enjeux majeurs posés par la ville contemporaine ayant été mis en lumière dans la première partie, à savoir la compréhension de leur réalité complexe et fuyante ainsi que la recherche d'une forme urbaine plus durable et vertueuse. Cette réponse, restée jusqu'ici surtout théorique, s'articule autour de la notion de cohérence urbaine. En des termes simples, il s'agit d'étudier la ville comme un système de plusieurs éléments en interaction, selon une double approche fonctionnelle et morphologique. La cohérence urbaine correspond à un état idéal d'organisation de la forme urbaine, disposé de telle manière à offrir une optimisation des flux qui la traversent, à la fois à travers les distances moyennes à parcourir ou à travers la structuration de sa forme physique et spatiale. Ces conclusions sont issues de la revue de la littérature menée d'une manière exhaustive dans la partie précédente, dans laquelle nous avons mis en évidence les enjeux de proximité et de consistance. Ces deux enjeux donnent alors deux aspects distincts de la cohérence urbaine, que nous appelons respectivement fonctionnelle et morphologique.

Dans cette troisième partie, nous développons d'une manière plus pointue la cohérence urbaine morphologique. Cette dernière peut être comprise comme une « métrique » pouvant mesurer la structuration d'une ville et sa capacité à porter des flux d'une manière efficace. Notre ambition est d'apporter une contribution à la science urbaine, en développant un cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique. L'objectif est d'arriver à une méthode claire et surtout reproductible sur n'importe quelle agglomération, qui permettra de quantifier la propriété de cohérence urbaine morphologique. La construction de cette méthode s'appuie sur les bases des sciences de la complexité appliquées à la ville, notamment à travers une branche connue sous le nom de science des réseaux complexes.

Riches des enseignements collectés durant les parties précédentes, notamment le fait d'inscrire l'étude de la cohérence urbaine dans les sciences de la complexité, nous pouvons émettre deux postulats de départ qui serviront de guide pour l'élaboration d'une méthode d'évaluation de la cohérence urbaine. A ce moment de l'étude, nous justifions le choix de ces postulats de départ par le fait qu'ils soient amplement légitimés par la littérature existante sur la cohérence urbaine morphologique. Ces postulats sont posés comme conjectures et seront naturellement confirmés dans les parties suivantes.

- *Le réseau viaire comme support d'étude de la cohérence urbaine morphologique*

La cohérence urbaine morphologique a été définie dans les chapitres précédents comme étant basée principalement sur l'enjeu de consistance de la forme urbaine. Ce dernier fait lui-même au dessin urbain de (Cervero & Kockelman, 1997), défini tout simplement comme étant la forme du réseau de rues d'une ville. Les réseaux viaires canalisent les flux de déplacement au sein des villes et constituent l'élément principal des dynamiques urbaines quotidiennes. La forme urbaine physique se définit en négatif entre espace bâti et espace vide et porte en plus de cette dualité plein-vide une dualité statique-dynamique (Panerai et al., 1999). Dans l'étude de la structuration morphologique d'une ville, le réseau viaire constitue un élément souvent choisi dans la littérature. L'étude du réseau viaire permet en effet de révéler la hiérarchisation présente dans une ville, notamment à travers l'étude de sa configuration spatiale (Hillier, 2007). En outre, la cohérence urbaine est fortement construite autour de l'idée de mouvement, d'échange, d'interaction et de connexion, l'étude des connexions à grande échelle dans une ville se base donc logiquement sur le réseau viaire. C'est aussi l'une des structures les plus durables à l'échelle d'une ville.

L'étude du réseau viaire permet aussi d'aborder la ville sous l'angle des sciences de la complexité. L'une des caractéristiques d'un système complexe est l'émergence de propriétés collectives inexistantes et incompréhensibles à travers la décomposition des éléments pris à part, mais plutôt à travers l'étude de l'ensemble des parties en interaction mutuelle. Les réseaux sont un outil intéressant pour étudier les systèmes complexes, en aidant à révéler les schémas, les propriétés émergentes et les interactions qui caractérisent ces systèmes.

Enfin, le réseau de rues d'une ville peut être extrait facilement grâce aux bases de données cartographiques libres d'accès comme Open Street Map. Dans notre cas, ce critère s'avère être particulièrement important au vu des moyens et des données de départ dont nous disposons. En se limitant uniquement au système de voirie, on simplifie considérablement l'évaluation de la cohérence urbaine. Il existe de nombreuses méthodes d'analyse des réseaux viaires dans la littérature, ce qui rend la méthode d'évaluation proposée simplement reproductible pour des cas d'études où les données urbaines sont manquantes.

Le réseau viaire semble ainsi un support pertinent dans l'étude la cohérence urbaine, qui nécessite une vision holistique mettant en commun un ensemble d'éléments et d'échelles.

- Une approche normative et comparative

La cohérence urbaine nous apparaît comme une notion normative. Il faut entendre par normative une approche qui vise à déterminer ce qui serait souhaitable ou vertueux. Dans ce sens, la cohérence urbaine pourrait être définie comme un ensemble de principes et de critères de référence en vue desquels on peut considérer une ville ou une partie de ville comme étant « cohérente » ou « non cohérente ». Pour reprendre l'exemple de la ville cohérente (Korsu et al., 2012), l'idéal est défini par rapport à une condition de temps passé à se rendre de son domicile à son travail. En fonction de ce critère de référence, on parle de ville cohérente ou non. Il est donc ici question *d'évaluation* de la cohérence urbaine. Aussi faut-il pouvoir définir des critères suffisamment solides et reconnus pour être en mesure de réaliser cette évaluation. C'est à cet exercice que sera consacré ce chapitre.

A l'approche normative, peut s'ajouter une approche comparative. Il s'agit là d'une complémentarité essentielle à l'étude de la cohérence urbaine morphologique. En effet, l'approche comparative peut aider à contextualiser un cas d'étude principal en le mettant en perspective par rapport à d'autres cas d'étude. Cela permet également de généraliser les conclusions tirées de l'approche normative en examinant comment elles se traduisent dans divers contextes. L'approche comparative peut aussi grandement aider à valider ou à ajuster les critères et principes de référence définis par l'approche normative, encore plus au vu du terrain relativement vierge que constitue l'étude de la cohérence urbaine morphologique. L'utilisation conjointe de ces deux approches permet selon nous une compréhension plus profonde et nuancée de la cohérence urbaine morphologique. L'approche normative fournit un cadre conceptuel solide, tandis que l'approche comparative apporte des données concrètes et des perspectives empiriques.

Dans un premier chapitre, nous nous intéresserons à l'étude des réseaux viaires, en présentant les principaux modèles existants dans la littérature. Par la suite, nous expliquerons en quoi les propriétés émergentes des réseaux viaires en font un objet hautement complexe et qui doit être étudié à travers les sciences de la complexité. Dans un second chapitre, nous confirmerons les postulats posés plus haut dans cette introduction, à la suite de quoi nous présenterons le cadre d'analyse, la méthode ainsi que les données et le corpus d'étude pour l'évaluation de la cohérence urbaine. Dans un troisième chapitre, nous exposerons les résultats obtenus, suite à quoi ils seront discutés.

**Chapitre VI : le réseau viaire comme
support d'étude pertinent de la
cohérence urbaine morphologique**

Introduction du chapitre six

Selon (Batty, 2013, p. 20), s'intéresser aux réseaux présents dans une ville est un passage obligatoire pour décrypter sa complexité. Il suggère que la clé pour comprendre un lieu réside dans l'analyse des flux et des réseaux qui façonnent les interactions entre les personnes et leur environnement. Les interconnexions, plutôt que les caractéristiques propres à un espace, devraient alors former la base de ce qu'il appelle « la nouvelle science des villes ».

Dans ce chapitre est présentée une revue de la littérature sur les modèles de réseaux viaires, mettant en lumière des outils efficaces pour l'étude des réseaux viaires et leur importance dans l'analyse de la structuration morphologique des villes. Cet approfondissement sur les réseaux viaires est primordial, puisqu'il s'agit de l'élément principal sur lequel s'appuie la méthode qui sera développée par la suite. La ville est modélisée comme étant un réseau, et ce réseau est composé de routes et de rues. Cependant, il existe plusieurs moyens de modéliser un réseau viaire. Il s'agira alors de présenter les principales modélisations présentes dans la littérature, afin de pouvoir sélectionner celle qui sera la plus apte à l'étude de la cohérence morphologique. Ensuite, l'étude des réseaux viaires urbains est approfondie selon une approche complexe, identifiant des caractéristiques essentielles telles que la distribution des éléments selon une loi de puissance inverse, l'artérialité, la hiérarchie au sein des réseaux viaires ou encore les schémas et les patterns de connexion.

1 Une vision d'ensemble des modélisations des réseaux viaires urbains à travers la littérature :

L'étude des réseaux viaires d'une ville est un champ disciplinaire immensément vaste. Il existe cependant un invariant : le réseau viaire n'est jamais étudié tel qu'il existe dans sa réalité physique mais plutôt à travers des modèles qui simplifient sa représentation et son étude. Dans cette partie, nous présentons les modèles existant dans la littérature.

1.1 La théorie des graphes

La théorie des graphes est une branche des mathématiques qui permet d'analyser la structure des interactions entre différents éléments. Dans la théorie des graphes, les réseaux viaires sont représentés sous forme de graphes⁸², où les rues sont représentées par des arêtes (liens) et les

⁸² Un graphe peut être défini simplement comme un ensemble de points (vertices) reliés entre eux par des lignes (edges)

intersections par des sommets (nœuds). Cette représentation permet de visualiser et de quantifier les connexions entre les différentes parties du réseau. Le réseau viaire est simplifié en un ensemble d'éléments surtout caractérisés par leurs interrelations et simplifie la réalité de leur forme physique et spatiale (Figure 19). La théorie des graphes a des applications très diverses et variées et l'étude des réseaux viaires n'en est qu'une parmi tant d'autres.

En fonction de l'assignation des sommets et des lignes, on distingue dans la littérature deux types d'approches. En premier lieu, l'approche primale (Porta et al., 2006b), qui désigne les sommets comme étant les jonctions et les segments comme étant les rues. L'interprétation étant plus directe et plus spatiale, une telle approche permet de représenter un réseau viaire d'une manière intuitive et intelligible. L'immense majorité des études sur le réseau viaire se fonde sur cette approche. En second lieu, l'approche duale (Porta et al., 2006a) qui définit les rues comme n'étant plus des segments mais plutôt les sommets, les jonctions entre les sommets représentent quant à eux les connexions entre les rues effectivement connectées. Cette approche demeure bien moins utilisée que la précédente, bien que la très solide « space syntax⁸³ » s'appuie dessus. Elle a cependant l'avantage de représenter les relations non spatiales et topologiques d'une manière plus directe, les nœuds centraux étant les plus visibles dans une telle représentation.

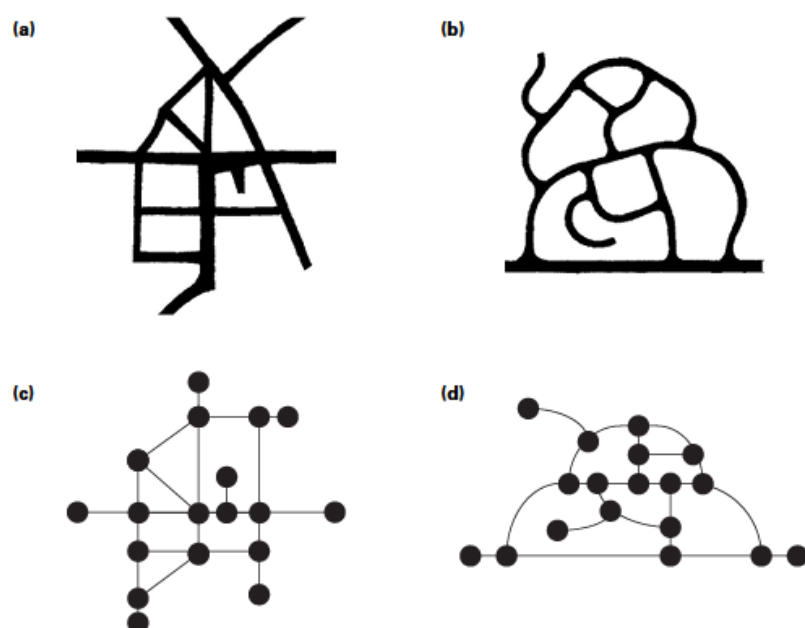


Figure 19 : Deux réseaux de rues comparés. Chaque réseau possède 23 segments et 18 nœuds. (a) Réseau A. (b) Réseau B. (c) Graphe du réseau de (a). (d) Graphe du réseau de (b). Source : (Marshall, 2005)

⁸³ Il s'agit d'une approche théorique et analytique de l'architecture et de l'urbanisme qui considère l'espace physique comme un système de relations spatiales interconnectées. Développée par (Hillier & Hanson, 1989). Nous reviendrons dessus plus en détail par la suite.

Une série d'indicateurs, dits de « centralité » sont déployés pour l'étude des réseaux viaires (Freeman, 1977)

- Centralité de connectivité (*Degree Centrality*) : La centralité de degré est l'une des mesures les plus simples et fait référence au nombre de connexions qu'un nœud (ou sommet) a dans un réseau. Dans le contexte d'un réseau routier ou d'un réseau de rues, la centralité de degré représenterait le nombre de rues qui se croisent à une intersection particulière. Les nœuds ayant une centralité de degré élevée sont souvent considérés comme des points centraux importants dans le réseau.
- Centralité de Proximité (*Closeness Centrality*) : La centralité de proximité mesure à quelle vitesse un nœud peut atteindre d'autres nœuds dans le réseau. Elle est basée sur la longueur moyenne des chemins les plus courts entre un nœud et tous les autres nœuds. Dans un réseau de rues, un nœud ayant une centralité de proximité élevée serait facilement accessible à d'autres nœuds en termes de distance de déplacement.
- Centralité d'Intermédiation (*Betweenness Centrality*) : La centralité d'intermédiation quantifie à quelle fréquence un nœud sert de pont ou se trouve sur les chemins les plus courts entre d'autres nœuds. Dans le contexte d'un réseau de rues, un nœud avec une centralité d'intermédiation élevée jouerait le rôle d'un connecteur clé, servant souvent de point critique pour le flux de trafic entre différentes parties du réseau.

Ces indicateurs de centralité sont couramment utilisés dans l'analyse de réseaux pour comprendre l'importance et l'influence des nœuds au sein d'un réseau. Elles fournissent des informations sur les nœuds qui jouent des rôles cruciaux en termes de connectivité, d'accessibilité et de contrôle sur le flux d'informations ou de ressources dans le réseau.

Il existe aussi des indicateurs de connectivité qui permettent de quantifier l'intensité de la connexion entre les différents constituants d'un réseau (Casali & Heinemann, 2019; Kansky, 1963; Sreelekha et al., 2016). Il s'agit là de mesures globales sur tout le réseau

- Indice Alpha : (α) est le rapport entre le nombre réel de circuits et le nombre maximal de circuits dans le réseau. Il varie de 0 (pas de circuits) à 1 (réseau complètement interconnecté).
- Indice Béta : (β) est le nombre de liens par nœud. Plus la valeur de β est élevée, plus la connectivité est grande.
- Indice Gamma : (γ) correspond au nombre réel d'arêtes par rapport au nombre maximal possible d'arêtes. Il varie de 0 (absence de connexions entre les nœuds) à 1 (le nombre maximal de connexions, avec des liens directs entre tous les nœuds).

- Indice Eta : (η) indique la longueur moyenne par lien. L'ajout de nouveaux nœuds entraînera une diminution de l'indice Eta à mesure que la longueur moyenne par lien diminuera.

La théorie des graphes est basée sur une représentation topologique dite « *segment-segment* » ou encore « désagrégée ». Cela signifie qu'un objet tel qu'une rue, qui se continue bien souvent au-delà d'une intersection, n'a pas d'existence. Il est possible d'effectuer des analyses à partir d'un tel réseau, notamment en ce qui concerne les mesures de centralité. Cependant, il est plus difficile d'interpréter de tels résultats. Tout autant qu'il est plus pratique pour l'étude de propriétés comme la structuration hiérarchique de faire appel aux méthodes dites agrégées ou « *street-street* » (Marshall et al., 2018).

1.2 La space syntax : le réseau viaire vu à travers sa configuration spatiale.

La space syntax est une approche théorique développée par Hillier et ses collaborateurs (Hillier, 2007; Hillier & Hanson, 1989) Elle étudie la manière dont la configuration spatiale des environnements construits, tels que les bâtiments, les rues et les espaces publics, influe sur les interactions sociales, les mouvements humains et les dynamiques urbaines. La space syntax repose sur l'idée que les rues, en plus d'être des canaux de déplacement, constituent des espaces à part entière. Ils sont donc perçus et intégrés comme tel par un individu qui s'y trouve et y circule, en fonction des objets environnants qui les délimitent. Cette approche ajoute un nouvel élément à la théorie des graphes, celle de la continuité des voies. En effet, dans l'approche primale de théorie des graphes, les segments représentent une portion de rue rectiligne jusqu'à sa bifurcation au sommet le plus proche.

La space syntax s'appuie aussi sur un graphe primal, sauf que les segments représentent des lignes axiales de vision qui peuvent continuer bien au-delà d'une intersection, tant qu'un obstacle visuel ne se dresse pas dans le champ de vision. Cette modélisation du réseau de rues se rapproche bien plus d'une représentation mentale intuitive et intégrée par un individu, c'est-à-dire un enchevêtrement de rues et de voies. Après la projection des lignes axiales du réseau en une carte axiale (*axial map*), un graphe dual peut-être construit en transformant ces dernières en nœuds. Les segments de ce nouveau graphe représentent les intersections entre les lignes axiales (Figure 20). Cette transformation permet de révéler la structuration hiérarchique du réseau viaire.

Étant donné que les lignes axiales se poursuivent à travers les intersections, chaque ligne possède une valeur de connectivité liée au nombre d'intersections qu'elle rencontre. En plus du concept de connectivité des voies, la space syntax ajoute le concept de profondeur. Ce dernier donne à chaque ligne axiale une place en fonction du nombre d'intersections à franchir pour y arriver à partir d'une ligne de référence. Ce concept constitue une avancée considérable par rapport à la théorie des graphes, car il permet de distinguer les voies les plus importantes des moins importantes et ainsi de comprendre comment un réseau viaire est structuré hiérarchiquement.

La space syntax constitue donc une avancée considérable par rapport à la théorie des graphes en le fait qu'elle considère des éléments plus intuitifs et parlants qu'un simple ensemble de lignes et de points, en se basant sur les lignes axiales de vision pouvant être assimilées à des canaux de mouvement, voire même à des rues. De nombreux travaux s'articulent autour de cette approche théorique, certains d'entre eux ont marqué une avancée importante dans la compréhension des réseaux viaires urbains, allant même jusqu'à prédire ou simuler les flux de circulation piétonne (Hillier et al., 1993; Penn et al., 1998).

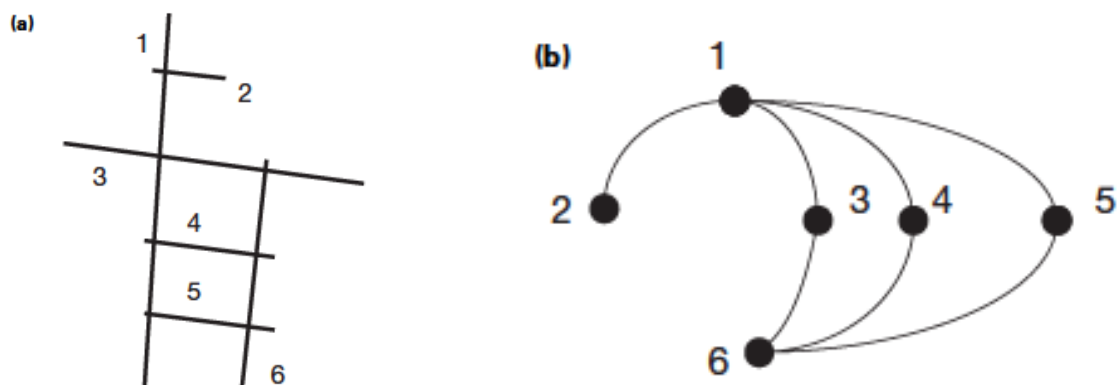


Figure 20 : Conversion de la carte axiale en un graphe. (a) Carte axiale. (b) Graphe dual correspondant. Source : (Marshall, 2005)

Cependant, la space syntax a toujours certaines lacunes. En premier lieu, bien qu'elle introduise la notion de hiérarchie au sein d'un réseau viaire, la dimension de profondeur de chaque ligne axiale est toujours relative et dépend d'où on effectue la projection de la première ligne axiale de vision. En second lieu, l'efficacité de la "space syntax" dépendra de la correspondance entre les lignes axiales de vue et les lignes effectives de déplacement. Dans l'espace limité d'un tissu de rues traditionnelle, elles correspondent généralement bien. Cependant, dans une disposition moderne en plan ouvert, la correspondance est bien moins établie. En outre, l'échelle d'efficacité de la space syntax est bien plus avérée pour les réseaux viaires à l'échelle réduite du piéton.

1.3 Les named streets : l'agrégation selon le nom des rues

Les « named roads » ou « named streets » sont une méthode d'agrégation des segments en fonction du nom des rues réellement existantes au sein du réseau. Si deux segments adjacents appartiennent à la même rue, alors ils seront agrégés et formeront une entité bien distincte. Cette méthode a été employée la première fois par (Jiang & Claramunt, 2004). Ils ont étudié le réseau viaire de la ville de Gävle en Suède en agréant les segments du graphe primal en fonction du nom des rues. Ils arrivent alors à étudier ainsi la structuration hiérarchique du réseau et apportent une conclusion très intéressante : le réseau viaire a les propriétés d'un réseau dit « *Small World* » ou « *Petit Monde* » (Watts & Strogatz, 1998). Ce qui signifie que les rues ont surtout tendance à être connectés à leurs voisines. Cependant, les rues sont aussi connectées à des rues beaucoup plus importantes qui permettent des chemins courts entre les rues. Il en résulte un réseau où les rues sont généralement bien connectées dans leur voisinage immédiat, mais pour autant, il ne faut pas plus que quelques étapes pour atteindre n'importe quel autre rue du réseau.

Cette méthode présente une avancée certaine par rapport à la *space syntax*. En effet, les travaux de (Jiang & Liu, 2009) montrent que la représentation des réseaux selon une topologie « street-street » permet une corrélation significativement plus grande que la *space syntax*. Cependant, les named streets n'ont pas été beaucoup utilisés dans la littérature pour cause de difficultés d'implémentation liées à la disponibilité des données. Il n'existe pas toujours des bases de données complètes comprenant le nom des routes pour chaque segment.

1.4 La Route Structure Analysis : la route comme élément de base du réseau viaire

Marshall (2004) présente une approche qu'il nomme « Route Structure Analysis ». Elle entend dépasser les faiblesses des deux approches présentées plus haut. En effet, elle permet d'analyser la structure et la hiérarchie d'un réseau, ce qui est indispensable à l'étude de la cohérence urbaine. L'élément de base est une « route », c'est-à-dire un élément linéaire qui se continue après une jonction. La route repose elle aussi sur la théorie des graphes. Le nombre de routes est défini mathématiquement pour un graphe comme étant le nombre de segments moins le nombre de nœuds. Ainsi, pour chaque nœud du réseau, il y a au moins une route qui se continue à travers. L'ensemble des « routes » forment un réseau. Ensuite, on mesure une série de trois paramètres pour chaque route (Figure 21) :

- **La continuité (l)** : Le nombre de liens qui constituent une voie. Ainsi, plus la voie rencontre de croisements, plus sa continuité est forte. La continuité signifie la puissance de la voie à se poursuivre sans venir s'arrêter et finir sur une voie plus importante. La continuité est aussi égale au nombre d'intersections plus un.
- **La connectivité (c)** : Le nombre de voies qui sont connectés à la voie en question. Cela signifie le pouvoir structurant de cette voie, son pouvoir de rassembler et de faire converger sur elle d'autres voies dans la ville.
- **La profondeur (d)** : La position hiérarchique d'une voie par rapport à une voie choisie dans l'ensemble du réseau à laquelle on attribue une profondeur de 1⁸⁴. Il suffit de compter le nombre de voies intermédiaires nécessaires depuis le niveau 1 pour arriver à la voie examinée. La profondeur indique donc si une voie est plus ou moins orientée vers le trafic à longue portée.

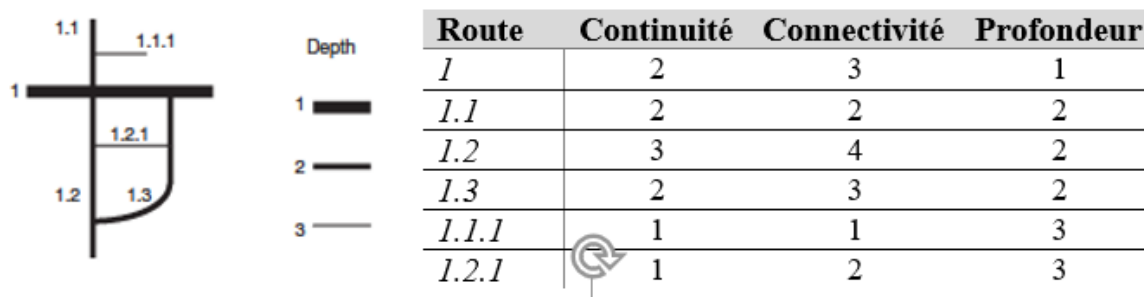


Figure 21: Fig. Exemple illustrant la route structure analysis, chaque route a une valeur propre de continuité, connectivité et de profondeur. Source : (Marshall, 2005)

Ces trois paramètres sont déterminés pour l'ensemble des routes du réseau viaire. A partir de ces paramètres, il est possible de calculer la connectivité et la complexité sur l'ensemble du réseau.

1.4.1 La connectivité du réseau viaire

La connectivité d'un réseau viaire peut être comprise comme sa capacité à connecter les différents éléments qui le constituent, ici en l'occurrence des routes. La connectivité est à la fois un indicateur propre à chaque route et informe sur le nombre de routes connectées à la route étudiée, mais aussi un indicateur pouvant être élargi à l'échelle de l'ensemble du réseau.

Ainsi, (Marshall, 2005) propose d'évaluer la connectivité d'un réseau viaire à travers deux diagrammes triangulaires⁸⁵ complémentaires : le *routegram* et le *netgram*

⁸⁴ En général, la voie la plus importante du réseau, comme un boulevard périphérique ou une autoroute urbaine

⁸⁵ Un diagramme triangulaire est représenté comme un triangle, où chaque sommet correspond à une variable. Les variables sont au nombre de 3 et leur somme est toujours équivalente à 1.

- Le routegram :

Le routegram est un diagramme triangulaire dans lequel chaque point représente un type⁸⁶ de voie, étant déterminée par trois coordonnées relatives⁸⁷. La position d'une route sur le diagramme correspond à une typologie particulière de voie (Figure 22).

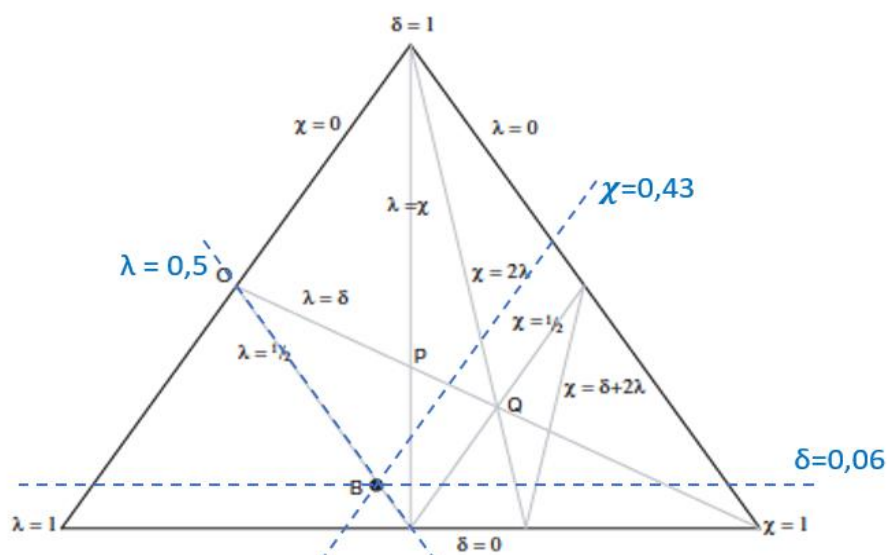


Figure 22 : Fig. Exemple d'un routegram. La route "Bayswater road" est représentée par le point B.
Source : (Marshall, 2005)

- Le netgram :

Sur la même idée que le « routegram », le « netgram » est aussi un diagramme triangulaire qui ne donne plus cette fois-ci la répartition des types de voie, mais plutôt une valeur unique⁸⁸ pour un même réseau (Figure 23). Un point sur le netgram correspond donc à la moyenne pondérée de tous les points sur le routegram équivalent.

⁸⁶ Un type de voie est défini comme étant une combinaison unique de continuité, de connectivité et de profondeur

⁸⁷ La somme des valeurs relatives est toujours égale à 1 pour une voie.

La continuité relative λ : Cette valeur est déterminée en divisant la valeur de continuité l de la route en question par la somme s des valeurs de continuité, de connectivité et de profondeur de cette même route.

La connectivité relative χ : Cette valeur est déterminée en divisant la valeur de connectivité c de la route en question par la somme s des valeurs de continuité, de connectivité et de profondeur de cette même route.

La profondeur relative δ : Cette valeur est déterminée en divisant la valeur de profondeur d de la route en question par la somme s des valeurs de continuité, de connectivité et de profondeur de cette même route.

⁸⁸ Pour déterminer cette valeur, on commence par faire la somme des valeurs de continuité, de connectivité et de profondeur de toutes les voies du réseau. On obtient ainsi les valeurs suivantes : **la continuité totale L , la connectivité totale C et la profondeur totale D** . A partir de ces trois valeurs, les valeurs relatives suivantes sont obtenues : **la continuité relative du réseau Λ , la connectivité relative du réseau X et la profondeur relative du réseau Δ** ⁸⁸. Ce sont ces valeurs relatives qui sont placées sur le netgram.

De par une valeur unique pour décrire la connectivité d'un réseau viaire, le netgram s'avère être un outil synthétique et efficace pour la comparaison des réseaux. En fonction de sa position sur le netgram, on peut classer un réseau viaire suivant six catégories : *Ultra Treillis*, *Treillis*, *Semi Treillis*, *Semi Tributaire*, *Tributaire*, *Ultra Tributaire*.

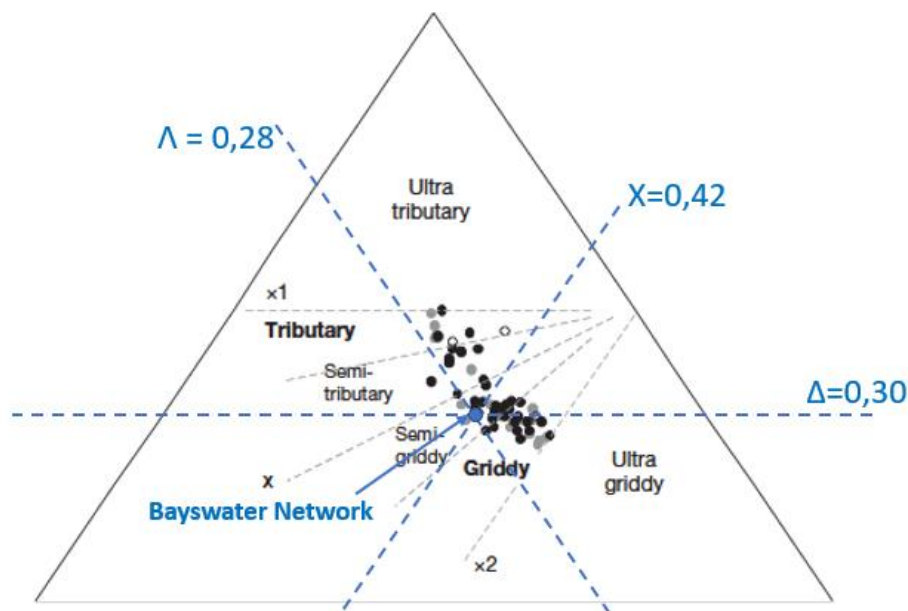


Figure 23 : Fig. Exemple d'un netgram. Le réseau "Bayswater" est représentée par le point bleu. Source : (Marshall, 2005)

1.4.2 La complexité du réseau viaire

Marshall (2005) propose d'évaluer la complexité d'un réseau viaire à travers trois indicateurs⁸⁹. Un diagramme triangulaire est ensuite introduit pour estimer la complexité d'un réseau viaire : le « *hetgram* » (Figure 24). Chaque point sur ce diagramme correspond à un réseau, dont la position est déterminée par la combinaison des trois valeurs citées ci-dessus. Il permet, suivant la position des réseaux sur le diagramme, de quantifier leur complexité et de distinguer ceux planifiés des moins planifiés.

⁸⁹ - **La régularité Φ** : Cet indicateur permet d'estimer à quel point un réseau est régulier. Il est déterminé à partir de l'indicateur inverse d'irrégularité qui équivaut au rapport entre le nombre de type de voies et le nombre total de voies du réseau. Il vaut 1 moins l'irrégularité

- **La récursivité Θ** : Cet indicateur permet d'estimer si un même type de voie se répète à travers des niveaux de profondeur croissants. Un réseau avec une trop grande récursivité ne peut pas être considéré comme complexe, puisque les mêmes éléments se répètent.

- **La complexité Ω** : Cet indicateur est une synthèse des deux précédents. Il permet d'estimer la complexité d'un réseau. Il est similaire à l'indice de régularité, sauf qu'il prend en compte la récursivité du réseau. Voir (Marshall, 2005, p. 283) pour le détail des formules.

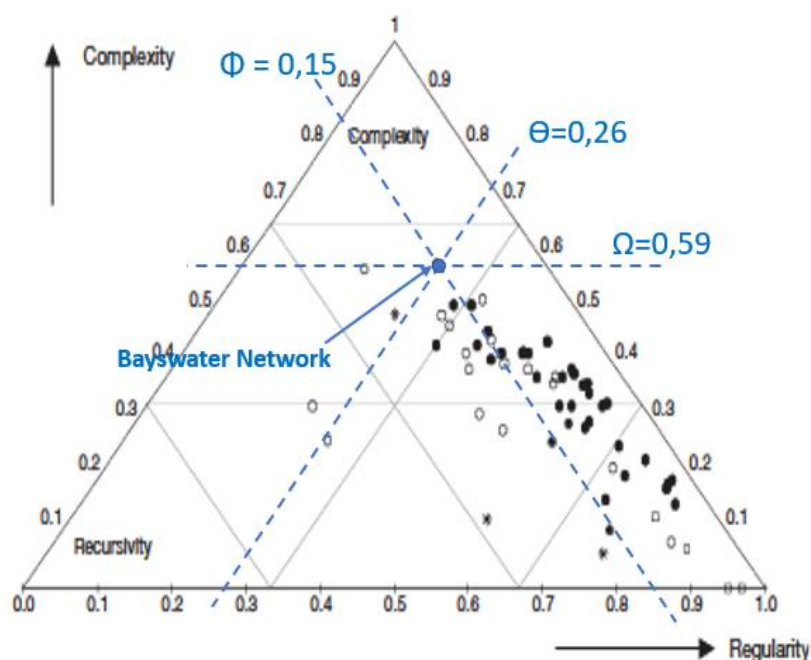


Figure 24 : Fig. Exemple d'un netgram. Le réseau "Bayswater" est représentée par le point bleu. Source (Marshall, 2005)

La « route structure analysis » est une modélisation du réseau viaire qui considère la « route », un élément linéaire pouvant continuer à travers plusieurs nœuds, comme brique de base du réseau. Cette agrégation des segments, en donnant du sens à la topologie d'un réseau de segments et de nœuds, permet d'étudier la structuration d'un réseau viaire à travers toute une série de paramètres comme la complexité et la connectivité. Bien qu'elle présente une avancée théorique intéressante, la route structure analysis n'a pas été adoptée massivement dans l'étude des réseaux viaires. Il y a plusieurs raisons que nous pouvons énoncer pour expliquer cela. En premier lieu, il n'existe à notre connaissance aucune méthode d'automatisation de la création de routes, ce qui implique de faire l'opération manuellement. Cela restreint donc l'échelle de travail sur des réseaux viaires de taille assez réduite. Aussi, certains des indicateurs, comme ceux de la complexité, sont clairement conçus pour des réseaux viaires de petite taille et n'auraient plus aucun sens sur des réseaux comprenant des centaines de routes.

1.5 Natural streets, une agrégation des segments selon l'angle de déflexion minimal.

Le modèle de réseau viaire basé sur les « natural streets » a été développé par (Jiang et al., 2008). Les constituants de base du réseau, appelés « natural streets » ou « natural roads » sont des segments agrégés en fonction du principe de bonne continuité. Chaque segment choisit à son extrémité le segment voisin le plus adapté pour se joindre, avec un angle de déviation

minimal. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que l'angle de déviation dépasse un seuil prédéfini (par exemple, un degré de 45).

Dans leur étude, (Jiang et al., 2008) testent trois hypothèses d'agrégation des natural streets. Le premier, appelé « every best-fit » (ou "meilleur-ajustement généralisé"), apparie les segments à un point de jonction selon le meilleur ajustement possible (c'est-à-dire avec un angle de déflexion minimal), en tenant compte de toutes les possibilités de jonction. Chaque segment doit en quelque sort « négocier » avec tous les autres et n'obtient son ajustement qu'après examen de toutes les possibilités de jonction. Ce principe est plutôt utopique ou communautaire par nature, et semble être la meilleure stratégie. Aussi, son application à un graphe donne une seule et unique possibilité d'appariement. Le second est appelé "self best-fit" (ou meilleur ajustement auto-restreint ». Au lieu de considérer l'ensemble des segments à une jonction, chaque segment ne considère que lui-même pour trouver le meilleur ajustement et ne se soucie pas des autres dans le processus. Ce principe peut être vu comme plutôt égoïste ou capitaliste par nature. On peut également le considérer comme une sélection naturelle. Le troisième, appelé "self-fit" (ou auto-ajustement) apparie les segments d'une manière aléatoire dans la limite d'un seuil angulaire qu'ils ne peuvent dépasser. Ces deux derniers principes peuvent quant à eux donner une immense plage de possibilités d'appariement pour un même graphe, en fonction de l'ordre d'appariement des segments. Après test, il s'avère que la deuxième hypothèse donne un modèle de réseau viaire qui correspond bien mieux aux flux de circulation réels (Figure 25).

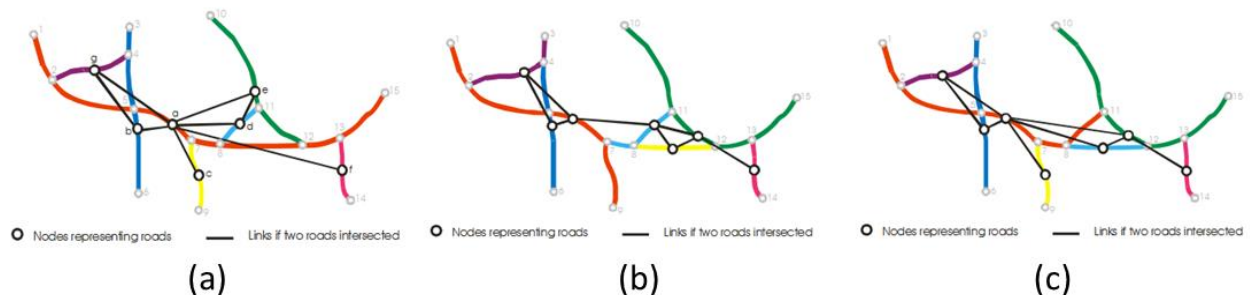


Figure 25 : Un réseau viaire fictif illustrant les trois hypothèses d'appariement. (a): Every best-fit, (b): Self best-fit, (c) : Self fit. Source : (Jiang et al., 2008)

Cette découverte est particulièrement intéressante, voire même contre-intuitive. Cela semble suggérer qu'un réseau viaire se construit par le bas plutôt que par le haut. Les segments peuvent être considérés comme des micro-agents cherchant à minimiser leur effort dans la recherche d'un autre segment auquel s'apparier (en choisissant un angle de déflexion minimal). Cela aboutit à la création d'un réseau de *natural streets* à l'échelle macroscopique, respectant un principe de dissipation optimale de l'énergie. Aussi, le réseau exhibe des propriétés

caractéristiques des systèmes complexes auto-organisés tels que la distribution selon une loi de puissance, ou encore l'émergence de plusieurs niveaux de hiérarchie. Il est ainsi possible d'étudier la structuration du réseau viaire à partir des *natural streets*, notamment à travers la connectivité associée à chacune des voies créées.

Contrairement aux modélisations précédentes du réseau viaire, les *natural streets* ont été extensivement reprises dans la littérature pour étudier le réseau viaire, dans de nombreux travaux (Jiang, 2013; Jiang & Huang, 2021; Ma et al., 2020; Nilsson & Gil, 2019). Il existe aussi un script informatique⁹⁰ permettant d'automatiser la création des *natural streets* à partir d'un graphe. A ce jour, il nous semble qu'il s'agit de la meilleure approche théorique pour l'étude de la cohérence urbaine. D'une part, les *natural streets* affichent une bonne corrélation avec les flux de déplacement réels (Jiang et al., 2008), ce qui donne à cette approche un fondement empirique solide. D'une autre part, la modélisation du réseau viaire se base sur des « *natural streets* » - ou littéralement « rues naturelles » - éléments très familiers et intuitifs et qui faciliteront l'interprétation des résultats. Enfin, la présence d'outils computationnels dédiés et pouvant générer les rues d'une manière automatisée améliore grandement la faisabilité d'une étude basée sur les *natural streets*.

Dans cette partie, nous avons passé en revue les principales méthodes et approches de modélisation d'un réseau viaire. D'une part se distingue l'approche désagrégée ou « *segment-segment* », dans laquelle le réseau viaire est représenté comme un ensemble de segments isolés. La théorie des graphes entre dans cette approche. D'une autre part, les approches agrégées ou « *street-street* » qui considèrent des ensembles de segments qui peuvent se continuer à travers un nœud. Ces approches donnent un sens à l'agrégation de plusieurs segments comme étant une « ligne axiale, une « route » ou encore « rue ». De par la différenciation de ces éléments qui constituent alors les briques de base du réseau, il est alors possible d'étudier la structuration du réseau viaire d'une manière bien plus intuitive. Pour l'étude de la cohérence urbaine, nous nous plaçons de toute évidence dans les approches désagrégées. L'approche des *natural streets* semble être la plus appropriée.

⁹⁰ Axwoman 6.3 est un script qui s'exécute sur ArcMap.

2 Les réseaux viaires sous l'angle des sciences de la complexité : les propriétés émergentes et la distribution des rues comme indices de la cohérence urbaine

Les réseaux viaires, tout comme d'autres types de réseaux (réseaux électriques, réseaux sociaux réseaux neuronaux), peuvent être étudiés à travers le prisme des sciences de la complexité. La complexité dans ce contexte fait référence aux systèmes qui sont constitués de nombreux composants interconnectés et interagissant les uns avec les autres, dont le comportement global ne peut être prédit simplement en comprenant les parties individuelles. Dans cette partie, nous traitons principalement de l'étude de la structuration hiérarchique des réseaux viaires en tant que système complexe. Les propriétés des réseaux viaires complexes présentées ici doivent être vues comme « désirables ». En ce sens, elles constituent un idéal à atteindre et peuvent être considérées comme normatives pour la cohérence urbaine morphologique.

2.1 Les propriétés émergentes des réseaux viaires en tant que système complexe.

L'émergence fait référence au phénomène par lequel des entités plus grandes émergent à travers les interactions entre des entités plus petites ou plus simples, de telle manière que les entités plus grandes exhibent des propriétés que les entités plus petites ou plus simples n'exhibent pas.

2.1.1 La hiérarchisation des voies

L'analyse de la structuration hiérarchique d'un réseau viaire nécessite un niveau d'abstraction poussé que Marshall distingue comme étant la constitution. Selon (Marshall, 2005), on peut analyser un réseau viaire suivant trois niveaux d'abstraction croissante (Figure 26) :

- **La composition** : La composition est le niveau d'analyse le plus superficiel. Aucune abstraction n'est opérée. On analyse la forme des réseaux, l'angle entre les voies, la longueur, la superficie. A ce niveau, on se concentre essentiellement sur la géométrie.
- **La configuration** : La configuration est un niveau d'analyse plus profond. On simplifie la géométrie du réseau viaire pour se concentrer sur sa topologie et les relations entre les routes. La Route Structure Analysis exposée plus haut est d'ailleurs à ce niveau d'analyse. On analyse des paramètres tels que la connectivité ou la continuité.
- **La constitution** : La constitution est le niveau d'analyse le plus profond et le plus fondamental. On simplifie encore le réseau viaire pour ne garder que les relations hiérarchiques entre les éléments. Les voies ne sont plus définies que par leur position hiérarchique au sein du réseau.

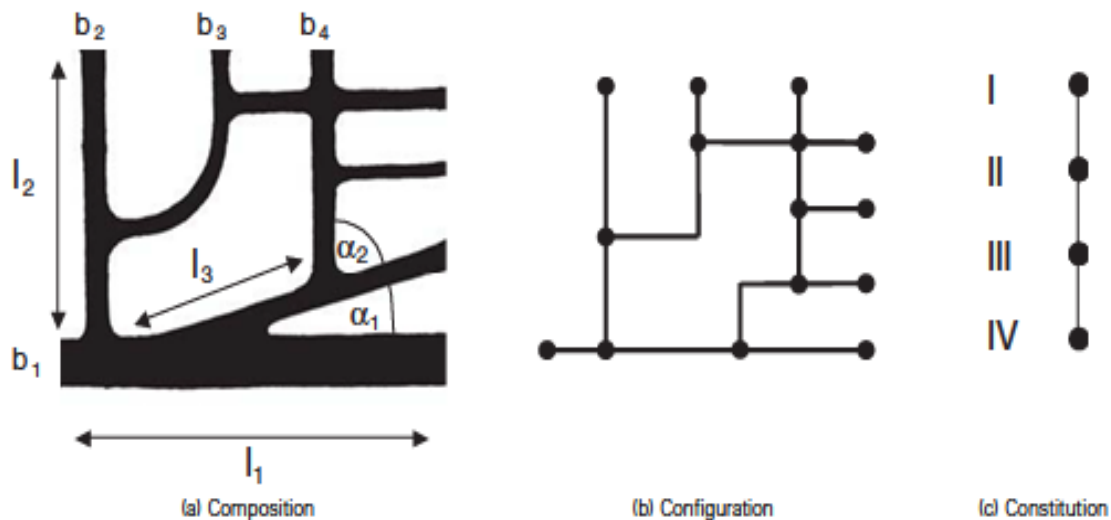


Figure 26 : Fig. : Trois niveau d'analyse des réseaux viaires : Composition, configuration et abstraction.
Source : (Marshall, 2005)

A partir d'une analogie avec un arbre, Marshall (2004) ressort une série de 6 conditions structurelles sur lesquelles il fonde une définition des relations hiérarchiques dans un système :

- 1) Différenciation des éléments : Chaque élément dans un système hiérarchisé est de nature différente. Par exemple, une feuille a une nature fondamentalement différente d'une branche. Pour un réseau viaire, cela signifie que toutes les voies le constituant diffèrent de par leur nature, un boulevard n'est pas une autoroute ou une impasse.
- 2) Classement ordonné des éléments : Les éléments dans un système arborescent hiérarchisé sont soumis à un certain ordre (croissant ou décroissant)⁹¹. Ainsi, on peut classer la branche dans une catégorie supérieure à celle de la feuille. Pour un réseau viaire, cela signifie que les voies peuvent être soumises à une classification selon leur importance.
- 3) Connexions nécessaires : Les éléments dans un système arborescent hiérarchisé répondent à une certaine logique de connexion mutuelle, en suivant une certaine continuité entre les échelles. Par exemple, une branche sera nécessairement au moins connectée à au moins une branche de même taille ou de taille supérieure, mais ne pourra pas flotter seule au milieu de rameaux de petite taille. Pour un réseau viaire, cela

⁹¹ La notion d'échelle est définie à partir de cette propriété. Les catégories supérieures appartiennent aux échelles les plus grandes et les catégories inférieures appartiennent aux échelles les plus petites.

équivalent à la propriété d'artérialité⁹². Lorsqu'elle est satisfaite, les voies les plus importantes forment un ensemble continu

- 4) Connexions autorisées : Les éléments dans un système arborescent hiérarchisé obéissent à un ordre de connexion spécifique, où chaque élément est uniquement autorisé à se connecter avec les éléments de même échelle ou d'échelle immédiatement inférieure ou supérieure. Par exemple, un rameau ne peut se connecter directement à un tronc si ce n'est via tous les éléments d'échelle intermédiaire. Pour un réseau viaire, cela équivaut à la propriété de contrainte d'accès⁹³. Lorsqu'elle est satisfaite, les voies d'échelle inférieure ne peuvent se connecter aux voies d'échelle supérieure directement mais uniquement en passant par toutes les voies d'échelle intermédiaire les séparant.
- 5) Fréquence des éléments : Les éléments dans un système arborescent hiérarchisé présentent des éléments de petite échelle en bien plus grande quantité que les éléments de grande échelle. Un arbre possède bien plus de feuilles que de branches. Pour un réseau viaire, cela implique un nombre de voies d'accès de petite échelle bien plus nombreuses que les boulevards ou les autoroutes.
- 6) Configuration structurelle : Les éléments appartenant aux échelles les plus petites et les plus lointaines dans un système arborescent hiérarchisé ont tendance à former un ensemble discontinu. Les petites branches et les feuilles ne sont pas reliées entre elles dans un arbre. Si cette propriété est satisfaite pour un réseau viaire, cela implique que toutes les voies appartenant à la plus petite échelle soient des impasses.

Les voies constituant un réseau viaire peuvent être classées, et ce en indépendance totale de leur propriétés compositionnelles (forme, largeur, etc.) et configurationnelles (Connectivité, continuité, etc.) par leurs propriétés constitutionnelles, c'est-à-dire suivant leurs interrelations hiérarchiques avec les autres voies. La classification des voies selon leur constitution est un exercice nécessaire et préalable avant toute évaluation du type de constitution d'un réseau viaire. Il existe plusieurs méthodes pour établir une classification hiérarchique des voies au sein d'un réseau viaire.

2.1.2 Formation de schémas-types de connexion des voies

L'une des propriétés des systèmes complexes auto-organisés est l'émergence de formes d'organisation à l'échelle macroscopique résultant de forces de couplage entre les éléments à

⁹² Cette propriété est expliquée plus en détail plus bas.

⁹³ Cette propriété est expliquée plus en détail plus bas.

l'échelle microscopique. Selon Prigogine, lorsque les systèmes sont éloignés de l'équilibre thermodynamique et sont soumis à des flux d'énergie ou de matière, ils peuvent développer des structures complexes et ordonnées appelées "structures dissipatives".

Si on regarde de plus près à la manière dont des voies peuvent se connecter entre elles, d'un point de vue de leur constitution, il est possible d'isoler plusieurs typologies de connexion. (Marshall, 2005) s'appuie sur deux principes fondamentaux pour analyser les types de connexion entre les voies au sein d'un réseau, à partir de l'analogie de l'arbre exposée précédemment.

- L'artérialité : Chaque voie doit être au moins connectée à une voie de niveau équivalent ou supérieur. Ainsi, les niveaux de voie supérieurs forment un réseau continu (Figure 27), que Marshall nomme « Continuité stratégique ». Cette hiérarchisation des voies peut être vue comme souple, puisque les voies peuvent s'interconnecter librement entre elles, peu importe leur niveau dans la hiérarchie, tout en maintenant une logique organisatrice orientée vers les échelles plus grandes.
- La contrainte d'accès : Chaque voie ne peut se connecter qu'avec les voies de même hiérarchie, ou de hiérarchie immédiatement supérieure ou inférieure (Figure 27). Marshall utilise aussi le terme « stratification » des voies dans une acception plus générale, selon un modèle hiérarchique vertical. Cette hiérarchisation des voies est plutôt qualifiée de rigide, en raison de la contrainte supplémentaire appliquée, selon laquelle chaque voie ne peut se connecter qu'à un nombre limité d'autres types de voies. La connexion entre les voies d'échelle non consécutives ne peut se faire qu'à travers les échelles intermédiaires.

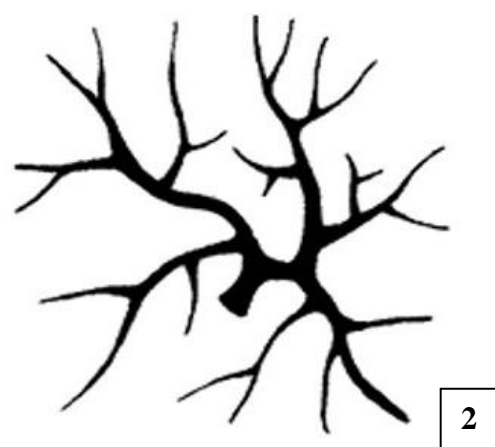
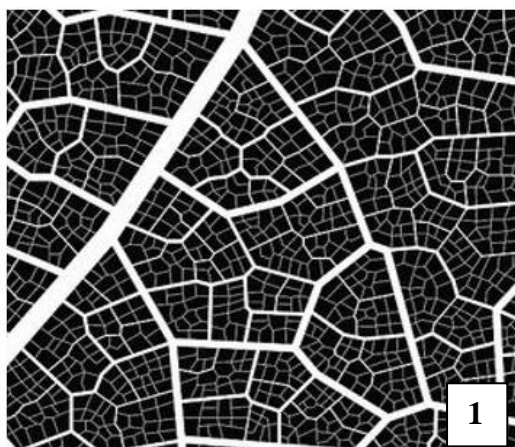






Figure 27 : Un réseau respectant la condition d'artérialité (1). Un réseau respectant la condition de contrainte d'accès (2). Source : (Marshall, 2005)

Ces deux conditions sont à la base de la classification des réseaux selon leur constitution. Leur combinaison donne ainsi 4 types de constitution :

- **Réseau dendritique** : Ce réseau combine à la fois l'artérialité et la contrainte d'accès. C'est le type de réseau le plus hiérarchisé et celui qui ressemble le plus à un arbre. Il est en général associé aux réseaux de voirie modernes planifiés. Les voies s'interconnectent uniquement avec les voies d'échelle consécutives. Les voies de niveau inférieur sont généralement des culs-de-sac. 
- **Réseau conjoint** : Ce réseau valide le principe d'artérialité mais pas celui de la contrainte d'accès. Ce type de réseau conserve tout de même une hiérarchie mais bien moins rigide que le type précédent. Il est en général associé aux réseaux interurbains et aux tissus traditionnels. Dans ce type, les voies de niveau inférieur peuvent se connecter directement aux niveaux supérieurs. Le principe d'artérialité reste respecté tant que chaque voie se connecte au moins à une voie de même niveau ou de niveau supérieur. 
- **Réseau en mosaïque** : Ce réseau ne valide ni le principe d'artérialité, ni la contrainte d'accès. Ce type de réseau n'a pas de structuration hiérarchique et les voies sont distribués aléatoirement. 
- **Réseau sériel** : Ce réseau valide le principe de contrainte d'accès sans valider l'artérialité. Les voies de niveau supérieur sont donc discontinues (en fait ils se connectent par l'intermédiaire des niveaux inférieurs), on pourrait comparer ce type de réseau, pour simplifier à un entonnoir. 

Parmi tous les réseaux exposés, il en existe certains qui sont plus performants que d'autres, dans le sens où ils permettent une meilleure dissipation d'énergie et sont donc plus à même de supporter des flux de mouvement d'une manière efficace. Il est aussi bon de noter que ce ne sont pas des réseaux réels et ne seront pas observés en tant que tels dans un réseau viaire réel.

Ils sont donc à considérer comme des outils théoriques permettant une réflexion sur la structuration hiérarchique des réseaux viaires.

Le type « dendritique » présente une hiérarchie bien trop rigide. Pour se rendre à une voie de niveau inférieur, on doit obligatoirement passer par tous les niveaux intermédiaires. Cela implique une distance accrue à parcourir et un potentiel d'interaction réduit de par la raideur de la hiérarchie.

Le type « mosaïque » au contraire n'affiche aucune structuration hiérarchique. De plus, il manque de lisibilité puisque ni l'artérialité, ni la contrainte d'accès ne sont respectés. Il peut être difficile de s'orienter dans un tel réseau.

Le type sériel semble lui aussi ne pas pouvoir garantir une cohérence urbaine. Il fait même figure du réseau offrant le moins d'interconnexions possibles, car en plus de devoir passer par toutes les voies intermédiaires pour se rendre à un niveau précis, les voies des niveaux supérieurs ne sont pas connectées entre eux.

Finalement, c'est le réseau conjoint qui semble être le plus optimal à la diffusion des flux. Il présente une bonne lisibilité grâce à l'artérialité ainsi qu'une structuration hiérarchique solide mais tout de même suffisamment flexible, où les niveaux supérieurs forment un tout continu. Grâce à cela, toutes les échelles peuvent s'interconnecter entre elles. Le potentiel d'interaction s'en voit décuplé. Ce type de réseau favorise les transports en commun et les modes doux, car il permet une interconnexion avec les plus grandes échelles, tout en maintenant une circulation efficace aux grandes échelles grâce à la continuité du réseau garantie par l'artérialité.

2.1.3 L'artérialité

Cette propriété, déjà exposée plus haut, va être développée plus en détail dans cette partie. Dans un réseau routier, l'artérialité implique que chaque route doit au moins être connectée à une route, soit de même niveau hiérarchique, soit de niveau hiérarchique supérieur⁹⁴. Marshall (2005) met en évidence une propriété topologique sous-jacente qu'on retrouve dans la plupart des réseaux routiers à travers le monde, rarement étudiée et mise en évidence, mais inconsciemment intégrée, nommée « artérialité » (Morrison, 1966). Cela dissocie alors les voies d'un réseau viaire en deux catégories : un réseau primaire, formé des voies de hiérarchie supérieure sur lequel se greffe un réseau secondaire, formé des voies de niveau hiérarchique

⁹⁴ Par analogie avec un arbre, il est naturel de voir le tronc et les branches principales être connectées, en revanche, il serait plus difficilement concevable de voir une branche principale soudain surgir d'un rameau.

inférieur. Ainsi, le réseau primaire routes forme un tout continu, ce qui n'est pas nécessairement le cas pour le réseau secondaire.

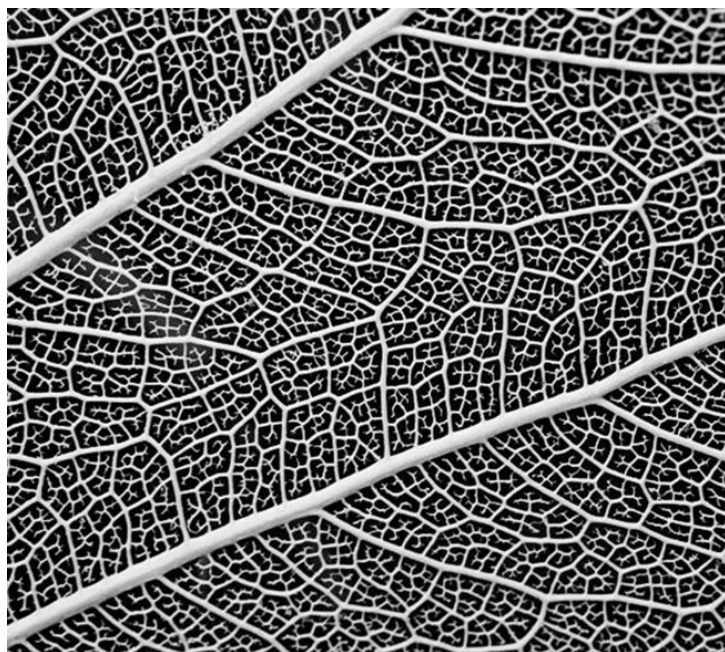


Figure 28 : L'artérialité des veines d'une feuille. Les veines les plus importantes forment un ensemble de lignes continues. Source : (Marshall, 2005)

Hillier (2007) fait état d'un constat similaire, selon lequel un principe de continuité et de connexion semble s'établir empiriquement entre les lignes les plus longues dans un grand nombre de villes, qu'elles soient organiques (Londres, Tokyo) ou même plus géométriques (Chicago, Athènes). Ce constat semble être aussi partagé pour Nice (Fusco, 2018) et pour Paris et Avignon (Lagesse, 2015).

L'artérialité pourrait aussi être expliquée par les mécanismes d'attachement préférentiel mis en évidence par (Barabási & Albert, 1999). Cette condition implique que les nouveaux nœuds d'un réseau ont une plus grande probabilité de se connecter à des nœuds qui sont déjà bien connectés. Les travaux de (Barabási & Albert, 1999) clarifient les mécanismes de formation des réseaux dits « scale-free⁹⁵ » dont les éléments suivent une distribution selon une loi de puissance inverse.

L'artérialité est une propriété souhaitable au sein d'un réseau viaire. Elle est l'ingrédient actif qui contribue à la lisibilité d'un réseau (Tsigdinos et al., 2022). L'orientation à travers ce dernier est facilitée grâce à la continuité du réseau supérieur, qui fournit un repère par rapport à l'ensemble. Il est ainsi plus aisé de se créer une carte mentale de la ville, uniquement à partir des voies artérielles les plus importantes (Figure 28). Ces voies forment en quelque sorte le

⁹⁵ En français : réseaux libres d'échelle

squelette du réseau viaire. Au contraire, un réseau non artériel serait chaotique, difficilement lisible et provoquerait un effet d'entonnoir sur les flux⁹⁶.

Il existe certaines études ayant évalué le degré de vie des villes qui prennent expressément en considération ce critère d'artérialité, sans pour autant le nommer. Ainsi, les villes considérées comme étant les plus vivantes montrent aussi un enchevêtrement de leurs voies les mieux connectées (de Rijke et al., 2020, p. 10).

2.1.4 Résilience et adaptabilité

La résilience est définie par la capacité d'un système à résister, absorber, s'adapter à récupérer et se réorganiser en réponse à des perturbations, des stress ou des changements, tout en maintenant ses fonctions et structures essentielles.

Dans un réseau complexe, il existe souvent plusieurs chemins entre les nœuds. Si un chemin est défaillant (par exemple, une route est bloquée dans un réseau de transport), il existe d'autres chemins qui peuvent être utilisés pour maintenir le flux de trafic. Cette redondance rend le réseau plus résistant aux défaillances individuelles. Aussi, la plupart des éléments dans un réseau viaire complexe suivent une distribution en puissance inverse. Cela signifie qu'il existe un nombre d'éléments à l'importance faible beaucoup plus élevé que le nombre d'éléments à l'importance critique. Ainsi, la suppression aléatoire de nœuds n'affecte généralement pas de manière significative la structure globale du réseau (Albert et al., 2000). Le corollaire de cette propriété implique aussi une structuration modulaire⁹⁷, où les nœuds sont regroupés en modules. Les connexions intra-modulaires sont bien plus intenses que les connexions inter-modulaires. Cette modularité peut contribuer à contenir les défaillances ou les perturbations au sein d'un seul module, les empêchant ainsi de se propager à l'ensemble du réseau.

Les systèmes complexes sont aussi des systèmes dynamiques qui sont en évolution perpétuelle. Par exemple, au fur et à mesure de la croissance d'une ville, le réseau viaire sera amené à être reconfiguré et réorganisé en fonction des nouvelles dynamiques qui se développent. A travers le temps, un réseau aura tendance à être plus résilient à travers un processus de sélection naturelle.

Il existe des méthodes d'évaluation de la résilience des réseaux complexes. Certaines sont basées sur l'évaluation quantitative de leur capacité à faire face à des perturbations, notamment

⁹⁶ Il faudrait donc passer par des voies de hiérarchie inférieure pour arriver à certaines voies de hiérarchie supérieure. Ce type de réseau correspond au réseau sériel présenté dans la sous partie précédente.

⁹⁷ Cela dérive directement de la distribution en puissance inverse. La structuration hiérarchique des éléments peut être interprétée comme une logique d'échelles emboîtées.

à travers une analyse de leur diversité. L'une des métriques pouvant être mesurée est le nombre cyclomatique, qui donne le nombre de chemins redondants possibles pour aller d'un point A à un point B (Salat, 2011). Cette analyse se base sur la théorie des graphes conventionnelle.

Il existe aussi une autre série de méthodes basée sur la simulation de l'évolution du réseau après une perturbation, contrôlée ou non (Albert et al., 2000; Janssen et al., 2006; Rinaldi et al., 2001). A partir des métriques obtenues après simulation, on compare les états du système avant et après perturbation.

2.2 La distribution des éléments dans un réseau complexe.

2.2.1 Qu'est-ce qu'une loi de distribution

Revenons avant tout à la définition d'un système. Un système est un ensemble d'éléments interconnectés et interdépendants qui travaillent ensemble pour atteindre un objectif ou produire des résultats spécifiques. Dans cette partie, nous nous intéressons plus particulièrement au nombre d'éléments dans un système, à leur taille et à la manière dont sont distribués ces éléments. Une loi de distribution, également appelée distribution de probabilité, est une description mathématique qui caractérise la manière dont les valeurs possibles d'une variable aléatoire sont réparties. En d'autres termes, elle indique quelle probabilité est associée à chaque valeur possible que peut prendre une variable ou un événement aléatoire. Elle est modélisée par une fonction de répartition qui a une représentation graphique bien identifiable.

Il existe plusieurs types de loi de distribution. L'une des plus communément observée est la distribution normale ou gaussienne (Figure 29), où les éléments sont distribués selon une courbe de Gauss. On observe que la majorité des valeurs se regroupent autour d'une valeur moyenne, qui constitue un pic dans la courbe. La symétrie de la courbe signifie que les valeurs positives et négatives de part et d'autre de la moyenne sont équivalentes en termes de probabilité. Cette distribution se retrouve dans de nombreuses situations de la vie courante. Par exemple, la taille des individus humains suit une distribution gaussienne, La majorité des individus se situant autour de la moyenne, avec moins d'individus aux extrémités. Il existe aussi de nombreuses autres lois de distribution des éléments, telles que les distributions log-normale, de Poisson, exponentielles, etc. Cependant, nous ne rentrerons pas dans plus de détails.

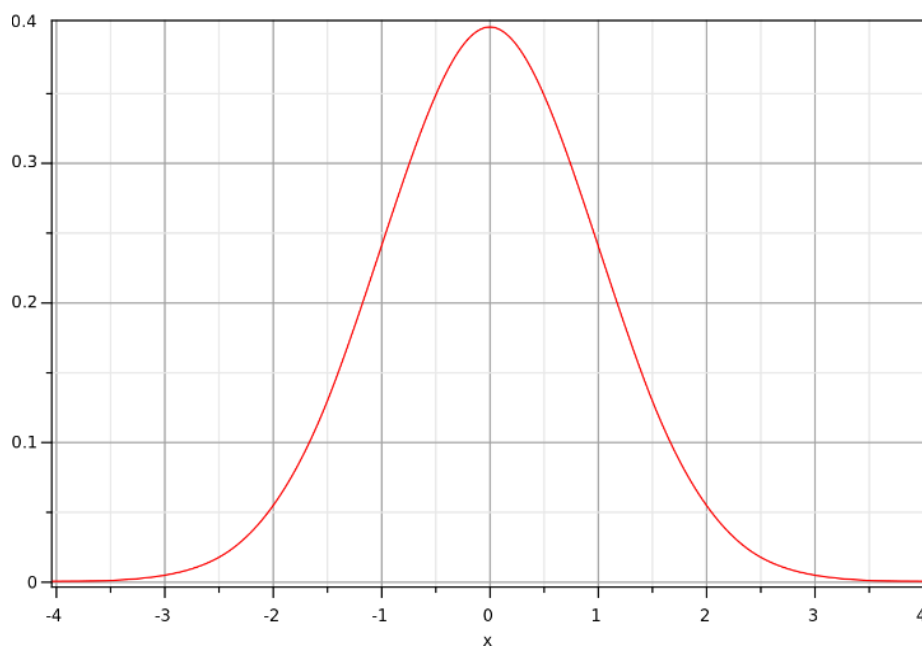


Figure 29 : Graphe d'une loi de distribution normale. Source : Wikipédia



Figure 30 : Graphe d'une loi de distribution en puissance. Source : Wikipédia

2.2.2 La distribution des éléments dans un système complexe

La distribution la plus fréquemment observée dans de nombreux systèmes complexes est la distribution de puissance inverse (aussi appelée distribution de loi de puissance ou distribution de Pareto). Cette distribution est caractérisée par une queue longue, ce qui signifie qu'elle peut générer des valeurs extrêmes bien plus souvent que ce que l'on s'attendrait avec une distribution normale (Figure 30). Dans une distribution en puissance inverse, les événements rares ou les éléments fortement influents sont plus fréquents que prévu par une distribution gaussienne classique. Cela signifie qu'un petit nombre d'éléments ou d'événements peut avoir un impact

disproportionné sur l'ensemble du système. Cette caractéristique est souvent désignée sous le nom de "principe du 80/20" ou la "règle de Pareto", où environ 80 % des effets proviennent de 20 % des causes. Une telle distribution est reconnue comme la signature de la complexité dans un système, c'est d'ailleurs pour cela que Nilsson & Gil (2019) l'associent à une croissance organique des villes.

2.2.3 La fractalité dans les tissus urbains

Salingaros et West (1999) font état d'une loi similaire inhérente aux systèmes complexes, selon laquelle la multiplicité p d'un élément de taille x suit une loi de puissance inverse⁹⁸. Ils ajoutent cependant une dimension subjective à cette loi : les objets complexes et les plus plaisants à regarder ont tendance à suivre une telle distribution. Trois applications aux systèmes urbains sont proposées. Dans les villes, la distribution des longueurs de chemin, l'allocation des financements de projets et la distribution des éléments du bâti suivent tous la même distribution en puissance inverse. Le corollaire de la distribution inverse des éléments dans un système complexe est l'existence de plusieurs niveaux d'échelles. Les éléments suivent et s'intègrent suivant une certaine hiérarchie selon leur importance. De la loi de puissance, on peut déduire le facteur d'échelle, qui est une valeur qui mesure la différence globale d'échelle entre les éléments. Selon (Salingaros, 2005), ce facteur d'échelle doit être compris entre 2 et 5. S'il est trop faible, les éléments ne sont pas suffisamment différenciés et formeraient un tout chaotique, s'il est trop élevé, les éléments ne peuvent pas se connecter entre eux.

Un exemple peut être étudié à travers une discrétisation⁹⁹ de la loi de puissance énumérée plus haut. Pour une distribution avec un k fixé à 1.5 (dimension fractale) et un a fixé à 3 (facteur d'échelle), telle que $p_n = 3 \cdot x_n^{-1.5}$ on se retrouve avec les échelles suivantes (Tableau 6):

Si on pousse la logique encore plus loin, à $n=6$, on retrouve 19683 éléments de taille 21 m ce qui peut correspondre aux bâtiments et aux jardins ; à $n=8$, on retrouve 531 000 structures de taille 2.3 m ; jusqu'à $n=12$, où on retrouve 387 millions de structures de taille 2.8 cm, ce qui peut correspondre aux ornements et détails architecturaux. Cet exemple illustre bien comment sont distribués les éléments au sein du système complexe que peut être une ville.

⁹⁸ Mathématiquement, une loi de puissance est représentée par $p = a \cdot x^k$, où p et x sont les variables, a est une constante, et k est l'exposant qui détermine le degré de la relation en loi de puissance.

⁹⁹ La loi de distribution est normalement continue, mais peut être discrétisée (séparée à n intervalles qui correspondent théoriquement aux échelles)

Echelle n	Nombre d'éléments	Taille des éléments	Suggestion
0	1	15 km	Agglomération
1	5	5 km	Commune
2	27	1,7 km	Fragments de commune
3	140	556 m	Quartiers

Tableau 6 : Nombre d'éléments en fonction de leur taille dans une distribution en puissance inverse.
Source : (Salat, 2011)

La loi de distribution en puissance inverse peut être retrouvée dans de nombreux cas de figures dans la nature, par exemple dans un chou romanesco (Figure 31), qui contient beaucoup plus de très petits cônes que de petits cônes. Cette propriété récursive est connue sous le nom de fractalité, et désigne des objets géométriques présentant une structure similaire à toutes les échelles (Mandelbrot, 1982). Elle découle directement des lois exposées plus haut. Une structure étant définie comme fractale présente une invariance d'échelle, c'est-à-dire qu'il contient de l'information à toutes les échelles d'observation. En d'autres termes, quels que soient les niveaux de zoom ou d'observation, on retrouve des motifs ressemblant au motif global. Les structures fractales se caractérisent par leur autosimilarité et leur complexité à toutes les échelles.



Figure 31 : Chou Romanesco présentant une structure récursive fractale. Source : Wikipédia

2.2.4 La distribution fractale dans les réseaux viaires

La science des réseaux complexes s'intéresse aussi de près à la distribution des éléments. Au-delà de l'étude de l'interrelation entre les éléments qui composent un réseau complexe, l'analyse de la distribution des éléments permet d'obtenir une description globale de la structuration du système. Par exemple, dans l'analyse des réseaux biologiques ou des réseaux de transport, la distribution des éléments peut révéler des hubs importants (nœuds avec de nombreux liens), des modèles de connectivité significatifs et des régions du réseau qui jouent un rôle central dans la circulation d'informations, de flux ou d'énergie.

Un réseau complexe peut présenter des propriétés fractales, il est alors dit réseau « libre d'échelle¹⁰⁰ ». Il est défini comme un type de réseau complexe où quelques nœuds ont un grand nombre de connexions, tandis que la majorité des nœuds ont un nombre plus faible de connexions. Cette définition est en cohérence avec la notion de fractalité, puisqu'on retrouve des éléments en plus grand nombre au fur et à mesure de l'échelle qui diminue. Le travail novateur de (Barabási & Albert, 1999) met en évidence comment de tels réseaux se forment. Ils proposent deux explications majeures à la formation de tels réseaux. Premièrement, la croissance continue des réseaux est une condition nécessaire. Cela met en évidence le caractère dynamique et évolutif de tels réseaux, caractéristique de la complexité. Deuxièmement, un mécanisme d'attachement préférentiel incite les nouveaux nœuds à se connecter aux nœuds déjà très connectés, ce qui renforce encore davantage la disparité entre les nœuds avec des degrés élevés et ceux avec des degrés faibles. Les réseaux complexes, à fortiori les réseaux libres d'échelle, exhibent aussi généralement la propriété dite « petit-monde¹⁰¹ ». Dans de tels réseaux, chaque nœud est à peine éloigné de n'importe quel nœud du réseau de quelques degrés. Au sein des réseaux viaires, cette distribution est presque systématiquement observée. Les travaux de (Jiang & Claramunt, 2004) sur la répartition des rues en fonction de leur connectivité au sein du réseau viaire mettent déjà en évidence des réseaux de type « Petit-monde ». Des travaux plus récents démontrent alors aussi la présence d'une distribution de type Pareto dans les réseaux viaires (Jiang, 2007; Volchenkov & Blanchard, 2008). Les travaux de (Gao et al., 2013; Jiang, 2009) appuient la présence d'une loi de Pareto dans la distribution des voies au sein d'un réseau à travers leur connectivité et mettent en évidence une hiérarchie claire, voire même surprenante : 20% des rues portent 80% du trafic routier¹⁰² et 1% des rues portent à elles

¹⁰⁰ Traduit du terme original « Scale free network ».

¹⁰¹ Traduit du terme original « Small-world network ».

¹⁰² Ce résultat est particulièrement surprenant parce qu'il correspond exactement au principe de 80/20 (80% des effets sont le résultat de 20% de causes) de la loi de Pareto.

seuls 20% du trafic routier. D'autres études plus récentes se montrent plus nuancées, en avançant que la distribution en puissance inverse n'est pas universelle mais serait plutôt caractéristique des villes à croissance organique (Nilsson & Gil, 2019).

Conclusion du chapitre six

Au courant de ce chapitre, nous avons étudié les réseaux viaires dans la volonté d'approfondir nos connaissances dans ce domaine, puisque nous avons admis que le réseau viaire était un support d'étude pertinent de la cohérence urbaine. Il ressort de l'étude des différentes modélisations que toutes ne se valent pas quand il s'agit d'étudier la cohérence urbaine. La modélisation des *natural streets* semble être la plus intéressante, en raison de son approche agrégée et de la possibilité d'automatiser le processus de génération.

Aussi, l'étude des réseaux viaires à travers les sciences de la complexité mettent à jour un domaine d'étude connu comme la science des réseaux complexes. Des propriétés dites « émergentes » sont mises en évidence, comme la structuration hiérarchique, l'artérialité ou encore la résilience. De telles propriétés sont observables et mesurables, et constitueront dans la partie suivante des indicateurs de la cohérence urbaine morphologique. En outre, la distribution des éléments dans un réseau viaire semble obéir à une loi de distribution particulière dite « loi de puissance inverse ». Les éléments sont distribués d'une manière inversement proportionnelle à leur taille. Ainsi, un réseau viaire suivant une telle loi aura bien plus de voies à faible flux que de voies de voies à fort flux, en termes de nombre. En revanche, les voies les plus importantes porteront la grande majorité des flux et inversement pour les voies à faible flux.

La vérification de la cohérence urbaine passera par la vérification de toutes ces propriétés du réseau viaire d'une ville. Ces conclusions appuieront la construction d'un cadre d'analyse et d'évaluation, suivi de la présentation de la méthode, dans le chapitre suivant.

**Chapitre VII : Construction d'un cadre
méthodologique d'analyse et d'évaluation
de la cohérence urbaine morphologique**

Introduction du chapitre sept

Au cours de la revue de la littérature sur les réseaux viaires, centrée autour des sciences de la complexité, un certain nombre de modèles de réseaux de rues ont pu être mis en évidence, en même temps qu'un certain nombre de propriétés spécifiques aux réseaux complexes. Aussi, en introduction de cette troisième partie, ont été présentées deux conjectures qui mènent au choix d'étudier les réseaux viaires. La première est que la cohérence urbaine s'étudie à travers les réseaux viaires. En effet, cette approche se focalise sur les principaux canaux de déplacement et permet d'étudier la structuration profonde d'une ville à travers la configuration de son réseau viaire. La seconde est que la cohérence urbaine est une notion normative. Par conséquent, il est nécessaire d'établir un certain nombre de critères de référence par rapport auxquels on évalue une ville comme cohérente ou non. A cette approche normative s'ajoute une approche comparative, qui est essentielle pour situer un cas d'étude spécifique par rapport à d'autres cas similaires.

Dans ce chapitre, nous construisons notre cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique, à partir des données et informations récoltées dans la littérature. Nous commencerons tout d'abord par conforter encore les deux conjectures posées en début de partie, en fonction des éléments exposés dans le chapitre précédent. Par la suite, nous établirons les critères de cohérence urbaine à partir du réseau viaire. Nous exposerons ensuite le corpus des villes algériennes étudiées. Nous présenterons alors une méthode d'évaluation de la cohérence urbaine, fondée sur des références reconnues dans la littérature, mais est aussi enrichie de nouveaux éléments originaux.

1 Un cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique basée sur le réseau viaire : consolidation des trois conjectures.

Dans cette section, nous construisons un cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique, à partir des données et informations récoltées dans la littérature. Ce cadre servira de référence pour la suite de la recherche. Les méthodes proposées, le corpus de données et les résultats sont issus d'un article précédemment publié par Negadi et al. (2023)

1.1 Le réseau viaire comme support : considérations sur les modèles et méthodes pertinentes

Au début du chapitre, la première conjecture concernant le réseau viaire était posée : le réseau viaire est un support d'analyse pertinent et admissible pour la cohérence urbaine morphologique. Différents modèles de réseau viaire disponibles dans la littérature ont été passés en revue. A travers les différents modèles observés, plusieurs points ont pu être relevés

1.1.1 Ce que permet d'étudier le réseau viaire : structuration, hiérarchie, connexion

Un réseau est par définition un ensemble d'éléments en interaction et en interconnexion. En revanche, une ville est aussi un système d'une formidable complexité. Pour la seule forme urbaine¹⁰³, il existe de nombreuses approches (A. Levy, 2005). Il s'agit donc de trouver un objet suffisamment précis et adapté pour « modéliser » la ville. Toute modélisation implique cependant aussi une « simplification du réel ». Pour l'étude d'un système complexe tel que la morphologie d'une ville, la science des réseaux complexes est particulièrement utile. Selon (Salingaros, 1998), une ville peut se résumer à une toile. Il donne une définition de cette « toile urbaine » sensiblement comparable à la définition d'un réseau : elle se définit par la présence de nœuds (bâtiments, places, lieux, repères) et de liens (chemins, voies, routes, rues). Il y ajoute cependant une notion de hiérarchie fractale : les échelles les plus petites portent le plus grand nombre d'éléments et par un phénomène d'auto-organisation, les plus grandes échelles se forment à partir des plus petites. Cette approche de la ville par les interrelations entre ses éléments est particulièrement adaptée à l'étude de la cohérence urbaine. Pour rappel, la définition générale de la cohérence fait référence à la qualité d'être logique, bien organisé et ayant toutes les parties correctement reliées les unes aux autres. Il s'agit d'une qualité d'unité et de connexion qui rend un ensemble de choses ou d'idées clair et rationnel (Alexander, 2004). L'idée de connexion entre les différentes parties d'un tout est primordiale. L'idée d'étudier la cohérence urbaine morphologique à travers le réseau viaire s'impose alors d'une manière assez logique.

1.1.2 L'étude des réseaux complexes : un champ de la littérature riche et solidement fondé

La présence du réseau viaire dans l'étude morphologique de la forme urbaine physique de la ville est constatée d'une manière récurrente. Nous avons traité en détail des approches utilisées dans la modélisation de la ville à travers son réseau viaire dans les chapitres précédents. Notre recherche s'inscrit donc dans un champ de la littérature solidement fondé et riche de nombreuses approches. Ces éléments sont considérés comme suffisamment probants pour

¹⁰³ La forme urbaine n'est pas la ville, mais plutôt sa dimension physique et spatiale.

considérer la première conjecture comme solide. Non seulement, la cohérence urbaine peut être étudiée à partir du réseau viaire, mais le réseau viaire s'avère être un élément particulièrement pertinent pour une telle étude.

	Type de Topologie	Echelle d'application	Génération automatique	Etude de la hiérarchisation du réseau	Variables principales
Théorie des graphes	Segment-segment	Toutes échelles	Oui	Difficile	Centralité de connectivité Proximité Intermédierité
Space syntax	Lignes axiales	Echelle piétonne	Oui (DepthMapX)	Directe	Profondeur, Connectivité
Route Structure Analysis	Street-Street	Toutes échelles	Non	Directe	Connectivité, Continuité, Profondeur
Named Streets	Street-Street	Toutes échelles	Non	Indirecte	Connectivité
Natural Streets	Street-Street	Toutes échelles	Oui	Indirecte	Connectivité

Tableau 7 : Synthèse des modèles de représentation des réseaux viaires. Source : Auteur

Il reste maintenant à déterminer quelle modélisation du réseau viaire sera choisie pour l'étude de la cohérence urbaine morphologique (Tableau 7).

La théorie des graphes est éliminée d'office, bien que très répandue et encore utilisée intensivement dans la littérature, en raison du type de topologie « segment-segment ». L'élément de base étant une pure abstraction mathématique à partir duquel il est assez délicat d'étudier la hiérarchisation du réseau et d'établir des interprétations, cette approche ne sera pas choisie.

La space syntax n'est pas choisie en raison de son échelle d'application se limitant aux petites échelles piétonnes. Elle ne convient pas à l'étude d'une ville dans sa totalité à l'échelle bien plus grande. La Route Structure Analysis, bien qu'ambitieuse, ne propose aucune méthode d'automatisation pour la génération des « routes », ce qui complique son application à l'échelle d'une agglomération. L'approche des « named streets » est aussi très intéressante puisqu'elle se fonde sur le nom des boulevards et des rues. L'élément de base du réseau a donc une existence physique réelle, ce qui rend l'interprétation des données plus facile et appréhendable. Cependant, il n'existe pas de méthodes d'automatisation pour cette approche non plus.

La dernière approche des « natural streets » semble cocher toutes les cases. Elle permet d'étudier la hiérarchisation des voies au sein du réseau d'une manière indirecte en se basant sur la connectivité. Elle propose aussi une méthode qui agrège les segments en voies d'une manière

automatique. Aussi, de nombreuses études récentes sur les réseaux viaires et les approches complexes de la ville utilisent les natural streets (de Rijke et al., 2020; Jiang, 2015b; Jiang & Ren, 2019; Jiang & Slocum, 2020; Ma et al., 2020; Nilsson & Gil, 2019). C'est donc cette approche que nous choisirons pour modéliser notre réseau viaire.

1.2 Les propriétés désirables du réseau viaire : critères d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique

La cohérence urbaine suppose dans sa formulation même une approche normative, qui vise à définir quelles sont les propriétés souhaitables ou désirables d'une ville. La ville est représentée et modélisée à travers un élément primordial de sa morphologie : son réseau viaire. Le problème revient donc à définir des propriétés désirables du réseau viaire. Dans le chapitre précédent, les propriétés émergentes des réseaux viaires en tant que système complexe ont été énoncées. On part du principe qu'un réseau viaire doit s'approcher de ces principes pour être reconnu cohérent et complexe, et donc par extension la ville modélisée à travers ce dernier est aussi reconnue complexe et cohérente. Une telle logique est induite par la seconde conjecture selon laquelle la cohérence urbaine est une notion normative.

1.2.1 Un réseau viaire fractal :

Un système complexe se caractérise bien souvent par une distribution suivant une loi de puissance inverse. Une telle distribution est caractéristique d'un processus d'auto-organisation et d'une croissance dite *bottom-up*¹⁰⁴. En termes de réseau, on parle de réseaux « sans échelles » ou « libres d'échelle » qui se caractérisent par des mécanismes d'attachement préférentiel, les nouveaux éléments générés s'attachant prioritairement aux éléments déjà bien connectés (Barabási & Albert, 1999). Cette distribution est considérée comme étant supérieure ou plus performante en raison d'une meilleure capacité à diffuser les flux. C'est la distribution qui maximise le champ de l'information car à l'inverse d'une distribution gaussienne par exemple qui ne permet qu'aux échelles autour de la valeur moyenne d'avoir un poids, la distribution de Pareto donne un poids relativement équilibré, en compensant l'importance des éléments par leur nombre. Selon la théorie de l'information développée par (Shannon, 1948), la distribution

¹⁰⁴ Une croissance dite « bottom-up » n'est pas dirigée par une force planificatrice, mais au contraire par l'interaction de forces à petite échelle. Le résultat est une forme d'organisation « organique » et complexe, qui se déploie souvent sur un temps très long. A contrario, une croissance dite « Top-Bottom » est un processus planifié et dirigé par une force. Elle aura moins tendance à suivre une distribution suivant une loi de puissance inverse.

de l'entropie est équilibrée lorsque chaque échelle apporte une contribution équivalente à l'entropie¹⁰⁵ totale. C'est précisément cette condition qui maximise l'information totale du tout. C'est pour cela que cette distribution est considérée comme la plus efficace pour la distribution des flux dans un système. Aussi, on observe cette distribution dans de nombreux organismes vivants, tels que le système vasculaire d'un être humain, ou encore le système de circulation de la sève dans les végétaux.

La distribution de Pareto permet aussi une meilleure résilience aux perturbations en raison de la présence en plus grand nombre d'éléments de moindre importance, ce qui limite les dysfonctionnements éventuels à l'échelle locale.

Afin de mieux appuyer le caractère idéal d'une distribution en puissance inverse pour un réseau viaire, une comparaison entre une ville respectant cette condition et une ville ne la respectant pas est particulièrement judicieuse. Dans l'histoire des villes, les formes urbaines sont diverses et variées, mais en général, on observe toujours une certaine régularité dans les échelles et les morphologies. Au XXe siècle, l'Urbanisme Fonctionnaliste des CIAM marque une véritable rupture. La ville est résumée à quatre fonctions : Habiter, Circuler, Travailler, Se recréer. L'auto proclamé « nouvel ordre urbain » est basé sur l'autonomie des bâtiments et de la voirie. La grande échelle des infrastructures et les barres d'immeubles extensibles à l'infini sont exaltées. La ville se transforme et le gradient d'échelle disparaît, comme si les mailles du tissu urbain étaient soudain distendues à une dimension bien trop grande pour l'humain. Le tableau 8 compare la ville de Paris, considérée comme idéalement fractale à la ville fonctionnaliste des CIAM (Salat, 2011).

(Salat, 2011) propose ensuite de comparer les réseaux viaires des deux villes. La méthode qu'il utilise se base sur le linéaire total du réseau viaire en classant les rues suivant leur largeur. Ainsi, on peut avoir une estimation des échelles en présence dans le réseau viaire. Il ajoute aussi aux deux réseaux viaires des villes comparées une troisième proposition correspondant à une distribution optimale de Pareto.

¹⁰⁵ Le terme d'entropie, initialement dérivé de la thermodynamique, est à comprendre dans le sens de richesse ou quantité d'information.

	La ville fractale (Paris Haussmannien)	La ville moderne (Le Corbusier)
Hiérarchie des échelles	Présence d'une multitude d'échelles intermédiaires entre la grande échelle et la petite échelle	Pas de gradient d'échelle. Seulement deux échelles : Celle des grandes infrastructures et celle de la cellule d'habitation
Rapport entre le plein et le vide	Equilibre et complémentarité entre les pleins (îlot fermé) et les vides (espaces publics multifonctionnels). Espace rassurant et à échelle humaine	Vide indifférencié et illimité sur lequel se posent les bâtiments comme des objets isolés et autonomes. Espace écrasant et désorientant.
Forme urbaine	Géométrie irrégulière et continue, présence de tracés structurants, composition de la ville à plusieurs échelles.	Géométrie régulière et orthogonale. Répétition sérielle d'objets architecturaux simples.
Organisation du tissu urbain	Tissu urbain basé sur la rue comme élément d'organisation de la trame viaire et l'îlot comme support au bâti	Disparition de la rue, remplacée par l'immensité indifférenciée des espaces verts. L'îlot disparaît au profit d'une verticalisation des fonctions dans les immeubles.

Tableau 8 : Tableau comparatif entre la ville fractale et la ville moderne. Source : Auteur

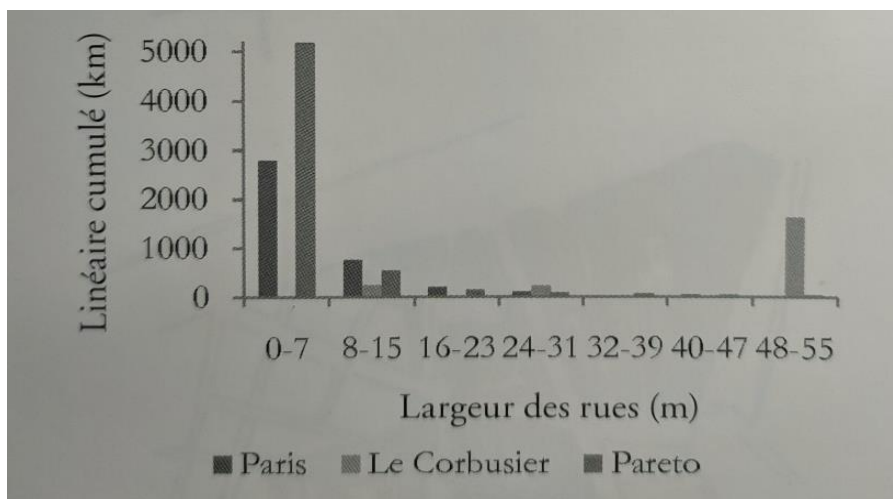


Figure 32 : Comparaison de la distribution du réseau viaire en linéaire cumulé. Source : Laboratoire des Morphologies Urbaines.

La figure 32 montre que la ville de Paris s'approche de la distribution de Pareto, alors que la ville fonctionnaliste en est très loin. Au niveau de la répartition des échelles des voies, la ville de Paris présente beaucoup de petites rues étroites et bien moins de grands boulevards en termes de linéaire total. Le constat de la ville moderne est totalement inverse, où seules trois échelles de rue sont présentes (10m, 30 m et 50m de large). Pour chaque cas, un indicateur d'écart, mesurant l'espacement entre la distribution viaire effective mesurée et une distribution viaire idéale selon la loi de Pareto (plus l'indicateur est proche de zéro, plus les distributions sont proches) est calculé. Après calcul, l'indicateur d'écart pour la trame viaire parisienne est de 0.17, alors que celui de la ville moderne est de 509. Le constat de la ville moderne est totalement inverse, où seules trois échelles de rue sont présentes (10m, 30 m et 50m de large). L'indicateur d'écart extrêmement élevé confirme l'opposition radicale entre la ville moderne et la ville fractale. La distribution du tissu urbain parisien approche de l'idéal théorique, tandis que celle proposée par Le Corbusier est sélective, hachée et inversée, ne permettant pas une expérience cohérente et complexe pour le piéton.

Cette comparaison montre bien que la ville moderne, de par la non fractalité du tissu qu'elle engendre, échoue à créer de la cohérence, qui n'est atteinte que lorsque les mailles du tissu urbain et viaire respectent un ordre fractal. La principale preuve avancée ici de la supériorité de la distribution en puissance inverse est l'échec de l'urbanisme fonctionnaliste moderne qui est reconnu d'une manière univoque dans toute la littérature¹⁰⁶.

La distribution fractale, c'est-à-dire suivant une loi de puissance inverse, est retenue comme l'une des propriétés désirables du réseau viaire et servira donc de référence pour l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique.

1.2.2 Un réseau viaire artériel :

La propriété d'artérialité est une caractéristique assez originale et peu répandue dans la littérature. Ce seul constat éveille la curiosité sur cette notion. L'artérialité fait référence à la tendance des voies dans un réseau viaire à se connecter au moins à une voie de hiérarchie équivalente ou supérieure. Les voies de hiérarchie inférieure s'orientent donc naturellement vers les niveaux de hiérarchie supérieure. Cela crée alors un réseau de voies principales de

¹⁰⁶ Cette comparaison peut apparaître quelque peu orientée, en raison de la non existence effective de la ville dite « fonctionnaliste ». En effet, (Salat, 2011) compare une ville réelle et existante qui est Paris, à un prétendu modèle de ville qui n'a jamais vraiment vu le jour. Nous tolérons cependant cette largesse puisque notre but est de comparer une ville « fractale » à une ville « non fractale », peu importe son existence effective.

hiérarchie supérieure qui est continu. Ce réseau, dit « primaire » est extrêmement important au sein d'une ville car il constitue son squelette. Il structure la ville à grande échelle et accueille la majorité des flux la traversant. La présence de ce réseau primaire facilite aussi l'orientation des individus en diminuant les chemins possibles à mémoriser. L'étude de ce réseau primaire est précieuse et informe sur la structuration profonde d'une ville, notamment sur la manière dont sont articulés ses différents fragments. Le réseau primaire est aussi unificateur dans le sens où la totalité des voies se retrouvent à peine à quelques degrés de hiérarchie.

La propriété d'artérialité nous semble être particulièrement importante. D'une part, c'est clairement l'une des propriétés désirables d'un réseau viaire complexe pour les raisons que nous avons explicitées plus haut. Un réseau routier artériel est plus lisible, mieux structuré et facilite l'orientation en son sein, tout autant qu'il autorise une diffusion optimale des flux. En revanche, dans un réseau viaire non artériel, la discontinuité des voies les plus importantes provoquerait un effet d'entonnoir très perturbant pour la circulation des flux. Par conséquent, l'artérialité fait figure d'un indicateur fort et très intéressant pour l'évaluation de la cohérence urbaine.

D'une autre part, l'artérialité est assez peu développée dans la littérature. Il n'existe pas à notre connaissance d'indicateurs permettant de la mesurer à l'échelle d'un réseau viaire. Nous pouvons donc apporter une contribution à ce niveau-là.

1.2.3 Un réseau viaire connectif à toutes les échelles :

Un réseau viaire connecté d'une manière optimale doit l'être à toutes les échelles, d'une manière complexe et autorisant des connexions inter-scalaires suffisamment nombreuses. Il existe différentes manières suivant lesquelles les voies au sein d'un réseau peuvent se connecter. Nous avons abordé les schémas-types de connexion dans une des parties précédentes. Le réseau conjoint a été identifié comme étant le plus optimal à la diffusion des flux. Il offre une excellente lisibilité grâce à son artérialité et une structure bien ordonnée tout en restant adaptable. Les niveaux supérieurs s'imbriquent harmonieusement, facilitant ainsi les connexions entre toutes les échelles. Cela multiplie les opportunités d'interaction. Ce réseau encourage l'usage des transports en commun et des déplacements doux en assurant des liaisons fluides à toutes les échelles, soutenues par cette même artérialité.

Le réseau viaire doit donc, en premier lieu, être suffisamment connectif sans pour autant être rigide. Par exemple, un réseau suivant une structure arborescente trop rigide échouerait à être suffisamment connectif en raison du manque de chemins alternatifs dans le réseau conditionnée par la contrainte d'accès. En second lieu, il doit conserver cette connectivité à travers

l'ensemble des différentes échelles et hiérarchies qui le structurent. Le réseau primaire formé par les voies les plus importantes doit donc présenter des schémas de connexion similaires, si ce n'est supérieurement connectés à l'ensemble du réseau.

1.3 La nécessité d'une approche comparative : cinq villes algériennes de taille moyenne à l'étude



Figure 33 : Carte de situation des cinq villes algériennes utilisées. Source : Auteur

Un cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine a été construit et présenté tout au long de ce chapitre. La cohérence urbaine morphologique est définie comme une notion normative, se basant sur le réseau viaire d'une ville comme support d'étude, et s'appuyant sur un ensemble de critères identifiés comme souhaitables et désirables. Cette approche normative suppose aussi une approche comparative. Le cas d'étude principal est l'agglomération de Tlemcen. Une évaluation de la cohérence morphologique de la ville de Tlemcen seule serait intéressante à bien des égards et permettrait d'appliquer le cadre d'analyse développé dans ce chapitre. Cependant, cette limitation à un cas d'étude unique empêche de situer Tlemcen dans un contexte plus global. Il n'y a aucun moyen de dire que Tlemcen est une ville plutôt cohérente ou plutôt non cohérente, puisqu'il n'existe aucune autre ville similaire à laquelle on pourrait la

comparer. L'approche comparative permet aussi d'estimer le niveau de pertinence des indicateurs choisis pour l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique. En effet, si les indicateurs semblent se recouper et sont consistants pour une même ville, cela peut être le signe qu'ils rendent compte d'un phénomène unique, bien présent et ayant un ancrage empirique.

Nous optons donc pour une approche comparative et nous étendons les cas d'études à cinq villes algériennes de taille moyenne (Figure 33). Au vu de la nature exploratoire de l'exercice que nous nous apprêtons à réaliser, ce nombre est jugé suffisant. Le choix de villes de taille moyenne s'explique avant tout par la nécessité de choisir des villes d'une taille comparable à Tlemcen. Aussi, les villes de taille moyenne sont plus maîtrisables de par leur taille, offrent une lecture plus aisée quant à leur morphologie et sont aussi plus facilement délimitables. En outre, ces villes demeurent bien souvent oubliées par les recherches, qui se focalisent surtout sur les villes plus importantes. Ces cinq villes, bien que similaires de par leur taille se distinguent par une morphologie, une histoire et des conditions géographiques différentes (Tableau 9).

Ville	Situation	Géographie	Fondation
Tlemcen	Ouest de l'Algérie 50 km du littoral	Piémonts des hauts plateaux Relief assez prononcé	Antiquité
Sidi Bel Abbes	Ouest de l'Algérie 60 km du littoral	Plaines Relief très modéré	19e siècle
Setif	Est de l'Algérie 50 km du littoral	Hauts-plateaux Relief modéré	Antiquité
Béjaia	Est de l'Algérie Littoral	Flanc de montagne Relief prononcé	Antiquité
Batna	Est de l'Algérie 150 km du littoral	Hauts-plateaux, entre des montagnes Relief modéré	19e siècle

Tableau 9 : Villes choisies et leurs caractéristiques générales.

2 Présentation du corpus de données et processus méthodologique de l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique :

Maintenant qu'un cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique a été clairement défini suivant des critères bien précis et mesurables, nous présentons dans cette section le corpus de données sur lesquelles nous travaillerons, ainsi que le processus méthodologique mis au point pour parvenir à mesurer les indicateurs de la cohérence urbaine morphologiques citées précédemment.

2.1 Création d'un modèle de réseau viaire basé sur les « natural streets »

Le réseau viaire étant ici le support principal de l'étude menée, il est important d'utiliser des sources de données fiables, qui conduiront à un modèle de réseau suffisamment précis.

2.1.1 Données brutes depuis Open Street Map : un choix fiable et open-source

OpenStreetMap (OSM) est un projet collaboratif de cartographie en ligne qui vise à créer une carte mondiale libre et accessible à tous. Contrairement à de nombreuses cartes propriétaires, OpenStreetMap permet à n'importe qui de visualiser, modifier et utiliser les données cartographiques de manière gratuite et ouverte. Il est donc possible d'extraire les données des réseaux viaires de n'importe quelle ville dans le monde à partir de cette plateforme collaborative.

2.1.2 Extraction et préparation des données cartographiques depuis Open Street Map

- *Extraction des données brutes*

Les données brutes sont extraites depuis le site Geofabrik (www.geofabrik.de), dans un format .shp contenant les voies sous forme de lignes. Les réseaux viaires de chaque ville sont découpés en fonction de la zone agglomérée et des limites administratives. Comme précisé lors du chapitre suivant, le modèle de réseau viaire choisi est celui des natural streets (Jiang et al., 2008). Pour arriver à construire un tel modèle, il est nécessaire de mettre en forme les données sous la forme d'un graphe primal et basé sur la ligne centrale de chaque voie (Porta et al., 2006b). Les données brutes extraites depuis Open Street Map (OSM) respectent déjà ces conditions. Ces données sont ensuite ouvertes dans QGIS, un logiciel SIG¹⁰⁷ permettant l'exploitation de données spatiales géolocalisées.

- *Reprojection des données cartographiques*

Les logiciels SIG fonctionnent suivant un système de coordonnées géographiques de projection. Suivant la position des données cartographiques sur le globe terrestre, un système de coordonnées sera choisi afin d'obtenir une carte avec le moins de déformations possibles dues

¹⁰⁷ QGIS (Quantum GIS) est un logiciel de système d'information géographique (SIG) open source et gratuit qui permet aux utilisateurs de créer, visualiser, éditer, analyser et publier des données cartographiques.

à la projection. Dans notre cas, nous utilisons le système de coordonnées WGS84 Mercator 30,31N.

- Nettoyage des données cartographiques



Figure 34 : Réseaux viaires après découpage et nettoyage des villes. Extraction depuis Open Street Map.
Source : Auteur

L'étape suivante consiste à nettoyer le fichier .shp contenant les voies de chacune des villes. En effet, les données brutes contiennent beaucoup d'artefacts comme des lignes non reliées aux autres lignes ou encore des voies à double sens ayant des lignes dédoublées. Le travail de cette étape consiste donc à éliminer toutes les lignes non reliées et à représenter toutes les voies par une ligne unique (Figure 34). Ce nettoyage est nécessaire, car l'algorithme des *natural streets* ne fonctionne pas s'il existe des éléments isolés. Pour ce faire, nous utilisons le plugin « *Disconnected island* » sur QGIS qui détecte automatiquement les lignes non rattachées.

2.1.3 Agrégation et génération des natural streets avec Axwoman

Nous utilisons ensuite le plugin Axwoman (Figure 35) qui fonctionne sur ArcMap¹⁰⁸, un autre logiciel de SIG. Axwoman a été développé par (Jiang, 2015a) afin d'effectuer des analyses

¹⁰⁸ ArcMap est une application de cartographie et de système d'information géographique (SIG) développée par Esri, l'une des principales entreprises de SIG au monde. ArcMap fait partie de la suite de logiciels ArcGIS

morphologiques sur les réseaux viaires des villes, notamment pour la génération des natural streets.



Figure 35 : Barre d'outils du plugin Axwومان sur ArcMap.

1 Préparation et nettoyage du graphe avant agrégation des segments



Figure 36 : La séparation des segments à chaque intersection. A gauche, une ligne représentant une voie, données brutes depuis OSM. A droite, ligne découpée en segments à chaque intersection. Source : Auteur

Le fichier .shp obtenu après nettoyage sur QGIS est importé sur ArcMap. Une première vérification à partir de *Axwومان* est faite pour s'assurer que toutes les lignes sont bien interconnectées et qu'il ne subsiste pas d'éléments isolés sur le graphe. Une deuxième étape, toujours effectuée à partir de *Axwومان*, sépare les lignes issues des données brutes OSM en segments linéaires distincts (Figure 36). A chaque intersection, un segment est créé. On se retrouve alors en présence d'un authentique graphe primal. Cette étape de désagrégation des lignes est nécessaire afin de pouvoir agréger à nouveau les segments.

- *Agrégation des segments et génération des natural streets*

L'algorithme des natural streets est appliqué sur le graphe primal des segments. Pour rappel, les natural streets obéissent à un principe de « self best-fit » (ou meilleur auto-ajustement restreint). Au lieu de considérer l'ensemble des segments à une jonction, chaque segment ne considère que lui-même pour trouver le meilleur ajustement et ne se soucie pas des autres dans le processus. Ce principe d'agrégation conduit à un modèle de réseau viaire montrant une bonne

adéquation avec les flux de circulation réels (Jiang et al., 2008). Le plugin *Axwoman 6.3* permet de générer les *natural streets* d'une manière automatique, à partir d'un angle de déflexion maximal fixé à 45 degrés. La commande « *Tracking strokes at junction by a limited angle* » génère les *natural streets*. Après un temps de calcul plus ou moins long, un nouveau fichier .shp, contenant les *natural streets* est créé.

- Extraction des données de connectivité

Les *natural streets* générées sont des entités géométriques linéaires agrégées au format .shp. Chaque entité contient en plus de l'entité géométrique un certain nombre de propriétés accessible depuis le panneau de table attributaire. Dans notre cas, la colonne de la connectivité nous intéresse particulièrement. Elle indique le nombre de voies connectées à la voie en question. C'est à partir de ces données de connectivité que seront menées les analyses sur la distribution en puissance inverse et la génération de classes hiérarchiques du réseau viaire. A partir d'un algorithme de calcul des distances, une nouvelle colonne « *Length* » est générée. Elle indique la longueur de la voie en question. Le tableau attributaire est exporté vers un fichier MS Excel (Figure 37), dans lequel toutes les colonnes sont supprimées à l'exception de celle de la connectivité et de la longueur.

FID	Shape	Id	Connect	Control	MeanD	GInteg	LInteg	TotalDep	LocalDe	Length
45	Polyline	0	156	47,534356	3,26987	3,98432	8,805044	10323	1378	15120
183	Polyline	0	85	19,396557	3,92809	3,08867	7,71632	12401	767	5098
315	Polyline	0	75	24,994008	3,49033	3,63160	7,593638	11019	1075	15173
989	Polyline	0	74	16,326451	3,57934	3,50628	7,57669	11300	1072	3978
256	Polyline	0	66	21,877167	4,17643	2,84719	7,268643	13185	630	14865
267	Polyline	0	66	15,360125	4,31200	2,73065	7,412976	13613	408	4963
196	Polyline	0	64	18,325195	3,97624	3,03870	7,249966	12553	744	8519
565	Polyline	0	58	11,99098	4,00253	3,01209	7,121967	12636	746	3071
142	Polyline	0	57	22,367405	5,14222	2,18335	8,516459	16234	177	1748
131	Polyline	0	52	16,788101	5,6465	1,94639	7,284054	17826	236	1295

Figure 37 : Table attributaire générée en même temps que les *natural streets*. Source : Extrait depuis Arcmap

2.2 Correspondance avec une loi de distribution en puissance inverse

Les données de connectivité extraites pour chacune des voies sont soumises à une première analyse statistique qui consiste à vérifier si le set de données suit une distribution en puissance inverse. Pour rappel, nous avons défini dans le chapitre précédent la distribution selon une loi de puissance inverse comme étant l'une des caractéristiques désirables d'un réseau viaire et comme un des indicateurs de la cohérence urbaine morphologique.

2.2.1 Estimation de la correspondance à une loi de distribution inverse

Il existe différentes manières d'estimer si un ensemble de données est distribué suivant une loi de puissance inverse. L'une des manières les plus simples et directes est de représenter les données dans un graphique logarithmique¹⁰⁹. Si les données suivent une loi de puissance, alors un graphique log-log des données montrera une ligne droite descendante. Cette visualisation initiale donne une indication, mais n'est pas une preuve suffisante. Il existe dans la littérature plusieurs méthodes permettant d'estimer la correspondance avec une loi de puissance. L'article de (Clauset et al., 2009) est relativement consensuel et fournit des détails sur la manière d'estimer les paramètres d'une distribution en puissance à partir de données empiriques. De plus, la méthode qu'ils proposent est utilisée dans de nombreux travaux afin d'estimer la distribution en loi de puissance des réseaux viaires (Jiang et al., 2014; Ma et al., 2020; Mohajeri & Gudmundsson, 2014; Nilsson & Gil, 2019). C'est donc la méthode que nous utiliserons. Pour ce faire, les valeurs de connectivité des voies de chaque réseau viaire sont utilisées comme données d'entrée. Il est aussi à préciser qu'une telle méthode ne peut être appliquée que sur un set de données suffisamment grand, ce qui est le cas pour le nombre de voies au sein du réseau viaire d'une agglomération de taille moyenne.

2.2.2 Application de la méthode de vraisemblance maximale à une loi de puissance inverse

La méthode de la vraisemblance maximale proposée par (Clauset et al., 2009) consiste à estimer l'exposant de la loi de puissance. Pour rappel, l'équation fondamentale de la distribution en puissance est $p(x) = \alpha x^{-\alpha}$ où α (*alpha*) est l'exposant de la puissance. Afin de mener cette opération, le logiciel Matlab¹¹⁰ est utilisé. Un script fourni par (Clauset et al., 2009), du nom de *Power-law Distributions in Empirical Data*¹¹¹. Une distribution en loi de puissance inverse théorique¹¹² est alors calculée de manière à correspondre au mieux à la distribution réelle, à partir des valeurs de *alpha* et de *x-min*. Ces valeurs représentent respectivement le facteur d'échelle (*alpha*) et la première valeur minimale de connectivité (*x-min*) à partir de laquelle la distribution théorique est calculée. *Alpha*, ou facteur d'échelle peut être interprété comme

¹⁰⁹ Les abscisses ainsi que les ordonnées sont représentées selon une échelle logarithmique. Dans le cas d'un réseau viaire, nous avons en abscisses (Axe X) la connectivité de la voie et en ordonnées $\Pr(X \geq x)$ la probabilité d'apparition d'une voie suivant sa fréquence d'apparition dans le set de données.

¹¹⁰ MATLAB est un environnement de programmation et un langage de haut niveau conçu principalement pour le calcul numérique, la visualisation et la programmation technique. Il est développé par MathWorks et est utilisé dans divers domaines tels que l'ingénierie, la finance, la recherche, etc.

¹¹¹ Le script est disponible à l'adresse suivante : <https://aaronclauset.github.io/powerlaws/>

¹¹² A noter que c'est la La CCDF (Complementary Cumulative Distribution Function) ou Complémentaire de la fonction de répartition cumulée qui est tracée. La CCDF donne la probabilité que la variable aléatoire prenne une valeur supérieure à x . Dans le cas du réseau viaire, elle nous donne la probabilité que la connectivité prenne une valeur supérieure ou égale à une valeur de connectivité donnée en abscisses.

l'écart moyen existant entre les classes hiérarchiques. Ainsi une valeur élevée indique que les voies peu connectées (voies secondaires) sont en bien plus grand nombre que les voies très connectées (voies principales), et inversement pour une valeur moins élevée. Une fonction de distribution, correspondant à la distribution théorique est alors tracée, de manière à se superposer au mieux à la distribution réelle constatée, sur un graphe logarithmique (Figure 38).

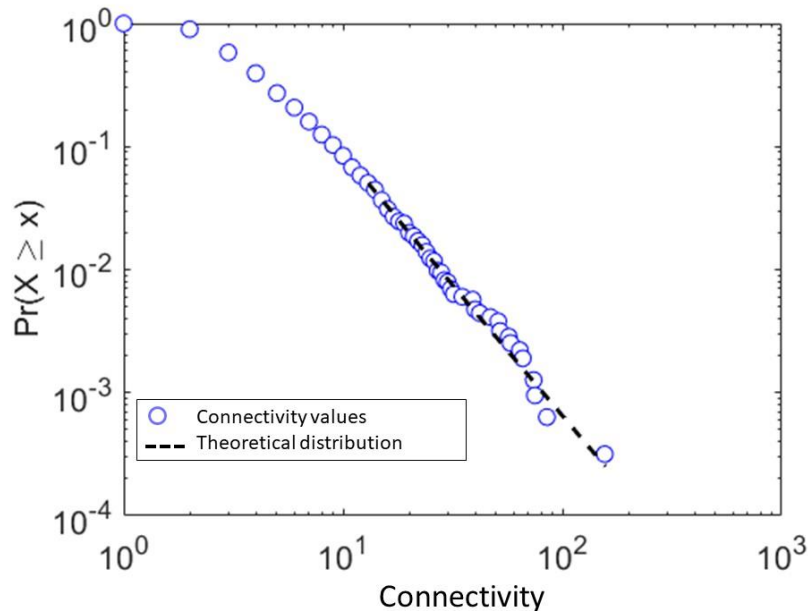


Figure 38 : Complémentaire de la fonction de répartition cumulée tracée sur un graphe logarithmique. En bleu, *la distribution réelle*, en pointillés noirs, *la distribution théorique*.

2.2.3 Vérification de la correspondance à une loi de puissance inverse

Dans un second temps, la correspondance entre la distribution réelle et la distribution théorique obtenue à l'étape précédente est vérifiée, à l'aide d'un test de Kolmogorov–Smirnov (K-S) suivi d'une régression linéaire à l'issue de laquelle une valeur *p-value* est obtenue, indiquant le niveau de correspondance (Clauset et al., 2009). Le test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) est un test non paramétrique qui permet de comparer une distribution de probabilité à une distribution théorique, ou de comparer deux distributions de probabilité empiriques entre elles. Il est largement utilisé pour vérifier l'adéquation à une distribution particulière (par exemple, normale, exponentielle, etc.). Il a l'avantage d'être non paramétrique, c'est-à-dire qu'il ne nécessite aucune hypothèse sur la forme de la distribution. Si la valeur *p-value* est supérieure à 0.1, alors les données entrées suivent probablement une loi de puissance inverse.

2.3 Classification hiérarchique des voies

Un set de données dont les éléments suivent globalement une distribution en puissance inverse implique une certaine hiérarchisation. Comme vu dans le chapitre précédent, les réseaux viaires se distinguent particulièrement par une hiérarchisation des voies. On retrouve ainsi quelques voies très importantes, des voies importantes en plus grand nombre, et des voies de moindre importance encore en plus grand nombre. Se pose alors la question de la détermination de cette hiérarchie au sein du réseau viaire. En d'autres termes, il s'agit de déterminer une classification hiérarchique. Cette classification hiérarchique est primordiale à amener, puisqu'elle fondera ensuite la ségrégation entre réseaux primaires et secondaires, ainsi que la détermination de l'artérialité. Il existe des méthodes de détermination arbitraire de ces classes hiérarchiques, en déterminant des paramètres d'importance des voies, comme la longueur ou encore le flux. Ensuite, des segmentations peuvent être définies de manière à délimiter des classes. Il est aussi possible de se baser sur les classifications nationales des routes, par rapport à leur fonction. Par exemple, une route périphérique sera classifiée différemment d'une autoroute, en raison de son flux mais aussi en raison de sa fonction. Dans notre cas, nous allons utiliser une méthode de classification pensée spécialement pour les données distribuées suivant une loi de puissance inverse.

2.3.1 Présentation de la méthode des *head-tail breaks*

La méthode des "Head/Tail Breaks" a été proposée par Jiang (2013) comme une approche pour traiter des données distribuées selon une loi à queue lourde (heavy-tailed distributions). Dans son article, il compare cette nouvelle méthode à la méthode de Jenks (aussi dite méthode « *natural breaks* ») et prouve son efficacité à travers une série d'exemples, comme le réseau routier national suédois.

Les données distribuées selon une loi de puissance inverse peuvent être imaginées comme appartenant à deux ensembles : un premier ensemble *head*, contenant les valeurs de tête les plus grandes ; un second ensemble *tail*, de valeurs de queue beaucoup plus nombreuses et avec des valeurs bien plus petites (Figure 39).

La méthode des *head tail breaks* consiste alors, pour une distribution en loi de puissance inverse, à séparer les données en ces deux ensembles, quelques valeurs de tête (*head*), ainsi qu'en de très nombreuses valeurs de queue (*tail*)¹¹³. Ces deux ensembles sont séparés par leur

¹¹³ Puisqu'il s'agit de données distribuées suivant une loi de puissance inverse, il est caractéristique d'observer peu de grandes valeurs et beaucoup plus de petites valeurs, conformément à une distribution de Pareto.

valeur moyenne. Les valeurs supérieures à la moyenne forment une première classe hiérarchique. Les valeurs inférieures à la moyenne sont partitionnées à nouveau de manière itérative jusqu'à ce que les valeurs de tête, au bout de n itérations, ne soient plus distribuées suivant une loi de puissance. Un seuil de 40/60 (40% des valeurs en tête et 60% en queue, soit une distribution presque équirépartie) est défini, à partir duquel le partitionnement des données s'arrête. Ainsi, le nombre de classes et les intervalles de classe sont tous deux naturellement déterminés par les données.



Figure 39: La méthode des head-tail breaks. Source : auteur

2.3.2 Détermination du nombre de classes et ht-index

A l'issue de l'application du partitionnement¹¹⁴, un certain nombre de valeurs moyennes m sera obtenu. L'intervalle entre ces valeurs représente alors les bornes des classes hiérarchiques des voies, selon leur connectivité. A partir du nombre de valeurs moyennes m issues du partitionnement, est extrait l'indice ht ¹¹⁵, qui donne le nombre de classes hiérarchiques distinctes existantes au sein des données entrées. Cet indice est un indicateur simple à saisir et

¹¹⁴ La méthode des head-tail breaks est menée à bien à partir d'un fichier MS Excel fourni avec Axwoman.

¹¹⁵ L'indice ht est le nombre d'itérations pour lesquelles le set de données est toujours distribué selon une loi de puissance inverse + 1.

peut servir à comparer facilement des distributions entre elles. En outre, l'indice ht un indicateur du niveau de structuration hiérarchique et aussi indirectement un indicateur de complexité. Un système plus complexe aura tendance à présenter un ht index plus élevé.

$$Ht = m + 1 \quad (1)$$

2.4 Connectivité et taille du réseau primaire

Dans le chapitre précédent, l'importance de la connectivité à toutes les échelles a été mise en évidence comme une des propriétés désirables de la forme urbaine. D'un point de vue méthodologique, il est possible de vérifier cette propriété en comparant la connectivité du réseau primaire formé par les voies artérielles les plus importantes à la connectivité de l'ensemble du réseau.

2.4.1 Partitionnement des réseaux primaires et secondaires

A partir des classes hiérarchiques obtenues précédemment grâce à la méthode des *head tail breaks*, le réseau viaire est divisé en deux sous réseaux : *un réseau primaire*, contenant les voies appartenant aux classes hiérarchiques supérieures avec une forte valeur de connectivité, considérées comme les voies artérielles les plus importantes du réseau, ainsi qu'*un réseau secondaire* contenant les voies avec une valeur de connectivité plus faible. Ainsi, les trois dernières classes hiérarchiques, correspondant aux voies de connectivité plus faibles, sont toujours identifiées comme constituant le réseau secondaire. Les classes hiérarchiques supérieures restantes constituent quant à elles le réseau primaire (Figure 40). Un tel seuil permet de garder un ratio autour de 20%, entre la longueur des voies du réseau primaire et la longueur des voies de l'ensemble du réseau. Jiang (2009) utilise aussi ce seuil de 20% dans sa classification. Il retrouve alors que 20% des voies les plus longues concentrent autour de 80% du trafic. L'intérêt de cette étape est de comparer les réseaux primaires des différentes villes entre elles et d'estimer la connectivité des voies les plus importantes, mais aussi de comparer la connectivité du réseau primaire avec la connectivité du réseau viaire dans son ensemble.



Figure 40 : Réseau viaire de la ville de Tlemcen. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.

2.4.2 Calcul des indicateurs de connectivité et des ratios

Une fois le réseau primaire ainsi identifié, la connectivité moyenne du réseau primaire, ou *Connectivité RP*, est alors calculée à partir des valeurs de connectivité extraites de chaque voie du réseau primaire. Le linéaire total du réseau primaire est aussi noté. À partir de ces deux valeurs, sont calculés deux ratios. Le *ratio CP* est défini comme le rapport entre la connectivité moyenne du réseau primaire et la connectivité moyenne de l'ensemble du réseau. Dans l'idéal, ce ratio devrait être égal à 1 si une fractalité parfaite du réseau viaire était respectée, ce qui signifierait que le motif d'interconnexion des voies à l'échelle du réseau primaire est le même pour l'ensemble du réseau. Ainsi, le *ratio CP* permet d'estimer la connectivité sur plusieurs niveaux de hiérarchie. S'il est trop différent de 1, cela signifie qu'il existe un déséquilibre entre les échelles au sein du réseau viaire. Le *ratio LP* est quant à lui défini comme étant le rapport entre la somme des longueurs totale des voies du réseau primaire sur la longueur totale de

l'ensemble des voies du réseau. Ce paramètre permet de vérifier la pertinence du postulat de départ¹¹⁶ pour la séparation des deux réseaux. Il est aussi intéressant de comparer les deux *ratios CP et LP*, afin de voir comment la longueur du réseau primaire évolue par rapport à sa connectivité.

2.5 Artérialité du réseau viaire

Pour rappel, l'artérialité d'un réseau viaire est définie par la tendance qu'ont les voies à se connecter à d'autres voies de même niveau hiérarchique ou de niveau hiérarchique supérieur. A l'échelle d'un réseau viaire, cela se traduit par les voies de niveau supérieur qui auront tendance à former un réseau unifié et continu. Il n'existe pas de méthode connue dans la littérature qui permet d'estimer l'artérialité d'un réseau viaire. C'est pourquoi nous proposons dans cette partie une méthode originale.

2.5.1 Présentation de la méthode des superpositions séquentielles décroissantes :

L'artérialité est déterminée à travers une superposition décroissante des classes hiérarchiques des voies. Ainsi, à chaque étape de superposition, une catégorie de superposition $CatSup_i$ est définie. Le nombre de catégories de superposition est égal à l'indice ht . Par exemple, la première catégorie de superposition $CatSup_8$ (dans le cas d'un réseau constitué de huit niveaux hiérarchiques) contient toutes les voies appartenant à la classe hiérarchique la plus haute (avec les voies les mieux connectées du réseau), la seconde $CatSup_7$ contient, en plus des voies de $CatSup_8$ les voies de la classe hiérarchique inférieure consécutive, et ainsi de suite (Figure 41). La superposition entre les voies de chaque $CatSup_i$ est alors étudiée, à travers la détermination du nombre de sous graphes pour chaque superposition. Si toutes les voies sont en contact, cela signifie que chaque voie est au moins connectée à une autre voie de même niveau ou de niveau supérieur. Dans ce cas, le nombre de sous-graphes est équivalent à 1, puisque aucune voie n'est isolée. L'artérialité est alors garantie. Si en revanche une ou plusieurs voies apparaissent isolées du graphe principal formé par les autres voies, cela signifie que ces voies sont connectées à d'autres voies de niveau hiérarchique inférieur. Ces voies de hiérarchie inférieure ne sont pas encore visibles puisqu'elles se trouvent dans les catégories de superposition suivantes. Dans ce

¹¹⁶ A savoir un ratio de longueur de 20% entre la longueur du réseau primaire et la longueur du réseau secondaire.

cas de figure, l'artérialité n'est pas garantie pour les voies isolées et le nombre de sous-graphes est supérieur à 1. Cette opération est ensuite répétée, en faisant apparaître progressivement les classes hiérarchiques inférieures consécutives, une à une dans un ordre décroissant ; jusqu'à arriver à la dernière classe hiérarchique, étape à laquelle on retrouve l'ensemble du réseau viaire.

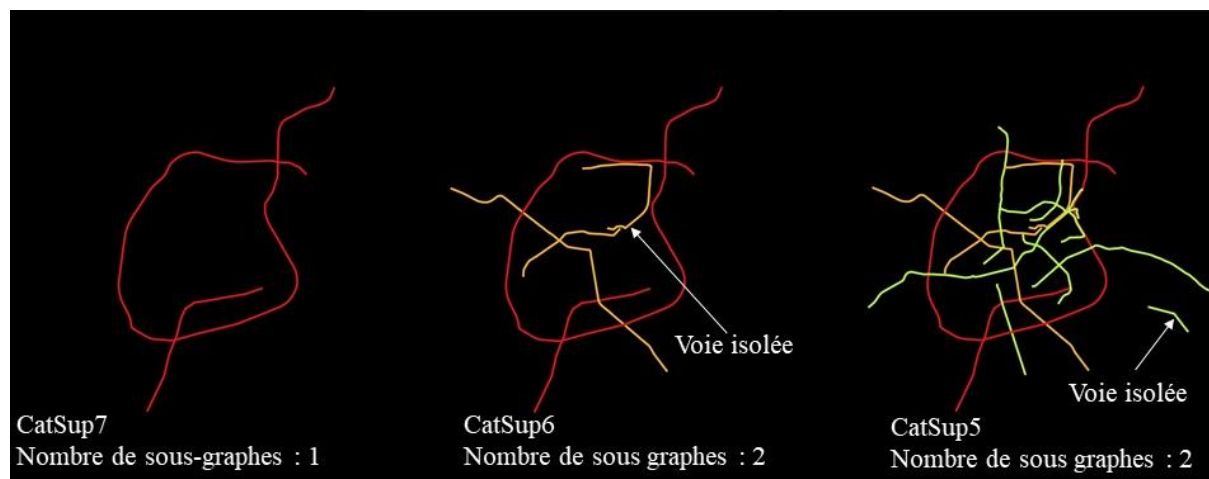


Figure 41 : Illustration de la méthode des superpositions séquentielles décroissantes. Superposition des $CatSup_i$ et comptage du nombre de sous-graphes.

2.5.2 Calcul des index d'artérialité :

Le nombre de sous graphes calculé à chaque étape de superposition décroissante est noté. La proportion de voies artérielles ϕ_i est aussi calculée pour chaque $CatSup_i$ (2). Il est calculé comme étant le rapport entre la longueur des voies non artérielles et la longueur totale des voies, soustrait de 1. L'indice ϕ_i obtenu est compris entre 0 et 1. Les valeurs plus proches de 1 indiquent une meilleure artérialité du réseau. Cet index se limite à la catégorie de superposition qu'il caractérise. Il permet de savoir l'artérialité du réseau à chaque niveau de hiérarchie.

$$\phi_i = 1 - \frac{\Sigma \text{longueur des voies non artérielles}_i}{\text{Longueur totale des voies}_i} \quad (2)$$

Cependant, ce premier index ne caractérise pas l'artérialité sur l'ensemble du réseau. Afin d'obtenir alors une vision synthétique de l'artérialité sur l'ensemble d'un réseau, nous proposons le calcul d'un indice d'artérialité global Φ_{Glob} (3). Pour un réseau viaire donné, il est défini comme la moyenne des ϕ_i , pondérés par un coefficient λ_i (4). Ce coefficient correspond au nombre de classes hiérarchiques superposées dans chaque $CatSup_i$ et décroît au fur et à mesure qu'elles s'ajoutent. Une telle pondération rend cet indice bien plus sensible aux valeurs

ϕ_i des catégories supérieures. Ainsi, l'artérialité des voies les plus importantes aura un plus grand impact sur la valeur finale de Φ_{Glob} .

$$\Phi_{Glob} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \phi_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} \quad (3)$$

$$\lambda_i = Ht - [\text{Nombre de classes hiérarchiques}_i - 1] \quad (4)$$

L'index global d'artérialité permet ainsi d'avoir une vision de l'artérialité sur l'ensemble du réseau viaire d'une ville. Il est lui aussi compris entre 0 et 1. Plus il est proche de 1, plus l'artérialité du réseau est forte, et inversement plus elle est proche de 0, moins le réseau est artériel. Cet index permet aussi une comparaison très directe de l'artérialité entre différents réseaux viaires.

Conclusion

Durant ce chapitre, nous avons abouti à un cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique, basé sur les trois conjectures posées lors du chapitre précédent. Elles sont considérées comme suffisamment solides pour servir de base à un protocole méthodologique d'évaluation. Dans cette continuité, la méthode utilisée pour évaluer la cohérence urbaine morphologique a été présentée au cours de cette première section. Elle s'articule essentiellement autour de quatre étapes : La préparation d'un modèle de réseau viaire adéquat, la vérification de la correspondance des voies du réseau avec une loi de puissance inverse, la classification hiérarchique des voies, l'analyse de la connectivité du réseau primaire et l'évaluation de l'artérialité du réseau viaire. L'ensemble des propriétés désirables du réseau viaire sont ainsi passées en revue grâce à cette démarche méthodologique (Annexe 4). Dans le chapitre suivant, les résultats issus de cette méthode seront présentés et discutés.

**Chapitre VIII : Résultats et discussions,
exploration de la coherence urbaine
morphologique des villes algériennes à
travers le prisme des sciences de la
complexité**

Introduction du chapitre huit

Dans ce dernier chapitre, seront présentés et discutés les résultats issus de l'application du processus méthodologique développé dans le chapitre précédent. Les résultats seront présentés sous forme de cartes colorisées et de tableaux, ils seront d'abord commentés dans un but purement présentatif. Par la suite, nous discuterons et commenterons les résultats obtenus en les recroisant avec d'autres références et en les remettant en contexte par rapport aux deux premières parties de la thèse. Les résultats sont particulièrement intéressants, car ils apportent un regard nouveau sur les villes algériennes. Dans un second temps, nous élargirons nos résultats à partir d'une étude similaire faisant état de cas de villes à l'international. Cet exercice nous permettra de remettre en perspective et de nuancer les conclusions obtenues sur les villes algériennes. Enfin, nous nous intéresserons plus particulièrement au cas d'étude initial de la ville de Tlemcen et nous examinerons dans quelle mesure elle répond ou non aux critères de la cohérence urbaine morphologique à l'échelle intraurbaine plus fine, mais aussi quels pourraient être les points à améliorer pour une meilleure cohérence urbaine.

1 Résultats

Les principaux résultats de l'étude menée selon la méthode explicitée dans la section précédente sont présentés ici. Les *natural roads* obtenues, classées par couleur suivant leur classe hiérarchique (Figures 5,6,7,8,9) (Voir Annexe 5). Les résultats obtenus sont exposés et sont ensuite décrits et expliqués. Les résultats de la correspondance de la connectivité des réseaux viaires avec une loi de puissance inverse sont présentés dans la première sous-section. Pour ce faire, des cartes colorisées du réseau viaire de chaque ville sont exposées, accompagnés des graphes de la fonction de répartition. Les résultats de l'analyse de la connectivité du réseau primaire sont ensuite exposés au niveau de la seconde sous-section. Enfin, les résultats de l'artérialité des réseaux viaires sont présentés dans une dernière sous-section.

1.1 Correspondance de la distribution des voies du réseau viaire avec une loi de puissance inverse

Indicateur	Tlemcen	Sidi Bel Abbas	Setif	Bejaia	Batna
Nombre de <i>natural roads</i>	2650	2315	2700	1507	3158
Alpha	3.05	2.97	3.02	2.74	3.1
P-value	0.196	0.512	0.640	0.062	0.274
Connectivité moyenne	3.711	4.089	3.869	2.973	4.516
X-min	7	8	7	3	13
Indice ht	6	7	6	6	8
Longueur du réseau (km)	723.2	586.1	779.7	379.2	947.2
Connectivité maximum	86	82	70	51	156

Tableau 10 : Statistiques descriptives issues de l'étude statistique de la distribution en puissance inverse des réseaux viaires.

Les résultats présentés dans cette sous-section sont exposés sous la forme de cartes colorisées du réseau viaire de chaque ville, accompagnés des graphes de la fonction de répartition (Annexe 5, Figures 6aa,7a,8a,9a,10a). Les valeurs numériques obtenues sont présentées sur le Tableau 10.

Après observation des résultats issus de la loi de puissance inverse, on peut globalement établir trois observations. Tout d'abord, en ce qui concerne les villes de Tlemcen, Sétif et Sidi Bel Abbès. Affichant déjà un nombre de voies similaire, elles se caractérisent par une bonne correspondance avec une loi de puissance inverse théorique, comme l'indiquent les graphes de fonction de répartition, ainsi que leurs valeurs *p-value* nettement supérieures à 0.10. Les trois villes partagent aussi une valeur *alpha* semblable, autour de 3, ainsi que des valeurs de *x-min* très proches.

Ensuite, pour ce qui est de Bejaia, elle semble être la seule des cinq villes dont la distribution des voies au sein du réseau ne correspond pas avec une distribution en puissance inverse, avec une valeur *p-value* inférieure à 0.10. Le réseau viaire de Bejaia affiche aussi la connectivité moyenne, ainsi que la valeur de *alpha* et de *x-min* la plus faible parmi les cinq villes.

Enfin, la ville de Batna affiche une valeur *p-value* supérieur à 0,10. Tout comme Tlemcen, Setif et Sidi Bel Abbès, les voies au sein de son réseau viaire semblent suivre une distribution en puissance inverse. Elle partage aussi avec ces villes une valeur de *alpha* similaire quoique légèrement supérieure. Batna se distingue en revanche de par la connectivité de son réseau, avec une valeur de 4.516, nettement supérieure aux autres villes. Elle se différencie aussi de par une valeur *x-min* très élevée, indiquant que toutes les voies avec une connectivité inférieure à 13 n'ont pas été prises en compte dans le calcul de la distribution théorique. Cette valeur très élevée pose la question de sa correspondance avec une loi de puissance inverse. Batna compte aussi dans son réseau viaire une voie avec une connectivité maximale de 156, ce qui est considérablement plus élevé par rapport aux autres villes.

L'*indice ht* est quant à lui compris entre 6 et 8 pour toutes les villes. A première vue, sa valeur semble être liée à la taille du réseau viaire, puisque les bornes de l'indice correspondent respectivement à Bejaia, la ville la plus petite et Batna, la plus grande. Cependant, les villes de Tlemcen et de Setif, les deux ayant un réseau viaire plus étendu que celui de Bejaia, présentent elles aussi une même valeur de *ht*, alors que Sidi Bel Abbès affiche une valeur supérieure avec un réseau viaire plus restreint.

1.2 Connectivité du réseau primaire

Indicateur	Tlemcen	Sidi Bel Abbes	Setif	Bejaia	Batna
Connectivité maximum	18	14	14	13	14
Connectivité RP	4.154	4.146	4.712	3.158	3.714
Linéaire réseau primaire LP (km)	156.2	110.8	179.4	75.1	169.2
Ratio LP	21.59	18.91	23.01	19.82	17.86
Ratio CP	1,119	1,014	1,218	1,062	0,822

Tableau 11 : Statistiques de connectivité du réseau primaire

Pour rappel, le réseau primaire est défini comme le réseau des voies principales pour chaque ville, obtenu en masquant les voies les moins connectées appartenant aux trois dernières classes hiérarchiques. Le *Ratio CP* informe sur le rapport entre la connectivité du réseau primaire (*connectivité RP*) et la connectivité moyenne de la totalité du réseau (Tableau 11). Les réseaux primaires sont représentés sur les figures en trait épais (Figures 42,43,44,45,46).

Les villes de Bejaia et de Sidi Bel Abbes affichent une valeur de *Ratio CP* très proche de 1 et conservent ainsi une connectivité RP presque équivalente à la connectivité moyenne sur l'ensemble du réseau. Elles partagent aussi un *Ratio LP* relativement similaire.

Les villes de Tlemcen et de Sétif affichent en revanche un *ratio CP* supérieur, voire nettement supérieur à 1. Elles partagent aussi les deux *ratios LP* les plus élevés. La ville de Tlemcen affiche une *connectivité RP* bien plus élevée que sa connectivité moyenne sur l'ensemble du réseau, très proche de celle de Sidi Bel Abbes. Sétif présente quant à elle la valeur de connectivité RP la plus élevée.

Batna affiche quant à elle le *ratio CP* le plus faible et le seul inférieur à un. Son réseau primaire est ainsi nettement moins connectif que l'ensemble de son réseau. Sa *connectivité RP* descend bien en dessous de celle de villes comme Tlemcen ou Sidi Bel Abbes, affichant pourtant une connectivité nettement inférieure sur l'ensemble de leur réseau. Le *ratio LP* de Batna est aussi le plus faible des 5 villes. En outre, il apparaît que la connectivité maximum semble obéir à un seuil similaire pour toutes les villes, sauf Tlemcen. La voie correspondant à une telle connectivité est systématiquement aussi la voie la mieux connectée à l'échelle de tout le réseau. Enfin, il est intéressant de noter qu'il semble exister une corrélation positive entre les *ratio CP* et *LP*. Les villes avec le *ratio CP* le plus important ont aussi le *ratio LP* le plus important.



Figure 42 : Réseau primaire de Tlemcen. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.



Figure 43 : Réseau primaire de Sidi Bel Abbas. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.



Figure 44 : Réseau primaire de Sétif. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.



Figure 45 : Réseau primaire de Béjaia. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.



Figure 46 : Réseau primaire de Batna. Le réseau primaire est représenté en trait épais. Le réseau secondaire est représenté en trait fin.

1.3 L'artérialité du réseau viaire

CatSup _i (ϕ_i /Sous-graphes)	Tlemcen	Sidi Bel Abbes	Setif	Bejaia	Batna
CatSup8	NA	NA	NA	NA	1/1
CatSup7	NA	1/1	NA	NA	0,748/2
CatSup6	1/1	0,896/2	1/1	0,704/2	1/1
CatSup5	0,982/2	0,982/2	1/1	0,759/3	0,968/3
CatSup4	0,967/4	1/1	0,965/5	0,977/3	0,972/4
CatSup3	0,976/7	0,982/5	0,957/8	0,954/10	0,976/10
CatSup2	0,986/7	0,985/8	0,961/14	0,981/9	0,980/10
CatSup1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
Φ_{Glob}	0,985	0,971	0,984	0,845	0,940

Tableau 12 : Statistiques issues de l'analyse de l'artérialité des réseaux viaires

Dans le tableau ci-dessus (Tableau 12), sont relevés pour chaque catégorie de superposition (CatSup_i) et pour chaque ville la proportion de voies artérielles ϕ_i , ainsi que le nombre de sous-graphes. L'indice d'artérialité global Φ_{Glob} est ensuite calculé pour chaque ville. D'une manière générale, les réseaux viaires de chaque ville présentent une proportion de voies artérielles proche de 1. Les valeurs de ϕ_i restent relativement constantes au fur et à mesure de l'ajout des niveaux hiérarchiques inférieurs, alors que le nombre de sous-graphes a tendance à augmenter, en raison du nombre de voies sans cesse en augmentation. De telles valeurs sont encore une fois en cohérence avec le caractère fractal des réseaux viaires.

Les villes de Tlemcen, Sidi Bel Abbès affichent des valeurs assez constantes à travers leurs niveaux hiérarchiques de voies. La ville de Batna affiche une valeur relativement basse au niveau de CatSup_7 mais conserve des valeurs très proches de 1 pour les niveaux hiérarchiques inférieurs. Quant à Bejaia, bien que gardant des valeurs proches de 1 dans ses derniers niveaux hiérarchiques, ses CatSup_6 et CatSup_5 affichent une valeur de ϕ_i basse, c'est aussi la seule ville à ne pas atteindre une artérialité parfaite dans ses niveaux hiérarchiques supérieurs de voie.

Les valeurs de l'indice global d'artérialité restent aussi globalement proches de 1. Les villes de Tlemcen et Setif affichent les valeurs les plus élevées, suivies de près par Sidi Bel Abbès. La ville de Batna affiche une valeur légèrement inférieure. Quant à Bejaia, elle affiche une valeur relativement basse, bien inférieure aux quatre autres villes.

2 Discussion

Les résultats présentés dans la section précédente seront discutés ici. Dans un premier temps, les villes sont comparées entre elles et classées suivant leur cohérence urbaine globale. Les éléments d'évaluation tels que la correspondance à une distribution en puissance inverse, la connectivité du réseau primaire, l'artérialité du réseau viaire, etc. permettent de distinguer les villes plus cohérentes des moins cohérentes. Ensuite, nous opérons une synthèse des résultats à travers l'identification de certaines propriétés universelles des réseaux viaires. Enfin, nous abordons la question de l'organisation spatiale, à laquelle nous pouvons apporter des éléments de réponse grâce aux résultats obtenus.

2.1 Évaluation de la cohérence urbaine et comparaison des villes.

Les deux chapitres précédents ont mené à élaborer une méthode d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique prenant comme support le réseau viaire, basée sur trois éléments : la correspondance avec une loi de distribution inverse, la connectivité du réseau primaire et l'artérialité du réseau viaire. Les résultats obtenus suite à l'application de ce protocole méthodologique (Tableau 13) nous permettent de faire la distinction entre les villes étudiées et de proposer un score de cohérence pour chacune d'entre elles.

Indicateur	Sidi Bel Abbes	Tlemcen	Setif	Batna	Bejaia
Correspondance loi de puissance	Oui	Oui	Oui	Remis en question	Non
Index HT	7	6	6	8	6
Connectivité moyenne	4.089	3.711	3.869	4.516	2.973
Connectivité PN	4.146	4.154	4.712	3.714	3.158
Ratio CP	1,014	1,119	1,218	0,822	1,062
Index d'artérialité global	0,971	0,985	0,984	0,940	0,845
Score de cohérence	Très élevé	Elevé	Elevé	Moyen	Faible

Tableau 13 : Résumé des indicateurs de coherence urbaine et proposition d'évaluation pour chaque ville

- **Sidi Bel Abbes**

Sidi Bel Abbes affiche le score de cohérence le plus élevé. La distribution des rues au sein de son réseau correspond bien à la loi de puissance théorique. Le réseau routier présente également un *index Ht* plus élevé que des villes plus grandes comme Tlemcen et Setif. Son réseau primaire maintient une bonne connectivité, presque équivalente à la connectivité de l'ensemble du réseau. Le réseau routier de la ville peut donc être considéré comme le plus fractal, puisqu'on retrouve le même motif de connectivité sur le réseau primaire que sur l'ensemble du réseau. En ce qui concerne l'artérialité de son réseau routier, Sidi Bel Abbes présente toujours un indice d'artérialité global très proche de 1, bien que légèrement inférieur à Tlemcen et Setif. C'est également la seule ville qui montre un réseau primaire (au niveau SupCat4) totalement artériel (Tableau 12). Cette ville est également construite sur un terrain pratiquement plat.

- **Tlemcen et Sétif**

Tlemcen et Sétif affichent toutes deux un score de cohérence élevé. Les deux villes présentent de nombreuses similitudes. Elles correspondent toutes deux bien à la loi de puissance théorique et ont un *indice Ht* équivalent. Cependant, Sétif se distingue par un réseau routier primaire mieux connecté. Cette différence peut s'expliquer en partie par la topographie plus favorable de Sétif, qui a pu se développer sur un site moins vallonné que Tlemcen.

De plus, les réseaux primaires des deux villes présentent également une meilleure connectivité à cette échelle, comme le montre leur rapport CP supérieur à 1. Dans un réseau parfaitement fractal, cette valeur serait égale à 1. Cependant, un réseau primaire présentant une meilleure connectivité que l'ensemble du réseau peut être interprété comme étant plus favorable à la circulation efficace des flux à grande échelle et comme un signe d'un réseau routier plus mature, tandis que l'inverse serait a priori moins favorable. Enfin, ces deux villes se caractérisent par les valeurs les plus élevées de l'indice artériel global Φ_{Glob} .

- **Batna**

Batna obtient un score de cohérence moyen. Bien qu'elle ait une valeur *P-value* inférieure à 0,1, elle affiche une valeur x-min très élevée de 13. Une telle valeur est assez exceptionnelle car, dans toutes les études similaires identifiées, x-min n'a pas dépassé 11, même pour des villes de taille beaucoup plus importante (de Rijke et al., 2020; Nilsson & Gil, 2019). En d'autres termes, toutes les rues ayant une connectivité inférieure à 13 ne sont pas prises en considération dans le calcul de la loi de puissance théorique. Cela semble être dû à un nombre très élevé de rues secondaires, ce qui est confirmé par la faible valeur du rapport LP. Une telle valeur de x-min soulève la question de sa compatibilité avec une distribution en puissance inverse. Le réseau primaire montre également une hétérogénéité par rapport à l'ensemble du réseau, comme l'indique la faible valeur du *ratio CP*. Cela peut s'expliquer par le motif en grille des rues au sein du réseau secondaire, ce qui confère à l'ensemble du réseau une valeur de connectivité beaucoup plus élevée. L'indice d'artérialité global Φ_{Glob} de Batna est inférieur à celui des trois villes précédentes. En effet, les deux rues les plus importantes du réseau ne sont pas connectées, probablement en raison de la présence d'un oued (lit de rivière à sec) et d'une ligne de chemin de fer entre elles.

- **Bejaia**

Le réseau routier de Béjaïa est le seul qui ne correspond clairement pas à une distribution de loi de puissance. Cela peut s'expliquer par une croissance urbaine entravée par des obstacles

naturels tels que la mer et les montagnes. Une grande partie des rues de la ville sont construites parallèlement à la montagne, ce qui n'autorise pas une connexion optimale avec les autres rues. Cela est confirmé par la connectivité moyenne de son réseau, qui est beaucoup plus faible en comparaison avec les autres villes. Béjaïa a également la valeur d'artérialité globale (Φ_{Glob}) la plus basse. Un examen plus approfondi du réseau routier de la ville révèle qu'une des rues les plus importantes du réseau est séparée du réseau principal. Il s'agit du port, une zone fonctionnellement et morphologiquement coupée du reste de la ville par une ligne de chemin de fer. Ces observations conduisent à lui attribuer un faible score de cohérence. Cependant, Béjaïa a un rapport CP proche de 1, signe d'un réseau routier fractal, et une valeur d'indice Ht de 6, équivalente à celle de Tlemcen et Sétif.

Après comparaison des villes, il semble que des tendances générales se dessinent. Premièrement, les villes ayant un score de cohérence élevé, telles que Sidi Bel Abbes et Sétif, sont aussi des villes au relief relativement plat. La croissance de ces villes a pu se faire d'une manière plus libre, sans pour autant rencontrer d'obstacles morphologiques importants tels que des montagnes ou des oueds. Aussi, la connectivité du réseau viaire des villes avec un relief modéré est plus élevée, ainsi, Sétif et Sidi Bel Abbes affichent une bonne connectivité globale, même sur leur réseau primaire. Tlemcen, malgré un relief plus important, affiche tout de même un score élevé de cohérence, dû à une bonne connectivité du réseau primaire et un indice d'artérialité élevé. Cependant, on observe tout de même une différence significative avec Sétif, notamment au niveau de la connectivité du réseau primaire. Batna et Béjaïa, coincée entre deux massifs montagneux pour l'une et construite à flanc de montagne pour l'autre, sont sans surprise les villes avec le score de cohérence le plus faible.

En outre, les villes de Sidi Bel Abbes et Sétif correspondent à un modèle de croissance urbaine radial. Des rocade périphériques s'organisent en cercles concentriques autour du noyau central. Elles sont recoupées transversalement par des boulevards importants qui rayonnent depuis le centre. C'est aussi le cas pour Tlemcen mais avec une unique rocade formant un grossier demi-cercle autour de la ville au Nord, le Sud étant bloqué par le plateau de Lalla Setti. Cette configuration des voies permet une artérialité maximale en facilitant l'intersection des axes les plus importants. Batna et Béjaïa n'affichent pas la même organisation radiale. Pour Batna, le réseau viaire semble obéir à un plan globalement orthogonal orienté sur deux axes principaux dissociés. Pour Béjaïa, le réseau ne suit pas d'organisation particulière mais affiche des motifs arborescents avec beaucoup de voies terminant en impasse. L'indice d'artérialité est justement plus faible dans ces deux villes qui ne suivent pas une organisation radiale ou semi-radiale.

La cohérence urbaine morphologique semble être liée indirectement à un relief relativement plat et à l'organisation spatiale de la ville suivant un modèle radial, ce qui favorise la connexion entre les axes les plus importants.

2.2 Fractalité et artérialité, des propriétés universelles des réseaux viaires

- **L'universalité fractale des réseaux viaires**

En résumé, quelques observations générales qui s'appliquent à l'ensemble des réseaux routiers étudiés peuvent être mises en évidence. Tout d'abord, elle confirme la fractalité des réseaux routiers. Quelle que soit la taille des villes, elles présentent toutes au moins six niveaux hiérarchiques distincts dans leurs réseaux routiers, comme l'indiquent les valeurs de l'indice H_t , qui varient de 6 à 8. De plus, les valeurs du *ratio CP*, qui sont systématiquement proches de 1 pour toutes les villes, renforcent cette tendance. Ces résultats sont conformes à la notion d'universalité fractale évoquée dans des recherches antérieures (Frankhauser 1993 ; Batty et al. 2008 ; Ma et al. 2020). Il est à noter qu'il n'y a pas eu d'études préalables sur la fractalité des réseaux routiers des villes algériennes, ce qui fait de cette recherche un point de départ précieux pour de telles analyses.

- **Les villes algériennes : des systèmes complexes cohérents auto-organisés malgré l'absence d'une planification forte**

Dans la même perspective, tous les réseaux routiers des villes étudiées présentent une distribution en loi de puissance, à l'exception de Bejaia. Les villes avec une telle distribution résultent probablement d'un processus de croissance organique et ne sont pas le résultat d'une planification descendante (Nilsson and Gil 2019). Bien qu'aucune étude, à notre connaissance, n'ait abordé les villes algériennes sous l'angle morphologique développé ici, de nombreuses recherches évoquent leur caractère informel et fragmentaire et confirment cette conclusion (Arrouf et al., 2015; Belguidoum & Mouaziz, 2010; Chorfi, 2019; Mebirouk, 2011). Cependant, les résultats présentés ici diffèrent quelque peu de l'interprétation généralement donnée à la ville algérienne comme étant "une ville fragmentée composée de fragments ou de strates juxtaposés sans réelle cohérence" (Safar Zitoun, 2001, p. 34). L'observation selon laquelle le réseau routier suit une distribution en loi de puissance suggère que les villes algériennes peuvent être interprétées comme des systèmes complexes ayant atteint un équilibre grâce à des tendances d'auto-organisation et de croissance organique. Cette affirmation est aussi appuyée par la valeur de l'index alpha qui se situe autour de 3 pour toutes les villes, sauf pour Béjaïa qui affiche un

score plus faible à 2.74. L'*index alpha*, aussi appelé facteur d'échelle, peut être interprété comme la différence moyenne d'échelle entre les rues peu connectées (rues secondaires) et les rues hautement connectées (rues principales). Une valeur élevée de alpha, comme cela est le cas pour les villes algériennes choisies dans notre étude, peut-être interprétée comme le signe d'une croissance organique non planifiée. Alors que la non-planification des villes algériennes est presque systématiquement associée à un développement anarchique, les résultats de notre étude semblent indiquer le contraire. En effet, les villes étudiées sont évaluées comme étant cohérentes, et ce malgré l'absence d'une croissance planifiée. Une telle conclusion, pour le moins surprenante, n'est possible qu'en considérant les villes algériennes sous l'angle des sciences de la complexité, comme étant des systèmes complexes qui parviennent à trouver un équilibre sans une intervention humaine planificatrice. Le désordre apparent cache en réalité une organisation subtile et complexe que nous mettons en évidence à travers la notion de cohérence urbaine morphologique.

- **Une tendance à l'artérialité**

Enfin, tous les réseaux étudiés montrent une nette tendance à l'artérialité, comme en témoigne la valeur de l'indice global d'artérialité très proche de 1, à l'exception du réseau de Bejaia qui a une valeur légèrement plus basse. Cette observation confirme partiellement la déclaration de Marshall (2005) selon laquelle les rues artérielles forment nécessairement un ensemble continu. En effet, la seule ville avec un réseau primaire entièrement artériel est Sidi Bel Abbes, tandis que les autres villes montrent une proportion de rues artérielles très proche mais non égale à 1. Cette légère divergence est due à la différence dans la définition des rues du réseau primaire. Pour Marshall (2005), la classification de ces rues est basée sur la condition d'artérialité.

Dans notre approche, l'artérialité est une propriété à vérifier après avoir établi la classification hiérarchique des rues du réseau primaire selon d'autres critères (méthode des head/tail breaks). Cette tendance à l'artérialité est également confirmée par la corrélation positive apparente entre les ratios CP et LP. Cette corrélation suggère que plus le réseau primaire d'une ville est développé, meilleure est sa connectivité. En d'autres termes, plus le réseau primaire est dense, plus il est probable que ses rues soient connectées, ce qui est la définition même de l'artérialité. Enfin, il est également intéressant d'observer comment l'étude de l'artérialité du réseau routier a permis l'identification de coupures morphologiques profondes au sein du réseau routier de Bejaia et Batna. Ce résultat, bien qu'inattendu, reste essentiel à noter et peut faire l'objet de recherches ultérieures dans l'étude des ruptures morphologiques urbaines.

3 Elargissement à d'autres cas d'études à l'international

Dans cette section, nous proposons de confronter nos résultats obtenus pour Tlemcen à une autre étude réalisée par (de Rijke et al., 2020). Cette dernière s'intéresse à la mesure du degré de « vie » à partir du réseau viaire d'une ville, suivant une méthode assez similaire à celle que nous proposons pour la cohérence urbaine morphologique. Nous pouvons ainsi opérer une remise en perspective des résultats obtenus précédemment et tenter un rapprochement entre Tlemcen et d'autres villes à l'international. Nous gardons en tête qu'il s'agit d'un exercice délicat, notamment en raison de la différence de taille des villes comparées. C'est pourquoi nous ne parlons pas vraiment d'une comparaison en bonne et due forme, mais plutôt d'un élargissement. Le but de cette partie étant à la fois de confronter les résultats obtenus en reprenant le cas d'étude de Tlemcen avec un contexte géographique différent. L'analyse de villes bien plus grandes et à l'histoire différente nous permettront de considérer notre processus méthodologique et nos résultats sous un autre angle de vue, notamment en vérifiant si les conclusions de cette étude sont similaires aux nôtres.

Tous les paramètres résultant de l'étude statistique de la loi de puissance ainsi que de la méthode des head-tail breaks sont reprises (Tableau 14). Pour ce qui est des deux autres paramètres d'évaluation de la cohérence urbaine, ils ne sont pas présents dans cette étude. A l'aide d'une lecture des cartes colorisées suivant la hiérarchie des voies, nous proposons une estimation empirique des valeurs de connectivité RP et de l'artérialité (Figure 47).

3.1 Etude de la distribution suivant une loi de puissance inverse

Les villes de très grande taille, telles que Amsterdam, Rome ou encore Brasilia affichent un index ht plus élevé. Ce résultat semble logique, puisqu'une ville de plus grande taille aura nécessairement plus de niveaux de structure au sein de son réseau. Ces villes affichent aussi un indice Alpha plus faible, signe d'un réseau primaire plus développé. Amsterdam et Rome ne suivent pas une loi de distribution en puissance inverse, contrairement à Brasilia. Ces résultats peuvent sembler contradictoires au vu des assertions sur le rapport entre l'indice alpha et la croissance organique des villes. En effet, Brasilia est une ville planifiée depuis le départ alors que Rome et Amsterdam sont à la base des villes avec une histoire millénaire ayant grandi d'une manière organique. Ce constat est à nuancer puisque Amsterdam a aussi subi un haut niveau d'interventionnisme avec le plan Berlage (Panerai et al., 1997). Il en est de même pour Rome avec les Piano Regolatore à la fin du 19^e siècle et l'urbanisme fasciste de Mussolini

(Bocquet, 2013). Brasilia suit une loi de puissance inverse mais affiche tout comme Batna un x -min très élevé, ce qui pourrait aussi remettre en cause la distribution en puissance inverse au sein de son réseau viaire.

Indicateur	Tlemcen	Amsterdam	Rome	Brasilia	Levittown
Nombre de natural roads	2650	23787	34378	26876	1079
Alpha	3.05	2.59	2.63	2.79	3.46
P-value	0.196	0	0.03	0.65	0.64
Connectivité moyenne	3.711	5	4	4	4
X-min	7	7	4	11	9
Indice ht	6	9	11	10	7
Connectivité maximum	86	386	184	389	145
Connectivité RP estimée	(4.154) Très bonne	Très bonne	Très bonne	Mauvaise	Mauvaise
Artérialité estimée	(0.985) Très bonne	Très bonne	Bonne	Bonne	Bonne

Tableau 14 : Comparaison entre Tlemcen et d'autres villes à l'international

La connectivité sur l'ensemble du réseau reste globalement comprise entre 3 et 5, sans observer de grandes disparités. Le x -min, excepté pour Brasilia est aussi globalement compris entre 4 et 9. La connectivité maximale est très élevée à Brasilia et Amsterdam, mais considérablement plus faible à Rome.

Les villes de grande taille ne sont pas vraiment comparables à Tlemcen, mais mettent en évidence une tendance intéressante : plus une ville est grande, plus son indice alpha semble diminuer et son *indice ht* augmenter. Il apparaît difficile de se prononcer sur la cohérence urbaine morphologique de ces villes sur la seule base de leur distribution (ou non) suivant une loi de puissance.

En revanche, la ville de Levittown est de taille bien plus modeste et peut être comparée à Tlemcen. Cette ville, située en Pennsylvanie dans la banlieue de Philadelphie a la particularité d'avoir été entièrement planifiée et se constitue essentiellement de pavillons en séries. L'indice alpha est très élevé et les voies du réseau sont distribuées suivant une loi de puissance. Ce résultat apparaît quelque peu étonnant, sachant que la ville est planifiée et structurée suivant une organisation pavillonnaire. Dans ce cas, une valeur si élevée s'explique par la quantité

considérable de rues secondaires et d'impasses desservant les pavillons. L'organisation hiérarchique s'apparente à un réseau dendritique (Marshall, 2005). Ce type de réseau est constitué de voies qui s'interconnectent uniquement avec les voies d'échelle consécutives. Les voies de niveau inférieur sont généralement des culs-de-sac. La valeur de la connectivité maximum de 145 apparaît anormalement élevée pour une ville de si petite taille. Cela indique qu'il existe une voie d'une très grande importance et peut être signe d'un déséquilibre pour un réseau de petite taille. La ville de Tlemcen apparaît bien plus équilibrée à côté avec des valeurs plus faibles pour alpha et la connectivité maximum.

3.2 Etude de l'artérialité et de la connectivité du réseau primaire

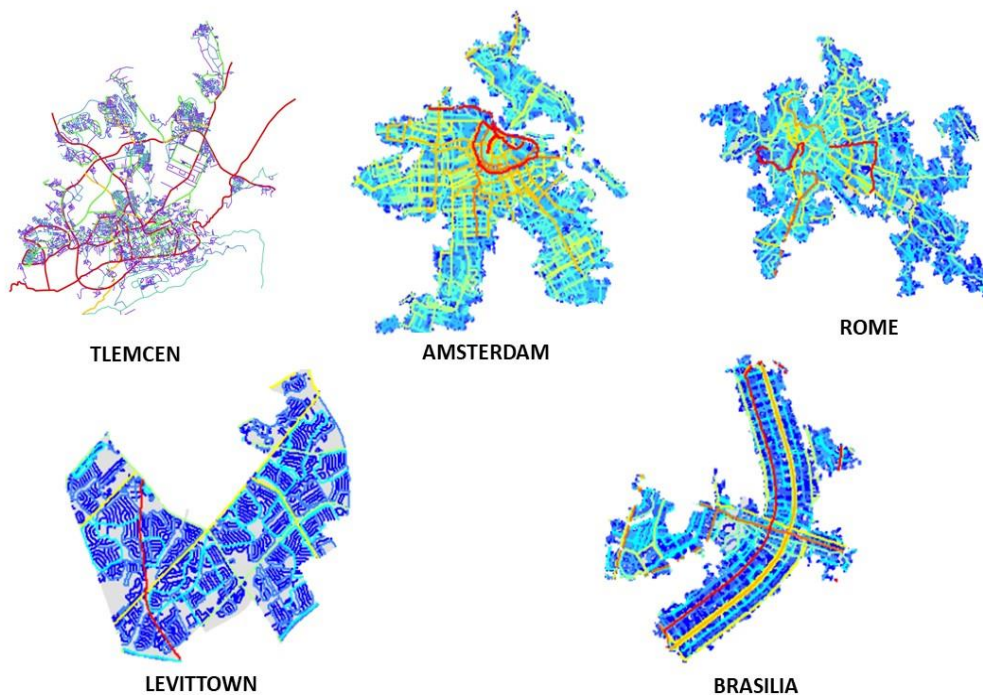


Figure 47 : Comparaison des réseaux viaires de Tlemcen et d'autres villes à l'international. Les *natural roads* sont colorées suivant leur connectivité (Rouge étant le mieux connecté)

L'analyse des valeurs issues des statistiques de la distribution suivant une loi de puissance inverse permet de tirer quelques conclusions, mais demeure très insuffisante pour estimer la cohérence urbaine morphologique de ces agglomérations. C'est pourquoi nous nous appuyons sur les cartes colorisées présentées dans l'article pour donner une valeur estimative de l'artérialité, en fonction de l'intersection ou non des voies les plus importantes (Figure 47). L'artérialité d'Amsterdam est estimée comme très bonne, puisque toutes les voies rouges et oranges forment un tout continu. De plus, les voies les plus importantes se trouvent dans une

position centrale par rapport à l'agglomération. La position des voies les plus importantes est aussi intéressante à noter. C'est un paramètre qui se rapproche de la connectivité du réseau primaire que nous avons introduit dans notre protocole méthodologique et qui contribue à l'estimation que nous faisons de cette valeur pour les villes introduites dans cette partie. En effet, plus les voies artérielles importantes sont en position centrale, plus elles auront de facilité à se connecter aux autres voies du réseau. Pour Rome, l'artérialité est estimée tout juste moyenne, en raison de la dissociation entre les quatre voies en rouge et orange les plus importantes. Cela peut être interprété comme moins décisif dans une ville d'une si grande taille, puisque les voies de niveau inférieur aux voies les plus importantes sont tout de même suffisantes pour accueillir des flux intenses. Elles sont situées dans une position centrale et forment de nombreuses interconnexions, dans un tout continu. D'autant plus que la ville de Rome comporte en son sein une enclave avec un autre état, ce qui peut en partie expliquer la présence de centralités multiples dissociées.

Brasilia affiche une artérialité estimée comme moyenne en raison des voies importantes en rouge qui ne forment pas un ensemble continu. De plus, deux des voies les plus importantes, celles qui forment un axe longitudinal le long des ailes de l'oiseau imaginé par Lucio Costa, sont connectées par un seul axe transversal. Une telle configuration peut être génératrice de congestion, car il n'existe qu'un seul chemin entre ces deux axes. Cette observation conduit à lui attribuer une connectivité RP estimée comme mauvaise.

Levittown quant à elle a une artérialité estimée comme bonne. Les voies les plus importantes sont toutes en intersection. Cependant, les voies importantes sont en très petit nombre, ce qui avait été conclu suite à l'indice alpha très élevé. Bien que la ville soit la plus petite de tout l'échantillon, un nombre si peu élevé s'explique par les formes urbaines pavillonnaires très répétitives. De plus, les voies les plus importantes ne sont pas en position centrale, contrairement aux villes précédentes et sont reléguées aux extrémités. Ces éléments expliquent un score de connectivité RP estimé comme mauvais.

3.3 Conclusions et rapprochement avec les résultats obtenus

Tlemcen apparaît comme une ville plutôt équilibrée devant Levittown, avec un indice alpha plus modéré malgré une plus grande taille, une artérialité supérieure et surtout un réseau primaire bien plus connectif. En ce qui concerne les autres villes, nous ne pouvons pas vraiment effectuer une comparaison avec Tlemcen en raison de la différence de taille. En revanche, le fait d'introduire de grandes villes nous permet de tirer des conclusions intéressantes quant à l'influence de la taille sur les indicateurs de cohérence.

Premièrement, la taille de la ville semble avoir une influence sur la distribution en puissance inverse. Plus la ville est grande, moins elle a tendance à suivre une loi en puissance inverse. Cela s'explique par le renforcement des voies artérielles importantes présentes en plus grand nombre et l'apparition de niveaux de hiérarchie supérieure au sein du réseau, comme l'indique l'indice H_t systématiquement plus élevé dans ces cas. Les situations inverses semblent être en revanche symptomatiques d'un déséquilibre. Pour Bejaia, un indice alpha faible pour une ville de petite taille est synonyme d'un nombre de voies capillaires en trop faible nombre. Dans ce cas, le relief très prononcé est une contrainte qui oblige les voies à serpenter le long des courbes de niveau. Dans le cas de Levittown, un indice alpha beaucoup trop élevé est signe d'un nombre de voies secondaires en trop grande quantité, en raison d'une organisation pavillonnaire en série.

Deuxièmement, la distribution en puissance inverse des voies au sein du réseau viaire n'est pas suffisante pour établir des conclusions quant à la cohérence urbaine morphologique. La lecture et interprétation sur carte sont des compléments nécessaires, car ils nous permettent de voir la position des voies artérielles et d'estimer la connectivité du réseau primaire. Cette conclusion soutient la pertinence du choix des deux autres indicateurs de cohérence urbaine morphologique (connectivité du réseau primaire et artérialité). L'étude de (de Rijke et al., 2020) parvient à des conclusions similaires aux nôtres, en indiquant que les villes de Brasilia et de Levittown ont un degré de vie¹¹⁷ moins élevé, justement en raison d'un réseau primaire moins développé et moins connectif.

4 Discussion sur le cas d'étude : Tlemcen, une ville morphologiquement cohérente ?

Le cas d'étude principal choisi étant la ville de Tlemcen, nous développons dans cette section une discussion plus poussée sur la ville. De nombreux éléments de réponse à la problématique initiale seront apportés au cours de cette partie.

Parmi les cinq villes algériennes comparées, Tlemcen se situe dans une position favorable en ce qui concerne la cohérence urbaine morphologique. Son réseau viaire est distribué suivant une loi de puissance inverse. Son réseau primaire affiche une connectivité RP de 4.154

¹¹⁷ Cette notion est issue des théories d'Alexander (2004). Il décrit une structure vivante comme étant une organisation structurée d'une manière cohérente et exhalant une impression de complétion qu'on ne retrouve que dans les organismes vivants. Cette notion se rapproche quelque peu de celle de cohérence urbaine morphologique. Voir Chap.5

supérieure à sa connectivité moyenne. Enfin, l'index d'artérialité global est le plus élevé de toutes les villes comparées. Ces propriétés permettent d'attribuer à la ville un score de cohérence « élevé ». Par conséquent, d'un point de vue global, la ville de Tlemcen peut être considérée comme une ville morphologiquement cohérente. Dans cette dernière partie, nous cherchons à pousser plus loin notre analyse, à un niveau de granularité plus fin. Cette démarche, poussée par les conclusions de la partie précédente qui avait mis en évidence la nécessité d'une lecture cartographique en complément, nous amènera à nuancer le résultat global de cohérence morphologique. Nous pourrions aussi nous appuyer sur cette dernière analyse afin de donner quelques préconisations pour les planificateurs.

4.1 Un déséquilibre entre centre et périphérie

Tlemcen arbore un très bon score de connectivité du réseau primaire. Cette valeur est une moyenne des connectivités entre les voies principales du réseau. Cependant, une lecture sur carte nuance ce score, en raison d'une disparité très visible entre la partie centrale et la périphérie du réseau¹¹⁸. La plupart des voies artérielles les plus importantes se situent dans la partie centrale. En comptant la rocade périphérique, le linéaire total des voies de la partie centrale représente plus de 111 km, soit 71% du total des voies primaires. Il existe aussi une disparité entre centre et périphérie par rapport au motif d'interconnexion. Les voies appartenant à la partie centrale suivent un motif d'interconnexion ressemblant à un semi treillis. Ce type d'interconnexion fait penser au réseau conjoint évoqué par Marshall (2005), alors que les voies de la partie périphérique suivent un motif arborescent rigide faisant penser au réseau de type dendritique. Les voies de cette partie se rattachent pratiquement toutes via un même élément intermédiaire - la rocade périphérique - sans autre interconnexion mutuelle.

En ce qui concerne l'artérialité, Tlemcen affiche un indice d'artérialité globalement très bon. Le réseau primaire affiche seulement trois voies non artérielles, deux au niveau de la partie centrale et une en périphérie. Ces voies correspondent respectivement au boulevard principal d'Abou Tachfine pour la partie centrale, ainsi qu'au boulevard principal de la nouvelle ville de Boujlida (Figure 48). Dans les deux cas, ces voies structurantes à l'échelle du fragment urbain sont reliées au réseau principal par une simple bretelle. En outre, ces voies n'ont pas d'issue à leur terminaison et ne rejoignent pas le réseau principal.

¹¹⁸ Nous désignons comme partie centrale toute la zone délimitée par la rocade périphérique, cette dernière étant incluse.



Figure 48 : Réseau primaire de Tlemcen. En noir les voies primaires formant un tout continu. En orange, les voies primaires non artérielles.

4.2 Des disparités dans la structuration des centralités périphériques

La partie centrale de l'agglomération de Tlemcen est globalement bien structurée¹¹⁹. Le réseau primaire y est dense et très interconnecté. En revanche, il n'en est pas toujours de même pour les centralités périphériques. Nous allons analyser la structuration de ces dernières à partir d'une lecture cartographique (Figure 48) et relever quels sont les fragments urbains plus ou moins bien structurés.

Des fragments urbains sont déterminés sur la base de ruptures morphologiques (voie ou boulevard avec un flux important, contrainte topographique, discontinuité du tissu urbain), sur la toponymie (le nom des lieux selon les locaux nous informe sur la présence d'un ensemble cohérent à l'échelle d'un fragment) et parfois sur le découpage administratif.

¹¹⁹ Par bien structurée, nous entendons avec un nombre suffisamment grand de voies du réseau primaire. Cette observation se fait suite à une lecture sur carte et se veut empirique.

- **Bouhannak**

Le fragment urbain de Bouhannak est globalement bien structuré par 3 voies appartenant au réseau primaire, dont une qui fait le tour du fragment. Les voies sont situées en position centrale par rapport aux autres voies de hiérarchie inférieure. De plus, il dispose d'une connexion directe à deux des voies les plus importantes de la ville. Deux des voies principales du fragment ne se terminent pas en impasse.

- **La Rocade Université**

Le fragment « La Rocade Université » ne dispose que d'une seule voie appartenant au réseau primaire qui se termine en impasse, ce qui apparaît insuffisant au vu du nombre de voies du fragment. Aussi, il n'existe pratiquement pas de voies de hiérarchie intermédiaire entre le niveau de la voie principale et les voies secondaires, qui sont pour beaucoup d'entre elles des impasses.

- **Koudia**

Le fragment « Koudia » ne dispose que d'une seule voie appartenant au réseau primaire qui se termine en impasse. Ce fragment est de taille assez modeste. De plus, sa morphologie est assez atypique puisqu'il s'agissait à la base d'un bidonville d'habitat informel qui a grandi à l'écart de toute planification. Il est donc normal de retrouver encore aujourd'hui une multitude de petites ruelles et un niveau de structuration moins élevé, puisque le fragment est issu d'un processus spontané et organique.

- **Boujlida**

Le fragment « Boujlida » apparaît comme le plus dysfonctionnel de tous. Il ne dispose que d'une seule voie appartenant au réseau primaire, qui ne respecte pas la condition d'artérialité. Elle n'est reliée au réseau primaire et se connecte par l'intermédiaire d'une bretelle au reste du réseau. Cette configuration met en évidence une rupture à la fois morphologique et fonctionnelle entre Boujlida et le reste de l'agglomération et donne l'impression que le fragment « flotte » dans la périphérie se juxtapose simplement par addition. En ce qui concerne la structuration interne du fragment, la présence d'une unique voie appartenant au réseau primaire apparaît insuffisante. Cela s'explique en partie par les formes urbaines en présence, à savoir essentiellement de l'habitat collectif projeté en série. En outre, cette voie principale structurante se situe à la périphérie du fragment. Ce désaxement renforce le déséquilibre déjà induit par la présence d'une unique voie principale et rend plus difficile la création d'une centralité pour ce fragment.

- **Oujlida**

Le fragment « Oujlida » se présente comme étant plutôt bien structuré puisqu'il dispose de quatre voies appartenant au réseau primaire, bien plus que le fragment précédent qui a une taille comparable et n'affiche qu'une seule voie structurante. Le boulevard le plus important se rattache directement au réseau primaire via la rocade périphérique. Les autres voies structurantes s'attachent ensuite à ce boulevard principal. Cette configuration arborescente rappelle le réseau dendritique de (Marshall, 2005). Le fragment présente une curiosité, puisqu'il existe une autre voie qui se rattache directement à la rocade périphérique sans se prolonger plus loin. Cela coupe le fragment en deux parties. Cette observation est particulièrement intéressante car le fragment d'Oujlida est lui-même régi par deux POS¹²⁰ différents, correspondant strictement à ces deux zones définies par les voies principales. La méthode que nous utilisons s'avère utile pour détecter les ruptures morphologiques dans ce cas. Pour ce qui est de la partie Nord, le boulevard principal est situé dans une position centrale idéale et joue un véritable rôle de centralité. Il sépare le fragment en deux parties Est et Ouest, bien que la partie Est manque clairement d'une voie plus importante, peut être en raison d'un relief prononcé.

- **Ain el Houtz**

Le fragment « Ain et Houtz » est de petite taille. Il ne dispose que d'une seule voie appartenant au réseau primaire, directement rattachée à la rocade périphérique. Ce fragment se présente comme un petit village périphérique, il n'est donc pas choquant d'observer une unique voie principale structurante.

- **Chetouane**

Le fragment « Chetouane » apparaît comme étant plutôt bien structuré, avec 6 voies appartenant au réseau principal, dont deux sont directement reliées à la rocade principale. La position des voies principales est centrale. Elles forment un motif en semi treillis avec de multiples interconnexions, ce qui permet de le rapprocher d'un réseau de type conjoint. Chetouane est l'un des seuls fragments périphériques avec Bouhannak à ne pas présenter de dysfonctionnement majeur et à être structuré selon le bon principe de fractalité. La zone au Sud-

¹²⁰ Le POS (Plan d'occupation des sols) est un plan et instrument d'urbanisme venant se placer à l'échelle d'un fragment urbain. Il régit les usages, droits et occupations des sols. Le PDAU (Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme) est l'instrument de plus grande échelle qui indique la destination des sols à une échelle intercommunale. Les deux POS en question ici sont ceux d'Oujlida Nord et Oujlida Sud.

Ouest n'est pas desservie en voies principales, ce qui est normal puisqu'elle correspond à l'un des pôles universitaires de Tlemcen.

- **Ouzidane**

Le fragment « *Ouzidane* » apparaît comme étant pauvrement structuré, avec 3 voies structurantes correspondant à un motif arborescent. La voie principale directement reliée à la rocade périphérique continue jusqu'aux confins du fragments. La partie Sud du fragment n'est desservie que par une unique voie principale située en périphérie. La partie centrale a des allures de labyrinthe, avec uniquement de petites ruelles secondaires. La différence d'échelle entre cette partie du fragment et le reste de l'agglomération est clairement visible par l'absence de voies principales. Même si cette partie peut apparaître cohérente et bien structurée en elle-même, elle n'est pas cohérente à l'échelle de l'agglomération, puisqu'elle ne se connecte pas d'une manière progressive, par des niveaux de hiérarchie successifs. La partie Nord se caractérise par de l'habitat épars.

Pour résumer, les fragments périphériques de la ville présentent des disparités dans leur structuration. Certains sont globalement bien structurés, présentent un nombre suffisant de voies principales qui se situent en position centrale, c'est le cas de Bouhannak et de Chetouane. D'autres en revanche, ne présentent pas un nombre de voies principales suffisant, et/ou affichent un motif d'interconnexion arborescent rigide, qui ne favorise pas une circulation optimale. C'est le cas par exemple du fragment « Oujlida ». D'autres fragments sont en complète déconnexion du réseau principal et n'assurent pas le bon principe d'artérialité, comme Boujlida. Enfin, d'autres fragments ne possèdent qu'une unique voie principale appartenant au réseau primaire et qui se termine en impasse, comme c'est le cas pour « La rocade », « Koudia » ou encore « Ain-el-Houtz ». Ces fragments se présentent en général comme des villages assez isolés de petite taille.

Les travaux de Djebbar (2021), qui portent sur l'analyse de la connectivité de certains lotissements à Tlemcen, vont dans le même sens que nos conclusions. Dans un premier temps, la mauvaise continuité des routes principales à travers les différents quartiers est mise en évidence, ce qui ne permet pas de créer une bonne cohérence entre les différentes entités de la ville (Djebbar, 2021a, p. 192). Cette remarque ne rejoint pas nos résultats en ce qui concerne l'artérialité, qui est globalement bonne à l'échelle de l'agglomération selon notre analyse. En revanche, le constat de forte dépendance des flux à la rocade périphérique que nous faisons va dans le sens des conclusions de Djebbar (2021, p. 193) qui évoque « *La faible accessibilité aux*

groupes urbains contribue à la saturation de certaines routes primaires. La mauvaise connectivité des voies principales réduit les chemins alternatifs pour les automobilistes ». A l'échelle du lotissement¹²¹, une connectivité insuffisante des voies intérieures est observée, ainsi qu'une hiérarchie insuffisante. Parmi les lotissements étudiés, celui de Abou Tachfine. Pour ce dernier, Djebbar note une mauvaise continuité des voies principales, ainsi qu'une mauvaise hiérarchisation des voies, ce qui est similaire à nos observations, quant à la déconnexion des voies principales de ce fragment par rapport au reste du réseau primaire. En outre, le fait d'avoir choisi des lotissements à l'étude amène logiquement à ce type de conclusions. Ces quartiers sont planifiés d'une manière sérielle, comme une répétition monotone de plusieurs lots desservis par des voies les entourant, sans plus de réflexion quant à la structuration interne et à la hiérarchisation des voies. Une certaine médiocrité dans leur planification est reconnue (Ministère de l'urbanisme et de la construction, 1990).

La méthode des « natural roads » suivie de la classification à l'aide des head-tail breaks est d'une aide précieuse lorsqu'il s'agit de déterminer la cohérence urbaine relative de chaque fragment par rapport au tout de l'agglomération. Sans ces méthodes, il serait impossible de déterminer l'importance d'une voie d'une manière systématique et objective. Certaines des voies identifiées comme appartenant au réseau primaire ne pourraient pas être reconnues comme telles, puisqu'elles ne présentent en aucun cas l'aspect d'un boulevard principal structurant. C'est le cas pour la voie primaire de Boujlida, auquel on n'attribuerait pas cette fonction, ni même cette longueur. Chacune des voies structurantes est à voir comme un niveau de hiérarchie, autour de laquelle s'organisent et gravitent d'autres petits sous-systèmes. Cela rejoint l'idée de fractalité développée dans la partie sur les systèmes complexes, ou encore l'idée de modules de Salingaros. C'est pourquoi lorsqu'il n'y a pas suffisamment de voies structurantes, la règle d'emboîtement des échelles n'est pas respectée et la cohérence urbaine morphologique n'est pas assurée.

4.3 La rocade périphérique, principal élément de fragilité

Tlemcen est traversée par trois voies d'une importance particulière. La voie la plus importante passe par le centre-ville et couvre les boulevards de l'Imama, se prolonge sur le boulevard Derrar Abderrahmane et se termine par le boulevard Kazi Aoual. Pour ce qui des deux autres

¹²¹ Le lotissement dans l'étude de Djebbar (2021) correspond approximativement à l'échelle du fragment que nous avons définie.

voies, il s'agit de la N22, qui forme un axe radial et qui pénètre jusqu'au centre géographique de l'agglomération, ainsi que de la N22C, qui forme un demi-cercle autour de l'agglomération et qui relie tous les fragments périphériques. Ces deux voies desservent à elle seules respectivement. Cette dernière voie N22C, aussi appelée « rocade périphérique » dessert l'intégralité des fragments périphériques.

4.3.1 Antifragilité et résilience

Nous souhaitons maintenant développer une analyse de cette rocade périphérique sous l'angle d'une notion bien connue dans les sciences de la complexité et que nous avons développé dans les chapitres précédents, celle de résilience et d'antifragilité. En théorie, un système complexe et cohérent devrait être doté de telles propriétés, car elles permettent un fonctionnement de ce dernier en dépit de perturbations. La résilience est définie comme étant la capacité d'un système à supporter des bouleversements majeurs. D'une manière plus spécifique, la résilience se réfère à la capacité d'un réseau à maintenir sa fonctionnalité globale en dépit de perturbations, de défaillances ou d'attaques ainsi qu'une évolution vers un état plus stable. Concrètement, cela se traduit par la présence de multiples chemins ou connexions qui assurent la continuité du fonctionnement même en cas de défaillance d'une partie du réseau. Au-delà de cette capacité de résistance aux perturbations, se développe une capacité d'évolution et de renforcement. Il s'agit de la notion d'antifragilité, notamment théorisée et étudiée par Taleb. Il introduit cette notion pour décrire des systèmes qui non seulement résistent aux chocs, au stress et à la volatilité, mais en tirent également avantage et se renforcent. Cela va au-delà de la résilience ou de la robustesse ; les systèmes antifragiles s'améliorent lorsqu'ils sont exposés à certaines formes de stress. Cette notion d'antifragilité peut contribuer à comprendre la manière complexe et parfois contre-intuitive dont les villes non planifiées grandissent. Il s'agit de systèmes complexes auto-organisés qui cherchent en permanence à s'adapter à la survenue d'éléments perturbateurs. Un exemple concret est l'arrivée de populations nouvelles au sein d'une ville, à la suite de laquelle de nouveaux quartiers vont se former à la périphérie. Ces quartiers sont dans un premier temps marginalisés et en rupture avec l'agglomération principale. Au fil des années, à mesure que ce quartier grandit, de nouvelles connexions vont se former et le rattacher progressivement à l'agglomération principale. C'est le cas du quartier informel de Koudia dans l'agglomération de Tlemcen, qui était un bidonville formé dans le début des années 80 suite à l'exode rural massif caractéristique de cette époque. Aujourd'hui, le fragment de Koudia, bien

que toujours quelque peu isolé, est relié depuis deux des voies les plus importantes de Tlemcen et est structuré par une voie principale appartenant au réseau primaire.

4.3.2 Une expérience intéressante : et si la rocade périphérique disparaissait

La rocade périphérique peut-être perçue comme un élément fragile a bien des égards. Il s'agit de l'une des voies les plus importantes de l'agglomération. C'est aussi l'unique voie de desserte principale pour de nombreux fragments. Les deux autres voies les plus importantes sont ancrées à l'agglomération principale et sont en interconnexion avec de nombreuses autres voies du réseau primaire. Aussi, il arrive parfois qu'un accident ou une perturbation arrive sur cette voie. Le trafic s'y accumule très vite et paralyse l'accès à toutes les parties périphériques. Les voies alternatives sur lesquelles se rabattent les automobilistes sont aussi très vite surchargées. Il en résulte alors une paralysie à l'échelle de l'agglomération. D'autant plus que le trafic poids lourd se concentre presque exclusivement sur la rocade périphérique. Les flux en provenance ou à destination de la zone industrielle à l'Est sont contraints de l'emprunter.

Afin de se rendre compte de cette fragilité, nous allons opérer une simple expérimentation. Nous allons supprimer la rocade périphérique et voir quels sont alors les fragments qui ne sont plus desservis, ainsi que l'effet sur l'artérialité globale du réseau primaire. Un tel évènement ne

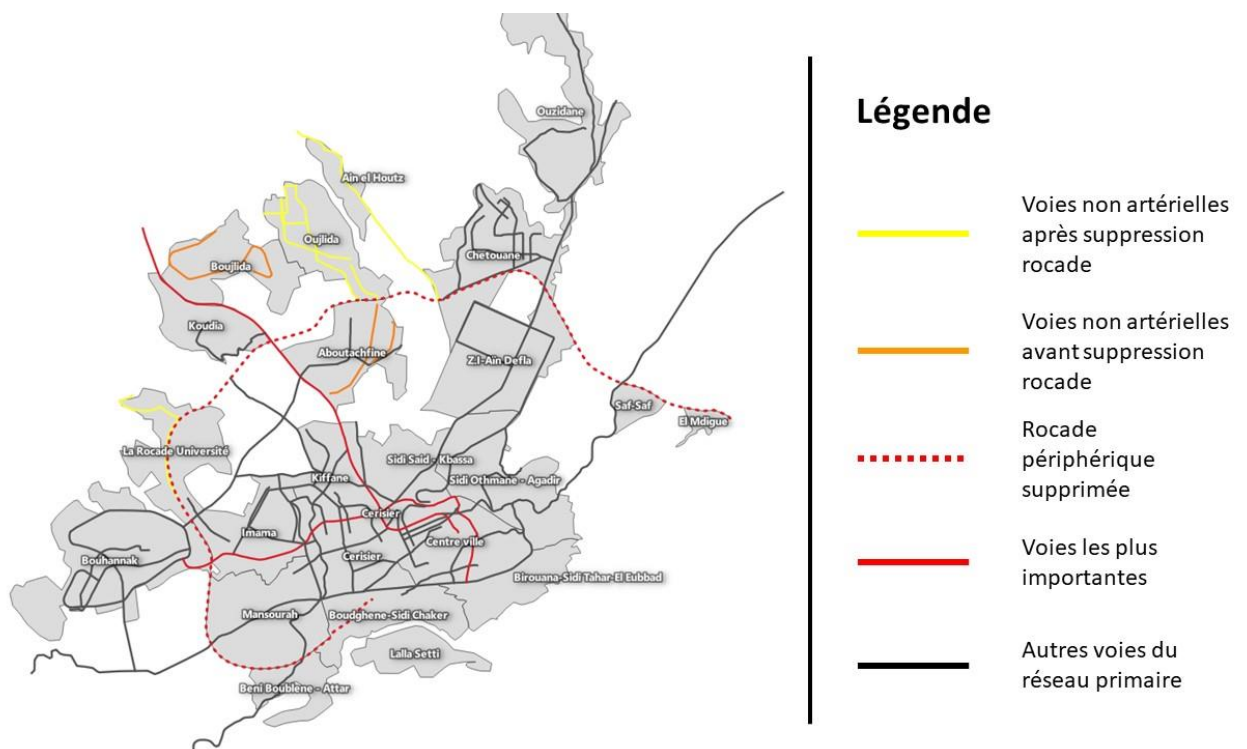


Figure 49 : Le réseau primaire de Tlemcen après suppression de la rocade périphérique (en pointillés).

se produirait jamais dans la réalité. Cependant, il est intéressant d'étudier les conséquences d'un tel bouleversement, surtout de voir si l'agglomération fonctionnerait toujours et si elle pourrait s'adapter en conséquence. Le choix d'étudier uniquement le réseau primaire est conditionné par la volonté de prendre en compte uniquement les flux principaux qui circulent au sein de l'agglomération. Ainsi, la condition d'artérialité pourrait très bien être vérifiée sur d'autres voies d'un niveau hiérarchique inférieur, c'est-à-dire que certaines voies du réseau primaire seraient reliées par des voies du niveau secondaire.

4.3.3 Etude du scénario de disparition de la Rocade :

Sur la figure 49 est représenté le réseau primaire. En rouge, sont représentées les voies qui ne respectent plus la condition d'artérialité après suppression de la rocade. Ce sont justement ces voies auxquelles nous allons nous intéresser, puisqu'elles sont intégralement dépendantes de la rocade périphérique et n'offrent aucun autre chemin alternatif sur le réseau primaire.

Le premier fragment isolé est « La Rocade Université ». Il est coupé en deux par la rocade périphérique en deux parties. La partie Est est occupée par le pôle universitaire éponyme. La partie Ouest est occupée quant à elle par des logements universitaires et de grands ensembles de bâtiments collectifs. Cette partie Ouest peut être reliée à partir d'autres voies du réseau primaire. En revanche, la partie Est s'isole complètement sans la rocade périphérique.

Le second fragment isolé est « Oujlida ». Aucune de ses voies principales n'est reliée au réseau primaire autrement que par la rocade périphérique. Cela pose d'ailleurs des problèmes assez conséquents à l'entrée de ce fragment aux heures de pointes, où il n'est pas rare de devoir patienter jusqu'à 20 minutes pour entrer ou sortir. L'entrée du fragment est d'autant plus sous pression qu'elle constitue aussi un passage principal vers les fragments plus à l'Est, ainsi qu'un débouché du fragment Abou-Tachfine vers Oujlida. Depuis 2022, devant l'anarchie constatée dans cette zone, a été mis en place un feu rouge, qui n'a fait qu'accentuer la congestion. D'autant plus que le fragment « Oujlida », contrairement au précédent, est densément peuplé. Il n'existe pas de statistiques démographiques à jour. Cependant, un coup d'œil à une vue satellite de ce fragment permet de se rendre compte de l'importance de la population y habitant. Il existe une voie de sortie périphérique au fragment, qui passe par le fragment voisin de Boujlida, qui lui-même ne respecte pas de condition d'artérialité. Le cas d'Oujlida est particulièrement symptomatique de cette fragilité induite par la rocade périphérique. Sa simple disparition déconnecte complètement ce fragment de l'ensemble de l'agglomération du tout,

sans pour autant offrir d'alternative. Dans la réalité, cela se traduit par une pression excessive sur la seule entrée/sortie du fragment, en raison de l'absence de chemins alternatifs.

Le troisième fragment isolé à la suite de la disparition de la rocade périphérique est Ain el Houtz. La petite taille de ce fragment justifie en partie qu'il n'existe pas de nombreuses autres dessertes alternatives appartenant au réseau primaire. En revanche, il existe une voie appartenant au réseau secondaire qui relie Oujlida à Ain el Houtz. La déconnexion de ce fragment du réseau primaire n'est pas critique à l'échelle de l'agglomération.

In fine, si la rocade périphérique venait à disparaître, des zones périphériques importantes seraient complètement coupées de l'agglomération principale. L'effet sur la partie centrale ne serait pas aussi important que sur la périphérie. Le principal fragment impacté serait Oujlida. Le réseau primaire évoluerait alors probablement en connectant les voies d'Abou Tachfine à ceux d'Oujlida. Il existe d'ailleurs déjà une voie qui relie les deux fragments, mais elle n'appartient pas au réseau primaire.

L'analyse intraurbaine de l'agglomération de Tlemcen donne un portrait assez différent de la première analyse globale de cohérence urbaine morphologique. Premièrement, elle permet de mettre en évidence une disparité très marquée entre centre, bien structuré et présentant une riche interconnexion entre les voies du réseau primaire, et périphérie, disposant d'assez peu de voies du réseau primaire et organisé d'une manière arborescente. Deuxièmement, elle permet d'identifier la rocade périphérique, l'une des voies les plus importantes comme un élément majeur de fragilité du réseau, en raison des liaisons uniques vers plusieurs fragments périphériques qu'elle supporte. La bonne cohérence urbaine morphologique est donc nuancée par ces deux éléments.

Conclusion du chapitre huit

Ce dernier chapitre se présente comme une discussion des résultats obtenus après application du protocole d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique. Dans un premier temps, nous traitons de la comparaison entre cinq villes algériennes sur la base de la cohérence urbaine morphologique du réseau viaire, articulée autour de trois aspects : la distribution selon une loi de puissance inverse, la connectivité du réseau primaire et l'artérialité du réseau viaire. Toutes les villes étudiées présentent une certaine fractalité dans leur réseau de rues, bien que toutes ne suivent pas une distribution en loi de puissance. Elles montrent également une forte tendance à l'artérialité. Sur cette base, on peut conclure que toutes les villes étudiées, malgré de légères

variations dans leur structuration interne, manifestent un ordre similaire caractéristique des systèmes complexes auto-organisés. Chacune de ces villes peut être considérée comme ayant une certaine cohérence urbaine interne d'un point de vue morphologique. Par conséquent, l'approche comparative choisie ici semble plus pertinente pour évaluer la cohérence urbaine. Les résultats semblent également montrer une certaine régularité à travers les différents indicateurs pour une même ville. Par exemple, Bejaia est la ville avec le réseau viaire le moins connecté, le réseau artériel le moins développé, et ne correspond pas à une distribution en loi de puissance inverse. Cette régularité pourrait également souligner la pertinence des indicateurs choisis pour évaluer la cohérence urbaine morphologique. Cette étude exploratoire constitue une étape supplémentaire dans la compréhension de la notion de cohérence urbaine et la confirmation de son lien avec la fractalité et l'artérialité du réseau de rues. Elle peut servir de base pour des recherches plus approfondies sur le concept, notamment à travers un échantillon plus large de villes, permettant de soutenir ou de réfuter les conclusions proposées ici.

Dans un second temps, nous confrontons les résultats obtenus pour l'évaluation de la cohérence urbaine pour Tlemcen à d'autres résultats similaires sur des villes à l'international et de tailles différentes. Il ressort de cet élargissement deux éléments majeurs. Premièrement, la taille de la ville a une influence sur la distribution en puissance inverse. Plus une ville a un réseau viaire étendu, moins elle aura tendance à suivre une distribution en loi de puissance. Deuxièmement, l'insuffisance de la seule distribution des voies selon une loi de puissance est constatée pour donner un verdict sur la cohérence urbaine, ce qui conforte le choix des deux autres indicateurs concernant l'artérialité et la connectivité du réseau primaire.

Enfin, dans un troisième temps, nous nous intéressons plus spécifiquement à l'agglomération de Tlemcen qui est le cas d'étude principal. Une analyse à l'échelle intraurbaine est menée, ce qui conduit à nuancer le résultat de cohérence urbaine obtenu à l'échelle globale. Cette évaluation globale peut être vue comme une moyenne de la cohérence urbaine, passant sous-silence les disparités internes. Suite à cette analyse complémentaire, sont identifiés des déséquilibres entre centre et périphérie, ainsi qu'un élément de fragilité au niveau de la rocade périphérique. Le motif d'interconnexion des voies du réseau primaire est très différent en fonction de la localisation. Au centre, les interconnexions sont nombreuses et assimilées à un semi-treillis, alors qu'en périphérie les interconnexions sont considérablement plus faibles et conditionnées par une hiérarchie rigide arborescente. La rocade périphérique est identifiée comme un élément fragile du réseau en raison de la forte dépendance qu'elle induit, notamment au niveau de certains fragments périphériques qui n'ont pas d'autres accès depuis le réseau primaire que par cette voie. Comme tout indicateur qui traduit une réalité complexe, la

cohérence urbaine morphologique peut varier selon l'échelle d'étude. Ainsi, nous obtenons un constat différent entre l'échelle globale et l'échelle intra-urbaine. Cependant, nous souhaitons ajouter qu'il est primordial d'avoir une lecture cartographique complémentaire à la seule analyse statistique globale, telle que présentée dans la première partie du chapitre. Il est alors possible d'établir des observations à la lumière de cette première analyse et de comprendre au mieux le fonctionnement d'une agglomération, notamment à travers l'identification de déséquilibres de structuration ou d'éléments de fragilité.

Conclusion de la troisième partie

Tout au long de cette partie, nous avons construit un cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique. Dans un premier temps, nous abordons les réseaux complexes, ainsi que certaines notions primordiales telles que la distribution des éléments selon une loi de puissance, ou encore l'artérialité. Nous proposons alors un protocole méthodologique d'évaluation basé sur trois aspects : la distribution selon une loi de puissance, la connectivité du réseau primaire et l'artérialité du réseau viaire. Nous appliquons ensuite ce protocole sur cinq villes algériennes. Il apparaît alors que les résultats vont dans le sens d'une cohérence urbaine morphologique pour la plupart des villes choisies. Les trois aspects suivant lesquels la cohérence urbaine est évaluée montrent une corrélation positive entre eux au sein d'une même ville. Cet argument semble aller dans le sens d'une pertinence des indicateurs choisis. La ville de Tlemcen quant à elle, si elle affiche une bonne cohérence morphologique à l'échelle globale, semble être caractérisé par des déséquilibres intraurbains qui viennent nuancer ce résultat.

Enfin, nous souhaitons conclure cette dernière partie par un retour sur les sciences de la complexité. Nous avons introduit l'étude des systèmes complexes à la fin de la deuxième partie de cette thèse, à la fois comme une réponse originale à la complexité intrinsèque de la ville elle-même mais aussi comme un choix pertinent pour l'étude de la cohérence urbaine morphologique, où l'idée de systèmes imbriqués était très présente. Après la mise en place de tout un protocole d'étude fondé sur les sciences de la complexité, nous ne pouvons que constater la fertilité de ce choix en ce qui concerne l'étude de la cohérence urbaine. Nous avons pu obtenir des résultats concrets nous informant sur la structuration interne profonde d'une ville, à partir de notions issues des sciences de la complexité comme l'ordre hiérarchique, la distribution en puissance ou encore les propriétés émergentes des réseaux complexes. Aussi, cet angle d'attaque par les sciences de la complexité permet de donner un regard nouveau sur les villes

algériennes, qui sont considérées alors comme des systèmes ouverts auto-organisées, dans lesquelles la non-planification n'est pas diabolisée, mais plutôt vue comme un processus d'évolution naturelle. Au-delà du choix des sciences de la complexité, devant les résultats obtenus au cours de notre étude, et au vu de la manière dont elle est abordée dans la littérature, il semble qu'une notion telle que la cohérence urbaine est difficilement compréhensible autrement que via les sciences de la complexité.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Après tout ce qui a été dit dans cette thèse sur la cohérence urbaine, nous en sommes arrivés au moment des bilans. Nous commençons tout d'abord par reprendre dans les grandes lignes l'ensemble de notre recherche.

Nous avons commencé par prendre acte d'un constat sur les villes contemporaines, celui de la discontinuité spatiale. Ce constat, d'abord établi pour les villes algériennes et confirmé pour Tlemcen, est élargi à l'ensemble des villes contemporaines. La discontinuité spatiale est principalement une conséquence de l'étalement urbain. Cette forme de croissance urbaine, observée dans la majorité des villes contemporaines pose un certain nombre d'effets négatifs, notamment le fait d'être non durable et dispendieuse en raison d'un allongement considérable du besoin de déplacement. Il existe autour de la question de cette forme d'urbanisation contemporaine tout un débat dans la littérature que nous avons retranscrit. D'une part, certains auteurs affirment une « mort de la ville et un règne de l'urbain », prônant la disparition de l'objet ville et son remplacement par un amas diffus et indifférencié. Ces derniers défendent l'idée de la ville compacte comme étant une solution pour contrer l'étalement urbain. D'une autre part, d'autres auteurs défendent à l'opposé l'idée d'une recomposition urbaine, ainsi que la nécessité de considérer d'autres visions pour mieux comprendre les formes urbaines contemporaines. En parallèle de ce débat se développe aussi en filigrane la recherche de formes urbaines plus durables et vertueuses pouvant atténuer les effets négatifs de l'étalement urbain. A la suite de notre état de fait des villes contemporaines, nous identifions l'enjeu d'une compréhension renouvelée des formes urbaines actuelles ainsi que l'enjeu de formes urbaines plus durables.

A ces enjeux nous répondons par la notion de cohérence urbaine. Un regain d'intérêt pour ce champ de recherches se manifeste ces dernières années, notamment à travers l'adoption d'outils d'urbanisme de « cohérence », mais aussi dans la recherche en urbanisme. En outre la notion apparaît à travers des expériences comme « la ville cohérente » mais aussi dans les théories d'auteurs adeptes de l'approche holistique et culturaliste, comme Alexander et Salingaros. La cohérence urbaine apparaît alors comme un état idéal de fonctionnement d'une ville. Après étude de la littérature, nous avons identifiés deux aspects de la cohérence urbaine. La cohérence urbaine fonctionnelle, qui s'articule sur l'enjeu de proximité, se définit selon un objectif de rapprochement des lieux de travail et d'emploi. La cohérence urbaine morphologique quant à elle s'articule autour de l'enjeu de consistance, se définit selon un objectif de bonne

structuration morphologique et de perméabilité aux flux de déplacements. Nous rappelons que l'un des objectifs principaux de la thèse est de proposer un moyen d'évaluer la cohérence urbaine à l'échelle de l'agglomération. En raison du manque identifié au niveau des indicateurs de cohérence urbaine morphologique mais aussi en raison de la faisabilité sur les villes algériennes qui ne disposent pas des données suffisantes à l'étude de la cohérence urbaine fonctionnelle, nous faisons le choix de continuer d'explorer le second aspect morphologique. Nous introduisons alors les sciences de la complexité qui constituent l'arrière-plan théorique et épistémologique sur lequel est fondée la cohérence urbaine morphologique, dans la continuité des idées des approches holistiques et culturalistes de Jacobs (1961) et d'Alexander (2004). La ville se définit alors comme un système complexe. Des notions primordiales comme le fonctionnement des ensembles et des parties, la notion de hiérarchie ou encore l'approche configurationnelle sont abordés.

A la suite de l'exploration des sciences de la complexité, nous émettons alors deux postulats de départ qui guident alors la construction d'un cadre d'analyse et d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique. Le premier postulat pose le réseau viaire comme un élément pertinent pour l'évaluation de la cohérence urbaine. De là découle une analyse approfondie des modèles de réseau viaire ainsi qu'une introduction à la science des réseaux complexes. Le second postulat préconise une approche normative, c'est-à-dire qu'il doit exister une série de règles et de normes en fonction desquelles une ville est désignée comme cohérente ou non. S'y ajoute également une approche comparative, qui pose la nécessité de confronter plusieurs cas d'étude. Ce second point débouche sur un ensemble de propriétés désirables du réseau viaire, mais qui sont aussi par extension des critères d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique. Le réseau viaire doit répondre à trois critères. Premièrement, il doit être fractal et présenter une distribution proche d'une loi de puissance. Deuxièmement, il doit être artériel. Un tel réseau se caractérise par une continuité des voies les plus importantes qui forment alors un squelette structurant une agglomération et permettant une circulation efficace entre les différentes parties d'une ville. Troisièmement, le réseau viaire doit être connectif à toutes les échelles. Le réseau primaire formé par les voies les plus importantes doit donc présenter des schémas de connexion similaires, si ce n'est supérieurement connectés, à l'ensemble du réseau.

Nous développons alors un protocole méthodologique basé sur les trois propriétés désirables du réseau viaire. Il s'applique sur cinq villes algériennes de taille moyenne : Tlemcen, Sidi Bel Abbes, Setif, Bejaia et Batna. Après extraction des segments de voie depuis Open Street Map et préparation du modèle de réseau viaire selon l'algorithme des « natural streets », une série d'analyses statistiques. La première consiste à vérifier la correspondance des voies, classées

selon leur connectivité, à une loi de puissance inverse. La seconde consiste à classer les voies selon leur niveau de hiérarchie, à l'aide de la méthode des head-tail breaks, spécifiquement pensée pour les données suivant une loi de puissance. L'ensemble du réseau est caractérisé par un index ht , qui indique le nombre de classes hiérarchiques imbriquées des voies. La classification des voies permet alors d'identifier le réseau primaire. Une série d'indicateurs de connectivité est alors calculée pour ce dernier. L'artérialité est ensuite mesurée pour chacune des classes hiérarchiques, à partir de superpositions séquentielles décroissantes. A l'issue de cette étape, un index d'artérialité est calculé pour l'ensemble du réseau. L'ensemble des résultats obtenus à partir de ces trois indicateurs permet alors de se prononcer sur la cohérence urbaine morphologique de chacune des villes choisies. Un score de cohérence urbaine est attribué à chacune. Un bon score se caractérise par la correspondance à une loi de puissance, une bonne connectivité du réseau primaire par rapport à l'ensemble du réseau ainsi qu'un bon index d'artérialité.

Une certaine cohérence urbaine pour les villes algériennes

Toutes les villes étudiées montrent une certaine fractalité dans leur réseau de rues, même si elles ne suivent pas toutes une distribution en loi de puissance, ainsi qu'une forte tendance à l'artérialité. Sur cette base, il est possible de conclure que toutes les villes étudiées, bien qu'elles présentent de légères variations dans leur structure interne, affichent néanmoins un ordre similaire, caractéristique des systèmes complexes auto-organisés. Chaque ville peut être considérée comme ayant une certaine cohérence urbaine interne d'un point de vue morphologique. L'un des intérêts majeurs l'approche comparative adoptée est justement cette possibilité de mettre en perspective les résultats obtenus et ainsi de relever une tendance générale. Les résultats semblent également montrer une certaine régularité à travers différents indicateurs pour la même ville. Par exemple, Béjaïa est la ville avec le réseau de rues le moins connecté, le réseau artériel le moins développé, et correspond également le moins à une distribution en loi de puissance. Cette régularité peut également indiquer la pertinence des indicateurs choisis pour évaluer la cohérence urbaine.

Les apports des sciences de la complexité dans l'étude de la cohérence urbaine

Ces conclusions permettent alors de valider la première hypothèse. Les villes algériennes présentent donc bien une certaine cohérence urbaine d'un point de vue morphologique, et ce malgré le constat de discontinuité urbaine. Malgré une partie non négligeable de l'urbanisation non planifiée et non contrôlée pouvant être perçue comme anarchique, il existe tout de même

dans les cinq villes algériennes étudiées un ordre caché ne pouvant être mis en évidence que par une approche basée sur les sciences de la complexité. Cet ordre se manifeste à travers la fractalité, la connectivité et l'artérialité du réseau de rues démontrés dans notre étude. On parle alors de phénomène d'auto-organisation, qui se caractérise par l'émergence de propriétés complexes à partir d'interactions simples entre les éléments du système. En dépit de la volonté de l'humain de vouloir contrôler et de planifier le phénomène urbain, il aura toujours une tendance à lui échapper. Parce que la ville est un système complexe auto organisé, traversé par des flux et échangeant et évoluant en permanence avec son environnement, il y aura toujours l'atteinte d'un certain équilibre à un certain moment. Une ville se développant sur le temps long peut afficher une tendance à l'organicité. Par exemple, les villes planifiées depuis le départ d'un seul trait comme Brasilia sont maintenant des agglomérations beaucoup plus grandes. Après plusieurs décennies de développement et d'extension urbaine, qui initialement n'était pas prévue, la partie centrale dessinée par Costa (Plan Pilote) s'est vue annexée de nouveaux quartiers périphériques à l'allure plus organique qui concentrent maintenant plus de 90% de la population. Cet exemple de Brasilia montre bien l'incapacité de l'homme à lutter contre les forces de l'urbanisation, et ce même sur une ville planifiée ex-nihilo. Cependant, cette conclusion ne doit pas être comprise comme une justification positive du dysfonctionnement et de l'anarchie, mais est plutôt à prendre avec humilité parce qu'elle met en évidence des forces invisibles et incontrôlables par les planificateurs. Avoir conscience de ces forces est nécessaire afin de faire avec plutôt que contre. Typiquement, la compréhension du phénomène d'artérialité ainsi que de l'attachement préférentiel doit par exemple pousser les planificateurs à continuer des voies importantes déjà existantes plutôt que d'en créer de nouvelles dissociées du réseau primaire.

Une cohérence urbaine à l'échelle intraurbaine beaucoup moins évidente pour Tlemcen

Bien que l'hypothèse de départ soit en partie validée par les résultats obtenus, nous souhaitons tout de même apporter une nuance, en particulier pour le cas de Tlemcen. Dans un premier temps, le score de cohérence urbaine morphologique de Tlemcen est bon et la ville est plutôt bien classée par rapport aux autres étudiées. Ce premier résultat va dans le sens d'une cohérence de la ville. En revanche, après avoir procédé à une analyse intraurbaine plus poussée, un déséquilibre entre centre et périphérie ainsi que l'isolement des fragments périphériques est clairement mis en évidence. Ce second constat va en revanche à l'encontre de l'hypothèse de départ. Ainsi la discontinuité spatiale identifiée au premier chapitre est donc indirectement reliée au manque de cohérence urbaine morphologique. En revanche, ce n'est pas l'interruption

du tissu urbain qui crée le déséquilibre, mais plutôt la discontinuité de certaines voies dans le réseau primaire. A ce propos, nous pouvons proposer une série de recommandations générales qui pourraient aller dans le sens d'une amélioration de la cohérence urbaine morphologique de l'agglomération. En premier lieu, l'amélioration de la connexion entre le fragment Oujlida et Abou Tachfine, notamment en prolongeant et en connectant les voies du réseau primaire entre les deux. Cela déchargerait la rocade périphérique, qui est actuellement le seul accès à Oujlida sur le réseau primaire. Une autre recommandation, d'ordre plus général, est de continuer l'urbanisation à partir des voies du réseau primaire déjà existantes. Cette règle de planification accompagnerait alors la tendance naturelle d'artérialité. Ces voies, en raison de leur importance dans la structuration de l'aire urbaine doivent être traitées comme des centralités. La plupart des voies du réseau primaires dans la partie centrale correspondent presque systématiquement à des boulevards importants et animés faisant office de centralité. Cela n'est en revanche pas toujours le cas pour les fragments périphériques. Par exemple, la seule voie du réseau primaire à Boujlida ne correspond pas à un boulevard unique et important, mais plutôt à une voie de desserte périphérique, ce qui peut amener à penser que ce fragment a été planifié d'une manière sérielle en juxtaposant les éléments bâtis sans structuration sous-jacente.

Quelques pistes d'explorations potentielles

Cette étude exploratoire constitue une étape supplémentaire dans la compréhension de la notion de cohérence urbaine et la confirmation de son lien avec la fractalité et l'artérialité du réseau de rues. Elle peut servir de base pour des études plus approfondies sur le concept, notamment à travers un échantillon plus large de villes, permettant de soutenir ou de réfuter les conclusions proposées ici. Cependant, comme toute recherche, notre travail présente quelques limites. La première est peut-être la complexité de la méthode proposée. La méthode d'évaluation de la cohérence urbaine morphologique que nous présentons se base sur de nombreux protocoles différents, s'appuyant sur plus de trois logiciels différents. Il serait intéressant de se pencher sur des moyens d'automatisation de ces protocoles, afin qu'il soit plus aisé d'extraire un score de cohérence urbaine à partir des données du réseau viaire récupérées depuis Open Street Map. Cette facilitation permettrait une meilleure intégration dans les processus de décision ou de diagnostic.

Une autre limite est que l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique proposée ne donne qu'un résultat global à l'échelle d'une agglomération et passe donc sous silence les déséquilibres intra urbains. Cette seule analyse, bien qu'elle donne une idée assez concrète de la cohérence urbaine morphologique, n'est pas suffisante, comme il a été conclu après l'étude

des déséquilibres intra urbains pour Tlemcen. Une autre limite de notre travail est le fait de n'avoir évalué la cohérence urbaine sur la seule base de la morphologie urbaine, à partir du réseau viaire. Bien que nous ayons justifié ce choix par le manque d'indicateurs clairs dans la littérature, la cohérence urbaine est une notion complexe et polysémique. Par conséquent, toute évaluation de la cohérence urbaine, pour être réellement complète devrait se baser à la fois sur l'aspect morphologique et fonctionnel. Comme évoqué dans le chapitre 4, l'aspect fonctionnel se base sur les déplacements quotidiens de navettage domicile-travail à l'échelle d'une agglomération, ainsi que sur la mixité fonctionnelle. Une agglomération dotée d'une bonne cohérence urbaine fonctionnelle aura tendance à minimiser les déplacements contraints grâce à une forme urbaine mixant entre lieux de travail et de résidence. Tout un pan de la littérature s'intéresse à cette question, sous le nom « *d'excess commuting* ». Il serait alors intéressant de confronter cohérence urbaine fonctionnelle et cohérence urbaine morphologique. S'il existait une corrélation significative entre ces deux variables, cela pourrait signifier que ces deux notions sont en effet complémentaires et rendent compte du même phénomène, se manifestant différemment. En d'autres termes, les villes cohérentes minimisent les distances parcourues quotidiennement, à la fois par un rapprochement spatial des lieux de résidence et d'emploi, mais aussi par une forme urbaine plus connective et perméable aux flux. Une telle conclusion aurait des implications importantes et amènerait alors à considérer le processus de planification avec une approche bien plus holistique et globale. L'action de l'urbaniste doit donc s'apparenter à un travail d'orfèvre qui agit avec minutie, qui n'ajoute de nouvelles parties que si ce n'est pour enrichir l'ensemble.

Bibliographie

Bibliographie

- Albert, R., Jeong, H., & Barabási, A.-L. (2000). Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, 406(6794), Article 6794. <https://doi.org/10.1038/35019019>
- Alexander, C. (1968). A city is not a tree. *Ekistics*, 139, 344-348.
- Alexander, C. (2002). *The Nature of Order : An Essay on the Art of Building and the Nature of the Universe, Book 1 - The Phenomenon of Life* (1 edition). Center for Environmental Structure.
- Alexander, C. (2004). *The Phenomenon of Life : The Nature of Order, Book 1* (Routledge).
- Alexander, C., Ishikawa, S., Jacobson, M., & Angel, S. (1977). *A pattern language : Towns, buildings, construction*. Oxford university press.
- Amar, G. (2010). *Homo mobilis : Le nouvel âge de la mobilité : Éloge de la reliance*. FYP éditions.
- Arlaud, S., Jean, Y., & Royoux, D. (2005). Rural-Urbain. Nouveaux liens, nouvelles frontières. *Rennes: Presses Universitaires de Rennes*.
- Arnold, H. F. (1980). Trees in urban design. *Trees in urban design*.
- Arrouf, A., Kacha, L., & Mansouri, A. (2015). Mesures fractales de l'identité morphique pour des tissus urbains dans la ville algérienne de Batna. *Cybergeo: European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27331>
- Ascher, F. (1995). *Métapolis : Ou l'avenir des villes*. Odile Jacob.
- Banister, D. (2008). The sustainable mobility paradigm. *Transport Policy*, 15(2), 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2007.10.005>
- Barabási, A.-L., & Albert, R. (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286(5439), 509-512. <https://doi.org/10.1126/science.286.5439.509>
- Bar-Ilan, A., & Strange, W. C. (1996). Urban development with lags. *Journal of Urban Economics*, 39(1), 87-113.
- Batty, M. (2013). *The new science of cities*. MIT press.
- Baudelle, G. (2014). *La ville lente à grande vitesse : Les politiques en faveur du vélo aux Pays-Bas*.
- Bauer, G. (1934-2013) A. du texte, & Roux, J.-M. (1941-) A. du texte. (1976). *La rurbanisation ou La ville éparpillée / Gérard Bauer, Jean-Michel Roux*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k4813790r>
- Belguidoum, S. (2008). *La ville en question—Analyse des dynamiques urbaines en Algérie*. 1. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00380510/document>
- Belguidoum, S. (2018). Transition urbaine et nouvelles urbanités : La ville algérienne dans tous ses états. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/332407325_Transition_urbaine_et_nouvelles_urbanites_la_ville_algerienne_dans_tous_ses_etats
- Belguidoum, S., & Mouaziz, N. (2010). L'urbain informel et les paradoxes de la ville algérienne : Politiques urbaines et légitimité sociale. *Espaces et sociétés*, n° 143(3), 101-116.
- Bendjelid, A. (1998). La fragmentation de l'espace urbain d'Oran (Algérie). Mécanismes, acteurs et aménagement urbain. *Insaniyat Revue algérienne d'anthropologie et de sciences sociales*, 5, Article 5.

- Bendjelid, A., & Hafiane, A. (2010). De la fragmentation physique actuelle et passée à la tentative de défragmentation spatiale dans les grandes villes d'Algérie. *Les ouvrages du CRASC*, 39-68.
- Bento, A., Cropper, M., Mobarak, A., & Vinha, K. (2003). *The impact of urban spatial structure on travel demand in the United States*. The World Bank.
- Berque, A. (2015). Mythologie de l'urbain diffus. *Annales de Géographie*, 704(4), 351-365.
- Bhatia, R. (2004). Land use : A key to livable transportation'the 40th International Making Cities Livable conference. *London, UK*.
- Bieber, A., Massot, M.-H., & Orfeuill, J.-P. (1993). *Questions vives pour une prospective de la mobilité quotidienne*.
- Boarnet, M. G., Greenwald, M., & McMillan, T. E. (2008). Walking, urban design, and health : Toward a cost-benefit analysis framework. *Journal of Planning Education and Research*, 27(3), 341-358.
- Boarnet, M. G., Joh, K., Siembab, W., Fulton, W., & Nguyen, M. T. (2011). Retrofitting the suburbs to increase walking : Evidence from a land-use-travel study. *Urban studies*, 48(1), 129-159.
- Boarnet, M. G., Nesamani, K., & Smith, S. (2003). *Comparing the Influence of Land Use on Nonwork Trip Generation and Vehicle Distance Traveled : An Analysis using Travel Diary Data*.
- Bocquet, D. (2013). Chapitre X. Lecture institutionnelle de l'urbanisme et interprétation spatiale du gouvernement urbain : La planification urbaine à Rome. In *Rome, ville technique (1870-1925) : Une modernisation conflictuelle de l'espace urbain* (p. 339-359). Publications de l'École française de Rome. <https://doi.org/10.4000/books.efr.1508>
- Boer, R., Zheng, Y., Overton, A., Ridgeway, G. K., & Cohen, D. A. (2007). Neighborhood design and walking trips in ten US metropolitan areas. *American journal of preventive medicine*, 32(4), 298-304.
- Boubakour, F., & Merazga, A. (2006). Planification du transport urbain et développement durable—Quelques reflexions a propos de la ville de Batna (Algerie). *Transports*, 437, 175-181.
- Bouchama, O. (2017). *Les enjeux de la cohérence urbaine dans la ville de Bejaia* [Faculté des Sciences de la Terre, de Géographie et de l'Aménagement du territoire]. <https://www.ccdz.cerist.dz/admin/notice.php?id=00000000000000840670000104>
- Bouha, I. (2012). *La ville de Batna, à la recherche d'un schéma de cohérence urbaine* [Mémoire Magister]. Université de Biskra.
- Boukelouha, R., & Labii, B. (2014). *Pour un projet urbain stratégique à Mila, la cohérence urbaine et la question foncière....* <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/1742>
- Boumedine, R. S. (2008). L'urbanisme : Une prédation méthodique. *NAQD*, 1, 109-133.
- Brehehy, M. (1995). The compact city and transport energy consumption. *Transactions of the institute of British Geographers*, 81-101.
- Brenner, N., & Schmid, C. (2014). The 'Urban Age' in Question. *International Journal of Urban and Regional Research*, 38(3), 731-755. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12115>

- Breteau, P. (2016). A Paris, la moitié de l'espace public est réservée à l'automobile. *Le Monde*, 30(11).
- Bruxelles Environnement. (2015). *La mobilité à Bruxelles – Chiffres*.
- Caliskan, O., & Mashhodi, B. (2017). Urban coherence : A morphological definition. *Urban Morphology*, 21(2), 123-141.
- Camagni, R., & Gibelli, M. C. (1997). *Développement urbain durable : Quatre métropoles européennes à l'épreuve*. Editions de l'Aube.
- Camagni, R., Gibelli, M. C., & Rigamonti, P. (2002). Urban mobility and urban form : The social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological Economics*, 40(2), 199-216. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(01\)00254-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(01)00254-3)
- Cambien, A. (2008). *Une introduction à l'approche systémique : Appréhender la complexité* [PhD Thesis]. Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les
- Carrion-Flores, C., & Irwin, E. (2004). Determinants of Residential Land-Use Conversion and Sprawl at the Rural-Urban Fringe. *American Journal of Agricultural Economics*, 86(4), 889-904.
- Casali, Y., & Heinemann, H. R. (2019). A topological analysis of growth in the Zurich road network. *Computers, Environment and Urban Systems*, 75, 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2019.01.010>
- Cervero, R., & Duncan, M. (2006). 'Which Reduces Vehicle Travel More : Jobs-Housing Balance or Retail-Housing Mixing? *Journal of the American planning association*, 72(4), 475-490.
- Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds : Density, diversity, and design. *Transportation research. Part D, Transport and environment*, 2(3), 199-219.
- Charmes, É. (2011). *La ville émietlée : Essai sur la clubbisation de la vie urbaine*. Presses universitaires de France.
- Charron, M. (2007). *La relation entre la forme urbaine et la distance de navettage : Les apports du concept de « possibilité de navettage »*. http://espace.inrs.ca/54/1/Charron_Mathieu_PhD_2007.pdf
- Chatman, D. G. (2008). Deconstructing development density : Quality, quantity and price effects on household non-work travel. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 42(7), 1008-1030.
- Choay, F. (1994). Le Règne de l'urbain et la mort de la ville. *Editions du Centre Pompidou*, 26-35.
- Choay, F., & Merlin, P. (2010). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement* (3^e éd.). Presses Universitaires de France - PUF.
- Chorfi, K. (2019). *Le fait urbain en Algérie, de l'urbanisme d'extension à l'urbanisme de maîtrise. L'urbanisme en discussion. Cas de Sétif -Algérie-1962-2014*. Université de Setif.
- Christaller, W. (1980). *Die zentralen Orte in Süddeutschland : Eine ökonomisch-geographische Untersuchung über die Gesetzmässigkeit der Verbreitung und Entwicklung der Siedlungen mit städtischen Funktionen*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Clauset, A., Shalizi, C. R., & Newman, M. E. J. (2009). Power-Law Distributions in Empirical Data. *SIAM Review*, 51(4), 661-703. <https://doi.org/10.1137/070710111>

- Clawson, M. (1962). Urban sprawl and speculation in suburban land. *Land economics*, 38(2), 99-111.
- Clément, P., & Guth, S. (1995). De la densité qui tue à la densité qui paye. La densité urbaine comme règle et médiateur entre politique et projet. *Les Annales de la recherche urbaine*, 67(1), 72-83.
- COHÉRENCE : Définition de COHÉRENCE. (s. d.). Consulté 30 novembre 2019, à l'adresse <https://www.cnrtl.fr/definition/coh%C3%A9rence>
- Corboz, A. (1992). *L'urbanisme du XXe siècle : Esquisse d'un profil*. 24, 55.
- Da Cunha, & Von Ungern-Sternberg. (2003). *Forum environnement : « développement durable »*. Impacts de l'étalement urbain.
- Danielsen, K. A., Lang, R. E., & Fulton, W. (1999). *Retracting suburbia : Smart growth and the future of housing*.
- Daoud, A. (2015). *Le foncier urbain un enjeu stratégique pour la cohérence urbaine. Approche par la géomatique—Cas de la ville de Batna* [Magister, Université de Batna 2]. <http://eprints.univ-batna2.dz/569/>
- Dark, S. J., & Bram, D. (2007). The modifiable areal unit problem (MAUP) in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 31(5), 471-479.
- Dauphiné, A. (2003). *Les théories de la complexité chez les géographes*. Anthropos.
- de Portzamparc, C., & Véron, N. (1996). Entretiens sur l'urbanisme (II). *Commentaire*, 19(4), 905-910.
- de Rijke, C. A., Macassa, G., Sandberg, M., & Jiang, B. (2020). Living Structure as an Empirical Measurement of City Morphology. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/ijgi9110677>
- Derycke, P.-H., & Huriot, J.-M. (1996). Microéconomie et espace : Quelle intégration? *Revue économique*, 47(2), 187-192. <https://doi.org/10.2307/3502312>
- Desjardins, X., & Leroux, B. (2007). Les schémas de cohérence territoriale : Des recettes du développement durable au bricolage territorial. *Flux*, 3, 6-20.
- Discontinuités—Géoconfluences*. (2021). [Terme]. <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/discontinuites>
- Djebbar, K. (2021a). *Evolution de l'espace public dans le lotissement, la structure urbaine et la mobilité*. Tlemcen.
- Djebbar, K. (2021b). *Evolution de l'espace public dans le lotissement, la structure urbaine et la mobilité*. Tlemcen.
- Djermoune, N. (2014). Dysfonctionnement et défaillance des instruments d'urbanisme en Algérie [Billet]. *Le carnet de l'IRMC*. <https://irmc.hypotheses.org/1421>
- Dubois-Taine, G., & Chalas, Y. (1997). *La ville émergente*. Editions de l'Aube.
- Dupuy, G. (1999). *La dépendance automobile : Symptômes, analyses, diagnostic, traitements*. Anthropos.
- Duquette, P. (2004). Piétons et vélos auront plus de place dans le nouvel urbanisme gatinois. *Le Droit, mercredi*, 11, 4.
- Emelianoff, C. (1999). La ville durable, un modèle émergent : Géoscopie du réseau européen des villes durables (Porto, Strasbourg, Gdansk) [Thesis, Orléans]. In <Http://www.theses.fr>. <http://www.theses.fr/1999ORLE1031>

- Enault, C. (2004). La dilution : Note méthodologique pour l'analyse de l'étalement urbain. *LEspace géographique*, 33(3), 241-255.
- Ewing, Greenwald, M., Zhang, M., Walters, J., Feldman, M., Cervero, R., & Thomas, J. (2009). Measuring the impact of urban form and transit access on mixed use site trip generation rates—Portland pilot study. *US Environmental Protection Agency, Washington, DC*.
- Ewing, R. (1997). Is Los Angeles-Style Sprawl Desirable? *Journal of the American Planning Association*, 63(1), 107-126. <https://doi.org/10.1080/01944369708975728>
- Ewing, R., & Cervero, R. (2001). Travel and the built environment: A synthesis. *Transportation research record*, 1780(1), 87-114.
- Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment : A Meta-Analysis. *Journal of the American Planning Association*, 76(3), 265-294. <https://doi.org/10.1080/01944361003766766>
- Ewing, R., & Clemente, O. (2013). *Measuring Urban Design : Metrics for Livable Places* (2nd edition). Island Press.
- Fekih, K. (2015). *Ville et Transport Comment la mobilité a généré les dynamiques urbaines Cas de la ville de Tlemcen* [Mémoire Magister]. Université de Tlemcen.
- Forrester, J. W. (1970). Urban dynamics. *IMR; Industrial Management Review (pre-1986)*, 11(3), 67.
- Freeman, L. C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 35-41.
- Fulton, W. (1996). The new urbanism. *Cambridge, Lincoln Institute of Land Policy*.
- Fusco, G. (2018). *Ville, complexité, incertitude. Enjeux de connaissance pour le géographe et l'urbaniste*. [Habilitation à diriger des recherches, Université Côte d'Azur]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01968002>
- Gao, S., Wang, Y., Gao, Y., & Liu, Y. (2013). Understanding Urban Traffic-Flow Characteristics : A Rethinking of Betweenness Centrality. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(1), 135-153. <https://doi.org/10.1068/b38141>
- Geller, A. L. (2003). Smart Growth : A Prescription for Livable Cities. *American Journal of Public Health*, 93(9), 1410-1415. <https://doi.org/10.2105/AJPH.93.9.1410>
- Gini, C. (1912). Variabilità e mutabilità. *Reprinted in Memorie di metodologica statistica (Ed. Pizetti E)*.
- Giovannoni, G. (1998). *L'urbanisme face aux villes anciennes -*. Seuil.
- Goze, M. (2002). La stratégie territoriale de la loi S.R.U. *Revue d'Economie Regionale Urbaine*, décembre(5), 761-776.
- Greenwald, M. (2009). SACSIM modeling-elasticity results : Draft. *Fehr and Peers Associates*.
- Grosjean, B. (2007). *La "ville diffuse" à l'épreuve de l'Histoire : Urbanisme et urbanisation dans le Brabant belge* [Theses, Université de Paris-VIII, Institut Français d'Urbanisme ; Université catholique de Louvain-la-Neuve, Faculté des Sciences Appliquées]. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01523770>
- Hack, G., & Fishman, R. (2012). *Planning Ideas That Matter : Livability, Territoriality, Governance, and Reflective Practice*. MIT Press.
- Hall, E. T. (1966). *La dimension cachée*. Editions du seuil.
- Hamilton, B. W., & Röell, A. (1982). Wasteful commuting. *Journal of political economy*, 90(5), 1035-1053.

- Hamman, P. (2014). Repenser la ville à l'heure des injonctions au développement durable. *Questions de communication*, 25, 81-101.
- Hamzaoui, I. (2014). *La ville entre les logiques d'évolution historique et les facteurs d'apparition des formes d'urbanisation contemporaine. Vers un développement urbain durable de la ville de Tlemcen* [Mémoire Magister]. Université de Tlemcen.
- Hayek, F. A. (1978). *New studies in philosophy, politics, economics, and the history of ideas*. University of Chicago Press.
- Héran, F. (2011). *La ville morcelée : Effets de coupure en milieu urbain*. Economica.
- Héran, F. (2015). Pourquoi tant de cyclistes aux Pays-Bas ? *Transports urbains*, N° 126(1), 10-15.
- Hillier, B. (1999). 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*, 26(2), 169-191. <https://doi.org/10.1068/b4125>
- Hillier, B. (2007). *Space is the machine : A configurational theory of architecture*. Space Syntax.
- Hillier, B., & Hanson, J. (1989). *The social logic of space*. Cambridge university press.
- Hillier, B., Penn, A., Hanson, J., Grajewski, T., & Xu, J. (1993). Natural Movement : Or, Configuration and Attraction in Urban Pedestrian Movement. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 20(1), 29-66. <https://doi.org/10.1068/b200029>
- Horner, M. W. (2002). Extensions to the concept of excess commuting. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 34(3), 543-566.
- Indovina, F. (1999). La città diffusa : Cos' è e come si governa. *Territorio. Innovazione. Economia. Pianificazione. Politiche, Venezia: DAEST, Collana Convegni*, 4.
- Inostroza, L., Baur, R., & Csaplovics, E. (2013). Urban sprawl and fragmentation in Latin America : A dynamic quantification and characterization of spatial patterns. *Journal of Environmental Management*, 115, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.11.007>
- Isard, W. (1956). *Location and space-economy*.
- Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*.
- Janssen, M. A., Schoon, M. L., Ke, W., & Börner, K. (2006). Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Global environmental change*, 16(3), 240-252.
- Jiang, B. (2007). A topological pattern of urban street networks : Universality and peculiarity. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 384(2), 647-655. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2007.05.064>
- Jiang, B. (2009). Street hierarchies : A minority of streets account for a majority of traffic flow. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(8), 1033-1048.
- Jiang, B. (2013). Head/Tail Breaks : A New Classification Scheme for Data with a Heavy-Tailed Distribution. *The Professional Geographer*, 65(3), 482-494. <https://doi.org/10.1080/00330124.2012.700499>
- Jiang, B. (2015a). *Axwoman 6.3 : An ArcGIS extension for urban morphological analysis*, [Logiciel]. <http://giscience.hig.se/binjiang/Axwoman/>

- Jiang, B. (2015b). Wholeness as a hierarchical graph to capture the nature of space. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(9), 1632-1648. <https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1038542>
- Jiang, B., & Claramunt, C. (2004). Topological Analysis of Urban Street Networks. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(1), 151-162. <https://doi.org/10.1068/b306>
- Jiang, B., Duan, Y., Lu, F., Yang, T., & Zhao, J. (2014). Topological Structure of Urban Street Networks from the Perspective of Degree Correlations. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 41(5), 813-828. <https://doi.org/10.1068/b39110>
- Jiang, B., & Huang, J.-T. (2021). A new approach to detecting and designing living structure of urban environments. *Computers, Environment and Urban Systems*, 88, 101646. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2021.101646>
- Jiang, B., & Liu, C. (2009). Street-based topological representations and analyses for predicting traffic flow in GIS. *International Journal of Geographical Information Science*, 23(9), 1119-1137. <https://doi.org/10.1080/13658810701690448>
- Jiang, B., & Ren, Z. (2019). Geographic space as a living structure for predicting human activities using big data. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(4), 764-779. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1427754>
- Jiang, B., & Slocum, T. (2020). A Map Is a Living Structure with the Recurring Notion of Far More Smalls than Larges. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/ijgi9060388>
- Jiang, B., Zhao, S., & Yin, J. (2008). Self-organized Natural Roads for Predicting Traffic Flow : A Sensitivity Study. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(07), P07008. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/07/P07008>
- Kansky, K. J. (1963). *Structure of transportation networks : Relationships between network geometry and regional characteristics* [PhD Thesis]. The University of Chicago.
- Kaplan, R., Kaplan, S., & Brown, T. (1989). Environmental preference : A comparison of four domains of predictors. *Environment and behavior*, 21(5), 509-530.
- Karoui, N. (2016). *L'agglomération de Tlemcen, étalement et recompositions urbaines*. Université D'Oran.
- Korsu, E., Massot, M.-H., & Orfeuil, J.-P. (2012). *La ville cohérente : Penser autrement la proximité*. La Documentation Française.
- Korsu, & Massot. (2004). Mise en cohérence des bassins d'habitat et des bassins d'emploi en Ile-de-France : Les enjeux pour la régulation de l'usage de la voiture. *Colloque ASDRLF*, 1-3.
- Lagesse, C. (2015). *Lire les lignes de la ville : Méthodologie de caractérisation des graphes spatiaux* [PhD Thesis]. Sorbonne Paris Cité.
- Lakjâa, A. (2009). Les périphéries oranaises : Urbanité en émergence et refondation du lien social. *Les Cahiers d'EMAM. Études sur le Monde Arabe et la Méditerranée*, 18, Article 18. <https://doi.org/10.4000/emam.184>
- Lane, D. (2006). Hierarchy, complexity, society. In *Hierarchy in natural and social sciences* (p. 81-119). Springer.

- Laouar, D., Mazouz, S., & Teller, J. (2019). L'accessibilité spatiale comme indice de fragmentation urbaine dans les villes coloniales. Le cas de la ville d'Annaba. *Cybergeog : European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeog.31539>
- Le Corbusier. (1924). *Urbanisme*. Crès.
- Le Corbusier. (1943). *La charte d'Athènes* (Plon). Plon.
- Levy, A. (1999). Les trois âges de l'urbanisme : Contribution au débat sur la troisième ville. *Esprit* (1940-), 46-61.
- Levy, A. (2005). Formes urbaines et significations : Revisiter la morphologie urbaine. *Espaces et sociétés*, no 122(3), 25-48.
- Levy, A. (2009). La «ville durable». Paradoxes et limites d'une doctrine d'urbanisme émergente. *Esprit*, 12, 136-153.
- Levy, J. (1998). Qu'est-ce que la ville aujourd'hui ? Une comparaison internationale. *Cahiers d'études sur la Méditerranée Orientale et le monde turco-iranien (CEMOTI)*, 24, 1997.
- Lévy, J., & Lussault, M. (2003). *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Belin.
- Lund, H. (2003). Testing the claims of new urbanism : Local access, pedestrian travel, and neighboring behaviors. *Journal of the American Planning Association*, 69(4), 414-429.
- Lynch, K. (1964). *The image of the city*. MIT press.
- Lyons, G., & Kenyon, S. (2003). *Social participation, personal travel and internet use*.
- Ma, D., Guo, R., Zheng, Y., Zhao, Z., He, F., & Zhu, W. (2020). Understanding Chinese Urban Form : The Universal Fractal Pattern of Street Networks over 298 Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040192>
- Madani, M. (2002). *Villes algériennes : Entre panne de projet et urbanisme de fait*.
- Mandelbrot, B. B., & Mandelbrot, B. B. (1982). *The fractal geometry of nature* (Vol. 1). WH freeman New York.
- Manson, S. M. (2001). Simplifying complexity : A review of complexity theory. *Geoforum*, 32(3), 405-414.
- Marshall, S. (2005). *Streets and Patterns* (1er édition). Routledge.
- Marshall, S. (2012). Planning, design and the complexity of cities. In *Complexity theories of cities have come of age* (p. 191-205). Springer.
- Marshall, S., Gil, J., Kropf, K., Tomko, M., & Figueiredo, L. (2018). Street Network Studies : From Networks to Models and their Representations. *Networks and Spatial Economics*, 18(3), 735-749. <https://doi.org/10.1007/s11067-018-9427-9>
- Martens, M., & van Griethuysen, S. (1999). The ABC location policy in the Netherlands. 'The right business at the right place'. *INRO-TNO, Delft University, Netherlands*.
- Massot, M.-H., & Orfeuill, J.-P. (2007). La contrainte énergétique doit-elle réguler la ville ou les véhicules ? Mobilités urbaines et réalisme écologique. *Les annales de la recherche urbaine*, 103(1), 18-29.
- May, N., Veltz, P., Landrieu, J., & Spector, T. (1998). *La ville éclatée*. Editions de l'Aube. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00438925>
- Mebirouk, H. (2011). *La ville fragmentée : Acteurs et modalités d'une régulation socio-spatiale. Cas de Annaba*. Annaba.

- Meynier, G. (2014). L'Algérie et les Algériens sous le système colonial. Approche historico-historiographique. *Insaniyat / □□□□□□□□. Revue algérienne d'anthropologie et de sciences sociales*, 65-66, Article 65-66. <https://doi.org/10.4000/insaniyat.14758>
- Mohajeri, N., & Gudmundsson, A. (2014). The Evolution and Complexity of Urban Street Networks. *Geographical Analysis*, 46(4), 345-367. <https://doi.org/10.1111/gean.12061>
- Mongin, O. (1995). *Vers la troisième ville?* Hachette.
- Morin, E. (1994). La complexité humaine, textes rassemblés avec E. Morin et présentés par H. Weinmann, coll. *Champs-L'essentiel*, Paris: Flammarion.
- Morin, E. (2015). *Introduction à la pensée complexe*. Média Diffusion.
- Moriset, B. (2004). Télétravail, travail nomade : Le territoire et les territorialités face aux nouvelles flexibilités spatio-temporelles du travail et de la production. *Cybergeog : European Journal of Geography*. <https://doi.org/10.4000/cybergeog.3815>
- Morrison, A. (1966). Principles of Road Classification for Road Maps. *The Cartographic Journal*, 3(1), 17-30. <https://doi.org/10.1179/caj.1966.3.1.17>
- Murena, F. (2004). Measuring air quality over large urban areas : Development and application of an air pollution index at the urban area of Naples. *Atmospheric Environment*, 38(36), 6195-6202. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.07.023>
- Naess, P., & Sandberg, S. L. (1996). Workplace location, modal split and energy use for commuting trips. *Urban Studies*, 33(3), 557-580.
- Navez-Bouchanine, F. (2002). *La fragmentation en question : Des villes entre fragmentation spatiale et fragmentation sociale?* L'Harmattan.
- Negadi, M. A., Mebirouk, H., & Djedid, A. (2023). *Exploring Urban Coherence through Fractality, Connectivity, and Arteriality of the Urban Street Network : Comparative Study of Five Medium-Sized Algerian Cities*.
- Newman, P., & Kenworthy, J. (1989). *Cities and automobile dependence : An international sourcebook*.
- Nilsson, L., & Gil, J. (2019). The signature of organic urban growth. In *The mathematics of urban morphology* (p. 93-121). Springer.
- OCDE. (1994). *Des villes pour le XXIe siècle* (Les éditions de l'OCDE). OCDE.
- ODT, O. F. du D. T. (2000). *Les coûts des infrastructures augmentent avec la dispersion des constructions* (Dossier 3/00).
- Orfeuill, J.-P. (2000). *L'évolution de la mobilité quotidienne. Comprendre les dynamiques, éclairer les controverses*.
- Ouellet, M. (2006). Le smart growth et le nouvel urbanisme : Synthèse de la littérature récente et regard sur la situation canadienne. *Cahiers de géographie du Québec*, 50(140), 175-193. <https://doi.org/10.7202/014083ar>
- Panerai, P., Castex, J., & Depaule, J.-C. (1997). *Formes urbaines : De l'îlot à la barre*. <https://www.decitre.fr/livres/formes-urbaines-de-l-ilot-a-la-barre-9782863646021.html>
- Panerai, P., Demorgon, M., & Depaule, J.-C. (1999). *Analyse urbaine*. Parenthèses Marseille.
- Paquot, T., Pumain, D., & Kleinschmager, R. (2006). *Dictionnaire de la ville et de l'urbain*. Economica.
- Passeron, J. C. (1991). *Le Raisonnement Sociologique l'Espace Non-Poppérien du Raisonnement Naturel*.

- Peng, Z.-R. (1997). The jobs-housing balance and urban commuting. *Urban studies*, 34(8), 1215-1235.
- Penn, A., Hillier, B., Banister, D., & Xu, J. (1998). Configurational Modelling of Urban Movement Networks. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 25(1), 59-84. <https://doi.org/10.1068/b250059>
- Pinto, J., & Remesar, A. (2012). Urban cohesion : A guiding concept for new urban realities. *ResearchGate*.
https://www.researchgate.net/publication/299885966_Urban_cohesion_a_guiding_concept_for_new_urban_realities
- Porta, S., Crucitti, P., & Latora, V. (2006a). The network analysis of urban streets : A dual approach. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 369(2), 853-866.
- Porta, S., Crucitti, P., & Latora, V. (2006b). The network analysis of urban streets : A primal approach. *Environment and Planning B: planning and design*, 33(5), 705-725.
- Pouyanne, G. (2004a). Des avantages comparatifs de la ville compacte à l'interaction mobilité-forme urbaine. Méthodologie et premiers résultats. *Cahiers scientifiques du transport*, 45(1), 49-82.
- Pouyanne, G. (2004b). *Forme Urbaine et Mobilité Quotidienne* [Phdthesis, Université Montesquieu - Bordeaux IV]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00071608/document>
- Pouyanne, G. (2005). Etalement et mobilité quotidienne, à la recherche d'une forme urbaine soutenable. In *Les nouvelles frontières de l'économie urbaine* (Les éditions de l'aube, p. 16).
- Pouyanne, G. (2014). Théorie économique de la ville discontinue. *Revue d'Economie Regionale Urbaine*, novembre(4), 587-611.
- Prenant, A. (1957). Observations morphologiques sur le bassin de Tlemcen. *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 34(269), 10-21. <https://doi.org/10.3406/bagf.1957.7543>
- Rapoport, A. (1990). *The meaning of the built environment : A nonverbal communication approach*. University of Arizona Press.
- Reux, S. (2014). Facteurs de l'urbanisation discontinue : Proposition d'une grille de lecture. *BSSGLg*. <https://popups.uliege.be:443/0770-7576/index.php?id=3996>
- Reux, S. (2015). *Les figures de la discontinuité dans le développement résidentiel périurbain : Application à la région Limousin*. [PhD Thesis]. Bordeaux.
- Rinaldi, S. M., Peerenboom, J. P., & Kelly, T. K. (2001). Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies. *IEEE control systems magazine*, 21(6), 11-25.
- Rodríguez, D. A., & Joo, J. (2004). The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 9(2), 151-173.
- Rosnay, J. de. (2014). *Le Macroscopie. Vers une vision globale*. Points.
- Safar Zitoun, M. (2001). Alger ou la recomposition d'une métropole. *La pensée de midi*, n°4.
- Salat, S. (2011). *Les villes et les formes : Sur l'urbanisme durable*. Hermann.
- Salingaros, N. A. (1998). Theory of the urban web. *Journal of Urban Design*, 3(1), 53-71.
- Salingaros, N. A. (1999). Urban space and its information field. *Journal of Urban Design*, 4(1), 29-49. <https://doi.org/10.1080/13574809908724437>

- Salingaros, N. A. (2000a). Complexity and Urban Coherence. *Journal of Urban Design*, 5, 291-316.
- Salingaros, N. A. (2000b). The structure of pattern languages. *Arq: Architectural Research Quarterly*, 4(2), 149-162. <https://doi.org/10.1017/S1359135500002591>
- Salingaros, N. A. (2005). *Principles of Urban Structure*. Techne Press.
- Salingaros, N. A., & West, B. J. (1999). A universal rule for the distribution of sizes. *Environment and Planning B: planning and Design*, 26(6), 909-923.
- Segaud, M., Brun, J., & Driant, J.-C. (2002). *Dictionnaire de l'habitat et du logement*. A. Colin.
- Séguin, A.-M. (2011). Les quartiers : Des lieux de fragmentation? *Cahiers de géographie du Québec*, 55(154), 69-73.
- Semmoud, B., & Aït-Amirat, A. (2014). Évolutions politiques et planification, production et gestion urbaines en Algérie. In P. R. Baduel (Éd.), *La ville et l'urbain dans le Monde arabe et en Europe : Acteurs, Organisations et Territoires* (p. 135-146). Institut de recherche sur le Maghreb contemporain. <http://books.openedition.org/irmc/562>
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell system technical journal*, 27(3), 379-423.
- Sieverts, T. (2003). *Cities without cities : An interpretation of the Zwischenstadt*. Routledge.
- Simon, H. A. (1962). The architecture of complexity. *Proceedings of the American philosophical society*, 106(6), 467-482.
- Slak, M.-F., & Vivière, J. (2000). Vers une modélisation du mitage. Périurbanisation et agriculture. *Études foncières*, 85, 33-38.
- Smith, R. (1958). *The Exploding metropolis*. Doubleday.
- Song, Y., Merlin, L., & Rodriguez, D. (2013). Comparing measures of urban land use mix. *Computers, Environment and Urban Systems*, 42, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.08.001>
- Sreelekha, M. G., Krishnamurthy, K., & Anjaneyulu, M. V. L. R. (2016). Interaction between Road Network Connectivity and Spatial Pattern. *Procedia Technology*, 24, 131-139. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.05.019>
- Targa, F., & Clifton, K. J. (2005). The built environment and trip generation for non-motorized travel. *Journal of Transportation and Statistics*, 8(3), 55-70.
- Tsigdinos, S., Paraskevopoulos, Y., & Kourmpa, E. (2022). Exploratory evaluation of road network hierarchy in small-sized cities : Evidence from 20 Greek cities. *Transportation Research Procedia*, 60, 480-487. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.12.062>
- Van Diepen, A., & Voogd, H. (2001). Sustainability and planning : Does urban form matter? *International Journal of Sustainable Development*, 4(1), 59-74.
- Vanco, F. (2011). *Urban forms and sustainability of transport system. An application to household urban mobility costs within Lyon city* [Theses, Université Lumière - Lyon II]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00588787>
- Volchenkov, D., & Blanchard, Ph. (2008). Scaling and universality in city space syntax : Between Zipf and Matthew. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 387(10), 2353-2364. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2007.11.049>
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of 'small-world' networks. *nature*, 393(6684), 440-442.

- Welkers, D. (1997). Le développement durable dans la ville : La planification aux Pays-Bas. *Economie et Humanisme*, 35-39.
- Wiel, M. (1999). *La Transition urbaine : Ou le passage de la ville pédestre à la ville motorisée*. Editions Mardaga.
- Wiel, M. (2010). *Etalement urbain et mobilité*. La Documentation française.
- Zahavi, Y. (1974). *Traveltime Budgets and Mobility in Urban Areas*. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- Zhou, B., & Kockelman, K. M. (2008). Self-selection in home choice : Use of treatment effects in evaluating relationship between built environment and travel behavior. *Transportation Research Record*, 2077(1), 54-61.

Annexes

Annexe 1 : Formules des méthodes de calcul de la mixité fonctionnelle

2 Indice d'équilibre

$$\text{BAL} = 1 - \frac{|X - aY|}{(X + aY)}$$

X et Y : Surface des deux fonctions urbaines
a : Facteur d'ajustement

3 Indice d'entropie

$$\text{ENT} = - \left[\sum_{j=1}^k P^j \ln(P^j) \right] / \ln(k)$$

P^j : Pourcentage de chaque fonction urbaine **j**
k : Nombre total de fonctions urbaines

- **Indice de dissimilarité**

$$D = 0.5 \sum_{i=1}^n |r_i - s_i|$$

R_i : Proportion de fonction urbaine résidentielle dans le district **i**
S_i : Proportion de fonction urbaine non résidentielle dans le district **i**

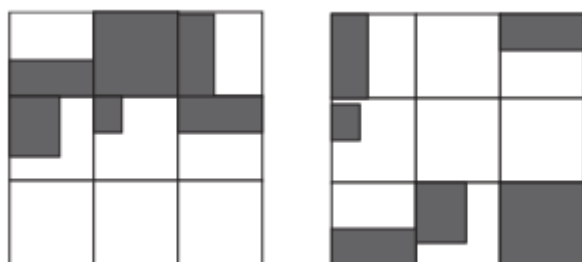


Fig 1a. Permutation des districts : Les deux zones ci-dessous ont la même distribution de fonctions urbaines, mais dans un arrangement spatial différent. L'indice de concentration est sensible à de telles variations. Source : Song et al. (2013)

- **Indice de concentration**

$$\text{CLST}(Y) = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \sum_{i^*=1}^n y_{i^*} e^{-d_{ii^*}} - \frac{Y}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{i^*=1}^n e^{-d_{ii^*}}}{\sum_{i=1}^n s_i \sum_{i^*=1}^n z_{i^*} e^{-d_{ii^*}} - \frac{Y}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{i^*=1}^n e^{-d_{ii^*}}}$$

Y : Montant total de fonction urbaine non résidentielle dans la zone d'étude.

S_i : Pourcentage de surface de fonction urbaine non résidentielle dans le district **i**

Y_i : Proportion de fonction urbaine non résidentielle dans le district **i**

Z_i : Montant total des fonctions urbaines dans le district **i**

- **Indice de Gini**

$$\text{GINI} = \left| 1 - \sum_{i=1}^n (\sigma r_{i+1} + \sigma r_i)(\sigma s_{i+1} - \sigma s_i) \right|$$

r_i : Pourcentage de surface de fonction urbaine résidentielle dans la zone i par rapport à la surface résidentielle totale

s_i : Pourcentage de surface de fonction urbaine non résidentielle dans la zone i par rapport à la surface non résidentielle totale

σr_i : Somme cumulée des r_i

σs_i : Somme cumulée des s_i

Annexe 2 : Matrice d'appariement de calcul du navettage

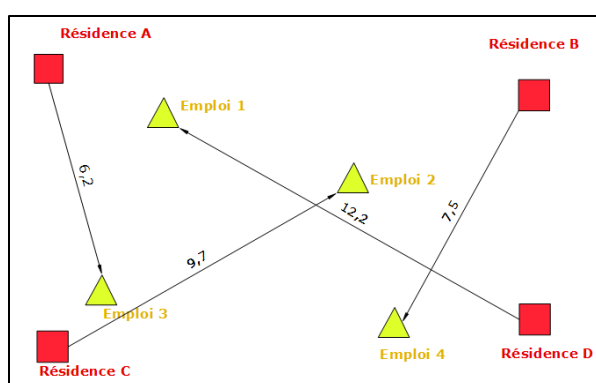


Fig. 2a : Assignment aléatoire

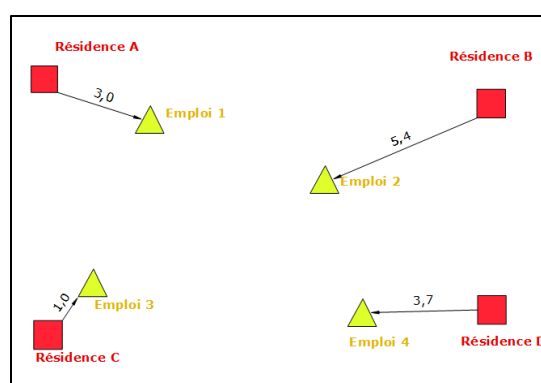


Fig.3a : Assignment optimisée (minimale)

Fig. Schématisation de l'excès de navettage. Source : (Charron, 2007)

Emplois/Résidences	Emploi 1	Emploi 2	Emploi 3	Emploi 4
Résidence A	3,0		6,2	
Résidence B		5,4		7,5
Résidence C		9,7	1,0	
Résidence D	12,2			3,7



: Possibilité de navettage aléatoire. **Distance de navettage = 8.9**



: Possibilité de navettage optimale (minimisée). **Distance de navettage = 3.27**



Autres possibilités de navettage

Tableau.1a : Matrice d'appariement avec deux possibilités de navettage

Annexe 3 : Valeurs repères des possibilités de navettage (Charron, 2007)

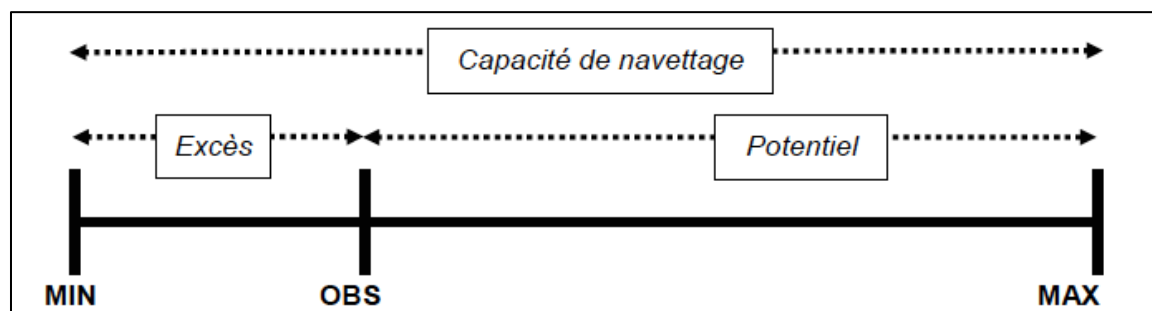


Fig.4a : Les valeurs clés du navettage. Source : (Charron, 2007)

- **Distance de navettage observée (OBS)**

Cette valeur constitue la longueur moyenne des navettes des travailleurs. Elle est généralement obtenue à partir de données agrégées en unités spatiales¹²². OBS est la valeur principale variable dépendante dans l'analyse du navettage. L'équation ci-dessous est utilisée pour calculer la plupart des valeurs associées au navettage, suivant différents scénarios.

$$OBS = \frac{1}{N} \sum_i \sum_j n_{ij} d_{ij}$$

i et j : Unités spatiales
n_{ij} : Nombre de navettes entre i et j
d_{ij} : distance entre i et j
N : Nombre total de navettes

- **Distance de navettage minimale (MIN)**

Cette valeur représente la structure de navettage qui serait obtenue si tous les travailleurs de l'aire d'étude cherchaient à diminuer au maximum le navettage global. Sa détermination se base sur l'équation ci-dessus, à la seule différence que n_{ij} ne correspond plus au nombre de navettes observée mais celui obtenu par la méthode simplex, de manière à obtenir la valeur de distance de navettage moyenne la plus basse. La valeur de navettage minimale est aussi un indicateur de la mixité fonctionnelle, puisqu'il correspond au scénario où la dimension comportementale est réduite à zéro et où le seul obstacle entre emplois et résidences est la forme urbaine.

- **Distance de navettage maximale (MAX)**

Cette valeur représente la structure de navettage qui serait obtenue si tous les travailleurs de l'aire d'étude cherchaient à maximiser le navettage global. De la même manière que pour le

¹²² L'aire d'étude est découpée en zones plus petites. A chaque zone, correspond un nombre de lieux d'emplois et de lieux de résidences.

calcul du minimum, cette valeur est déterminée via la méthode simplexe, à la différence que n_{ij} est ajusté de manière à obtenir la valeur la plus élevée de distance de navettage. Cette valeur est particulièrement intéressante à introduire, car elle borne le navettage à une certaine plage de possibilités, ce qui permet d'avoir une meilleure appréciation relative des valeurs ci-dessus. Selon Horner (2002), cette valeur est un indicateur de la complexité de l'aire d'étude dans sa globalité, c'est-à-dire son degré de décentralisation ou de polycentralité.

- **Navettage excessif (excès)**

Cette valeur est définie comme la différence entre le navettage observé (OBS) et le navettage minimal (MIN). Dans le cadre d'une comparaison, on divise cette valeur par OBS. Le navettage excessif a donné son nom au cadre conceptuel dans lequel elle s'inscrit, cette valeur est donc centrale dans l'étude du navettage. Elle peut être interprétée comme la composante comportementale du navettage, c'est-à-dire la distance supplémentaire que sont prêts à supporter les individus pour leur trajet domicile travail.

$$Excès = \frac{OBS - MIN}{OBS}$$

- **Navettage exploité (exploité)**

Cette valeur exprime l'étendue de la capacité de navettage exploitée. Ainsi, cette valeur offre une appréciation plus juste que l'excès de navettage, car elle prend aussi en considération la borne supérieure de MAX et étend de ce fait la comparaison à l'ensemble des possibilités de navettage supportées par la forme urbaine. Il peut être interprété comme les tendances à la minimisation des pratiques de navettage. Ainsi, plus cette valeur se rapproche de 1, plus les travailleurs ont tendance à utiliser les possibilités de navettage permises par la forme urbaine.

$$Exploité = \frac{OBS - MIN}{MAX - MIN}$$

- **Distance de navettage moyenne (MOY)**

Cette valeur est introduite par Charron (2007), qui la propose afin de mieux apprécier la complexité du navettage. Selon lui, les valeurs MIN et MAX n'offrent qu'un aperçu partiel de l'ensemble des possibilités de navettage. La distance de navettage moyenne représente la valeur moyenne de toutes les distances de navettage permises par la forme urbaine, elle résume ainsi bien l'immense étendue des possibilités de navettage dans une région. D'un point de vue

comportemental, la valeur moyenne est la valeur de navettage obtenue si les travailleurs d'une région n'accorderaient aucune attention à la proximité, c'est-à-dire un comportement aléatoire. Cette valeur est obtenue en calculant la moyenne de toutes les distances de navettage possibles. En raison du nombre immense de possibilités et des contraintes de la méthode simple, une approximation de cette valeur est obtenue par la méthode de Monte Carlo, qui simule un grand nombre d'appariements aléatoires.

- **Le rapport entre navettage observé et navettage moyen (OBS/MOY)**

Avec l'introduction de la valeur moyenne de navettage, cette dernière valeur OBS/MOY représente alors la position de la valeur observée par rapport à l'ensemble des possibilités de navettage. Elle permet ainsi une lecture très simple : Si la valeur est supérieure à un, les travailleurs tendent à allonger leurs navettes, si elle est inférieure à un, les travailleurs tendent à réduire leurs navettes.

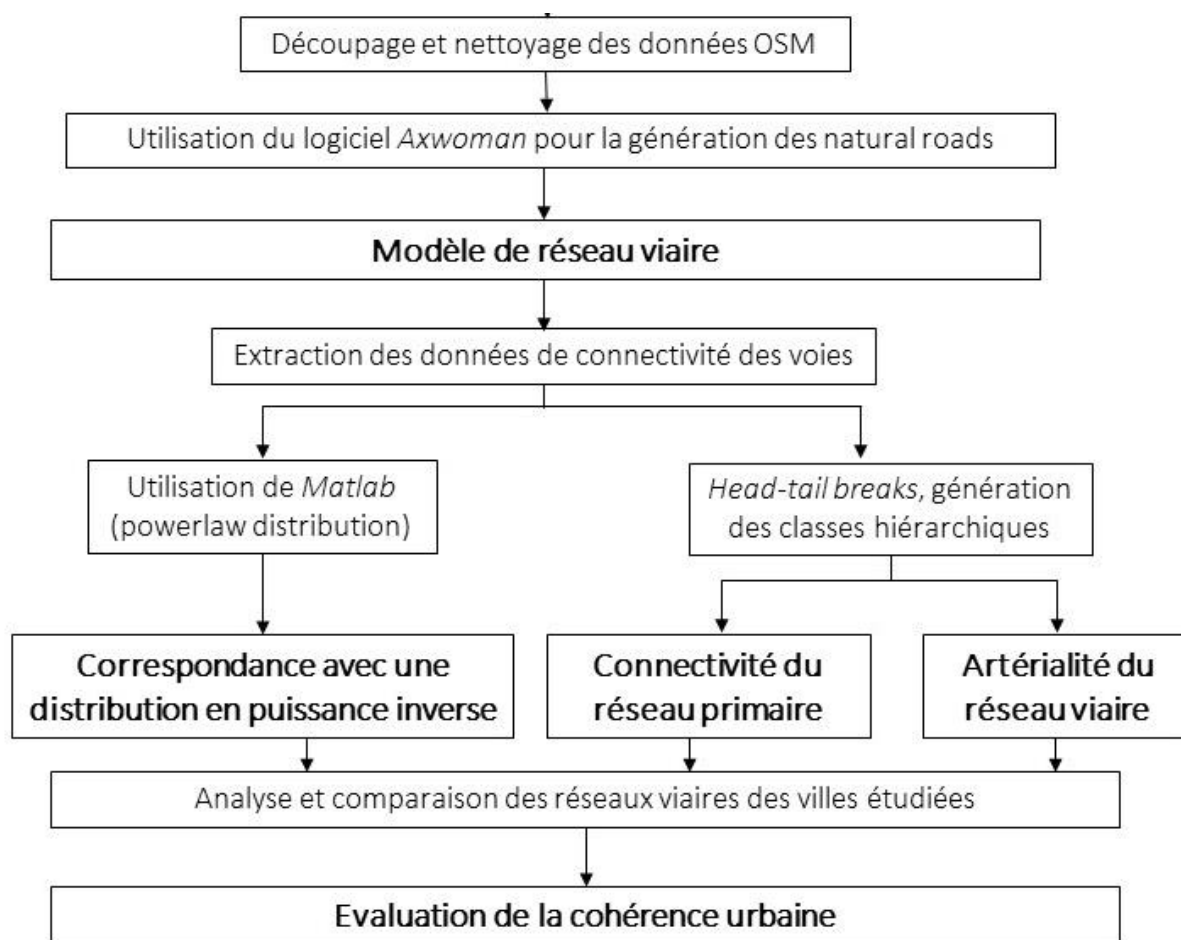
Annexe 4 : Cadre méthodologique de l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique

Fig. 5a : Cadre méthodologique de l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique

Annexe 5 : Cartes et graphes du réseau viaire des villes étudiées dans le cadre de l'évaluation de la cohérence urbaine morphologique

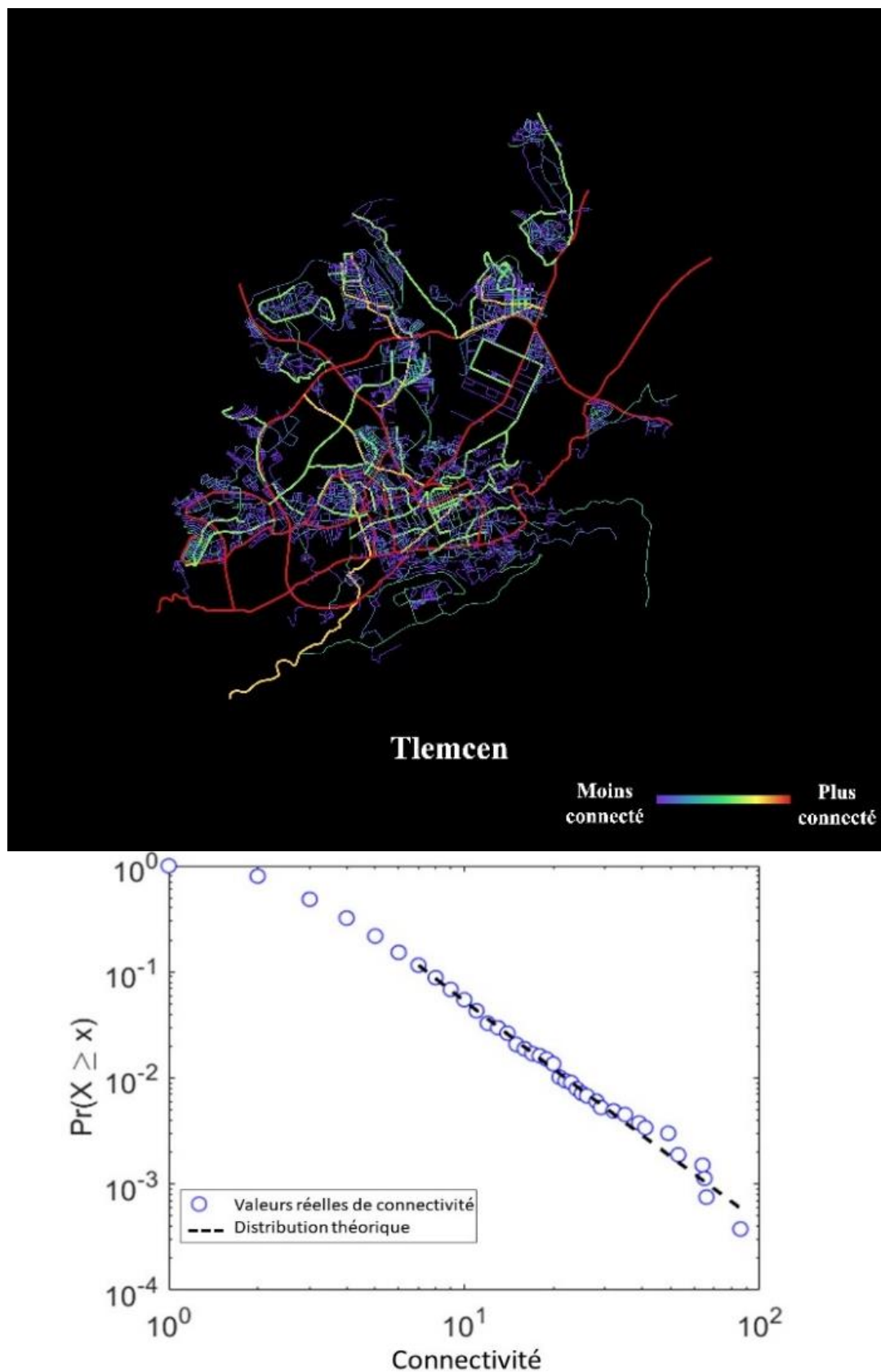


Figure 6a. Réseau viaire de Tlemcen avec les *natural roads* colorées suivant leur connectivité. Le réseau primaire est visible en trait fort (en haut). Fonction de répartition de la connectivité du réseau viaire de Tlemcen (en bas)

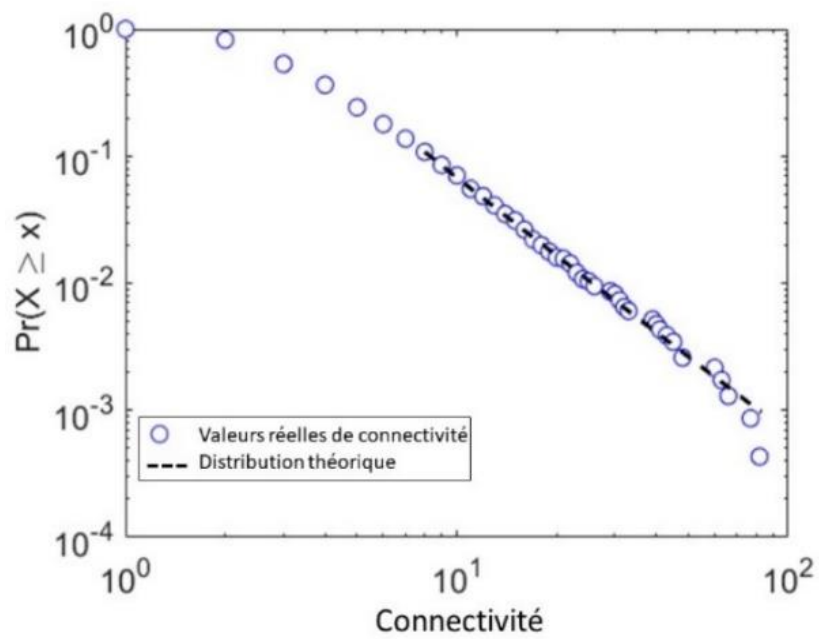


Figure 7a. Réseau viaire de Sidi Bel Abbas avec les *natural roads* colorées suivant leur connectivité (à gauche). Le réseau primaire est visible en trait fort (en haut). Fonction de répartition de la connectivité du réseau viaire de Sidi Bel Abbas (en bas)

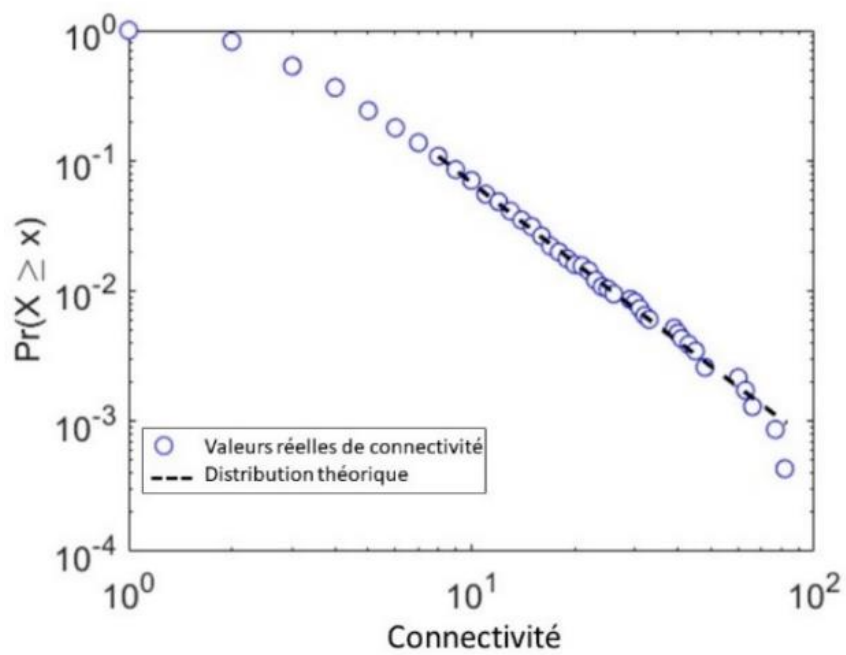
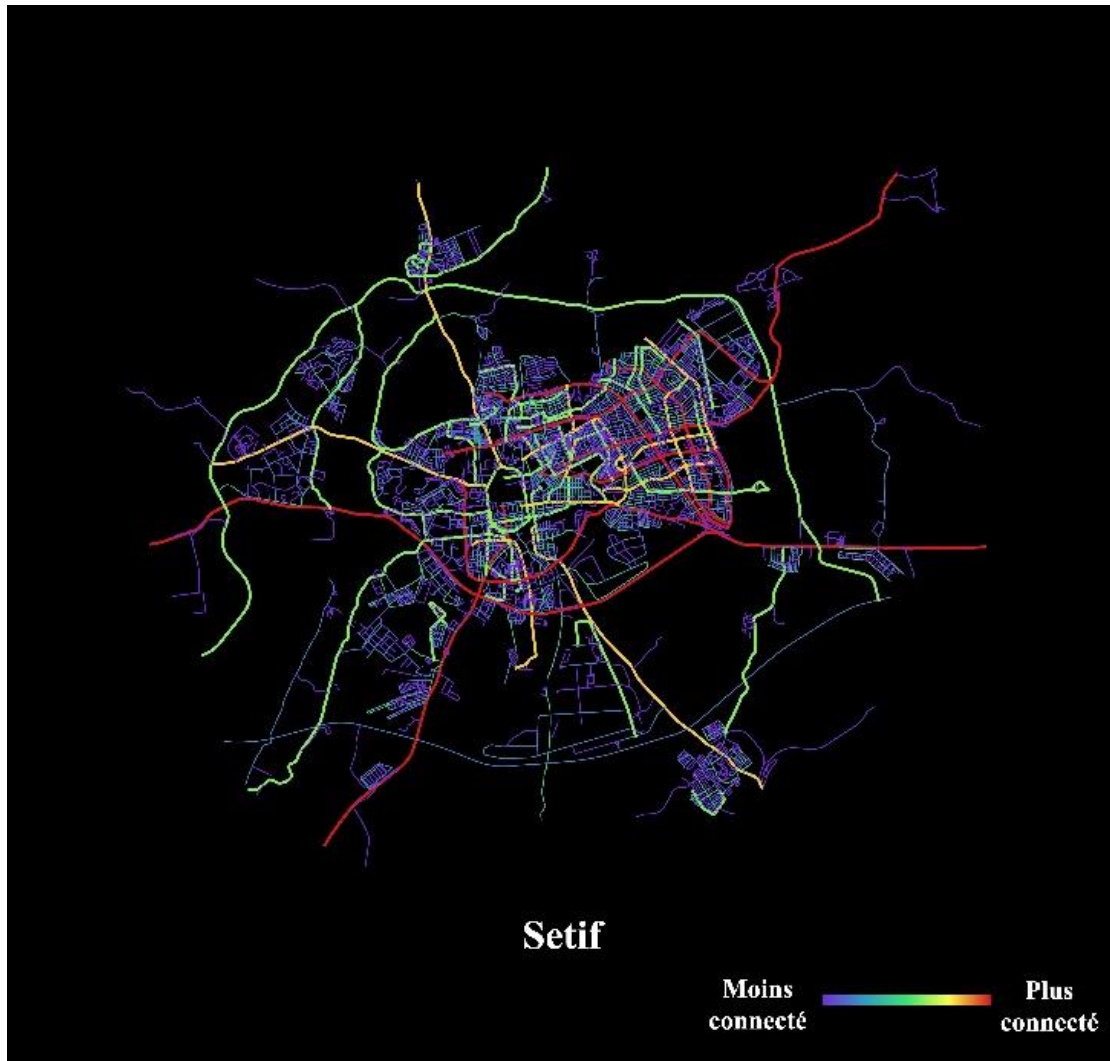


Figure 8a. Réseau viaire de Setif avec les *natural roads* colorées suivant leur connectivité (à gauche). Le réseau primaire est visible en trait fort (en haut). Fonction de répartition de la connectivité du réseau viaire de Setif (en bas)

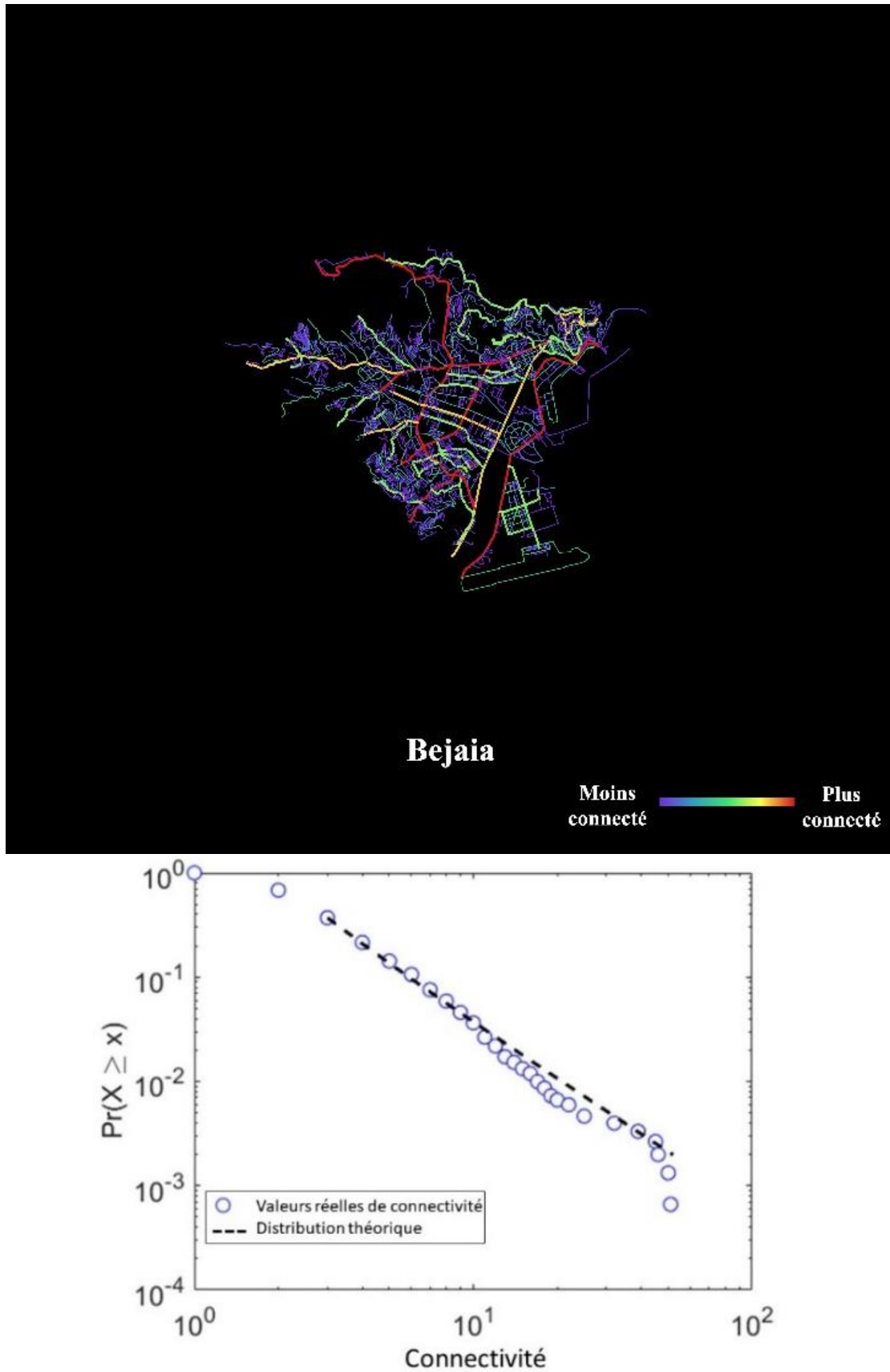


Figure 9a. Réseau viaire de Bejaia avec les *natural roads* colorées suivant leur connectivité (à gauche). Le réseau primaire est visible en trait fort (en haut). Fonction de répartition de la connectivité du réseau viaire de Bejaia (en bas)

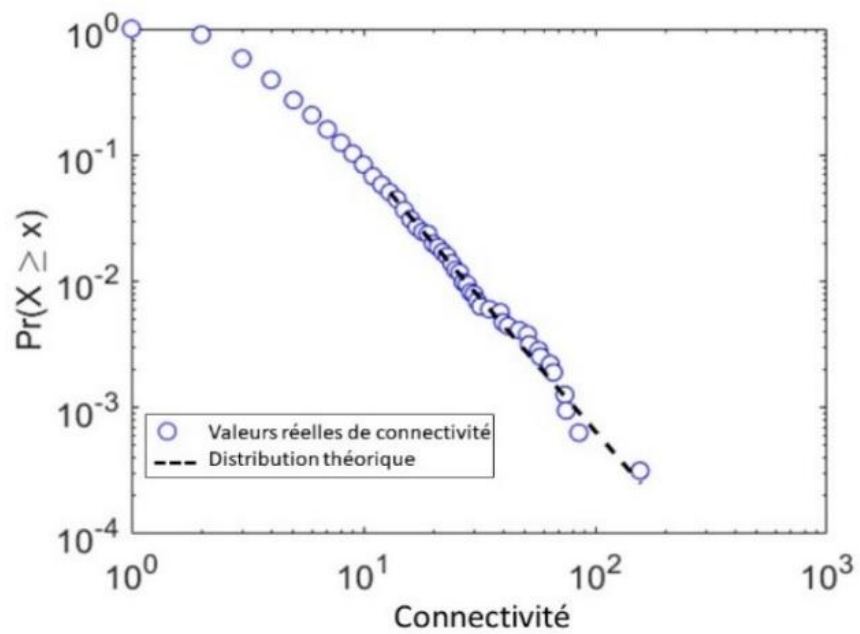


Figure 10a. Réseau viaire de Batna avec les *natural roads* colorées suivant leur connectivité (à gauche). Le réseau primaire est visible en trait fort (en haut). Fonction de répartition de la connectivité du réseau viaire de Batna (en bas)

Résumé

La discontinuité spatiale est une forme d'urbanisation qui caractérise les villes contemporaines, en particulier les villes algériennes. Caractérisée par une interruption du tissu urbain et des vides au sein des agglomérations, elle est l'une des formes du phénomène plus global d'étalement urbain. Ce dernier étant vu comme dispendieux et non durable, une grande partie de la recherche en urbanisme se focalise sur la recherche d'alternatives plus durables, ainsi que sur une meilleure compréhension de la complexité des formes urbaines actuelles.

Dans ce contexte, nous examinons la notion originale de cohérence urbaine, reconnue comme une propriété essentielle à une forme urbaine durable et vertueuse. Il ressort de l'examen de la littérature que la cohérence urbaine s'articule autour de deux enjeux majeurs. D'abord celui de la proximité, autour duquel s'articule la nécessité de rapprocher les lieux d'emploi et de résidence à travers une mixité fonctionnelle. Ensuite l'enjeu de consistance de la forme urbaine, autour duquel s'articule une forme urbaine physique plus connective et perméable aux flux. Cette approche regroupe les théories holistiques de la ville, reconnaissant la ville comme un système riche et complexe. Cette seconde partie de la littérature fonde la cohérence urbaine morphologique, que nous choisissons d'explorer plus en profondeur. Nous fondons notre examen sur les sciences de la complexité appliquées au champ des études urbaines, notamment l'étude des réseaux complexes et des distributions en loi de puissance.

Nous proposons alors une évaluation de la cohérence urbaine morphologique à travers le réseau viaire basée sur trois volets : la fractalité du réseau viaire et sa correspondance avec une loi de puissance inverse, la connectivité du réseau primaire et l'artérialité du réseau viaire dans son ensemble. Nous appliquons le protocole d'évaluation à cinq villes algériennes de taille moyenne. Il ressort de cette étude que toutes les villes étudiées sont dotées d'une certaine cohérence urbaine dans l'absolu, due à une structuration interne similaire. Cependant, d'un point de vue relatif, il existe des différences notables visibles à travers la comparaison des villes entre elles. En outre, les indicateurs choisis pour évaluer la cohérence urbaine présentent une certaine régularité pour une même ville, ce qui conforte la pertinence du choix de ces derniers. Enfin, l'examen plus approfondi de Tlemcen révèle une cohérence urbaine morphologique moins marquée à l'échelle intraurbaine par rapport à l'échelle de l'agglomération.

Mots-clés

Discontinuité spatiale, forme urbaine durable, sciences de la complexité, cohérence urbaine, réseau viaire, villes algériennes

Abstract

Spatial discontinuity is a form of urbanization characterizing contemporary cities, particularly in Algerian towns. Marked by breaks in the urban fabric and voids within conurbations, it represents one aspect of the broader phenomenon of urban sprawl. Seen as costly and unsustainable, much urban research focuses on finding more sustainable alternatives and on a better understanding of the complexity of current urban forms.

In this light, we investigate the original concept of urban coherence, acknowledged as an essential property for sustainable and virtuous urban form. The literature review reveals that urban coherence revolves around two main issues: - the first is proximity, emphasizing the need to bring employment and residential areas closer through functional mixity, forming the basis for functional urban coherence; - the second is the consistency of the urban form, aiming for a more connective and permeable physical urban form. This perspective encompasses holistic urban theories, recognizing the city as a rich and complex system. This second body of literature lays the groundwork for morphological urban coherence, which we choose to delve into more deeply. Our examination is based on the sciences of complexity applied to urban studies, particularly the study of complex networks and power-law distributions.

We thus propose an assessment of morphological urban coherence through the street network based on three aspects: the fractality of the street network and its alignment with a power-law distribution, the connectivity of the primary network, and the arteriability of the overall street network. We apply the evaluation protocol to five medium-sized Algerian cities. The study shows that all the cities examined have a certain level of urban coherence due to a similar internal structure. However, from a relative standpoint, notable differences emerge through the comparison of cities. Additionally, the chosen indicators for assessing urban coherence display regularity within the same city, reinforcing the appropriateness of these indicators. Finally, a closer examination of Tlemcen city reveals less pronounced morphological urban coherence at the intra-urban scale compared to the agglomeration level.

Keywords

Spatial discontinuity, sustainable urban form, complexity sciences, urban coherence, road network, algerian cities

الانقطاع المكاني شكل من أشكال التحضر الذي يميز المُدن المعاصرة، وخاصة المُدن الجزائرية. وهذا أحد أشكال ظاهرة الزحف العمراني الأكثر عالمية والذي يتميز بانقطاع النسيج الحضري والفراغات داخل المناطق الحضرية. وبما أن هذا الأخير يعتبر مكلفاً وغير مستدام، فإن جزءاً كبيراً من الأبحاث في التخطيط الحضري يركز على البحث عن بدائل أكثر استدامة، وكذلك على فهم أفضل لتعقيد الأشكال الحضرية الحالية.

في هذا السياق، نقوم بدراسة المفهوم الأصلي للتماسك الحضري المعترف به كخاصية أساسية لشكل حضري مستدام. إن فحص المراجع تين لنا أن التماسك الحضري يدور حول قضيتين رئيسيتين: أولاً مسألة القرب، والتي تركز على الحاجة إلى التقريب بين أماكن العمل والإقامة من خلال التنوع الوظيفي، ويحدد هذا الجزء من الأدبيات التماسك الحضري الوظيفي. ثم ثانياً توضيح مسألة اتساق الشكل الحضري، الذي يتم حوله توضيح الشكل الحضري المادي الأكثر ارتباطاً وبنفاذية للتدفقات. يجمع هذا النهج بين النظريات الشاملة للمدينة، مع الاعتراف بالمدينة كنظام غني ومعقد. يؤسس هذا الجزء الثاني من الأدبيات التماسك الحضري المورفولوجي، والذي نختار استكشافه بمزيد من التعمق. نحن نبني بحثنا على علوم التعقيد المطبقة في مجال الدراسات الحضرية، ولا سيما دراسة الشبكات المعقدة وتوزيعات قانون القوى. نقترح إذاً تقييم التماسك العمراني المورفولوجي عبر شبكة الطرق بناءً على ثلاثة جوانب: كسورية شبكة الطرق وتوافقها مع قانون القوة العكسي- اتصال الشبكة الأولية - وشرابين شبكة الطرق ككل. نطبق بروتوكول التقييم على خمس مدن جزائرية متوسطة الحجم، ويتبين من هذه الدراسة أن جميع المدن التي تمت دراستها لديها تماسك حضري معين من حيث القيمة المطلقة، وذلك بسبب البنية الداخلية المماثلة. ولكن من وجهة نظر نسبية، هناك اختلافات ملحوظة عند مقارنة المدن ببعضها البعض. وبالإضافة إلى ذلك، فإن المؤشرات المختارة لتقييم التماسك الحضري تمثل انتظاماً معيناً لنفس المدينة، مما يعزز أهمية اختيار الأخيرة. وأخيراً، الفحص المعمق لمدينة تلمسان يُظهر تماسكاً حضرياً مورفولوجياً أقل وضوحاً على المستوى الحضري مقارنة بمقياس التجمعات.

كلمة مفتاحية

الانقطاع المكاني، الشكل الحضري المستدام، علوم التعقيد، التماسك الحضري، شبكة الطرق، مدن جزائرية