République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur de la recherche scientifique

Université « SAAD DAHLAB » de BLIDA 1 - Institut d'Architecture et d'Urbanisme

THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

ARCHITECTURE

Lecture urbaine fractale et Caractérisation pour une architecture mixte précoloniale -coloniale- postcoloniale.

Cas d'étude : Région nord-centre -Blida, Médéa, Miliana-

Soutenue par :

BELLALA AMEL

Sous la Direction de :

DAHMANI Krimo

Composition du jury

Noms et prénoms	Qualité	Grade	Etablissement
Dr. DJELLATA Amel	Président	MCA	Université Blida 1
Dr. AHMED CHAOUCHE Nabil	Examinateur	MCA	Université Blida 1
Dr. BENDJEMILA Imen	Examinateur	MCA	Université de Constantine 3
Dr. MENOUER Ouassila	Examinateur	MCA	Université Blida 1
Dr. HARAOUBIA Imane	Examinateur	MCA	Université Alger 1
Pr. DAHMANI Krimo	Rapporteur	MCA	Université de Médéa

28 Mai 2025

Dédicace

Avec l'expression de ma reconnaissance, Je dédie ce modeste travail

À la mémoire de mes très chers parents

Votre bénédiction et vos prières m'ont guidée, ont éclairé mon chemin, m'ont été d'une aide précieuse durant mon cursus et m'accompagneront pour toujours ; Quoi que je puisse dire et écrire, je ne pourrais exprimer ma grande affection et ma profonde reconnaissance. Je ferai de mon mieux toujours pour vous rendre fières de moi. Puisse dieu, le tout puissant, vous avoir en sa sainte miséricorde.

A mon cher mari Mohamed

Tu m'as toujours soutenue, aidé et encouragée dans mes projets, tu as toujours été présent pour me consoler quand il fallait, reçois cette dédicace en signe de ma vive reconnaissance et ma profonde estime.

A mes tendres petits enfants, Lilia et Reda

Vous êtes ma source de bonheur au quotidien, où je puise ma force et mon inspiration, puisse dieu vous préserver et vous protéger.

A mes sœurs et mes frères

Pour vos encouragements permanents et votre soutien moral, l'affection que j'ai pour vous est sans aucune mesure, que dieu vous accorde santé et longue vie.

À celles et ceux qui m'ont soutenue et aidée et qui souhaitent me voir réussir

A ma famille BELLALA et ma belle-famille GHERMOUL

Remerciements

L'aboutissement de ces quatre années de recherche suscite une profonde émotion de reconnaissance. C'est avec un immense plaisir que j'exprime ma sincère gratitude aux nombreuses personnes qui ont apporté un soutien inestimable tout au long de la réalisation de ce travail.

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de thèse Dr. DAHMANI Krimo, sans qui ce travail n'aurait jamais vu le jour. C'est pour moi un grand honneur et un énorme plaisir d'avoir fait cette thèse sous votre direction, ce travail m'a permis d'apprécier vos qualités humaines et professionnelles. Vos orientations m'ont été d'une grande aide et votre dévouement ainsi que votre disponibilité m'ont permis de pouvoir finaliser ce travail.

J'exprime toute ma gratitude aux membres du jury d'avoir bien voulu accepter d'évaluer ce travail. Mme DJELLATA en qualité de présidente du jury et les examinateurs ; Mme BENDJEMILA, Mme MENOUER, Mme HAROUABIA, Mr CHAOUCHE.

Sans oublier un grand merci aux membres du laboratoire ETAP, et à leur tête Pr. FOUFA ABDESSEMED Amina, pour ses orientations, et sa grande disponibilité en sa qualité de directrice du laboratoire.

De même que je saisis l'occasion pour exprimer toute ma gratitude à l'Institut d'Architecture et d'Urbanisme de l'université de Blida1, et à leur tête Mme la directrice de l'institut, et à l'ensemble du personnel administratif, et particulièrement celui du service de la poste graduation.

Je remercie, mes chères copines et collègues Manel, Amina, Amira, Ikhlas, Khalida, Rachida, Lila, pour leurs encouragements permanents tout au long du chemin de la thèse.

Enfin je voudrais témoigner ici toute ma gratitude et ma reconnaissance envers mes chers parents, mon époux et mes sœurs. Un énorme merci pour votre soutien et vos encouragements, merci d'avoir parcouru ce bout de chemin avec moi.

Résumé

Cette recherche traite la problématique de la caractérisation morphologique fractale des tissus urbains propres aux noyaux urbains des villes algériennes. Le but est de relier la morphologie urbaine de la ville à sa morphométrie fractale. Nous pourrions ainsi tester concrètement l'intérêt des mesures de fractalité dans un contexte d'urbanisme. Cette recherche essaie de définir l'identité morphologique des noyaux urbains des villes de la région nord-centre algérien par l'analyse fractale urbaine, une méthode mathématique confrontée aux données socio-culturelles. Elle permet de comprendre et simuler la logique spatiale des noyaux urbains, et ainsi d'expliquer le lien entre la morphologie spatiale et la genèse urbaine de chaque cas d'étude, qui sont très étroitement reliées. Enfin, elle permet de quantifier la morphologie des tissus propres aux noyaux des villes du corpus. C'est une caractérisation objective des attributs morphologiques, à travers l'analyse fractale des noyaux urbains des villes algériennes de seconde échelle de la région nord-centre, à travers trois villes : Blida, Médéa et Miliana. Comme la majorité des villes algériennes, ces villes disposent d'un palimpseste qui s'est tracé à travers l'histoire, avec au minimum une strate précoloniale française, une deuxième strate coloniale française, et une dernière strate postcoloniale.
Les résultats montrent que les cas d'étude du corpus présentent globalement leur homogénéité et hiérarchie et une compacité importantes, qui restent globalement conservées à travers le temps. Cette recherche démontre que l'analyse fractale apporte une plus-value aux mesures urbaines classiques à l'instar de la densité, car elle permet de distinguer la différence entre les zones urbaines dans une même région urbaine de plus grande échelle. Elle confirme que la dimension fractale permet de quantifier des attributs relatifs à l'état des tissus urbains, ce qui donne plus de précision aux études urbaines, pour des fins comparatives, ou bien évaluatives, et ouvre ainsi des pistes de recherches plus larges .

Mots clés : Caractérisation, Morphologie, Noyau urbain, Analyse fractale, Indices fractals.

Abstract

This study addresses the challenge of the fractal morphological characterization of urban fabrics that are distinctive to the urban centers of Algerian cities. The objective is to establish a correlation between the urban morphology of the city and its fractal morphometric properties. Consequently, we strive to evaluate empirically the significance of fractality metrics within an urban planning framework. This investigation seeks to delineate the morphological identity of the urban nuclei within cities in the north-central Algerian region via urban fractal analysis, a quantitative method combined with socio-cultural data. It facilitates the comprehension and simulation of the spatial logic inherent to urban nuclei, thereby elucidating the relationship between spatial morphology and the urban genesis of each case study, which are intricately interrelated. Ultimately, it enables the quantification of the morphological characteristics specific to the urban nuclei represented in the corpus. This constitutes an objective assessment of morphological attributes through the fractal analysis of the urban cores of second-order Algerian cities located in the north-central region, specifically examining three cities: Blida, Médéa, and Miliana. Similar to the majority of Algerian cities, these urban centers exhibit a palimpsest that inscribed throughout history, incorporating at least one French pre-colonial layer, a subsequent French colonial layer, and a final postcolonial layer.

The findings indicate that the case studies within the corpus predominantly exhibit a degree of homogeneity and hierarchy alongside notable compactness, which tends to preserve over time. This research demonstrates that fractal analysis contributes additional value to conventional urban metrics, such as density, by facilitating the differentiation of urban areas within the same urban region on a broader scale. It validates that the fractal dimension enables the quantification of attributes associated with the condition of urban fabrics, thereby enhancing the precision of urban studies for comparative or evaluative objectives, and subsequently broadening the scope for future research.

Key words: Characterization, Morphology, Urban core, Fractal analysis, Fractal indices.

ملخص
تتناول هذه الدراسة مسألة التوصيف المورفولوجي الكسري للأقمشة الحضرية الخاصة بالنواة الحضرية للمدن داخل الجزائر. الهدف هو إقامة صلة بين التشكل الحضري للمدن وقياس التشكل الكسري المقابل لها. وبالتالي، يمكننا إجراء تقييم تجريبي لأهمية مقاييس الكسور في سياق التخطيط الحضري. يسعى هذا البحث إلى تحديد الهوية المورفولوجية للنواة الحضرية في المنطقة الشمالية الوسطى الجزائرية من خلال تحليل الكسور الحضرية، وهي منهجية كمية تتفاعل مع المتغيرات الاجتماعية والثقافية. يسهل هذا النهج فهم ومحاكاة الديناميات المكانية للنواة الحضرية، وبالتالي توضيح العلاقة بين التشكل المكاني والتكوين الحضري لكل دراسة حالة، والتي ترتبط ببعضها البعض بشكل معقد. وفي نهاية المطاف، فإنه يتيح تحديد الخصائص المورفولوجية الخاصة بالنواة الحضرية داخل المدن المختارة. يمثل هذا توصيفًا موضوعيًا للسمات المورفولوجية من خلال التحليل الكسري للنوى الحضرية للمدن الجزائرية من الدرجة الثانية الواقعة في المنطقة الشمالية الوسطى، مع التركيز بشكل خاص على ثلاث مدن: البليدة والمدية ومليانة. على غرار غالبية المراكز الحضرية الجزائرية، تُظهر هذه المدن تطورًا مبهجًا عبر التاريخ، حيث تشمل طبقة فرنسية واحدة على الأقل قبل الاستعمار، وطبقة استعمارية فرنسية لاحقة، وطبقة نهائية ما بعد الاستعمار.

تشير النتائج إلى أن دراسات الحالة داخل المجموعة تُظهر عمومًا درجة من التجانس والبنية الهرمية والاكتناز الكبير، والذي يميل إلى الحفاظ عليه عبر المقاييس الزمنية. يوضح هذا البحث أن تحليل الكسور يساهم في تحسين الرؤى للمقاييس الحضرية التقليدية، مثل الكثافة، لأنه يسهل التمييز بين المناطق الحضرية داخل نفس المنطقة الحضرية على نطاق أوسع. وهو يثبت الادعاء بأن البعد الكسوري يعمل كوسيلة لتحديد السمات المتعلقة بحالة الأقمشة الحضرية، وبالتالي توفير قدر أكبر من الدقة في الدراسات الحضرية لأغراض المقارنة أو التقييم، وبالتالي توسيع آفاق المساعي البحثية المستقبلية.

الكلمات المفتاحية: التوصيف، التشكل، النواة الحضرية، تحليل الكسور، مؤشرات الكسور

Table des matières

Dédicace II
Remerciements III
Résumé IV
Abstract V
ملخص VI
Table des matières VII
Liste des figures XIV
Liste des tableaux XXI
Liste des graphiques XXIII
Liste des planches XXIV
Chapitre introductif 1
1. Contexte de la recherche 2
Caractérisation fractale morphologique des tissus urbains 2
L'usage des fractals dans le contexte urbain algérien 3
Positionnement scientifique du sujet 3
2. Problématique de la recherche 4
3. Hypothèses de la recherche 4
4. Objectifs de la recherche 6
5. Présentation du corpus 6
6. Démarche méthodologique 7
7. Structure de la thèse 13
Partie I : Les fractals comme outil d'analyse de la morphologie urbaine : fondements théoriques 15
Chapitre 1 : Morphologie des tissus urbains 16
1. Introduction 17
2. Forme et morphologie 17
3. La morphologie urbaine 18
4. La forme urbaine, un sens social 20
5. Pourquoi étudier la forme urbaine ? 21
6. Forme urbaine et dynamique de forme 22
7. La forme urbaine et la métamorphose 24
8. La morphologie urbaine et l'histoire urbaine 27

9. L'histoire et la dynamique de la forme urbaine : La morphogenèse 28
10. Les registres de forme 30
10.1. La forme du tissu urbain 30
10.2. La forme du tracé urbain 31
10.3. La forme du paysage urbain, ou forme plastique urbaine 32
10.4. La forme sociale urbaine ou forme de l'espace social urbain 33
10.5. La forme bioclimatique et environnementale urbaine 34
11. Les écoles de la morphologie 35
11.1. L'analyse morphologique et typo-morphologique 35
11.1.1. L'école italienne 35
11.1.2. L'école française 36
11.1.3. Les écoles anglo-saxonne (anglaise et américaine) 37
11.2. La morphologie urbaine et le développement durable 38
11.3. Les Analyses morphologiques mathématiques 39
11.3.1. La morphologie mathématique 39
11.3.2. École morphogénétique 40
11.3.3. La syntaxe de l'espace 40
11.3.4. La morphométrie 41
11.3.5. La géométrie fractale 43
12. Conclusion 45
Chapitre 2 : Fractals, notions et concepts 46
1. Introduction 47
2. La géométrie fractale comme outil de caractérisation urbaine. Pourquoi ? 47
3. Géométrie fractale 48
3.1. Notions fondamentales 49
3.1.1. La loi de Pareto-Zipf 49
3.1.2. La courbe de Von Koch 50
3.1.3. La mesure Hausdorff 51
3.1.4. Ensemble de Cantor 51
3.2. Propriétés des fractales 52
3.2.1. L'irrégularité 53
3.2.2. L'invariance d'échelle 53
3.2.3. L'autosimilarité 54
3.2.4. La rugosité 55
3.2.5. La lacunarité 55

3.3. Composants des fractales 56
3.3.1. La base 56
3.3.2. L'initiateur 57
3.3.3. Le générateur 57
3.3.4. L'itération 57
4. Formes fractales et formes urbaines 58
4.1. Les modèles théoriques des fractals 58
4.1.1. La poussière de Fournier 59
4.1.2. Le tapis Sierpinski 60
4.1.3. Les modèles mixtes 63
4.1.4. Le téragone 64
4.1.5. Modèle multi-fractal 65
4.1.6. Fractales aléatoires 66
4.2. Les modèles fractals des villes 67
4.2.1. L'agrégation limitée de diffusion (DLA) 67
4.2.2. Le modèle d'automate cellulaire (CA) 68
4.2.3. Les modèles à base d'agents (ABM) 69
5. Configuration morphologique de la ville fractale 71
6. L'intérêt des fractales pour les villes 74
7. Conclusion 75
Chapitre 3 : Fractals, approches méthodologiques 76
1. Introduction 77
2. Mesurer la fractalité 77
2.1. Dimensions entières 77
2.1.1. Dimension topologique 77
2.1.2. Dimension d'homothétie 77
2.2. Dimension fractale 78
2.3. Méthodes de mesure de la fractalité 81
2.3.1. Méthodes de comptage 81
2.3.2. Méthodes de lissage 83
2.3.3. Indices fractals 84
2.3.4. Performance des méthodes 86
3. L'analyse fractale appliquée sur les tissus urbains : Etat de l'art 89
4. L'analyse fractale dans le contexte urbain algérien : bilan et critique 92
5. Méthodologie d'approche 98

5.1. Positionnement de la recherche 98
5.2. Justifier le choix du corpus 98
5.3. Préparation des supports graphiques 99
5.4. Calculs de la dimension fractale 101
5.4.1. Forme de l'élément de référence 102
5.4.2. La méthode de comptage 102
5.4.3. La représentation des courbes d'analyse 103
5.4.4. L'estimation des paramètres 103
6. Conclusion 104
Partie II : Lecture et caractérisation des noyaux urbains algériens 105
Chapitre 4 : Vers la caractérisation morphologique du noyau urbain de Blida 106
1. Introduction 107
2. Présentation du premier cas d'étude : Blida 107
3. Genèse historique urbaine du noyau urbain de Blida 109
3.1. Blida pré-coloniale française 109
a- La fondation de la ville 109
b- L'édification de la ville 109
c- Les éléments structurants du noyau urbain 111
3.2. Blida coloniale fraçaise 115
a- Le contexte de la colonisation 115
b- Urbanisme militaire et espace urbain : La restructuration 116
c- Premières extensions extramuros 121
3.3. Blida Post-coloniale : Etat des lieux 122
4. Préparation cartographique et traitement des supports graphiques 123
4.1. Délimitation du périmètre 123
4.2. Traitement des supports graphiques 123
5. Analyse fractale des données urbaines 125
5.1. Analyse fractale du plan précolonial hypothétique 125
5.2. Analyse fractale diatonique globale du périmètre d'étude 126
5.3. Analyse fractale diachronique par zone 131
a- Zone centrale précoloniale (a) 131
b- Zone de restructuration/extension nord-française (b) 132
c- Zone de restructuration/extension sud-française (c) 134
6. Discussion des résultats 135
7. Conclusion 137

Chapitre 5 : Essai de caractérisation morphologique du noyau urbain de Médéa 138
1. Introduction 139
2. Présentation du deuxième cas d'étude : Médéa 139
2.1. Localisation de Médéa 139
2.2. Toponymie 141
3. Genese historique urbaine du noyau urbain de Médéa 141
3.1. Médéa pré-coloniale française 141
a. La période antique 141
b. La période arabo-musulmane 142
c. La période ottomane 143
3.2. Médéa coloniale fraçaise 147
3.3. Médéa Post-coloniale : Etat des lieux 150
4. Préparation cartographique et traitement des supports graphiques 151
4.1. Délimitation du périmetre 151
4.2. Traitement des supports graphiques 152
5. Analyse fractale des données urbaines 154
5.1. Analyse fractale du plan précolonial hypothétique 154
5.2. Analyse fractale diaronique globale du périmetre d'étude 155
5.3. Analyse fractale diachronique par zone 161
a. Zone avec interventions minumes : Zone (a) 161
b. Zone restructurée nord et est : Zone (b) 163
6. Discussion des resultats 166
7. Conclusion 167
Chapitre 6 : Caractérisation des paramètres morphologiques du noyau urbain de Miliana 169
1. Introduction 170
2. Présentation du troisième cas d'étude : Miliana 170
2.1. Localisation de Miliana 170
2.2. Toponymie 171
3. Genese historique urbaine du noyau urbain de Miliana 172
3.1. Miliana pré-coloniale française 173
a- Miliana romaine 173
b- Miliana arabo-musulmane 174
c- Miliana ottomane 175
3.2. Miliana coloniale française 178
a. Le contexte de la colonisation 178

b. Urbanisme militaire: La restructuration urbaine 179
c. Duplication de la ville : Premières extensions extramuros 182
3.3. Miliana Post-coloniale : Etat des lieux 183
4. Préparation cartographique et traitement des supports graphiques 184
4.1. Délimitation du périmetre 185
4.2. Traitement des supports graphiques 185
5. Analyse fractale des données urbaines 187
5.1. Analyse fractale du plan précoloniale hypothétique 187
5.2. Analyse fractale diaronique globale du périmetre d'étude 189
6. Discussion des resultats 194
7. Conclusion 195
Chapitre 7 : Vers la caractérisation morphologique fractale des noyaux urbains 196
1. Introduction 197
2. Lecture comparative du corpus 197
2.1. Caractérisation morphologique des noyaux hypothétiques précoloniaux 198
2.2. Une homogénéité et hiérarchie notables au fil du temps 200
2.3. Des noyaux urbains très compacts 204
2.4. La dilatation, un indicateur de distinction 207
3. Dimension fractale comme outil de caractérisation urbaine 211
3.1. Les fractals pour cerner les discontinuités 212
3.2. La dimension fractale globale et la dimension fractale locale 212
3.3. Dimensions fractales caractéristiques pour chaque type de tissu 214
3.4. L'impact du facteur temps sur la variation fractale du tissu 216
3.5. La distribution spatiale et l'invariance d'échelle 218
3.6. Forme fractale, forme optimale 220
3.7. Mesure fractale et mesures analogues 221
3.8. Indice de couverture fractale 222
4. Conclusion 224
Conclusion Générale 226
Conclusion générale 227
Retours sur les résultats de la recherche 228
Les noyaux urbains à l'époque précoloniale 228
Lecture fractale comparative des noyaux urbains coloniaux et postcoloniaux 229
Apports de la recherche 233
Limites et difficultés de la recherche 233

Perspectives de recherches ultérieures 234
Les livrables de la thèse 235
Livrable 1 : Caractérisation fractale des noyaux urbains précoloniaux 236
Livrable 2 : Caractérisation fractale des noyaux urbains dont l'origine est précoloniale 237
Livrable 3 : Caractérisation des tissus urbains relativement conservés (peu restructurés) dont l'origine est précoloniale 238
Livrable 4 : Article publié dans la revue Urban Morphology (A) 239
Livrable 5 : Article publié dans la revue Arab World Geographer (B) 240
Bibliographie 241
Fonds archivistiques 259
Actes de séminaires et colloques 259
Webographie 259
Textes règlementaires 260
Annexes 261

Liste des figures

Figure 1. Synthèse de la démarche méthodologique. Source : Auteur 13

Figure 2. Morphologies urbaines. Source : (Jacobs, 1993) 19

Figure 3. Image aérienne de la ville de Versailles. Source : Communes.com 21

Figure 4. Image aérienne du qser de d'At Izjan (Béni Isguen). Source : fb Discover Ghardaïa..... 21

Figure 5. La nouvelle Moscou : un nouveau projet de transport en commun pour la Moscou de l'après pic pétrolier. Source : (Viganò, 2013) 25

Figure 6. Padoue, Palazzo Della Ragione. 28

Figure 7. Le Palais de la Raison, vu de la place aux Fruits 28

Figure 8. Genèse d'histoire urbaine opérationnelle de Venise. Muratori, Studi.S (1959), 'Per una operante storia urbana di Venezia, Istituto poligrafico dello Stato' 29

Figure 9. Les registres de la forme selon Levy, 2005. Mise en forme par l'auteur 30

Figure 10. Les structures des centres historiques de Venise, Rome et Londres (1950). Source : (Aymonino, 2000) 31

Figure 11. Forme des tracés : Plan de Gênes à gauche, Plan de Sienne à droite. (AMBRIÈRE, 1968, p. 328-329) 32

Figure 12. Diagramme d'orientation à lire de bas en haut, Boston, 1965, par Donald Appleyard, Kevin Lynch, John Ronald Myer,. Source : plateforme Problemata 32

Figure 13. Forme sociale : densités résidentielle et bâtie. http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/26423/img-3.png 34

Figure 14. Forme bioclimatique : îlot de chaleur en soirée mesuré sur Toulouse pour les journées d'août 2021.CNRM ; Toulouse Métropole ; Données sources : http//mapuce.orbisgis.org..... 35

Figure 15. Schématisation de l'approche typo-morphologique italienne. Source : (Trotta-Brambilla et Novarina, 2018)..... 36

Figure 16. Schématisation de l'approche française du projet urbain. Source : (Trotta-Brambilla et Novarina, 2018)..... 37

Figure 17. Source : La densité humaine à la consommation d'énergie liée aux transports (Le Néchet, 2011)..... 38

Figure 18. Illustration des transformations de base de morphologie mathématique (Voiron et Canicio, 1995)..... 40

Figure 19. Modélisation spatiale établie par l'humain et celle par l'ordinateur. Source (Jiang et Claramunt, 1999)..... 41

Figure 20. Les 4 étapes d'une analyse en morphométrie géométrique. Source (Adams et al. 2013).... 42

Figure 21. Les quatre premières itérations du tapis de Sierpinski. Source (Fersiti et al. 2018) 44

Figure 22. La surface bâtie de l'agglomération berlinoise (1,67km²) regroupée dans un disque de la même surface, ensuite répartie en petites villes éparses. Source : (Humpert et al. 1991) 48

Figure 23. Courbe de Von Koch conçue en deux étapes d'itération. (Source : Frankhauser, 2003)..... 50

Figure 24. La forteresse de Palmanova sous forme d'un flocon de Koch, située dans la province d'Udine au nord-est d'Italie. Source : vdouine.net..... 51

Figure 25. Ensemble de Cantor en trois étapes d'itération..... 52

Figure 26. Les composants d'une fractale (Frankhauser, 2005)..... 57

Figure 27. La poussière de Fournier construite par itération (Frankhauser, 2005) 59

Figure 28. Le grand ensemble de Pissevin à Nîmes, exemple d'un urbanisme au modèle de poussière de Fournier. Source : techno-science.net..... 60

Figure 29. Exemple d'un Tapis de Sierpinski avec trois étapes d'itération (Frankhauser, 1990) 61

Figure 30. Les étapes de construction d'un tapis de Sierpinski ((a) (b) (c)) et le système d'emboîtement d'échelles des parties vides (d), (Frankhauser, 2005) 61

Figure 31. Grand Ensemble des Aunettes dite Résidence Pergaud : Modèle tapis de Sierpinski. Source : inventaire.iledefrance.fr, prise de vue en 2011 61

Figure 32. Différents scenarios d'aménagement de la ville fractale selon le modèle Tapis de Sierpinski (Frankhauser, 2005)..... 62

Figure 33. Deuxième étape d'itération de modèles mixtes : (a) exemple de semis d'habitats et (b) exemple de tissus intra-urbains (Frankhauser, 2005) 63

Figure 34. Le grand ensemble de Sarcelles en Iles de France à l'exemple des modèles mixtes. Source : lesechos.fr 64

Figure 35. Construction d'un téragone dont la surface totale reste constante au fil des itérations avec une bordure est fractale dont la longueur tend vers l'infini. (Tannier, 2009) 65

Figure 36. Modèle multi-fractal. (Frankhauser, 2003) 66

Figure 37. Formes fractales à itérations multiples qui se rapprochent plus de la brodure urbaine. A gauche une forme qui se refère au flocon de Koch, à droite une forme qui se ratache du tragone. Source : vdouine.net 66

Figure 38. Le modèle de référence adapté à chaque objet de recherche. (Frankhauser, 2005) 67

Figure 39. Exemple d'une modélisation de la morphologie urbaine générée selon le modèle DLA ou les pixels verts représentent les clusters centraux alors que les pixels verts représentent les autres espaces occupés. Source : (Rybski, Born et Kropp, 2021) 68

Figure 40. Evolution de la forme urbaine de Belfort-France selon le modèle cellular automata. Source : (Antoni, 2001) 69

Figure 41. Simulations et écarts à partir d'une modélisation individu, espace et innovation. Source : (Daudé, 2003) 71

Figure 42. Deux exemples de relation entre formes globales et formes locales (Source : Tannier et al. 1 : 2007 et 2 : 2006) 72

Figure 43. Dimension d'homothétie. Source : http://villemin.gerard.free.fr/NombDico/index.htm 78

Figure 44. Analogie des pixels noirs. A gauche : Exemple d'une fractale construite. Source : .A droite : L'espace bâti de la région de la capitale de Bruxelles. Source : Brussel Urbis, (Keersmaeker et al. 2004) 79

Figure 45. Signification de la dimension fractale (Frankhauser, 2003, p.22) 79

Figure 46. Evolution spatio-temporelle de la dimension fractale de Lisbonne. Source : (Encarnação et al. 2012) 91

Figure 47. L'impact de la loi de succession (par héritage) sur la géométrie urbaine des anciennes villes musulmane, avec hypothétique découpage du parcellaire. (Ben-Hamouche, 2011) 93

Figure 48. Tissus urbains analysée. Source : (Kacha, Abdessemed et Matsumoto, 2022) 95

Figure 49. Restitution d'un plan footprint à partir du plan cadastral de 1852 de la ville de Blida. Source : Bellala et Dahmani 2024 101

Figure 50. Méthodologie d'approche adoptée pour l'analyse du corpus d'étude. Source : Auteur 104

Figure 51. Image satellite illustre la délimitation du périmètre d'étude ainsi que sa situation dans la ville de Blida. Source : Auteur sur support Google earth pro 108

Figure 52. Position des portes de la ville sur le plan cadastral de 1852. Source : Plan cadastrale Blida, BN 110

Figure 53. Plan de 1840 établi par le Génie militaire français. Source : BNA..... 112

Figure 54. Blida, ville précoloniale. Source : (Deluz-Labruyère, 1988, p28). 113

Figure 55. Les environs de Blida en 1885. Source : gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France 115

Figure 56. L'installation des structures urbaines coloniales. Source : Source : (Deluz-Labruyère, 1988) 117

Figure 57. Blida : Répartition des commerces à l'époque coloniale. Source : Source : (Deluz-Labruyère, 1988) 120

Figure 58. Image aérienne de la ville de Blida prise en 1935. Source : fond privé..... 122

Figure 59. Courbe du comportement scalant de la période avant 1840. Source : Auteur 126

Figure 60. La courbe du comportement scalant du footprint de 1840. Source : Auteur 128

Figure 61 Analyse radiale de la zone (a) sur les années 1840, 1852, 1956 et 2022 avec la courbe du comportement scalant. Source : Auteur..... 132

Figure 62. Reportage photographique sur les ruelles de la zone (a) dont la largeur est étroite (piétonne). Source : mahlakiyaelblida.org..... 132

Figure 63. Reportage photographique sur les ruelles de la zone (a) dont la dimension est carrossable. Source : mahlakiyaelblida.org 132

Figure 64. Reportage photographique sur les vides urbains de la zone (c). Source : mahlakiyaelblida.org 135

Figure 65. Image satellite illustre la délimitation du périmètre d'étude ainsi que sa situation dans la ville de Médéa. Source : Auteur sur support Google earth pro 140

Figure 66. L'aqueduc romain de Médéa. A gauche : Ancienne carte postale (Source : delcampe.net). A droite : Prise de vue récente (Source : Auteur)..... 142

Figure 67. Vestiges de l'époque Médiévale. A gauche : Carte postale de l'entrée de la citadelle en 1910 (Source : delcampe.net). A droite : La mosquée Malékite (Source : Fond privé Dr Abbassa) 143

Figure 68. La citadelle Médéa, le centre de pouvoir ottoman, 2016. 144

Figure 69. La citadelle Médéa, le centre de pouvoir ottoman, Gravure 1865. 144

Figure 70. Fortifications et portes de la ville de Médéa. A gauche : la porte des jardins. A droite : La porte de Blida. (Source : Descampes.net) 144

Figure 71. Fortifications naturelles de la ville de Médéa au XIXe siècle..... 145

Figure 72. Fortifications artificielles de la ville de Médéa au XIXe siècle 145

Figure 73. Le plan cadastral de la ville de Blida en 1867. Source : BNA..... 146

Figure 74. Ruelles de Medeah dessinées par Philippoteaux Félix. Vues et portraits faits pendant ma campagne de mai 1840, Algérie. 146

Figure 75. Place de Médéa (vue prise du Belvédère de la maison du commandant supérieur, par Ph. de Rouvre 1846 Le capitaine d'Etat-major. Source : Musée Condé. Numéro d'inventaire : DE 685..... 148

Figure 76. Restructuration urbaine du noyau de Médéa en 1867 (Source :) 148

Figure 77. Médéa en 1831. (Source : Descampes.net) 149

Figure 78. Médéa en 1840. Source : (Cortès, 1909, p16-17) 149

Figure 79. Médéa en 1907. Source : (Cortès, 1909, p16-17) 149

Figure 80. Architecture proto-rationaliste de l'après-guerre. Les HLM de Médéa. Source : (Source : Fond privé Dr Abbassa) 150

Figure 81. Architecture proto-rationaliste de l'après-guerre. Le tribunal de Médéa. Source : (Source : Fond privé Dr Abbassa) 150

Figure 82. Place du premier novembre et la mosquée El Nour. Source : Wikipédia 151

Figure 83. Plan de la ville en 1867 affiné ensuite reproduit en format (*.tiff) (Source : Services d'urbanisme de l'APC)..... 152

Figure 84. Courbe du comportement scalant du noyau urbain de Médéa en 1867. Source : Auteur .. 155

Figure 85. Image satellite des années 60 montre la compacité élevée du noyau urbain de Médéa. Source :..... 159

Figure 86. Reportage photographique de la zone (a) de Médéa : présence de petits équipements et commerces. Source : Auteur 161

Figure 87. Reportage photographique de la zone (a) de Médéa : quartier exclusivement résidentiel. Source : Auteur..... 163

Figure 88. Reportage photographique de la zone (b) de Médéa : quartier commercial. Source : Auteur 164

Figure 89. Image satellite illustre la délimitation du périmètre d'étude ainsi que sa situation dans la ville de Miliana. Source : Auteur sur support Google earth pro..... 172

Figure 90. La ville de Miliana précoloniale. Source : (Bousserak, 2000)..... 176

Figure 91. Vues sur la ville de Miliana. Aquarelles réalisées par Olivier Bro De Coméres en 1840. Source : Fond privé de Setdart Auction House 177

Figure 92. La ville de Miliana avant les démolitions. Aquarelles réalisées par Olivier Bro De Coméres en 1840. Source : Fond privé de Setdart Auction House..... 177

Figure 93. Vues sur les ruines de Miliana. Aquarelle réalisée par Olivier Bro De Coméres en 1840. Source : Fond privé de Setdart Auction House 178

Figure 94. Ancienne mosquée à Miliana. Aquarelles réalisées par Olivier Bro De Coméres en 1840. Source : Fond privé de Setdart Auction House 179

Figure 95. Restructuration de la partie est de la ville en créant une place à proximité de la porte d'Alger, baptisée Place du Zeccar, et restructuration du tracé pat la création de percements droits t plus larges. Source : Musée communal El Amir Abdelkader de Miliana 180

Figure 96. Cartes postales anciennes montrant la porte du Zaccar et la place Zaccar. Source : Fond privé..... 180

Figure 97. Anciennes cartes postales illustrant la mosquée de l'intérieur et l'extérieur. Source : Fond privé 181

Figure 98. Résidence de l'Emir Abdel Kader. Source : Auteur 181

Figure 99. Dédoublement de la ville de Miliana comme première extension. Source : (Bousserak, 2000) 183

Figure 100. Image aérienne de la ville de Miliana. Source : algermiliana.com 184

Figure 101. Plan de la ville de Miliana avant les interventions coloniale affiné ensuite reproduit en format (*.tiff) (Source : Gsell, 1927) 185

Figure 102. Courbe du comportement scalant de Miliana durant la période précoloniale. Source : Auteur 188

Figure 103. Reportage photographique des ruelles de Miliana datant de la période précoloniale. Source : Auteur 188

Figure 104. Reportage photographique du périmètre d'étude de Miliana, restructuré durant la période coloniale. Source : Auteur 191

Figure 105. Analyse de dilatation de Blida présentant le plan d'avant 1840 avec 5 étapes d'itération, et l'état des lieux (2023) avec 5 puis 20 étapes d'itération. Source : Auteur 208

Figure 106. Analyse de dilatation des trois cas d'étude du corpus d'avant 1840 avec 5 étapes d'itération. De gauche vers la droite : Blida, Médéa, Miliana. Source : Auteur 208

Figure 107. Analyse de dilatation des trois cas d'étude du corpus avec 12 étapes d'itération. Etat des lieux de gauche vers la droite : Blida 2022, Médéa 2023, Miliana 2024. Source : Auteur 209

Figure 108. La dimension fractale globale vs la dimension fractale locale. Source : Auteur 214

Figure 109. Impact du temps sur la variation de la dimension fractale. Source : Auteur 217

Figure 110. Processus contribuant à l'emergence d'une forme urbaine fractale. Source: Auteur 219

Figure 111.La forme fractale est-t-elle optimale ? Source : Auteur 221

Figure 112. Mesures analogues complémentaires à notre recherche. Source : Auteur 222

Liste des tableaux

Tableau 1.Liste des documents graphiques exploités dans cette recherche. Source : Auteur 10

Tableau 2. Performance des méthodes d'analyse : Forces et faiblesses de chaque méthode. Source : Frankhauser, 2003, p.36 86

Tableau 3. Revue de litterature sur l'analyse fractale des tissus urbains dans le contexte algérien. Source : Auteur 96

Tableau 4.Supports graphiques utilisés dans la caractérisation morphologique du noyau de Blida. Source : Auteur 124

Tableau 5. Calcul de la dimension fractale (Radiale, Dilatation, Corrélation) du noyau précolonial hypothétique 125

Tableau 6. L'analyse radiale du périmètre d'étude selon trois rayon à travers les années : 1840, 1852, 1916, 1956, 2022. Source : Auteur 127

Tableau 7. L'analyse de Dilatation et corrélation du périmètre d'étude. Source : Auteur 129

Tableau 8. Résultats de l'analyse radiale, dilatation et corrélation de la zone (a) du périmètre d'étude. Source : Auteur 131

Tableau 9. Résultat des analyses radiales, dilatation, et corrélation de la zone (b). Source : Auteur.. 133

Tableau 10. Résultat des analyses radiales, dilatation, et corrélation de la zone (c). Source : Auteur 135

Tableau 11. Supports graphiques utilisés dans la caractérisation morphologique du noyau de Médéa. Source : Auteur 153

Tableau 12. Calcul de la dimension fractale (Radiale, Dilatation, Corrélation) du noyau précolonial hypothétique de Médéa. Source : Auteur 154

Tableau 13. L'analyse radiale du périmètre d'étude selon trois rayon à travers les années : 1867, 1958, 1985, 2023. Source : Auteur 156

Tableau 14. L'analyse Radiale, dilatation et corrélation du périmètre d'étude de Médéa. Source : Auteur 158

Tableau 15. Résultats de l'analyse radiale, dilatation et corrélation de la zone (a) du périmètre d'étude de Médéa. Source : Auteur 162

Tableau 16. Résultat de l'analyse radiale, dilatation, et corrélation de la zone (b) du périmètre d'étude de Médéa. Source : Auteur 165

Tableau 17. Supports graphiques utilisés dans la caractérisation morphologique du noyau de Miliana. Source : Auteur 186

Tableau 18. Calcul de la dimension fractale (Radiale, Dilatation, Corrélation) du noyau précoloniale hypothétique de Miliana. Source : Auteur 187

Tableau 19. L'analyse radiale du périmètre d'étude de Miliana selon trois rayons à travers les années : 1841, 1852, 1929, 1986, et 2024. Source : Auteur 190

Tableau 20. L'analyse radiale, de dilatation et de corrélation du périmètre d'étude de Miliana. Source : Auteur 192

Tableau 21. Relevé photographique de deux ruelles précoloniales. Source : Auteur 194

Tableau 22. L'analyse fractale du corpus avant l'intervention coloniale. Source : Auteur 198

Tableau 23. Comportement scalant relatif à l'analyse de corrélation du corpus d'étude de la période précoloniale et celle d'aujourd'hui. Source : Auteur 199

Tableau 24. Evaluation de la complexité du corpus à l'époque précoloniale. Source : Auteur 200

Tableau 25. Variations locales de la dimension radiale de Blida et Médéa. Source : Auteur 203

Tableau 26. Evolution de la complexité du corpus de l'époque précoloniale jusqu'à aujourd'hui. Source : Auteur 205

Tableau 27. Variations locales de la dimension fractale issue de l'analyse de corrélation de Blida, Médéa et Miliana. Source : Auteur 207

Tableau 28. Evolution de la compacité du corpus entre le début de la colonisation et aujourd'hui. Source : Auteur 210

Tableau 29. Comparaison entre la dimension fractale globale et la dimension fractale locale par zone par cas d'étude. Source : Auteur 213

Tableau 30. Variations globale et locale de la dimension fractale ainsi que le préfacteur de forme à travers le temps. Source : Auteur 215

Tableau 31. Couverture fractale des noyaux urbains de Blida, Médéa et Miliana, durant la période précoloniale et l'état des lieux. Source : Auteur 223

Tableau 32. Couverture fractale du noyau urbain de Blida (globale et locale) en 2022. Source : Auteur 223

Liste des graphiques

Graphique 1. Variation de la dimension fractale radiale selon trois fenêtres correspondantes à trois rayons d'analyse. Source : Auteur 128

Graphique 2. La variation de la dimension fractale de la zone (b). Source : Auteur 133

Graphique 3. La variation de la dimension fractale de la zone (c). Source : Auteur..... 134

Graphique 4. Variation de la dimension fractale radiale de Médéa selon trois fenêtres correspondantes à trois rayons d'analyse. Source : Auteur 157

Graphique 5. La variation de la dimension fractale de la zone (a) - Médéa. Source : Auteur..... 163

Graphique 6. La variation de la dimension fractale de la zone (b) - Médéa. Source : Auteur 166

Graphique 7. Variation de la dimension fractale radiale de Miliana selon trois fenêtres correspondantes à trois rayons d'analyse. Source : Auteur 189

Graphique 8. La variation de la dimension fractale du périmètre d'étude de Miliana. Source : Auteur 193

Graphique 9. Synthèse des résultats de l'analyse radiale du corpus : Blida, Médéa, Miliana. Source : Auteur..... 201

Graphique 10. Synthèse des résultats de l'analyse de corrélation du corpus : Blida, Médéa, Miliana. Source : Auteur..... 204

Graphique 11. Synthèse des résultats de l'analyse de dilatation du corpus : Blida, Médéa, Miliana. Source : Auteur..... 211

Graphique 12. L'impact du facteur temps sur la variation fractale du tissu avec mise en évidence des facteurs liés à notre cadre d'étude. Source: Auteur..... 218

Liste des planches

Planche 1. Synthèse des méthodes d'analyse fractale. Source : Auteur, Source des illustrations : Frankhauser, 2003 88

Planche 2. Découpage du périmètre d'étude en zone homogène. Source : Auteur..... 130

Planche 3. Découpage du périmètre d'étude de Médéa en zones homogènes avec illustrations photographiques. Source : Auteur 160

Chapitre introductif

1. Contexte de la recherche

Caractérisation fractale morphologique des tissus urbains

La forme urbaine d'une ville découle d'un système organisé localement (Hillier et Hanson, 1984), dont la configuration spatiale est le produit du contexte historique, de la situation géographique et de la dynamique culturelle locale, qui contribuent tous à des transformations progressives au fil du temps. Les formes qui en résultent ne présentent pas invariablement une simplicité géométrique ou fonctionnelle. La classification des tissus urbains est possible par la mise en œuvre de descripteurs morphologiques et d'analyses de propriétés comparatives. La hiérarchie urbaine, qui repose sur le principe d'emboitement d'échelles, en particulier en ce qui concerne les noyaux urbains, a encouragé les chercheurs à adopter une méthodologie géométrique multi-échelle, en particulier la géométrie fractale.

De nombreuses études ont examiné à travers cette approche de vastes régions métropolitaines en utilisant des représentations cartographiques (Frankhauser, 1990, 2017, 2021 ; Caglioni et Rabino, 2004 ; Frankhauser et Tannier, 2005 ; Tannier et Pumain, 2005), en analysant les configurations physiques urbaines (Arlinghaus, 1985 ; Arlinghaus et Nystuen, 1990 ; Batty et Xie, 1997) et la dynamique de croissance (White et Engelen, 1993 ; Schweitzer et Jens, 1998 ; Shen, 2002). Ces concepts, largement utilisés dans l'examen des formes et des systèmes urbains, établissent un lien entre la structure urbaine et la géométrie fractale.

Certaines études ont été appliquées à l'échelle du quartier. Ces études fondamentales ont cherché à établir une corrélation entre la fractalité et les caractéristiques morphologiques de l'occupation du sol d'un point de vue fonctionnel. Ils ont mis l'accent sur différentes typologies de parcelles : résidentiel, commercial-industriel, éducatif et de transport (Frankhauser, 1994, 2005 ; Caglioni et Rabino, 2004 ; Keersmaecker et al., 2004).

Toutefois, leurs recherches restent incomplètes en ce qui concerne la dimension historique de ces tissus. En effet, un nombre limité d'études se sont concentrées sur la dynamique des tissus des centre-ville d'un point de vue fractal (De Keersmaecker, 2004 ; Thomas et al., 2008 ; Lagarias et Prastacos, 2021), redirigeant souvent l'attention vers des agglomérations complètes du centre vers la périphérie dans le cadre de l'étalement urbain ou de l'efficacité des transports. Néanmoins, les centres urbains, comme cas d'étude isolé, nécessitent une attention scientifique

ciblée en raison de leur statut distinctif, de leur conformation géométrique, de leur fonction, de leur importance historique.

L'usage des fractals dans le contexte urbain algérien

Les fractales ont connu une application limitée dans la géographie et les études urbaines algériennes. Les plus anciennes recherches se sont concentrées sur l'analyse des villes, du centre vers la périphérie, comme c'est le cas pour Oran (Selka et Benamar, 2001), Constantine (Kholladi, 2004). Dans un contexte très particulier, Ben-Hamouche (2011) a examiné l'analyse fractale de la morphologie des villes musulmanes, attribuant les influences de la division foncière au droit des successions et illustrant son impact sur la complexité urbaine à travers des lotissements successifs.

L'enthousiasme récent pour les études fractales en contexte urbain est illustré par l'analyse de la dynamique urbaine à travers l'étalement urbain. Dans ce contexte, on cite les études effectuées sur la ville de Bou Saâda (Dechaicha, 2013), La ville de Laghouat (Benkouider et al. 2018), de Bejaia (Bouiche, Alkama et Bouamrane, 2020), de Biskra (Abdou et Alkama, 2022), et enfin de Batna (Fekkous N, Alkama et Fekkous K, 2023).

On tient à souligner l'originalité de deux études portant sur des échelles plus modestes, à savoir l'étude menée par Arrouf, Kacha et Mansouri (2015), portant sur l'identité morphique des tissus auto-construits spontanément à Batna, ainsi que les recherches de Barrou (2019) sur les villages aurassiens traditionnels tels que Menaa, Teniet El Abed et Arris

Une dernière contribution scientifique à mentionner concerne une analyse comparative entre les propriétés fractales temporelles présentes dans trois zones urbaines : Beb-el-Oued (Alger), Chiyoda-ku (Tokyo) et Lower Manhattan (New York) (Kacha, Abdessemed et Matsumoto, 2022).

Positionnement scientifique du sujet

À cette fin, la présente thèse aspire à mener une analyse fractale, appliquée précisément sur les noyaux urbains des villes algériennes, tout en utilisant diverses méthodologies de mesure fractale pour des fins de caractérisation de ces tissus assez particuliers. Le choix de cette thématique répond à une actualité scientifique. En effet, l'analyse fractale des tissus urbains est largement traitée dans la littérature scientifique à l'échelle mondiale aussi bien qu'en Algérie. Par contre, l'application de l'analyse fractale, et particulièrement dans le contexte des noyaux urbains, et d'une manière diachronique, permettrait de caractériser ces tissus dans le temps, et souligner les changements qui y sont apportés depuis la période précoloniale, la période coloniale et postcoloniale. Cette question est plus que cruciale, puisqu'elle illustre un vécu commun des villes algériennes dans l'histoire.

2. Problématique de la recherche

Cette recherche traite la problématique de la **Caractérisation morphologique fractale des tissus urbains propres aux noyaux urbains des villes algériennes.** Le but est de relier la morphologie urbaine de la ville à sa morphométrie fractale. Nous pourrions ainsi tester concrètement l'intérêt des mesures de fractalité dans un contexte d'urbanisme. Que peut apporter le calcul des dimensions fractales à l'urbanisme ou à la connaissance intra-urbaine des noyaux des villes ?

Cette recherche vise à apporter quelques éléments de réponse à cette question à partir de trois exemples concrets. Nous proposons d'étudier les tissus des noyaux urbains de Blida, Médéa et Miliana, mais que l'on retrouve peu ou prou dans d'autres villes algériennes de seconde échelle, et de voir en quoi les mesures de fractalité permettent de rendre compte de leurs spécificités.

Peut-on imaginer des indicateurs fractals caractéristiques pour ces tissus, permettant de les caractériser ?

- Les noyaux urbains des villes de la même échelle ont t ils des caractéristiques morphologiques similaires ?

- Est-il possible de procéder par approche comparative entre les différents tissus urbains avec des données quantifiables ?

Etudier les changements opérés sur des centres urbains algériens depuis la période précoloniale jusqu'à aujourd'hui implique la prise en charge de la dimension historique et socio-culturelle du contexte urbain algérien, profondément destitué, surtout durant la période coloniale française, passant d'une ville traditionnelle arabo-musulmane, à une ville européenne, ensuite post-indépendante mais qui doit assumer son héritage multiculturelle. Dans ce sens, on se pose les questions suivantes :

- Le facteur temps a-t-il une influence sur la morphologie des tissus ? Et est-ce que les villes dont les histoires urbaines sont similaires évoluent morphologiquement de la même manière ?

- Les mesures fractales permettent-elles de décrire la diversité et/ou la conformité des tissus urbains observés au fil du temps, dans leur globalité ou dans leurs caractéristiques locales ? Comment peut-on interpréter les différents indicateurs fractals ?

3. Hypothèses de la recherche

Pour orienter notre recherche et afin d'organiser notre travail, nous avons formulé trois hypothèses opératoires que nous chercherons à confirmer ou à infirmer à l'aide de l'analyse

fractale du corpus, que nous détaillons dans la partie méthodologie présentée en introduction et détaillée dans le chapitre 3.

Hypothèse 1 : On suppose que les villes de moyennes échelles évoluent de la même manière si elles présentent des paramètres similaires dont : l'histoire, l'emplacement par rapport aux grandes villes, le statut administratif, etc.

La forme urbaine d'une ville n'est pas simplement un assortiment aléatoire de structures, mais émerge plutôt d'un cadre local systématiquement organisé, tel que défini par Hiller et Hanson (1984) et soutenu par Batty et Xie (1996). Ce fondement suggère que l'aménagement des environnements urbains est profondément influencé par le contexte historique, la topographie et la culture locale, qui contribuent tous à une série de transformations progressives survenant au fil du temps. Cette hypothèse vient en continuité et stipule que les centres urbains de la meme échelle se développent de manière comparable lorsqu'ils présentent des caractéristiques analogues, telles qu'un cadre socio-économique commun, un contexte historique similaire, une position géographique semblable par rapport aux zones métropolitaines, et d'autres facteurs pertinents, car ces variables jouent un rôle crucial dans leurs trajectoires de développement. Cette hypothèse laisse suggérer que du moment que les villes ont vécu des faits historiques similaires, on peut considérer que les strates urbaines relatives aux périodes précoloniale, coloniale et post- coloniale se ressemblent.

Hypothèse 2 : Les modèles intra-urbains d'un même centre d'une ville possèdent des dimensions fractales constantes sur des périodes temporelles différentes. La dimension fractale est un indicateur efficace pour discerner l'authenticité de la morphologie urbaine

La géométrie fractale est une méthode d'analyse morphologique qui permet d'analyser et de classifier les tissus urbains. Différents recherches se sont intéressées à l'évolution de la dimension fractale des villes au fil du temps (Frankhauser, 1990 ; Chen, 2002 ; Tannier et Pumain 2005 ; Encarnação et al. 2012). En continuité de ces travaux, on envisage de vérifier l'évolution de la dimension fractale de notre corpus entre la période précoloniale la période coloniale et la période postcoloniale.

Hypothèse 3 : L'approche comparative est toujours souhaitée lorsqu'il s'agit d'un corpus de plusieurs cas d'étude. Appuyer l'approche comparative par des données quantifiables rajouterait une plus-value au travail de recherche.

Cette hypothèse souligne l'intérêt de l'approche comparative dans les études fractales urbaines et dans l'amélioration du cadre analytique concernant la structure des centres urbains. Dans ce sens, on entrevoit de comparer les résultats issus des calculs effectués au cours de l'analyse du corpus, pour en tirer un modèle fractal qui applicable à d'autres cas d'étude, ou bien un

référentiel fractal pour les noyaux urbains algériens de moyenne échelle dans un contexte est similaire.

4. Objectifs de la recherche

Par ce travail de recherche, nous songeons à contribuer à la constitution d'une connaissance scientifique des villes de la région nord-centre algérien, d'abord par la documentation, ensuite par l'étude scientifique de trois cas d'étude de cette région.
On œuvre pour pourvoir définir l'identité morphologique des noyaux urbains des villes de la région nord-centre algérien, approchée auparavant par d'autres méthodes, surtout sous l'angle de la typo-morphologie, mais cette fois par l'analyse fractale urbaine, une méthode mathématique confrontée aux données socio-culturelles.
A travers cette recherche, on souhaite atteindre un de nos objectifs à savoir, comprendre et simuler la logique spatiale des noyaux urbains. La compréhension de la logique spatiale passe par l'étude du corpus ainsi que par le croisement des données issues du corpus qui nous renseignera davantage sur ces tissus très particuliers.
A travers cette recherche, il nous sera possible d'expliquer le lien entre la morphologie spatiale et la genèse urbaine de chaque cas d'étude, qui sont très étroitement reliées, puisque la ville nait de son histoire.
Enfin, quantifier la morphologie des tissus propres aux noyaux des villes du corpus est un de nos principaux objectifs.

5. Présentation du corpus

Ce travail prend pour corpus des noyaux urbains des villes de la région nord-centre de l'Algérie, plus précisément trois villes : Blida, Médéa et Miliana. Comme la majorité des villes algériennes, ces villes disposent d'un palimpseste qui s'est tracé à travers l'histoire, avec au minimum une strate précoloniale française, une deuxième strate coloniale française, et une dernière strate postcoloniale. L'impact de la ville coloniale française, qualifiée de ville européenne en référence au substrat la ville arabo-musulmane, est très important sur le paysage urbain, puisqu'elle l'a restructuré, ne sait ce partiellement, et ce dans la plupart des villes algériennes.

Cette étude ne prend en considération que le noyau urbain, en faisant abstraction de toute extension extramuros au noyau originel. Ces limites se justifient par la volonté d'aborder la caractérisation morphologique des noyaux urbains sous l'égide des fractals.
La ville de Blida est localisée à 47 km au sud-ouest d'Alger. Elle est située sur une zone piémont surélevée, bordée par la plaine de la Mitidja au nord et les montagnes de l'Atlas Blideen au sud.

Fondée vers 1535 par Ahmed ben El Kebir avec le soutien du Pacha d'Alger, la ville a été créée pour accueillir les Andalous fuyants de Valence pendant la Reconquista. Médéa, qui faisait auparavant partie du Titteri ottoman, est située à 90 km au sud d'Alger. C'est une ville millénaire dont l'histoire urbaine remonte à la période médiévale, par contre la ville contemporaine de Médéa est née à l'époque ottomane et française. Miliana est fondée au Xe siècle sur les ruines d'une ville romaine. La ville est située à 114 km au sud-ouest d'Alger, au sud du Dahra, sur les contreforts du mont Zaccar. À l'époque ottomane, elle était initialement rattachée au Beylik de l'Ouest, ensuite à Dar Es-Sultane et au gouvernorat direct du pacha.

6. Démarche méthodologique

Choix du thème

Le choix de ce thème de recherche émane de la volonté de travailler sur les noyaux urbains des villes de moyenne échelle afin de comprendre leur évolution dans le temps. Sensible à la question de la morphologie, et ayant déjà travaillé sur le patrimoine architectural et urbain, nous nous sommes penché sur la question de la caractérisation fractale de ces tissus urbains spécifiques.
Le choix des fractals comme outil d'analyse et de caractérisation de la morphologie urbaine découle de leur capacité d'étudier les lois de distribution régissant les espaces construits au sein des tissus urbains à différentes échelles, en utilisant des modèles de référence en fonction de l'orientation thématique et des objectifs de notre recherche. Etant un instrument de modélisation, les fractals facilitent également la classification des tissus analysés, à travers leur capacité de générer des structures géométriques qui respectent une loi de distribution spécifiée.

S'agissant du terrain d'étude, nous avons choisi au départ d'élargir notre horizon en travaillant sur la région nord centre de l'Algérie, à travers une approche comparative, en tenant compte l'échelle des villes choisies dans notre corpus, ainsi que le facteur historique de ces villes qui devait impérativement comprendre les trois phases historiques : précoloniale, coloniale et postcoloniale. Ce dernier s'est limité à trois cas d'étude en raison de la disponibilité de la documentation et l'accessibilité à l'information.

Nous tenons à mentionner que le choix de la période coloniale française comme réfèrent- temps pour les raisons suivantes :

- Elle constitue la période charnière dans l'histoire urbaine des villes algériennes, ou l'on passe de l'urbanisme arabo-musulman avec toutes ses caractéristiques vers la ville européenne, dont l'approche est totalement différente ;

- Elle est considérée comme la période la plus documentée dans l'histoire des villes algériennes ;
- La ville coloniale française présente un pourcentage important du noyau urbain algérien à l'état actuel

L'échelle des villes choisies émane d'une préférence particulière. On pense que les villes de cette échelle valent une attention particulaire, et méritent d'être documentées davantage, d'autant plus qu'elles constituent une piste d'investigation très intéressante, surtout quand il s'agit des études comparatives. En effet, dans le domaine de la recherche, et plus particulièrement dans le contexte algérien, on constate un engouement pour les villes à grande échelle, et tout particulièrement pour la capitale. Ceci est sans doute dû à la disponibilité abondante de la documentation, ainsi qu'au nombre de recherches déjà établies auparavant, qui ouvrent davantage des perspectives propices à la continuité de la recherche. C'est pour ces raisons que s'est portée notre orientation.

Choix de la méthodologie

D'un point de vue méthodologique, nous avons élaboré ce travail en adoptant plusieurs approches. Pour ce qui est de la démarche de construction de la recherche, celle-ci- s'apparente à une recherche empirique de type hypothético-inductive. Cette démarche vise à comprendre un phénomène abstrait à partir d'études de cas concrets.

Nous sommes partis vers des investigations sur terrain, menées sur la base de recherche documentaire pour comprendre l'évolution historique de chaque noyau urbain, afin de définir les changements opérés sur les tissus.

Nous avons par la suite mené un travail de synthèse, de croisement et d'hiérarchisation des données quantitatives et qualitatives afin de mettre en évidence les moments forts de l'histoire urbaine de chaque cas d'étude. Le but de pouvoir produire des supports graphiques servant de base pour le calcul de la morphologie urbaine.

Le déroulement méthodologique de cette recherche s'est fait selon le cheminement suivant :

Collecte des données

a- Recherche bibliographique

La lecture analytique des articles scientifiques et thèses sur le thème traité nous ont permis de justifier l'encrage du sujet dans le domaine de la recherche scientifique (morphologie urbaine, caractérisation des tissus urbains/ analyse fractale des structures urbains)

Notre analyse des données s'est déroulée en plusieurs étapes. La première consistait à procéder à une analyse préliminaire des documents, qui permet de préciser l'objet de la recherche en parcourant la revue de littérature des travaux antérieurs, en l'occurrence les études, les rapports de recherche, les thèses, et les articles scientifiques. Ces derniers nous ont aidés à préciser le thème et à positionner épistémologiquement notre problématique de recherche.

b- Recherche documentaire

Nous avons récolté puis analysé plusieurs types de documents : documents écrits et rapports d'étude, documents de la presse écrite, documents juridiques dans le cadre de la présente recherche. Nous énumérons les principaux d'entre eux ci-après :

- Cortès, L. (1909). Monographie de la commune de Médéa. (Imp. Algérienne)
- Cote, M. (1991) 'Blida', *Encyclopédie berbère* 10 (Centre for Open Electronic Publishing)
- Deluz-Labruyère, J. (1988) *Urbanisation en Algérie : Blida. Processus et formes* (MOM Éditions, Lyon)
- El-Bakri A. (1965). *Description de l'Afrique septentrionale,* (trad. M. G. de Slane), (Paris, A. Maisonneuve).
- Gaubert, A. (1841), *Notice sur Miliana, mémoire militaire*, ministère de la guerre SHAT (Archives de Vincennes)
- Joly, A. (1908). *Étude sur le Titteri*. Société de géographie d'Alger et de l'Afrique du nord. (Imp. typographique et lithographique S. Léon, Alger)
- Mesnage, J. (1913). *Romanisation de l'Afrique : Tunisie, Algérie, Maroc*, (Beauchesne Paris)
- Trumelet, C. (1887) *Blida : Récit selon légendes, tradition et l'histoire* (Jourdan, Alger)

La documentation cartographique constitue le support le plus important dans le cadre de notre recherche, commençant des premiers plans cadastraux jusqu'au PDAU et POS pour pouvoir procéder à une analyse comparative.

Tableau 1.Liste des documents graphiques exploités dans cette recherche. Source : Auteur

Corpus	Plans et cartes exploitées*
Blida	Plan de 1840
	Plan cadastral de 1852
	Plan de 1916
	Plan de 1956
	PDAU et POS 2010
Médéa	Plan cadastral de 1867
	Plan de 1959
	Plan de 1985
	PDAU et POS 2010
Miliana	Plan de 1841
	Plan de 1852
	Plan de 1929
	Plan de 1986
	PDAU et POS 2006

***Ainsi que d'autres plans non restitués dans l'analyse, mais servant de support documentaire pour la genèse urbaine**

Le dépouillement et l'analyse de l'ensemble des documents nous ont permis de :

- Dresser une genèse urbaine pour chaque cas d'étude qui couvre les trois périodes-clés à analyser à savoir : précoloniale, coloniale et postcoloniale
- Identifier les différentes méthodes d'analyse fractale des tissus urbains, et s'y positionner
- Définir la méthodologie d'approche ainsi que le choix des indicateurs propice pour atteindre nos objectifs

c- Investigation sur terrain

L’enquête de terrain vient appuyer et compléter la collecte de données (documentaire et bibliographique), car il permet d’apporter un complément d’information aux documents cités précédemment, mais aussi, de statuer sur la conformation de la documentation, ainsi que l’actualisation des supports de travail. Plusieurs sorties sur les trois sites ont eu lieu au cours des années de cette recherche doctorale.

Restitution des documents graphiques

La délimitation de la zone d'étude repose principalement sur le périmètre historique, terme qui fait spécifiquement référence au mur d'enceinte qui a été référencé dans les plans cadastraux initiaux établis au cours de cette période. Il convient de noter que ces limites définies ont été constamment réitérées au cours des trois phases temporelles distinctes relatives à chaque étude de cas individuelle, établissant ainsi un cadre d'analyse cohérent. En outre, il est important de souligner que toute expansion urbaine supplémentaire susceptible de présenter une importance patrimoniale est explicitement exclue du champ de cette enquête, afin de garantir un examen ciblé et précis.

Étant donné que notre recherche vise à explorer trois phases urbaines distinctes, qui représentent intrinsèquement trois méthodologies divergentes du développement urbain, il est essentiel de souligner que chaque intervalle temporel est illustré par un ou plusieurs plans spécifiques qui fournissent un aperçu complet de l'état de la ville à cette époque particulière. Ces plans, qui sont représentés à différentes échelles, ont ensuite été transformés en images binaires non compressées au format *.tiff, améliorant ainsi leur utilité à des fins analytiques. Dans ce contexte, les plans d'empreinte ont été élaborés, dans lesquels les pixels noirs indiquent les environnements bâtis, tandis que les pixels blancs indiquent les vides urbains, créant ainsi une dichotomie visuelle. Ces plans méticuleusement construits constituent des outils essentiels pour l'examen des caractéristiques fractales inhérentes à la ville au cours des trois périodes distinctes qui ont été méticuleusement étudiées dans le cadre de cette recherche.

Calculs, croisement des données

Afin de répondre efficacement à la problématique, il devient essentiel de mener une analyse complète de la zone d'étude en calculant la dimension fractale, ce qui facilite la caractérisation comparative des différents tissus urbains présents. Pour atteindre cet objectif, toutes les analyses pertinentes sont méticuleusement exécutées à l'aide du logiciel « Fractalyse ». Les processus analytiques utilisés dans ce projet de recherche examineront la zone d'étude sous deux angles physiques distincts :

- L'analyse globale du noyau urbain, qui ne concerne spécifiquement que la zone contenue dans l'enceinte initiale.

- L'analyse partielle ciblée, qui aborde les divers tissus liés à l'évolution et à la transformation de l'utilisation des terres au fil du temps.

Les aspects méthodologiques des analyses sont les suivants :

- Les techniques les plus efficaces pour effectuer une analyse globale sont les méthodes de dilatation et de corrélation, dans lesquelles la sélection du nombre de dilatations utilisées a été délibérément choisie pour garantir l'émergence d'un seul cluster significatif, permettant ainsi de comparer les résultats obtenus au cours d'un nombre croissant d'étapes analytiques.
- Dans les cas où l'analyse concerne des segments spécifiques de la ville, tels que la zone centrale, la périphérie ou des quartiers remarquables, l'analyse radiale est jugée préférable. Dans notre cas particulier, cette approche analytique s'avère particulièrement intéressante car elle permet d'examiner l'ensemble de la surface urbanisée par rapport au noyau urbain. En outre, elle permet une enquête sur l'état de l'utilisation des sols dans un rayon désigné, en partant du centre de la fenêtre d'analyse. La détermination du centre de la fenêtre d'analyse, qu'il s'agisse du barycentre de la figure ou d'un autre point sélectionné, dépend des caractéristiques structurelles de la zone en question, ainsi que de la partie spécifique de la ville qui est destinée à l'analyse.

A la fin de notre recherche, un croisement des données résultantes des analyses s’impose.
Deux niveaux de lectures comparatives sont effectués à ce stade :

- Comparer les résultats des calculs des différentes périodes du meme cas d’étude.
- Comparer les résultats entre les trois cas d’études du corpus.

Synthèse de la méthodologie de recherche

- Le schéma suivant résume la démarche méthodologique de notre recherche

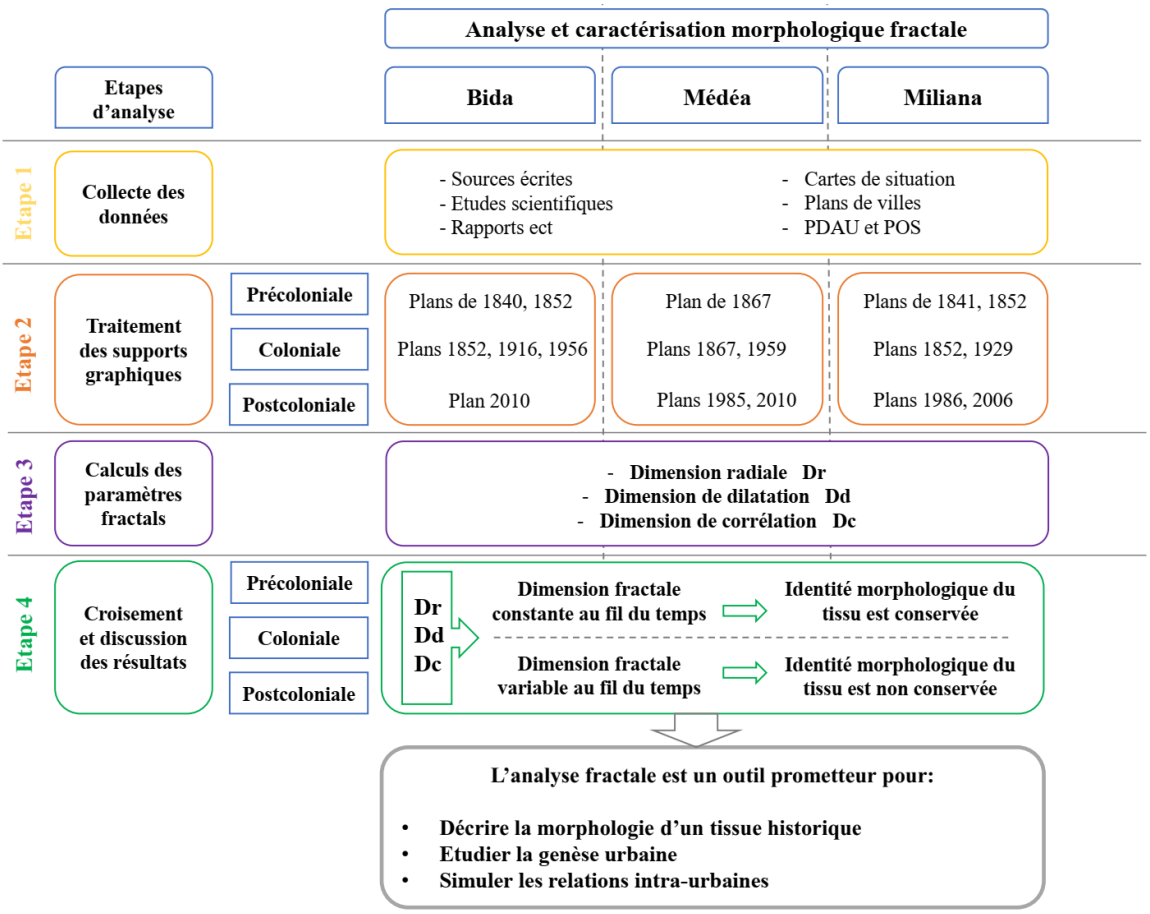


Figure 1. Synthèse de la démarche méthodologique. Source : Auteur

7. Structure de la thèse

Ce travail s'articule autour de deux parties principales. **La première partie** aborde les aspects théoriques et les concepts clés relatifs au thème morphologie urbaine et analyse fractale. Elle a pour objectif d'esquisser un état des connaissances sur la morphologie des tissus urbains avec toutes les notions fondamentales qui s'y rattache. Poursuivant notre réflexion sur les écoles de morphologies, dont l'analyse morphologique mathématique et plus précisément l'analyse fractale. Cette première partie intitulée " ***Les fractals comme outil d'analyse de la morphologie urbaine : fondements théoriques***". Elle est construite autour de trois chapitres.

Le premier chapitre concerne la morphologie des tissus urbains. Il traite la question de la forme et la morphologie en générale et plus spécialement l'urbain, les raisons de l'étudier, sa dynamique, sa métamorphose, la forme urbaine et son évolution à travers l'histoire (morphogenèse), les registres de formes, les écoles de la forme, ainsi que la morphologie mathématique avec toutes ses branches, dont l'analyse fractale qui constitue l'objet du chapitre suivant.

Le deuxième chapitre aborde l'assise théorique de la géométrie fractale, à travers les notions fondamentales, leurs propriétés, et leurs composants. Il s'intéresse également à la forme urbaine en tant que forme fractale, par les modèles théoriques des fractales d'une part, et par les fidèles fractals des villes d'une autres part. Il définit signature fractale des tissus urbains et l'intérêt que peuvent apporter les fractales pour les villes.

Le troisième chapitre s'articule autour de deux grandes lignes. Il dresse d'abord un aperçu sur les domaines d'application urbaine des fractales dans les contextes global et algérien, ainsi que la dimension fractale et sa quantification. Il permet ensuite un positionnement vis-à-vis ces méthodes en définissant la méthodologie d'approche adoptée dans le cas de notre recherche.
La deuxième partie révèle l'application de l'analyse fractale sur le corpus et confronte ce discours théorique à la réalité urbaine des trois villes algériennes étudiées. **La deuxième partie** porte le titre de " ***Lecture et caractérisation fractale des noyaux urbains algériens*** " on y aborde spécifiquement l'analyse fractale appliquée aux centres urbains de Blida, Médéa et Miliana à travers le temps, puis nous analysons les résultats obtenus pour chaque cas d'étude indépendamment, ensuite le croisement des résultats de tout le corpus. Cette seconde partie est composée de quatre chapitres.
Le quatrième chapitre décrit le premier cas d'étude, à travers une présentation générale et une genèse historique urbaine du noyau de Blida, une opérationnalisation de la recherche commençant par justifier la délimitation de la zone à étudier, le traitement des supports graphiques, et l'analyse des données urbaines avec discussion des résultats obtenus.
Le cinquième chapitre aborde le deuxième cas d'étude, à savoir la ville de Médéa. Il suit la meme logique comme son précédant, passant par une monographie urbaine et un traitement des supports, ensuite des données issues de l'analyse fractale urbaine.
Dans **le sixième chapitre**, nous traitant le troisième cas d'étude, la ville de Miliana. L'analyse fractale urbaine suit la meme logique adoptée dans les deux chapitres précédents à quelques différences dues à l'histoire urbaine, et à la disponibilité de la documentation propre à chaque ville. Ces deux derniers points ont eu un impact sur les étapes de traitement des données.
Le **septième et dernier chapitre** se veut une lecture comparative des résultats de notre corpus, représentée dans une matrice, construite à partir du croisement des résultats obtenus, susceptible de détecter les éventuelles défaillances de la méthode, mais également, de servir d'aide à la caractérisation morphologique des tissus urbains à travers l'analyse fractale.
Au terme de ce travail de recherche, la conclusion générale reprend les limites de cette étude, ses contributions théoriques, et des suggestions de pistes pour des recherches futures.

Partie I : Les fractals comme outil d'analyse de la morphologie urbaine : fondements théoriques

Chapitre 1 : Morphologie des tissus urbains

1. Introduction

L'environnement urbain se présente comme la manifestation d'une multitude de facteurs interdépendants qui fonctionnent simultanément à différents niveaux hiérarchiques et au sein de configurations locales distinctes, activant ainsi un éventail de potentialités étroitement liées au tissu de son patrimoine génétique, qui peut être compris comme l'héritage historique et culturel qui façonne son état actuel. Donc il s'agit d'un mode de fonctionnement intergénérationnel qui assure le lien entre les époques et par conséquent les formes urbaines.

Dans ce sens, les processus d'évolution et de transformation qui caractérisent les formes urbaines sont fondamentalement au cœur des recherches qui sous-tendent nos efforts dans ce chapitre. Pour mener à bien la caractérisation morphologique de notre corpus, ce chapitre porte sur la morphologie complexe des paysages urbains et leurs degrés respectifs de préservation ou de métamorphose au fur et à mesure de leur progression dans le continuum temporel. Cela s'explique par la présence de la dichotomie forme urbaine/temporalité. Il implique un examen complet de la définition de la forme et de son évolution ultérieure, ainsi qu'une exploration de l'interrelation complexe entre la forme et l'identité, en introduisant le facteur temps, ainsi que de l'interaction dynamique entre la permanence et la transformation ; il reflète essentiellement la relation complexe entre le sujet et l'objet dans les processus de genèse. Ce chapitre aborde également la forme urbaine sous différents angles au-delà de la vision classique (typo-morphologique seule), à travers les différents registres de formes ainsi que les écoles de pensée morphologiques, pour permettre une définition plus complète qui devrait tenir compte de sa complexité et des différentes approches disciplinaires impliquées dans son analyse.

2. Forme et morphologie

Afin d'approcher la morphologie en général et celle du contexte algérien, il est important de passer par la définition de certaines notions, en commençant d'abord par la forme et la morphologie. La définition primaire de la forme est « *n. f. (lat. forma). Configuration extérieure des corps* (Larousse, 1922, vol1, p : 904). La forme est un ensemble de traits caractéristiques qui permettent à une réalité concrète ou abstraite d'être reconnue[1]. La qualité à un objet peut être comprise de manière globale comme le résultat de son organisation interne complexe et de sa composition structurelle, qui se caractérisent distinctement par les lignes et les surfaces qui délimitent efficacement ses limites physiques ; cette qualité est non seulement perceptible par l'observation visuelle et l'engagement tactile, mais facilite également le processus de distinction dudit objet d'un éventail d'autres objets, indépendamment de leur nature intrinsèque ou de leurs

[1] CNRTL, France. https://www.cnrtl.fr/lexicographie/forme

propriétés chromatiques. En ce qui concerne la forme des objets, il est impératif de noter que ce concept transcende le simple contour géométrique ; il entretient plutôt une relation significative et complexe avec la nature intrinsèque des objets eux-mêmes, engageant ainsi simultanément toutes nos modalités sensorielles, notamment en ce qui concerne la perception visuelle. La forme peut être également définie par ses processus de génération ou plutôt par ses contours.

La morphologie quant à elle est « *n. f. (du gr. morphé, forme, et logos, discours) Etude de la forme extérieure* » (Larousse, 1922, vol2, p : 300). Elle désigne « *l'étude de la quantité, de la forme, de la répartition et de la proximité des éléments d'une structure macro- ou micrographique* »[2] . Le concept de morphologie a été principalement articulé dans les œuvres littéraires de l'éminent poète et philosophe Goethe en 1790. Néanmoins, le terme lui-même a d'abord été utilisé dans le domaine des biosciences. Actuellement, il est de plus en plus utilisé dans des disciplines telles que la géologie, la philologie, et la géographie entre autres.

3. La morphologie urbaine

Le terme « *forme urbaine* » est apparu dans les années 1970, à la suite de l'examen de Venise par Muratori (1959) et de l'étude sur la typo-morphologie de Padoue réalisée par Aymonino et al (1970). La morphologie urbaine est définie comme une « *étude de la forme physique de l'espace urbain, de son évolution en relation avec les changements sociaux, économiques et démographiques, les acteurs et les processus à l'œuvre dans cette évolution. Par extension, configuration formelle et structure de l'espace urbain, ensemble des liens spatiaux et fonctionnels organisant entre eux les édifices, aménagement urbain, etc.* » (George et Verger, 1970, p : 304). On y retrouve comme termes voisins comme morphologie du cadre de vie (Bertrand, 1980, p : 10), forme urbaine (Burgel, 1993, p : 163), forme de la ville, organisation spatiale (Massot et al, 1990, p : 67), division de l'espace, logique interne de la ville (Yedid, 1989, p : 12), système spatial, organisation de l'espace (George et Verger, 1970, p : 326-27).

En effet, il était perçu comme un terme englobant un large éventail de significations, dans l'espoir que son évolution historique finirait par fournir des définitions plus claires. Cependant, cette prévision n'a toujours pas été satisfaite. La publication de Richot, Feltz et al. (1985) a suscité des incertitudes similaires quant à l'essence de ce concept. Par la suite, les entrées du Dictionnaire de l'urbanisme sur la « *morphologie urbaine* » (Merlin, 1988, p : 435) ont déploré les ambiguïtés qui prévalaient.

L'étude de la morphologie urbaine s'inscrit dans une longue tradition d'analyses morphologiques et morphogénétiques remontant à Aristote. La morphologie urbaine a toujours été considérée comme une branche auxiliaire de l'histoire urbaine. En général, elle vise à

[2] CNRTL, France. https://www.cnrtl.fr/lexicographie/morphologie

comprendre l'histoire de la ville en fonction de sa forme. Pour renforcer l'autonomie de la morphologie urbaine comme discipline, il est nécessaire de l'émanciper de l'histoire, non comme signification historique, mais comme méthode et discipline, afin de lui fournir ses propres instruments théoriques et analytiques. On peut également distinguer la morphologie urbaine comme une approche structurale de la forme urbaine et l'histoire urbaine comme une approche évolutionniste de la ville et de ses changements sous un angle socio-économique, politique, esthétique, etc. Allain Rémy (2004) définit la morphologie en présentant les formes et les paysages comme les éléments perceptibles d'un système urbain complexe. « *Dans le système urbain de la ville, plusieurs sous-systèmes sont identifiables. Quelle que soit l'approche privilégiée par une étude urbaine, la ville doit être considérée comme un système global complexe dans lequel tout a une influence sur tout. Le système morphologique peut être décomposé en éléments, qui forment une structure, qui elle-même obéit à des logiques spontanées ou réglementées, les moyens*. » (Rémy, 2004, p.16)

La morphologie urbaine est donc l'étude des formes urbaines, avec comme objectif, l'étudie des tissus urbains au-delà de la simple analyse architecturale des bâtiments et d'identifier les modèles et structures sous-jacents. La morphologie urbaine étudie les formes et les caractéristiques de la ville, y compris ses rues, ses parcelles, son occupation du sol, ses densités, et les phénomènes qui les engendrent, tels que la topographie, l'histoire, l'influence culturelle, l'économie, les règlements d'urbanisme, les contextes technologiques et énergétiques. Elle s'appuie sur les différentes échelles qui composent le monde urbain : le bâtiment, l'îlot, le tissu urbain, la ville et l'aire métropolitaine. La matière est interdisciplinaire, englobant l'histoire et la géographie urbaine, l'urbanisme et l'archéologie.

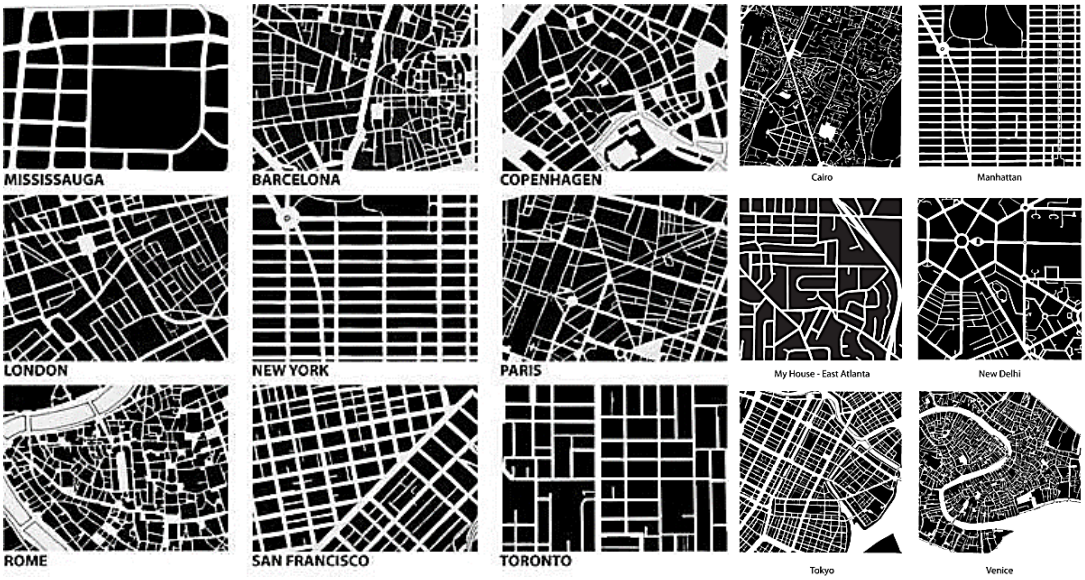


Figure 2. Morphologies urbaines. Source : (Jacobs, 1993) [3]

[3] L'ouvrage *Great Streets* fait ressortir les cadastres centraux (1mile m² , soit environ 2,6km²) de différentes villes du monde.

Le résultat complexe et multiforme que l'on peut observer (figure 2) est un cumul d'une vaste série d'arrangements spatiaux, qui collectivement, ont contribué à la production et à l'évolution de la forme urbaine, « *l'étude de la forme physique de la ville, de la constitution progressive de son tissu urbain et des rapports réciproques des éléments de ce tissu qui définissent des combinaisons particulières, des figures urbaines (rues, places et autres espaces publiques...)* » (Allain, 2005). Cette forme est intrinsèquement liée à divers facteurs, notamment les structures architecturales, le parcellaire, le relief topographique et les caractéristiques générales du site dans l'ensemble, ainsi que les espaces ouverts tels que les rues, les cours etc. Tous ces éléments résultent de principes géométriques ainsi que les effets consécutifs des processus d'évolution urbaine au fil du temps. L'influence des structures sociales est extrêmement critique dans ce contexte, car elles jouent un rôle central à travers des processus englobant les méthodologies de conception, les protocoles de prise de décision, les stratégies d'investissement et les aspects complets de la construction, avec toutes les dimensions techniques qui s'y rattachent. L'occupation des sols et les diverses typologies de bâtiments contribuent à l'évolution de la ville, et donc à sa morphologie. De plus, au-delà des évolutions sociales liées aux configurations spatiales, les propriétés internes de l'espace, notamment en ce qui concerne l'occupation interne de l'espace ou son éventuel nouvel aménagement, ont une influence cruciale et décisive sur la forme et la structure que l'on peut observer à tout moment dans le paysage urbain.

4. La forme urbaine, un sens social

L'étude et la caractérisation des formes urbaines de notre corpus, qui demeurent tout de meme des objets complexes, est confrontée à un défi théorique et méthodologique fondamental. L'unité de la forme urbaine est constituée par la synthèse et les interactions entre les registres de forme évoqués un peu plus tard dans ce chapitre. En effet, de nombreux auteurs ont reconnu la diversité des registres de forme et ont souligné particulièrement l'importance du registre social et son impact sur la forme globale. La réalité sociale a des formes diverses et des significations multiples. La relation entre ces formes et ces espaces reste à déterminer (Ledrut, 1984). La ville et son espace peuvent être abordés de différentes manières, comme une étendue, une population, une œuvre d'art ou un symbole. Il est important donc de relier ces aspects et de retrouver leur unité. La morphologie est sociale, car elle étudie la répartition des peuplements, des groupes sociaux et des mouvements, sa conformation dépend étroitement du contexte social (figures 3 et 4). Les structures matérielles sont avant tout des constructions sociales et des lieux pratiques (Roncayolo, 2002). C'est d'ailleurs à ce sujet que l'analyse typo-morphologique a été critiquée, non pas sur le plan méthodologiques, mais sur la question centrale de la relation entre la forme matérielle et la forme sociale, et qu'une approche transversale et pluridisciplinaire est nécessaire pour appréhender l'objet forme urbaine.

Figure 3. Image aérienne de la ville de Versailles. Source : Communes.com

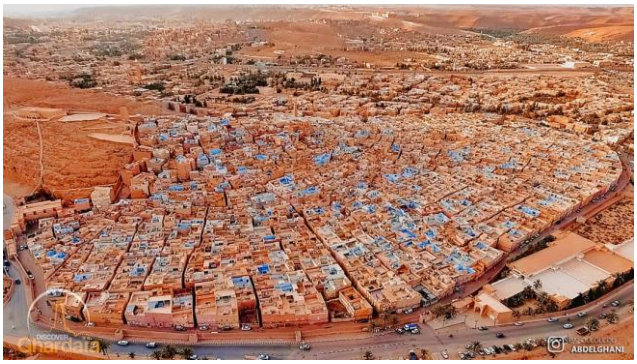


Figure 4. Image aérienne du qser de d'At Izjan (Béni Isguen). Source : fb Discover Ghardaïa

Diverses études morphologiques ont partiellement adopté cette approche. Conzen (1960) a proposé de compléter l'analyse des tissus par une analyse des fonctions, également connue sous le nom d' « occupation du sol ». Une analyse typo-morphologique classique de la genèse du tissu urbain combinée avec une analyse du paysage basée sur certaines caractéristiques visuelles dans leur analyse de la ville de Versailles. Pour son projet à Bologne, Cervellati (1977) a réalisé une analyse typo-morphologique détaillée du centre historique. En outre, il a commandé une analyse photographique du paysage urbain et une étude sociologique de la composition sociale du centre-ville afin de préserver sa forme et ses activités. Ces exemples démontrent la complexité de la forme urbaine et suggèrent des pistes de recherche quant à l'importance du volet social en tant que composante caractéristique dans la formation de la morphologie urbaine.

5. Pourquoi étudier la forme urbaine ?

L'approche morphologique utilisée à ce jour se concentre principalement sur l'histoire et se concentre sur l'étude des formes urbaines anciennes, principalement sur la connaissance des formes urbaines du passé, à quelques exceptions près (Mangin, 2004), avec une préoccupation souvent conservatrice, normative et patrimoniale. D'une part, les sciences sociales ont connu un essor sans précédent et les études urbaines se sont développées dans de multiples directions. De nouvelles explorations de la forme urbaine sur de nouveaux aspects comme les ambiances et l'espace sensible ont été menées, et le territoire de la périphérie a commencé à être prospecté. D'un autre côté, les changements qui ont eu lieu dans les villes au cours des dernières décennies ont été considérables. Les changements socio-économiques de la société post-industrielle, ainsi que la métropolisation[4] et la mondialisation[5], ont entraîné une perturbation spatiale dans l'organisation urbaine, créant de nouveaux défis pour l'aménagement.

[4] La métropolisation fait référence à un double mouvement spatial affectant la croissance des villes : la concentration des richesses, des personnes, des capitaux, des connaissances et des technologies, et l'étalement urbain avec la satellisation des zones périphériques par le centre-ville.

[5] La mondialisation est définie de manière générale comme un processus de libéralisation économique et d'intégration des marchés à l'échelle mondiale.

Le phénomène de l'étalement urbain et la tendance croissante à la mobilité sont confrontés à de nouveaux problèmes environnementaux, ce qui entraîne une réévaluation des configurations urbaines futures en raison des défis posés par le développement durable [6](Fouchier et Merlin, 1993). Ces nouvelles réalités devraient stimuler la recherche, réorienter l'approche, en partant des acquis obtenus, ouvrir de nouveaux terrains d'investigation et aller plus loin dans la connaissance de la forme urbaine, de ses structures et de ses modalités de formation et de transformation (Raynaud, Hubert et Lewis, 2014). Ainsi, il est crucial de repenser la forme urbaine ainsi que sa théorie, la morphologie urbaine.

Une meilleure compréhension la forme urbaine, objectif final du projet urbain, est également indispensable, ainsi qu'une approche procédurale du système de production de la ville basée sur l'étude du processus de projet. Si l'on doit s'interroger sur le système de production de la ville, il n'en est pas moins utile pour saisir l'impact des facteurs de changement. En se demandant ce qu'elle est, sa nature et sa structure, on comprendra mieux son mode de production et surtout le sens et les modalités de ses transformations (Bonnet, 1997), (Prost, 2003)[7].

Il est nécessaire de réfléchir à la forme urbaine et à son anatomie afin d'acquérir une meilleure compréhension de sa structure, qui devrait être utile pour l'action urbaine et l'urbanisme. Pour cette raison, la morphologie urbaine, comme étude de la forme urbaine, ne doit pas se limiter à une simple morphographie urbaine[8], mais doit également se concentrer sur ses significations (Lévi-Strauss, 1958).

6. Forme urbaine et dynamique de forme

Dans le cadre de notre recherche, on tend à caractériser certes la morphologie urbaine du corpus d'étude, mais on s'intéresse également aux changements qui y sont opérés à travers le temps. Dans ce sens, de nombreuses recherches scientifiques[9] se penchent sur la notion de forme, sa signification et sa pertinence pour l'observation, ainsi que la délimitation de phénomènes dynamiques. Dans ce contexte, nous faisons référence à l'architecte et historien de l'architecture Fabrizio Gay (2012), qui explique comment l'interaction entre continuité-discontinuité et oubli de la mémoire joue un rôle déterminant dans la dynamique des phénomènes urbains. Selon lui, ces concepts peuvent servir de cadre juridique permettant aux autorités gouvernementales de préserver le patrimoine architectural, urbain et paysager d'une région, à travers l'exemple de la Vénétie.

---

[6] Sur ce sujet voir, *Formes urbaines du futur et mobilité non motorisée*, Actes du séminaire du 17 décembre 1999, Paris, Recherches Stratégiques du Predit

[7] Sur ce sujet voir, *Espaces et Sociétés*, n° 105-106, Projet urbain, maîtrise d'ouvrage, commande, L'Harmattan, 2001

[8] Une simple étude descriptive de la forme

[9] Ce sous-chapitre se veut une lecture synthétique et exhaustive des actes du séminaire « *Morphogenèse et dynamiques urbaines* », *un* cycle de séminaires organisé par le PUCA en partenariat avec l'EHESS, l'ENSAD et la FMSH - 2012

En mettant l'accent sur l'auto-organisation, le philosophe Chris Younès (2012) introduit la dimension temporelle, soulignant que les transformations incessantes d'un lieu au fil du temps sont fondamentales pour son identité. L'auteur préconise une approche organiciste du paysage, qui met l'accent sur les principes qui dictent l'évolution de l'espace local. De même, la philosophe Maria Filmera Molder (2012) étend jusqu'à ses limites la notion de discontinuité intrinsèque à tout processus morphogénétique. S'appuyant sur le discours de Wittgenstein sur les formes du langage et de l'architecture, l'auteur souligne que les formes architecturales n'ont pas de signification intrinsèque ; elles tirent plutôt leur signification de leur intégration dans l'expérience vécue.

Le géographe et orientaliste Augustin Berque (2012) critique l'interprétation occidentale de la forme, qui se caractérise souvent uniquement par ses contours et est déconnectée de son environnement contextuel et des processus génératifs qui la sous-tendent. La critique de Berque souligne la nécessité d'une approche plus globale de la compréhension de la forme dans l'urbanisme et l'architecture. Il propose que la forme soit considérée comme transcendant ses frontières matérielles, une perspective qui a une riche base historique en Asie de l'Est. Cette conceptualisation alternative de la forme prend en compte la dynamique de la forme et son interrelation avec l'environnement.

Il est essentiel de souligner l'importance de l'étude de la complexité des phénomènes morphogénétiques, en particulier dans les travaux universitaires qui traitent de la dynamique des formes. À cet égard, l'urbaniste Alberto Magnaghi (2012) explique comment l'examen de la typo morphologie des paysages ruraux historiques facilite l'identification des principes structurels qui ont maintenu leur équilibre à long terme en Toscane. D'un point de vue disciplinaire similaire, Bénédicte Grosjean (2012) commence son analyse en constatant que les études urbaines sont diffuses, ce qui a remis en cause les modèles dominants de planification urbaine et de régulation de la croissance. Cette approche s'écarte des méthodologies traditionnelles centrées sur la ville et montre que des pratiques extérieures à la ville ont souvent façonné son expansion et l'ensemble de la région environnante. L'architecte et urbaniste Luigi Coccia (2012) examine la Città Adriatica, qui s'étend sur environ 300 km de Ravenne à Termoli, comme un exemple paradigmatique de « ville continue » intégrée dans l'ancien réseau routier. Coccia souligne l'importance d'une perspective topologique pour identifier les caractéristiques critiques des zones étudiées.

L'historien Maurizio Gribaudi (2012) souligne l'importance de la dimension sociale dans l'évolution territoriale. Il met en lumière les tensions et les bouleversements qui influencent les configurations de logement et les pratiques sociales qui les accompagnent. Ces phénomènes sont façonnés par une interaction continue entre les cadres politiques mondiaux et les dynamiques d'auto-organisation locales. Dans une perspective similaire, l'architecte Patrick Berger (2012) interroge la notion de planification dans la pratique architecturale et la remplace

par un concept de programmation dynamique qui répond aux diverses dimensions spatiales et temporelles des environnements urbains. Cette contribution soulève explicitement la question de la modélisation de la dynamique des formes, y compris ses implications et ses limites. En effet, le physicien Stéphane Douady (2012) critique le réductionnisme qui prévaut dans les approches de modélisation qui se veulent réalistes. Ils soutiennent qu'il est crucial d'intégrer la dimension qualitative, en particulier dans la recherche de mécanismes génératifs. Cette affirmation est étayée par une importante étude sur la morphogenèse des réseaux routiers menée par un groupe de recherche interdisciplinaire comprenant des urbanistes. Sara Franceschelli (2012), épistémologue, propose de considérer le paysage épigénétique comme un appareil morphogénétique générique, après avoir d'abord élucidé ses implications morphologiques à travers une analyse de la recherche de Waddington (2012). Les caractéristiques dynamiques de cet appareil ont inspiré des recherches empiriques sur la conception morphogénétique, qui ont abouti au développement de dispositifs morpho dynamiques en collaboration avec des artistes visuels de l'EnsAD.

La recherche menée par le physicien Bruno Giorgini se concentre sur la mobilité des piétons dans les contextes urbains de Venise et de Marseille, en présentant les résultats du laboratoire de physique de l'université de Bologne (Giorgini, 2012). Cette enquête est complétée par un partenariat avec l'artiste visuelle Maria Grazia Sartori, qui met l'accent sur les attributs morphologiques de divers modèles d'errance en milieu urbain. Hervé Le Bras, historien et démographe, illustre l'approche morphologique de l'analyse statistique, fondée sur la continuité et la discontinuité des transformations démographiques à long terme en Europe (Le Bras, 2012).

7. La forme urbaine et la métamorphose

"*Quand un système est incapable de traiter ses problèmes vitaux, il se dégrade, se désintègre ou alors il est capable de susciter un meta-systême capable de traiter ses problèmes : il se métamorphose.*"(Morin, 2010, p : 3).

L'examen des territoires habités sous l'angle de la métamorphose offre aux chercheurs une occasion inestimable de s'intéresser à leur évolution prospective et de comprendre la manière complexe dont ces territoires s'assimilent à la dynamique déjà établie des événements passés. Les phénomènes observés dans ces environnements se déroulent comme s'ils incarnaient une capacité à reconstituer et à réinventer diverses formes de vie, que ce soit par une adaptation nuancée au passage du temps ou par un profond processus de transmutation. Au sein de ces écosystèmes aux multiples facettes, que l'on peut qualifier de systèmes complexes d'auto-organisation, chaque aspect prend forme et toutes les interrelations témoignent d'une profonde interdépendance. Cependant, il est essentiel de reconnaître que chaque lien individuel, tout en

étant indéniablement lié à l'ensemble du réseau, possède sa propre agence et sa propre initiative, contribuant ainsi de manière unique au système global.

Il est en effet exact d'affirmer qu'un système donné organise les divers éléments qui constituent un environnement particulier, mais ce processus d'organisation ne doit pas être interprété à tort comme étant purement mécanique ou comme une nécessité absolue. Il existe un potentiel de variation, de retard et de transformation dans les liens entre les éléments, même lorsque ils sont reliés entre eux par le biais d'une relation formalisée et évolutive (Younes, 2012). Cette variabilité est précisément ce qui confère à un environnement sa vitalité, le distinguant nettement d'un environnement inerte ; même soumis à des conditions restrictives, un tel environnement conserve son initiative, reflet de sa vitalité, caractérisée par sa remarquable capacité à évoluer sans succomber à la désintégration, optant plutôt pour un processus de transformation (figure 5).

Figure 5. La nouvelle Moscou : un nouveau projet de transport en commun pour la Moscou de l'après pic pétrolier. Source : (Viganò, 2013)

Les métamorphoses qui se produisent dans les environnements urbains, dont les villes sur lesquelles on travaille, ont le potentiel d'être régénératrices, contribuant ainsi de manière positive au tissu et à ses constituants. Une tension de longue date existe entre les différentes formes de paysage (Jackson, 2003). Le paysage vernaculaire ou traditionnel démontre généralement une propension à s'adapter au contexte local, facilitée par la présence de routes, de topographie, d'hydrographie, qui servent à irriguer cette capacité d'adaptation. Ceci s'apparente dans notre cas à l'état des villes à l'époque précoloniale. Tandis que le paysage politique affirme sa domination sur un territoire donné en délimitant et en imposant des divisions et des infrastructures conformes à un cadre systémique homogène, c'est le cas de la ville érigée sous le régime colonial. Pour que des accords soient formulés et planifiés efficacement, il est impératif de prendre en compte le contexte local, qui englobe les éléments relatifs et spécifiques à un lieu particulier, le distinguant ainsi des autres par des facteurs tels que le climat, la topographie, les infrastructures de transport et le contexte historique. On peut conceptualiser le local comme un environnement fondamental pour l'émergence d'un nouvel art de construction, d'habitation et de cognition (Magnaghi, 2003). Le défi réside dans la recherche de modalités alternatives de réconciliation et d'alliance qui soient fondées sur le potentiel unique de divers environnements de vie tout en reconnaissant leur nature poreuse. Les frontières qui délimitent, les distances qui séparent tout en maintenant un semblant de proximité et les relations qui émergent de ces dynamiques constituent de puissants instruments de gestion, permettant d'entrelacer l'espace et le temps, la macro et le micro, dans un Co-rythme harmonieux, un ensemble architectural qui se différencie nettement d'une simple masse ou étendue inerte.

Les interrelations potentielles entre l'habitation individuelle, le contexte urbain, le paysage régional et le monde en général tissent des modèles complexes de lieu et d'environnement, oscillant entre les concepts de lenteur et de vitesse, affrontant l'inconnu tout en retrouvant le familier et en négociant l'interaction entre la nature et la culture. Ces rythmes, qui servent à redéfinir les synergies entre le proximal et le lointain ainsi que leur élasticité évidente, fonctionnent comme des tenseurs existentiels essentiels pour comprendre l'expérience vécue dans ces environnements.

Pour que les métamorphoses régénératives dévoilent et/ou modifient efficacement un environnement d'une manière jugée appropriée et bénéfique, il devient extrêmement impératif de se concentrer méticuleusement sur les éléments existants dans cet environnement, ainsi que de bien comprendre les changements fondamentaux et les réévaluations qui se produisent activement sous la surface. Cette entreprise transcende la simple imitation de modèles établis ; elle nécessite plutôt l'exploration imaginative des possibilités qui tiennent dûment compte des résistances et des ressources uniques à chaque lieu spécifique, ainsi qu'une prise en compte globale des conditions requises pour la mise en œuvre réussie d'un projet de transformation. Par conséquent, ce processus complexe exige le déchiffrement minutieux de ce qui existe

actuellement, associé au développement stratégique de ses forces et de ses potentiels. Cultiver efficacement ces rencontres, identifier avec précision les traces et promouvoir ardemment le pouvoir transformateur du renouvellement, du transfert et de l'hybridation peut être assimilé à un engagement dans l'art profond du devenir, où l'évolution continue est à la fois célébrée et poursuivie.

8. La morphologie urbaine et l'histoire urbaine

Le tissu urbain, composé de divers éléments, a varié au cours de l'histoire .C‘est le cas de toutes les villes, c’est aussi le cas des villes algériennes, peu importe leur échelle ou importance, et c’est aussi le cas des villes qui constituent nos cas d’étude. Une ville est toujours le résultat de la juxtaposition, de la combinaison ou de la superposition de tissus différents et successifs dans le temps (Levy, 1999). Le concept de la ville comme une construction dans le temps, reflète l'idée de continuité urbaine, également connue sous le nom de "permanence". Rossi (2001, pp. 11) définit la ville et son architecture en termes de temps : " *La ville, objet de ce livre, y est considérée comme une architecture. Par architecture, je n’entends pas seulement l’image visible de la ville et l’ensemble de ses architectures. Il s’agit plutôt ici de l’architecture comme construction ; je veux parler de la construction de la ville dans le temps*". Ce terme se manifeste par la continuité ou la persistance temporelle d'éléments du tissu urbain tels que les monuments, les enceintes, les routes et les tracés de parcelles (Lavedan, 1952). Les monuments en particulier sont "*les points fixes de la dynamique urbaine*", des lieux de mémoire et des éléments permanents qui génèrent la forme urbaine et conditionnent la morphogenèse (Rossi, 2001). Cette vision s’oppose au fonctionnalisme et sa définition de la forme par la fonction, ainsi que le changement automatique de la forme par le changement de la fonction. L'autonomie de la forme l’illustre Rossi par le Palazzo della Ragione à Padoue est resté inchangé malgré des changements de fonction au fil du temps (figures 6 et 7). En effet, Le palais actuellement délimite deux vastes places de part et d’autre réservées à la vente des herbes et fruits (Piazza delle Erbe, Piazza dei Frutti), où se réunissent les marchands de la région. Sous l’ex salon, sont aménagées deux grandes galeries marchandes parallèles, accueillant principalement des établissements culinaires. Tout de meme, la fonction administrative y est intégrée à l’étage, qui entretient un lien physique avec l'hôtel de ville actuel.

De meme pour en ce qui concerne les abattoirs de la ville de Venise, comme structure de permanence (Spigai, 1995), dont ils ont fait objet de conservation et reconversion en école des arts et des métiers, préservant ainsi l’esprit du lieu. Le plan des villes romaines, y compris le cardo et le decumanus, est toujours présent dans les villes médiévales.

Figure 6. Padoue, Palazzo Della Ragione.
Source : meisterdrucke.fr

Figure 7. Le Palais de la Raison, vu de la place aux Fruits
Source : (Kalibos,commonswiki, 2005)

L'expression "la forme suit la fonction" fait référence au registre de la forme urbaine sociale. Cela signifie que la forme sociale et économique suit les pratiques et activités sociales à un moment historique donné. Cependant, elle ne correspond pas toujours à d'autres registres de forme tels que le tissu, l'agencement et le paysage, qui peuvent avoir des temporalités différentes ou des phénomènes de permanence. Dans les registres de la forme, la forme suit toujours la fonction. Cependant, il peut y avoir des glissements entre les registres de forme, ce que l'on peut appeler l'autonomie de la forme, ou plus précisément, l'autonomie des registres de forme.

9. L'histoire et la dynamique de la forme urbaine : La morphogenèse

Partant du principe que la ville constitue un système complexe et évolutif, la notion de morphogenèse permet d'ajouter une dimension temporelle aux études urbaines. Les études morphogénétiques mettent en évidence les lois d'organisation qui sous-tendent l'existence et l'évolution des formes urbaines. C'est dans cette approche que s'insère notre recherche, puisqu'il s'agit d'étudier la morphologie notre corpus dans le temps selon trois périodes historiques distinctes : précoloniale, coloniale et postcoloniale. Pour cela, une approche dynamique et pluridisciplinaire est nécessaire pour représenter fidèlement la réalité urbaine. Cette approche diffère des méthodes classiques d'analyse et de représentation, puisqu'elle traite d'une part l'histoire urbaine, et d'une autre part le volet morphologique du tissu urbain. Lorsqu'on tente de représenter la ville, on doit tenir compte de la nature en constante évolution de l'environnement urbain. Les dimensions spatiales, sociales et symboliques de la forme urbaine sont dynamiques et sujettes au changement. Pour représenter et mesurer ces phénomènes avec précision, il est essentiel d'utiliser des formes dynamiques de représentation et de mesure.

De ce point de vue, plusieurs disciplines sont impliquées dans la modélisation et l'analyse des éléments formels. Par exemple, l'usage des graphes pour analyser les réseaux urbains, tandis

que dans les mathématiques, on utilise les fractales et la topologie pour analyser leur dynamique formelle. En outre, il existe des études sur les interactions entre ces éléments formels et les phénomènes socio-historiques, tels que les pratiques sociales inscrites dans le territoire, les formes de représentation de l'espace et leurs évolutions possibles, et les interventions normatives et institutionnelles. Cette problématique traitée par notre recherche s'intéresse à l'évolution des formes urbaines, ainsi que la morphogenèse. Afin de développer une approche interdisciplinaire dans la présentation des objets morphologiques, ainsi que les méthodes utilisées pour analyser et représenter leur évolution, il est important de s'interroger sur la représentation et la mesure des dynamiques urbaines (figure 8).

En utilisant une approche similaire à celle de la linguistique, il est possible de distinguer deux approches : l'approche synchronique, qui se réfère à la connaissance de la forme urbaine et de sa structure à un moment donné, également appelée « *période morphologique* » (Whitehand, 2001), et l'approche diachronique, qui se réfère à la connaissance des règles de transformation de la forme, de sa structure et des différents aspects et règles de transformation de cette forme, à travers des processus à identifier[10].

Figure 8. Genèse d'histoire urbaine opérationnelle de Venise. Muratori, Studi.S (1959), 'Per una operante storia urbana di Venezia, Istituto poligrafico dello Stato'

La principale question à résoudre concerne les règles et les procédures de transition entre les différentes périodes morphologiques. En même temps, cette approche nécessite une réflexion sur la dimension temporelle de la forme urbaine. Cette réflexion devrait fournir une définition conceptuelle et théorique de la structure abstraite générale, qui permettra de mieux comprendre les diverses occurrences historiques de la forme en tant que cas particuliers ou actualisations concrètes de cette structure à un moment donné. Cette compréhension permettra également d'expliquer les états successifs que la forme peut prendre, avec ses règles diachroniques de transformation.

[10] Morphogenèse, métamorphose

10. Les registres de forme

L'architecte Albert Levy (2005) identifie cinq registres de forme différents : le tissu, l'agencement, le paysage, les pratiques sociales et le cadre environnemental (figure 9). Ces registres, présentés dans ce sous-chapitre, sont considérés comme les éléments de base qui structurent et caractérisent la forme urbaine et ses transformations dans le temps, dans leurs interrelations. Il est nécessaire de définir chaque registre afin de situer épistémologiquement notre recherche.

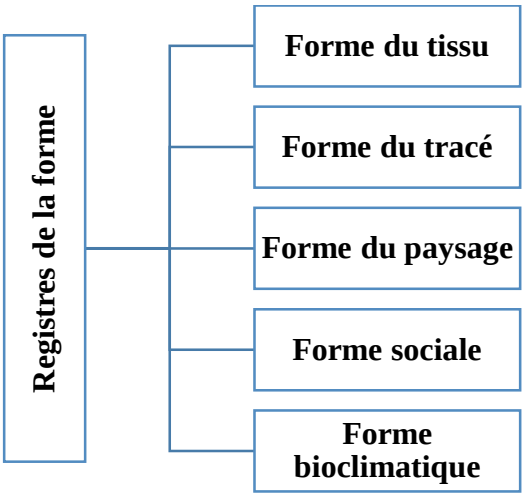


Figure 9. Les registres de la forme selon Levy, 2005. Mise en forme par l'auteur

10.1. La forme du tissu urbain

En raison de son importance, ce registre est souvent associé à la morphologie urbaine et à son étude. L'approche de la forme urbaine comme forme des tissus urbains (Panerai, Langé, 2001) implique l'étude des liens entre les éléments constitutifs de tout tissu, tels que : la parcelle (P), le bâtiment (B), la voirie (V), l'espace libre ou l'espace non bâti (EL). Un objectif de cette analyse est de vérifier la relation dialectique et non causale entre la typologie des bâtiments et la forme urbaine (Aymonino, 1977), une relation formelle qui a été perdue avec la ville moderne (figure 10).

La signification est généralement liée à la périodisation historique des tissus, à la culture urbaine utilisée pour la conception de ces tissus et aux pratiques urbaines associées à ces tissus. Trois grandes écoles morphologiques se sont développées autour de ce travail, chacune avec des approches distinctes : l'école italienne, l'école anglaise et l'école française. Leurs différences résident principalement dans l'utilisation qu'elles font de l'investigation morphologique. Ces trois écoles sont développées amplement dans le sous-chapitre suivant, afin d'en distinguer les différences.

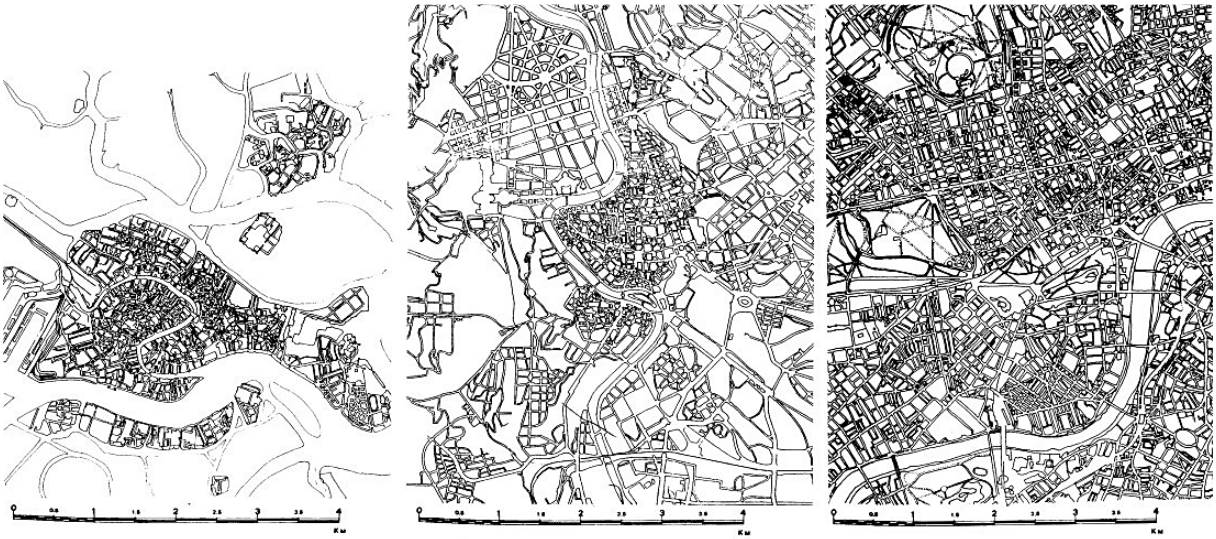


Figure 10. Les structures des centres historiques de Venise, Rome et Londres (1950). Source : (Aymonino, 2000)

10.2. La forme du tracé urbain

Ce passage traite la forme urbaine comme la forme du tracé urbain. Elle fait référence à la forme géométrique du plan de la ville, qu'elle soit régulière et irrégulière, orthogonale et radioconcentrique. Les moyens utilisés dans ce registre sont ceux de la géométrie euclidienne (figure 11). Ils permettent de disposer les éléments du tissu, tels que les routes, de les hiérarchiser, et de localiser les bâtiments et monuments majeurs afin de les présenter dans l'espace urbain, en les mettant en valeur par la perspective.

Des travaux à ce sujet se sont penchés sur l'art urbain ou *Urban design* (Lavedan, 1926, 1941, 1952) ainsi que sur les tracés pittoresques, plus précisément la distinction entre la composition pittoresque et la composition régulière (Unwin, 1909). En effet, Sitte (1889) a critiqué les plans réguliers et monotones, en promouvant les plans organiques d'un point de vue esthétique. Il a basé ses idées sur son étude des villes médiévales.

Ce registre correspond également à la notion de composition urbaine, directement issue de l'art des jardins (Le Nôtre, W. Kent). Les notions d'axe, de perspective et de symétrie jouent un rôle fondamental dans l'organisation spatiale perceptuelle. Les significations sont également liées à l'histoire de l'urbanisme et aux connotations symboliques liées à la géométrie des tracés urbains (Pinon, 1994) (Lévy, 1996). La ville islamique orientale a été approchée dans ce registre par l'imitation et redécouverte des tracés organiques, ainsi que l'introduction du concept de grille foncière, basé sur la continuité des tracés parcellaires (Hanning, 1977).

Figure 11. Forme des tracés : Plan de Gênes à gauche, Plan de Sienne à droite. (AMBRIÈRE, 1968, p. 328-329)

10.3. La forme du paysage urbain, ou forme plastique urbaine

Ce registre traite la représentation de l'espace dans le contexte de l'aménagement urbain. L'espace urbain est visuellement saisi dans sa tridimensionnalité et sa matérialité plastique (texture, couleur, matériaux, styles, volume, gabarits... du bâti et des espaces publics), faisant la distinction entre le paysage urbain végétalisé et minéralisé en fonction des éléments dominants présents (figure 12).

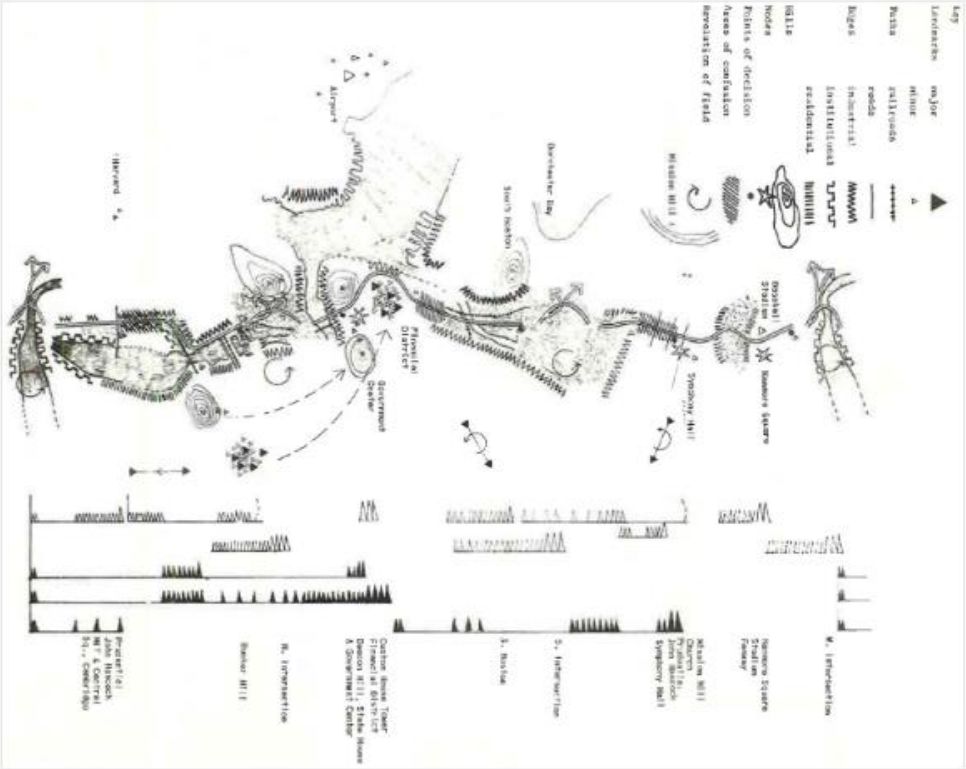


Figure 12. Diagramme d'orientation à lire de bas en haut, Boston, 1965, par Donald Appleyard, Kevin Lynch, John Ronald Myer,. Source : plateforme Problemata

Dans un ouvrage fondateur, Lynch (1960) a étudié l'image de la ville à partir de ses principales composantes perçues : routes, limites, points de repère, carrefours, quartiers, ainsi que de ses caractéristiques matérielles et architecturales : matériaux, formes, couleurs. Il a introduit la notion d'"*imagibilité*" ou de lisibilité de la ville, qui renvoie à sa facilité de navigation et de reconnaissance par les résidents. Le rôle de la photographie dans la capture et l'analyse du paysage urbain est crucial.

Le paysage urbain est qualifié comme espace cinétique et peut être déconstruit en différentes séquences visuelles (Cullen, 1961). Le travail de Monti sur Bologne et son utilisation de la photographie dans le projet de "*conservation intégrée*" pour sauvegarder la forme visuelle de la ville en sont un exemple (Zannier, 2007). Le rôle de la perception est crucial dans la composition urbaine pour le repérage des monuments et du décor urbain dans le cadre d'une perception à distance (Bacon, 1965), comme C. Sitte l'avait déjà noté pour l'espace médiéval concernant la perception rapprochée.

Quelques années plus tard, la ville de Versailles a été approchée par rapport à sa formation et sa transformation, mais également son paysage, ses caractères visuels et son évolution, réunissant ainsi deux registres de forme : tissu et paysage (Castex, Celeste, Panerai, 1980). Le paysage urbain étudié dans ce contexte a des significations esthétiques, stylistiques, culturelles et historiques.

10.4. La forme sociale urbaine ou forme de l'espace social urbain

Ce registre traite de la relation entre l'espace urbain et la hiérarchie sociale (figure 13). La morphologie sociale, étudie les formes matérielles des sociétés, leur organisation, leur structure et la distribution spatiale de leurs différents éléments et composants, ainsi que leurs conditions géographiques (Durkheim, 1960), (Halbwachs, 1938), (Ledrut, 1968), (Mauss, 1950). Ce registre a fait objet d'étude par l'école de morphologie sociale française (1928) et l'École de Chicago (Grafmeyer et Joseph, 1984). D'autres études suggèrent de compléter l'analyse du tissu par une analyse de l'occupation fonctionnelle du sol. Les significations liées à la nature socio-économique se réfèrent aux différentes façons dont la société de la ville est divisée en terme économique, social, culturel, ethnique et religieux, ainsi qu'aux différents types de liens sociaux et de sociabilité qui la caractérisent à une période donnée (Conzen, 1960), (Lefebvre, 1968). En effet, l'écologie factorielle identifie trois grands modèles de distribution spatiale : par secteur (statut économique), par mosaïque (statut ethnique) et par structure concentrique (statut familial) (Levy, 1999). Outre les divisions sociales, la diversité ethnique, religieuse et démographique, peut également être répartie et fixée dans l'espace, caractérisant et produisant une forme sociale particulière. De même, les activités qui s'étendent à travers la ville peuvent

donner naissance à des quartiers différenciés et fonctionnellement spécialisés, tels que les quartiers d'affaires, les quartiers universitaires et les quartiers résidentiels.

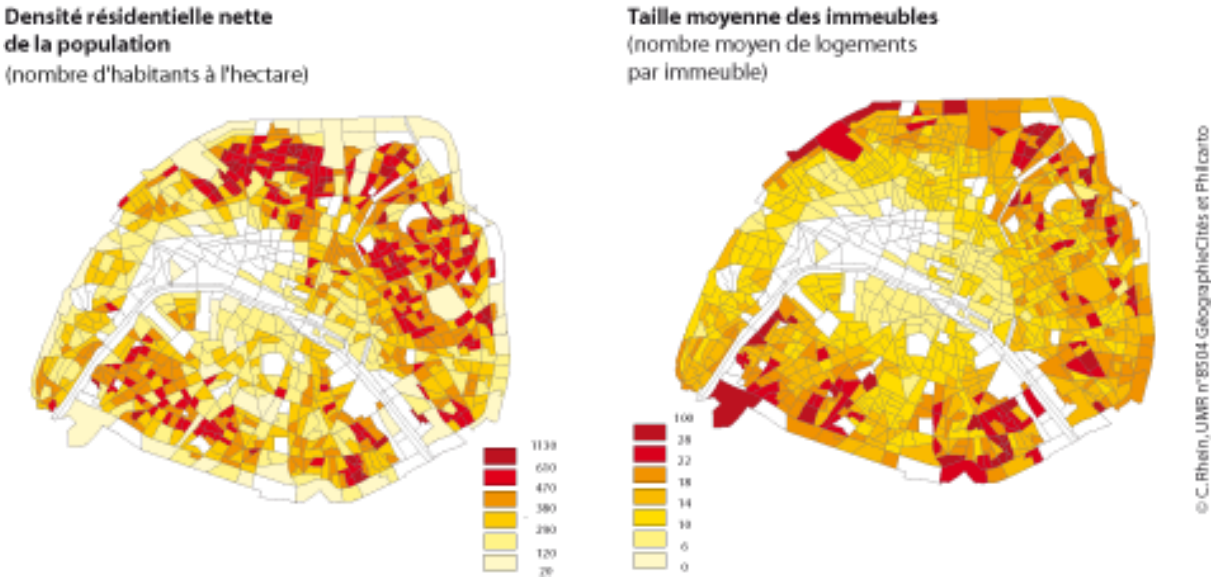


Figure 13. Forme sociale : densités résidentielle et bâtie.
http://journals.openedition.org/cybergeo/docannexe/image/26423/img-3.png

10.5. La forme bioclimatique et environnementale urbaine

L'approche de la forme urbaine comme forme bioclimatique étudie l'espace urbain dans sa dimension environnementale. Ce registre concerne le contexte physique et géographique dans lequel se situe la ville et qui doit être pris en compte dans une étude morphologique. Toute forme ne peut être séparée de l'environnement dont elle dépend. Il existe une influence réciproque entre la forme de la ville et l'environnement. L'impact du site urbain peut être analysé selon le type de tissu ouvert/ fermé/ semi-ouvert, ainsi qu'en termes d'orographie, d'hydrographie et de couverture végétale, à savoir tous les éléments qui ont un impact sur la climatologie urbaine (Escourrou, 1980, 1991). La répartition du climat crée différentes zones en fonction de l'exposition et de l'orientation, telles que chaud/froid, ensoleillé/obscur, sec/humide, venteux/inconsommable, créant une sensation de confort et de bien-être que l'on peut ressentir dans un espace avec une ambiance particulière (Hall, 1971). Ces zones sont influencées par la situation géographique et météorologique du site, ainsi que par les caractéristiques de l'espace urbain, notamment le tissu, la disposition et le paysage. Ces facteurs créent des microclimats spécifiques à certains secteurs urbains, qui se traduisent par des îlots de chaleur (figure 14). Cependant, la ville crée également son propre environnement, qui peut être artificiel et comprendre des zones qui varient en termes de santé, de propreté, de pollution et de niveau de bruit en fonction des installations et des activités présentes. De même, les réseaux énergétiques urbains ont des répercussions sur le confort urbain, notamment l'éclairage, le chauffage et la climatisation.

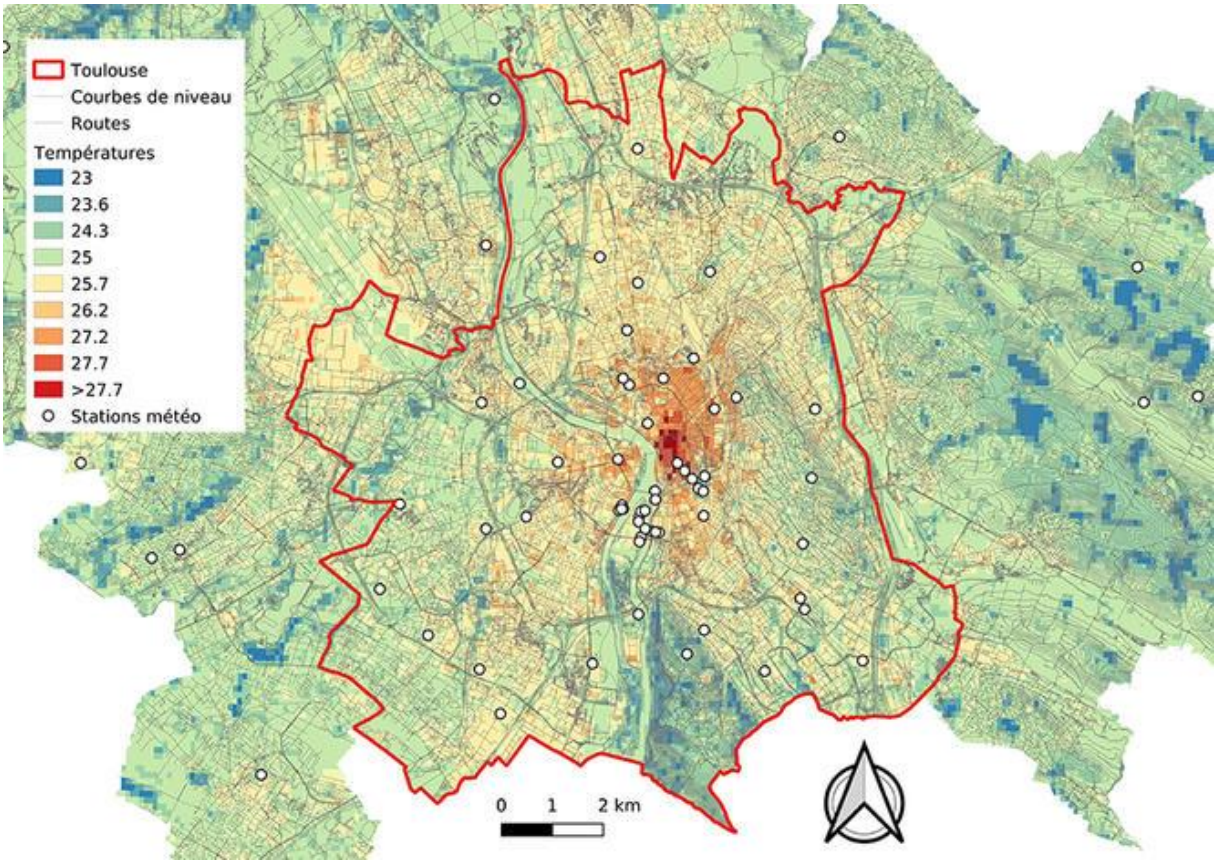


Figure 14. Forme bioclimatique : îlot de chaleur en soirée mesuré sur Toulouse pour les journées d'août 2021.CNRM ; Toulouse Métropole ; Données sources : http//mapuce.orbisgis.org

11. Les écoles de la morphologie

Afin d'approcher notre corpus dans le cadre d'une caractérisation morphologique, on juge important de traiter la question les écoles majeures s'intéressant à la morphologie urbaine afin de situer notre méthodologie d'approche.

11.1. L'analyse morphologique et typo-morphologique

Les études morphologiques classiques ont été principalement menées dans les écoles d'architecture dans le cas italien et français, sauf pour les travaux anglais principalement issus des départements de géographie de Newcastle et Birmingham (Moudon, 1997).

11.1.1. L'école italienne

L'école italienne, lancée à la fin des années 1950, est considérée comme la plus importante, et a joué un rôle significatif dans ce domaine. La discipline de l'architecture et de l'urbanisme a été fortement influencée par Muratori, Maretto, Caniggia et Cataldi. Ils sont connus non seulement pour leurs travaux théoriques et méthodologiques sur les projets d'architecture et d'urbanisme, mais aussi pour avoir introduit le genre historiographique de la "lecture de la ville". Plus tard, Rossi, Aymonino et Cervellati ont également contribué à ce domaine.

Pour les quatre premiers auteurs, l'analyse morphologique était avant tout de nature opératoire et normative, directement utile au projet. Elle est mobilisée dans une perspective critique à

l'égard de l'architecture moderne et de sa pratique de la tabula rasa. Les auteurs n'ont pas tous la même approche de la morphologie urbaine. Alors que Caniggia s'est concentré sur le processus typologique, tandis que les autres ont adopté une approche plus cognitive. Ils considèrent la morphologie urbaine comme une contribution à l'histoire urbaine, basée sur une lecture méthodique de la forme de son tissu et de son évolution (figure 15). Ils fondent leur approche sur le concept fondamental de la relation dialectique typo/morphologique, qui fait référence à la relation dialectique et non causale entre la typologie des bâtiments et la forme urbaine. Aymonino affirme que l'urbanisme moderne a détruit la relation dialectique qui définissait et expliquait la forme des villes anciennes. Cela est dû à la création de l'oxymore ou tissu ouvert, qui élimine l'idée de forme urbaine. Selon lui, la forme urbaine ne peut être réalisée dans les conditions actuelles de production urbaine industrielle que par des fragments juxtaposables ou des parties de la ville qui peuvent être juxtaposées.

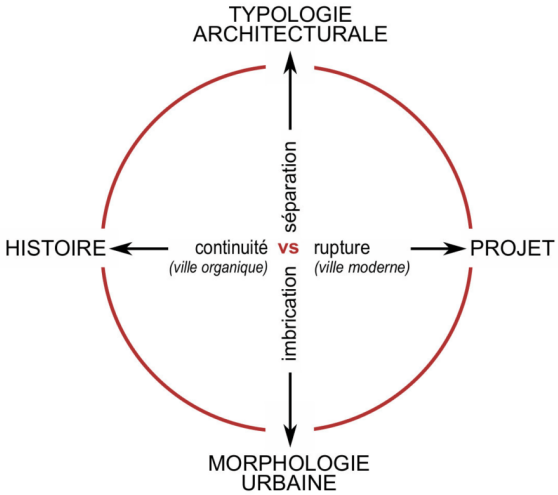


Figure 15. Schématisation de l'approche typo-morphologique italienne. Source : (Trotta-Brambilla et Novarina, 2018)

Partant d'une définition de la ville comme « *dépositaire de l'histoire* », lieu de mémoire, artefact culturel chargé de valeurs symboliques, Rossi (1966) souligne l'importance des monuments et de leur permanence dans la compréhension de la forme urbaine et de ses dynamiques. Cervellati (1977), avec son concept de « *conservation intégrée* », met également en évidence l'utilisation opérationnelle de l'analyse typo-morphologique au service du projet de ville et de la planification appliquée à Bologne, qui est rapidement devenue un cas emblématique.

11.1.2. L'école française

En France, la discipline de l'architecture s'est structurée autour. Panerai, Castex, Celeste et Depaule. Ils ont apporté une contribution significative à cette discipline à travers leurs ouvrages, notamment Lecture d'une ville : Versailles » (1980), « Formes urbaines, de l'îlot à la barre » (1997), « Analyse urbaine » (1999) et « Paris métropole : Formes et échelles du Grand-Paris » (2008). L'école française, meme si plus diversifiée, s'appuie sur l'expérience italienne. Elle a

développé des études sur les tissus, et sur l'histoire de l'ilot et de la ville, établies par les écoles d'architecture de Versailles et de Marne-la-Vallée. D'autre part, elle s'est concentrée sur des éléments spécifiques du tissu, à titre d'exemple, l'étude du parcellaire du quartier des Halles à Paris (Chastel, Boudon, Couzy, 1977), et les travaux sur réseau routier parisien (Rouleau, 1965). Les chercheurs ont distingué et hiérarchisé les types de bâtiments dans le tissu, en isolant les bâtiments majeurs des autres constructions mineures comme les zones résidentielles, afin d'expliquer la structuration de la forme de la ville baroque, où le « monument cible » joue un rôle clé dans la composition urbaine (figure 16). Ces travaux, cités précédemment, ont fait objet d'évaluation critique au niveau international, en soulignant l'importance des analyses parcellaires (Merlin, Choay, D'Alfonso, 1988).

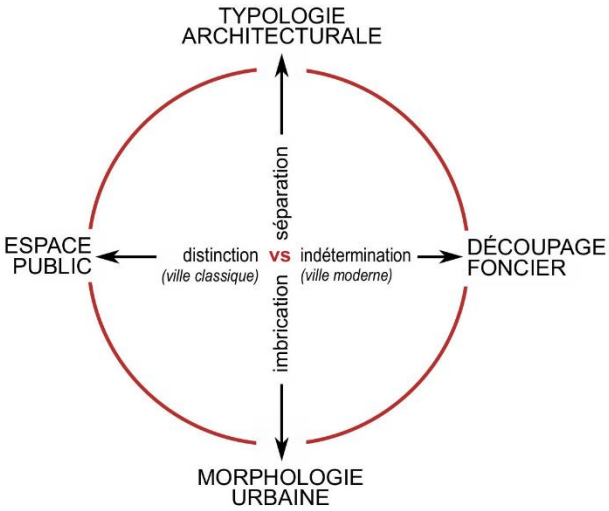


Figure 16. Schématisation de l'approche française du projet urbain. Source : (Trotta-Brambilla et Novarina, 2018)

11.1.3. Les écoles anglo-saxonne (anglaise et américaine)

Le domaine spécifique de la morphologie urbaine en tant que domaine d'étude trouve ses racines dans les contributions de Lewis Mumford, James Vance et Sam Bass Warner. La morphologie urbaine est identifiée comme l'étude de la structure ou du tissu urbain, servant de méthode pour reconnaître la dimension environnementale généralement liée à la planification urbaine. Le tissu englobe la morphologie cohérente des quartiers, les espaces ouverts, les bâtiments, les activités humaines fonctionnelles, etc. Les quartiers présentent des configurations identifiables dans la disposition des structures, des espaces, des fonctions et des thèmes, au sein desquelles les variations soulignent un ensemble de principes directeurs.

L'école anglaise privilégie avant tout une approche cognitive. Elle doit ses origine à des personnalités de premier plan dans ce domaine incluent Peter Hall et Michael Batty. Elle est principalement caractérisée par les travaux de géographes tels que Conzen et d'Alnwick (1970) sur la ville médiévale, et Whitehand (1977, 1979, 1981) et ses disciples à l'université de Birmingham. Ils ont joué un rôle important dans la fondation de l'ISUF (International Seminar on Urban Form), une association internationale qui poursuit ce travail par le biais de

symposiums, des conférences, et de la publication scientifique Urban Morphology[11]. Elle vise à consolider le domaine de la recherche morphologique.

11.2. La morphologie urbaine et le développement durable

En 1989, Newman et Kenworthy ont publié une courbe démontrant une corrélation inverse entre la densité urbaine et la consommation d'énergie pour le transport individuel. Cela signifie que moins une ville est dense, plus la consommation d'énergie par habitant pour le transport n'est élevée. Il a été démontré que les modèles de consommation d'énergie dans les centres urbains américains, caractérisés par des densités de population plus faibles et une utilisation de l'énergie plus élevée, contrairement aux villes asiatiques, qui présentent des densités de population importantes (300 personnes par hectare à Hong Kong) et une consommation d'énergie environ six fois inférieure (Lefevre, 2009)(figure 17). La dénonciation de l'étalement urbain au sein de la charte InterScot pour la cohérence territoriale des zones urbaines initie l'examen du modèle optimal de ville compacte fondée sur les principes de polarisation et de densification. Des notions telles que la qualité de vie, la densité de population, la verdure en milieu urbain et la ville durable sont des concepts au premier plan qui influence de plus en plus les structures spatiales futures. La planification urbaine et territoriale est appelée à répondre à ces exigences, avec de nombreuses ressources à sa disposition, bien que les répercussions complètes de leur mise en œuvre restent indéterminées.

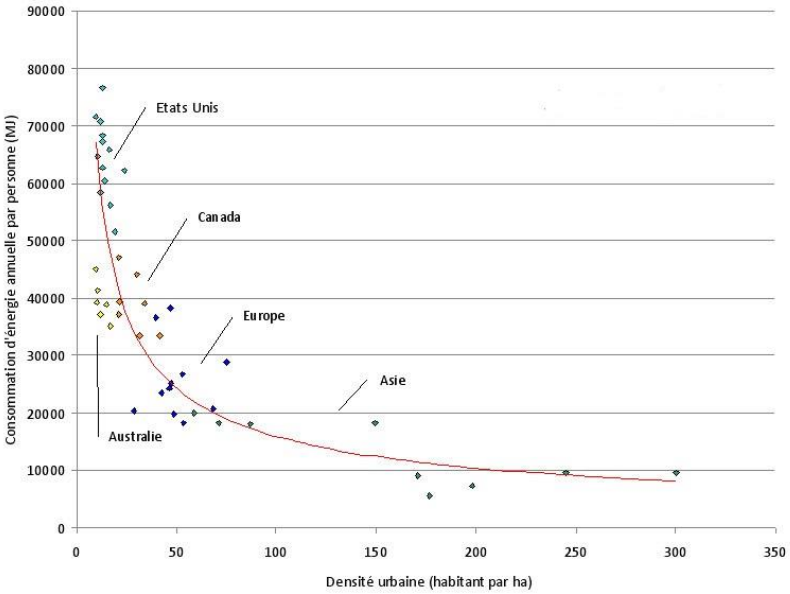


Figure 17. Source : La densité humaine à la consommation d'énergie liée aux transports (Le Néchet, 2011)

[11] La revue Urban Morphology est publiée deux fois par an par l'International Seminar on Urban Form (ISUF), créée en 1994, une association mondiale pluridisciplinaire de professionnels et de chercheurs en matière de formes urbaines.

11.3. Les Analyses morphologiques mathématiques

Selon Kacha (2010), dans le domaine de la recherche, on dénombre quatre méthodes d'analyses morphologiques mathématiques. Elles sont fondamentalement fondées sur la modélisation des formes afin de faciliter leur étude et leur examen. De telles approches mathématiques «*supposent, sur le plan épistémologique, une compréhension objective de la forme et, sur le plan pragmatique, un outil de caractérisation systématique de l'information morphologique permettant de comparer et de discriminer les formes, et de déceler les structures morphologiques invisibles à partir des formes visibles*». (Ben Saci, 2006, p : 245).

11.3.1. La morphologie mathématique

La morphologie mathématique constitue un cadre théorique introduit en 1964 par Matheron et Serra, dans le but préliminaire d'analyser divers objets (tels que des édifices et des espaces verts) représentés sur des images, y compris des photographies aériennes, des images satellites et des images RSO, à travers leurs structures intrinsèques. « *Il a été utilisé efficacement dans de nombreuses disciplines, notamment la caractérisation des matériaux, l'imagerie médicale et la vision industrielle*. » (Lefèvre, 2004, p. 1).

La morphologie mathématique est une méthodologie d'analyse d'images principalement ancrée dans la théorie des ensembles. Le concept fondamental est de juxtaposer les objets étudiés à un objet de référence de forme connue, appelé élément structurant de l'analyse, qui est sélectionné par l'opérateur. Cet élément se caractérise par des formes géométriques élémentaires : rond, carré, hexagone, triangle, dodécagone, etc. Les dimensions de cet élément sont délimitées par son rayon, qui correspond à la distance entre les points adjacents du cadre. Tout au long des processus de transformation, l'élément structurant parcourt l'ensemble de l'image, agissant comme un filtre spatial (Schmitt et Mattioli, 1994 ; Voiron, 1995) (figure 18).

Cette approche analytique est appliquée dans le domaine urbain pour extraire des informations morphologiques, englobant des attributs tels que la taille, la forme, l'orientation et la connectivité. Cette méthodologie a donné lieu à diverses recherches, notamment l'analyse de la texture par morphologie mathématique : application à l'analyse des zones urbaines sur des images satellites (Lorette, 1999), l'utilisation de la morphologie mathématique pour l'analyse de l'occupation de l'espace dans les zones présahariennes urbaines et périurbaines (Bannlidia, 2006), et la morphologie mathématique appliquée aux images SAR pour la différenciation des tissus urbains (Blusseau et Puybareau, 2023). L'une des contributions importantes de cette méthodologie au domaine de la planification urbaine est sa capacité à différencier nettement les régions habitées des régions inhabitées grâce à l'examen des textures des images. Cependant, sa capacité à identifier les quartiers masqués par la végétation est limitée et nécessite principalement des images en niveaux de gris (mono spectrales) pour discerner efficacement

les structures ayant une forme prédéterminée, comme les bâtiments et les routes. En outre, la morphologie mathématique présente une limite due au déterminisme extrinsèque représenté par « *l'élément structurant* », qui est utilisé pour interpréter la logique intrinsèque des tissus urbains.

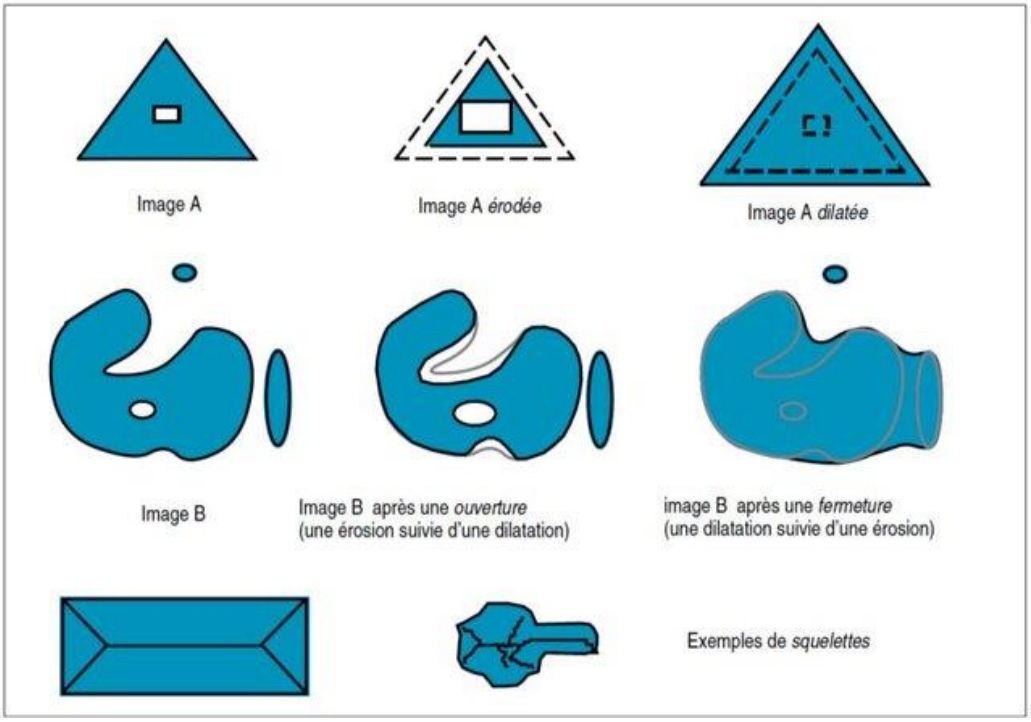


Figure 18. Illustration des transformations de base de morphologie mathématique (Voiron et Canicio, 1995)

11.3.2. École morphogénétique

Christopher Alexander (2002-2004) et le mathématicien Nikos Salingaros (2005) ont fondé une école de morphologie urbaine basée sur les principes de la morphogenèse et de l'émergence, en établissant une analogie entre le développement urbain et un processus informatique similaire à la croissance cellulaire d'un organisme. Deux centres de référence en Europe travaillent sur ces thèmes :

- L'Institut des Morphologies Urbaines (Serge Salat) développe un cadre analytique basé sur les régularités mathématiques, l'analyse fractale et l'analyse de distribution.
- Le Center for Advanced Spatial Analysis (Michael Batty) développe également un cadre analytique basé sur l'analyse fractale et les modèles multi-agents.

11.3.3. La syntaxe de l'espace

Conçu par Hillier et Hanson pour élucider la relation complexe entre les configurations spatiales et les dynamiques sociales (Hillier et Hanson, 1984 ; Hillier et al. 1984, 1987 ; Hanson 1998). La syntaxe spatiale met l'accent sur l'examen des dimensions spatiales à la structure architecturale d'un bâtiment ou d'un ensemble collectif. Elle postule que l'efficacité

opérationnelle d'un bâtiment ou d'un ensemble collectif provient de ses dispositions spatiales plutôt que de sa forme physique. Les formes architecturales servent simplement à délimiter et à organiser les espaces vacants dans lesquels se déroulent les fonctions désignées. Les significations sociales intégrées dans les constructions architecturales sont principalement liées à leurs configurations spatiales, et la séquence de leur agencement façonne directement les interactions sociales. Par conséquent, chaque configuration spatiale est fondamentalement soutenue par un cadre qui met en corrélation l'organisation spatiale et la structure sociale.

La syntaxe spatiale représente une approche méthodologique de l'analyse topologique, fondée sur l'hypothèse que les individus sont enclins à emprunter les itinéraires les plus compréhensibles plutôt que les plus directs. Cette approche analytique repose sur deux concepts principaux : l'axialité et la convexité. Tout point désigné dans l'étendue ouverte d'un environnement urbain peut posséder une extension linéaire (ou axiale) dans une dimension singulière ou une caractéristique convexe dans un contexte bidimensionnel (figure 19).

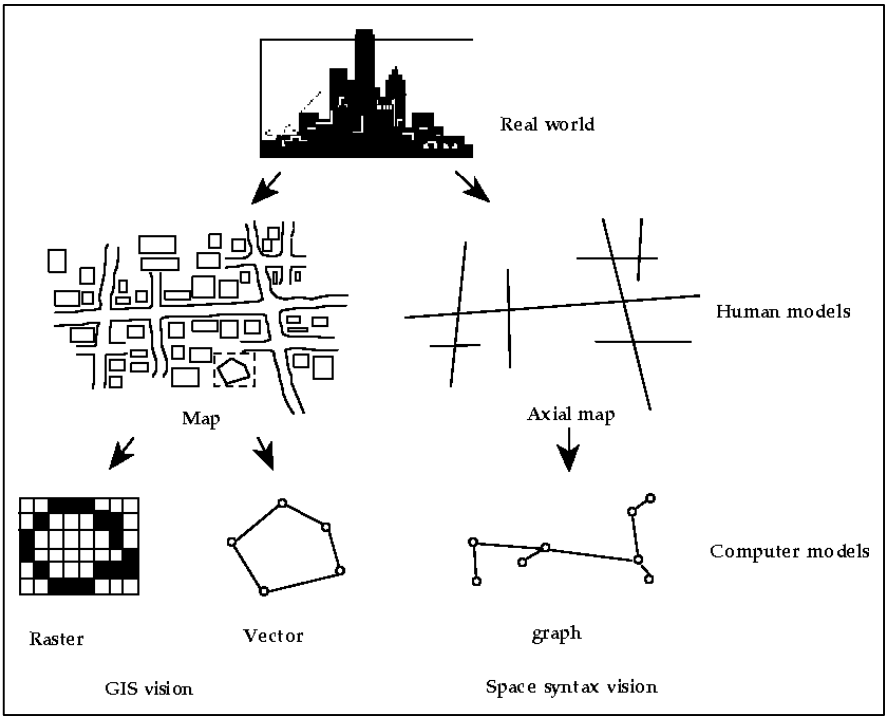


Figure 19. Modélisation spatiale établie par l'humain et celle par l'ordinateur. Source (Jiang et Claramunt, 1999)

La syntaxe spatiale a introduit un nouveau paradigme analytique dans les recherches morphologiques urbaines en harmonisant les sciences sociales avec les analyses topologiques des environnements urbains.

11.3.4. La morphométrie

La morphométrie constitue un cadre méthodologique utilisé pour expliquer les caractéristiques intrinsèques à la forme et pour délimiter son architecture morphique. Cette méthodologie repose

sur la transformation d'une représentation numérique de la forme en une représentation fréquentielle, facilitée par la transformée de Fourier. Chaque fréquence enferme un fragment des données morphologique relatives à la forme (figure 20). La représentation des fréquences constitue la base de l'évaluation diagnostique, de l'analyse comparative et du traitement automatisé. Elle constitue un instrument pratique pour l'examen systématique et objectif des formulaires. L'analyse fréquentielle de la forme est exécutée par le biais d'une décomposition hiérarchique le long d'un axe d'étalonnage composé de basses fréquences, qui s'aligne sur les couches fondamentales de l'information morphique, et de hautes fréquences, qui correspondent aux couches supplémentaires. L'intégration des différentes couches morphiques englobe totalement la forme spatiale. L'objectif est de quantifier la forme conformément à cette désagrégation hiérarchique des informations morphiques allant des basses aux hautes fréquences. Cela facilite le diagnostic et l'évaluation progressifs de la constitution des formulaires, du niveau fondamental au niveau supplémentaire. » (Ben Saci et Zaabar, 2010).

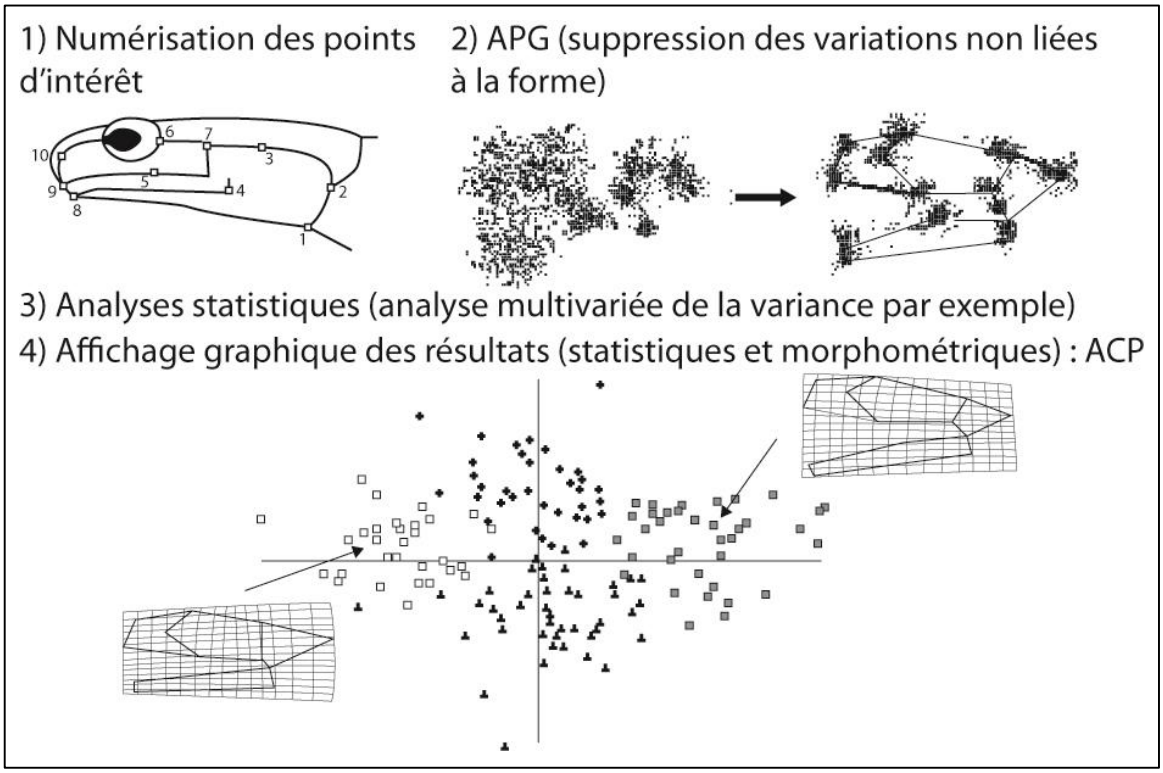


Figure 20. Les 4 étapes d'une analyse en morphométrie géométrique. Source (Adams et al. 2013)

L'étalonnage des informations morphiques s'effectue conformément à des bandes de fréquences élémentaires spécifiées. Chacune de ces bandes possède une énergie totale. Cette énergie représente l'ensemble des énergies des fréquences associées, dont l'écart par rapport à la fréquence fondamentale reste constant. Le descripteur d'énergie quantifie l'apport énergétique des bandes de fréquences élémentaires en fonction des rayons (distance par rapport à la fréquence fondamentale) afin de déterminer le contenu informationnel de chaque couche

morphique élémentaire. Par conséquent, la morphométrie sert de méthodologie pour l'analyse morphique objective, utilisée pour étudier la forme et sa structure grâce à l'analyse comparative de ses descripteurs d'énergie dans le même espace métrique.

11.3.5. La géométrie fractale

L'analyse fractale, qui apparaît comme une méthodologie relativement nouvelle dans la discipline de la morphologie urbaine, trouve son fondement théorique dans les travaux fondateurs du célèbre mathématicien Mandelbrot (1975). Les partisans de ce cadre analytique ne soutiennent que les caractéristiques fractales inhérentes aux éléments naturels sur lesquels les environnements urbains sont établis, ainsi que l'imbrication des modèles hiérarchiques, hétérogènes, de transformation et de croissance des environnements urbains avec les structures fractales (Lagarias, 2006), fournissent une solide justification pour l'application de la géométrie fractale comme instrument d'investigation. Les configurations des zones urbaines contemporaines présentent des attributs spécifiques qui peuvent être liés à un concept d'échelles interconnectées qui se manifeste dans la disposition physique des espaces urbains. La corrélation entre la longueur du périmètre urbain et la zone urbaine développée intérieure révèle une association significative entre les deux paramètres, en contradiction avec la géométrie euclidienne. Bien que la surface mesurée soit directement proportionnelle à la longueur du périmètre, elle devrait idéalement être proportionnelle au carré du périmètre, comme le stipule la géométrie euclidienne (Frankhauser, 1994).

Les agglomérations modernes comprennent une multitude de groupes bâtis de différentes tailles, suivant un schéma d'échelles interconnectées : englobant les établissements ruraux et périurbains, les centres villes, etc. Un principe similaire s'applique aux vides présents dans les tissus urbains, illustrant la rareté des grands espaces vides, une abondance de zones ouvertes de taille moyenne et de nombreux petits vides tels que les cours. Souvent, la distribution des résidences n'est pas uniforme mais plutôt concentrée le long des axes de transport, ce qui conduit à des zones où les bâtiments sont densément peuplés, ce qui entraîne une diminution globale de la densité à mesure que l'on s'éloigne des centres très peuplés. Ces caractéristiques sont également visibles au niveau intra-urbain, où la distribution de la superficie n'est pas uniforme. Les bâtiments se regroupent, laissant des espaces vides de tailles diverses, avec des poches non bâties disséminées dans des régions bâties ou dans des zones plus densément peuplées, formant des îlots urbains.

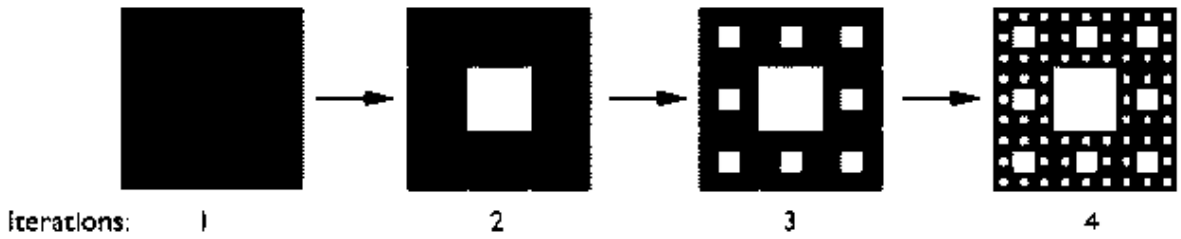


Figure 21. Les quatre premières itérations du tapis de Sierpinski. Source (Fersiti et al. 2018)

La configuration de ces structures urbaines est perçue comme le reflet des préférences sociétales. Les zones résidentielles en milieu rural offrent un environnement serein, distinct du dynamisme des centres urbains denses. De plus, dans la société contemporaine, les individus peuvent facilement accéder aux commodités urbaines tout en résidant dans les zones rurales. Cette accessibilité s'étend aux lieux de travail et à diverses installations de loisirs et de services, mettant en évidence la nature évolutive des espaces urbains façonnés par les interactions multidimensionnelles entre les entités publiques et privées. Le processus d'urbanisation est donc considéré comme une forme d'auto-organisation, incarnée par le concept de « ville émergente » en France (Dubois-Taine et Chalas, 1997) ou par des termes tels que ZWI-Schenstadt ou « le centre-ville » et Verstädterungslandschaft « paysage urbain » en Allemagne (Humpert et al. 1991), (Sieverts, 1997).

Des modèles alternatifs pour représenter la configuration des structures urbaines ont été explorés par divers groupes de recherche en raison de la présence d'un principe d'échelles interconnectées dans les tissus urbains. L'utilisation de la géométrie fractale a été privilégiée dans ces études, permettant de révéler une disposition spatiale spécifique dans les tissus urbains qui reste indécelable par des méthodes conventionnelles telles que l'analyse de densité. L'introduction de caractéristiques morphologiques fractales permet de comparer et de catégoriser les tissus urbains, en se concentrant dans un premier temps sur de vastes régions métropolitaines évaluées au moyen de représentations cartographiques simplifiées. Cette approche a été perfectionnée et partiellement mise en œuvre au niveau local à l'aide de bases de données cartographiques plus complexes.

Pour illustrer les caractéristiques uniques de la géométrie fractale, une sélection de modèles fractals théoriques est présentée dans le chapitre suivant, résumant les caractéristiques déterminantes des tissus urbains. Ces fractales, construites sur la base d'échelles interconnectées, donnent lieu à une hiérarchie hautement structurée grâce à l'application itérative de règles de construction, aboutissant à des formations progressivement complexes.

12.Conclusion

La morphologie urbaine est l'examen de la configuration des établissements humains et des processus qui sous-tendent leur établissement et leur modification. L'objectif de ce chapitre est de comprendre la forme urbaine, son origine, et ses mutations dans le temps. L'organisation spatiale d'une ville ou d'un village dépend étroitement de la disposition de ses éléments constitutifs et de son évolution dans le temps. Une enquête sur les structures physiques à différents niveaux, des registres et des écoles de la forme constitue une boite à outil pour la lecture du corpus de notre étude.

Afin de cerner les aspects cités dans ce chapitre en rapport avec notre sujet, il est nécessaire d'enrichir l'opérationnalisation de notre recherche par l''élargissement le corpus d'étude, que ce soit dans le nombre mais aussi dans le temps, pour pouvoir saisir les dimensions de forme et de sens en adéquation avec les registres. Dans ce cadre, on se sert de la représentation cartographique et de plan de ville dans pour l'analyse morphologique.

Le choix de l'usage de l'analyse fractale comme outil d'étude émane, comme cité dans le dernier sous chapitre, du fait que la ville suit un ordre désordonné, qui ne répond pas à la géométrie conventionnelle. Il est donc nécessaire d'étudier non seulement la dynamique formelle des tissus urbains, mais aussi les interactions complexes à travers le temps qui régit en partie cette dynamique. Dans ce sens, le chapitre suivant apporte des outils complémentaires à notre enquête.

Chapitre 2 : Fractals, notions et concepts

1. Introduction

Dans le but de caractériser la morphologie des noyaux urbains du corpus par l'approche fractale, il est primordial d'approcher cette méthode, afin de connaitre ses principes, ses fondements et comprendre son adéquation comme outil de réponse efficace à nos hypothèses, nos cas d'étude ainsi que l'échelle d'intervention. Dans ce chapitre, nous définissons les fractals et expliquons comment ils fonctionnent, comment sont-ils générées et simulés, théoriquement et empiriquement. Nous examinons la manière dont les modèles fractals urbains sont générés. Le but de ce chapitre est de discuter sous un angle plus large les multiples aspects fractals en général, et ceux des structures urbaines plus particulièrement.

2. La géométrie fractale comme outil de caractérisation urbaine. Pourquoi ?

Les racines étymologiques de la géométrie remontent au concept de mesure de la terre, mais ses implications vont bien au-delà, englobant une multitude de significations, allant du fait qu'elle est perçue comme une harmonie mathématique, un alignement cosmique ou un instrument pratique à des fins de planification, de visualisation, de représentation, de communication et de construction. Des configurations géométriques les plus simples aux constructions mentales les plus complexes et les plus visionnaires, la géométrie n'a cessé d'évoluer pour devenir une discipline de plus en plus complexe. Liée aux différentes dimensions des établissements humains, la géométrie peut se manifester dans des formes euclidiennes telles que les pyramides de Gizeh ou la Neue National galerie de Mies van der Rohe, ou transcender ces contraintes pour se manifester librement dans diverses expressions architecturales.

Si l'on veut conceptualiser un objet fractal, il est simplement une illustration d'un zoom infini dans une configuration. Les fractales se manifestent dans la nature en raison de la fonctionnalité accrue des organismes vivants lorsqu'ils sont constitués de nombreux composants diminutifs, par opposition à une entité substantielle singulière. A titre d'exemple, les fractales facilitent l'optimisation de l'absorption de la lumière solaire par les organismes botaniques. Ils permettent également au système cardiovasculaire de distribuer efficacement l'oxygène dans l'ensemble de l'organisme. La discussion sur la géométrie dans notre sujet n'échappe pas non plus à cette métaphore. La ville par, l'irrégularité de son tissu, sa lucarnité, sa rugosité, son processus génératif à plusieurs échelles, ne correspond pas aux cadres conventionnels établis par la géométrie euclidienne (figure 22), ce qui nous invite à réfléchir davantage à l'essence des

structures urbaines, et plus précisément à sur ce qui définit la forme d'une ville. Le sous-chapitre suivant définit les notions fondamentales, les propriétés ainsi que les composantes d'une structure fractale afin de bien l'assimiler à la ville, pour pouvoir la comprendre et l'apercevoir d'un point de vue fractal.

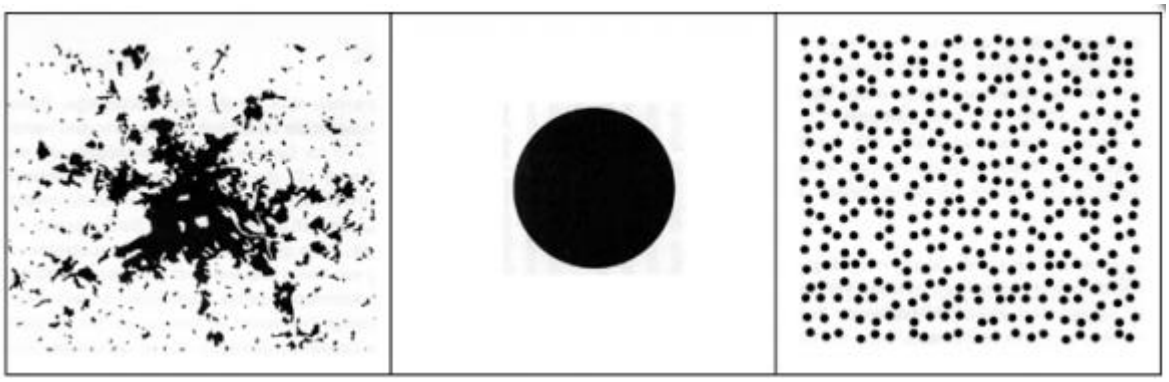


Figure 22. La surface bâtie de l'agglomération berlinoise (1,67km²) regroupée dans un disque de la même surface, ensuite répartie en petites villes éparses. Source : (Humpert et al. 1991)

3. Géométrie fractale

Les fractales sont des constructions mathématiques qui se distinguent par leurs arrangements géométriques complexes et irréguliers, qui dépendent de l'échelle et présentent des attributs d'auto similitude, comme l'ont démontré les contributions fondamentales de Mandelbrot (1982) et développées plus par Arlinghaus (1989). Avant Mandelbrot, l'arithmétique prédominait dans le domaine des mathématiques et la géométrie n'était qu'un élément secondaire. Au cours du XXe siècle, les mathématiques et la physique se distinguèrent comme deux domaines distincts. La plupart des modèles de la nature, selon les mathématiciens, étaient trop complexes, irréguliers, fragmentés et informes pour être décrites mathématiquement. La géométrie euclidienne se concentrait sur l'étude d'une perfection abstraite qui n'existe pas dans la nature.

De ce fait, le terme "fractal" a d'abord été employé pour décrire la géométrie des phénomènes naturels, notamment les schémas de ramification des arbres, la morphologie de surface des montagnes et les formes irrégulières et fragmentées des littoraux. Ces caractéristiques peuvent être quantifiées par la dimension fractale (D), définie comme la mesure dans laquelle une forme occupe l'espace disponible (Dauphiné, 2011).

Avant l'avènement des simulations informatiques, les fractales n'avaient pas fait l'objet d'études approfondies. La génération de fractales artificielles et mathématiques, ainsi que l'automatisation des calculs de la dimension fractale, ne sont devenues possibles que récemment grâce aux progrès de la technologie informatique. Une forme fractale remplit l'espace en reproduisant sa forme à des échelles de plus en plus fines. Ainsi, les formes fractales remplissent

l'espace dimensionnel disponible avec une densité croissante au fur et à mesure que leur forme se répète à des échelles de plus en plus fines. Les structures fractales se développent progressivement de bas en haut ou de haut en bas par le biais de processus d'accumulation ou de subdivision récurrents et infinis dans des boucles de rétroaction. Les fractales sont une illustration classique des systèmes complexes, où des modèles spatiaux globaux apparemment très complexes sont générés par des règles locales simples.

3.1. Notions fondamentales

Ce qui distingue la géométrie fractale, c'est la découverte de composants géométriques identiques sur un large éventail d'échelles. Par conséquent, les entités fractales transcendent les échelles spécifiques, démontrant une présence constante de ces composants. Ce schéma récurrent à différentes échelles démontre un arrangement hiérarchique au sein de l'entité fractale, communément appelé homothétie interne ou autosimilarité. Avant d'entrer dans la discussion des applications, certaines notions fondamentales sur les fractales doivent être introduites.

3.1.1. La loi de Pareto-Zipf

La loi de Zipf, ou la loi rang-taille attribuée à George Kingsley Zipf, est une loi qui se base principalement sur des études empiriques, où il a observé que la fréquence d'utilisation d'un mot dans un texte était inversement liée à son rang. La loi Zips se concentre sur la distribution statistique des fréquences d'apparition des diverses variables. En opposition à la loi de Pareto qui se concentre sur les probabilités, on utilise directement les résultats du comptage des mots, à savoir les fréquences absolues (Coulombe, 2020).

Zips a élargi ses activités et cette loi couvre divers secteurs tels que les systèmes urbains. Elle constitue un principe de répartition par rangs applicable aux villes, qui implique leur organisation en fonction du rang hiérarchique de leurs populations respectives (Frankhauser, 1991). La corrélation établie entre la taille de la population de chaque ville et son rang hiérarchique correspondant dans un classement basé sur la population est supposée être une constante : par conséquent, la population de la ville la plus importante surpasse celle de la deuxième ville selon un ratio universellement applicable aux dimensions temporelles et spatiales, reflétant la relation entre la deuxième et la troisième ville, et ainsi de suite (Ming-hong et Cun-hui, 2004). Dans un cadre de coordonnées à double échelle logarithmique, les axes x et y représentent une courbe composée de tous les points représentant les populations et les rangs des villes, qui sont conformes à une ligne droite d'ajustement. Tout écart (résiduel) par

rapport à cette ligne peut être considéré comme une anomalie, ce qui incite à s'interroger sur les raisons sous-jacentes (Chen, 2012). Lorsque la ville la plus importante se situe nettement au-dessus de la ligne prévue, on en déduit qu'il existe une macrocéphalie urbaine, c'est le cas de Paris à titre d'exemple. En outre, dans le contexte de la mondialisation économique et de l'expansion métropolitaine, cette analyse quantitative et démographique des hiérarchies urbaines ne fournit pas nécessairement des informations hautement heuristiques. Elle facilite néanmoins l'établissement d'analyses comparatives entre les différents systèmes urbains.

3.1.2. La courbe de Von Koch

Chaque côté d'un triangle équilatéral dont la longueur de côté serait un, est découpé en trois tiers. Ensuite on remplace le tiers central par deux tiers de telle manière qu'il forme une pointe vers l'extérieur du triangle initial. On obtient ainsi une étoile hexagonale. Le tiers central ayant été remplacé par deux tiers, la longueur du périmètre de l'objet a augmenté. Ainsi, la longueur entre les deux coins A et C mesure quatre tiers. À l'étape suivante, on répète ce processus, en découpant toutes les parties droites encore en trois morceaux, c'est-à-dire en neuvièmes. En ajoutant de nouveau des pointes, faites de deux neuvièmes maintenant, chacun des quatre tiers entre A et C sera remplacé par quatre neuvièmes, donc la longueur entre A et C augmente lors de cette opération à 16/9 (figure 23). Du point de vue géométrique, la répétition d'une telle opération est une application itérée qui, poursuivie jusqu'à l'infini, laisse croître le périmètre vers l'infini. Il semble donc avoir une dimension supérieure à celle d'une ligne, c'est-à-dire supérieure à un. Néanmoins, la ligne délimitant ce curieux objet reste bornée puisqu'elle ne franchit jamais le cercle entourant le triangle initial. De ce fait, elle contient moins de points qu'une surface dont la dimension topologique se porte à deux (figure 24).

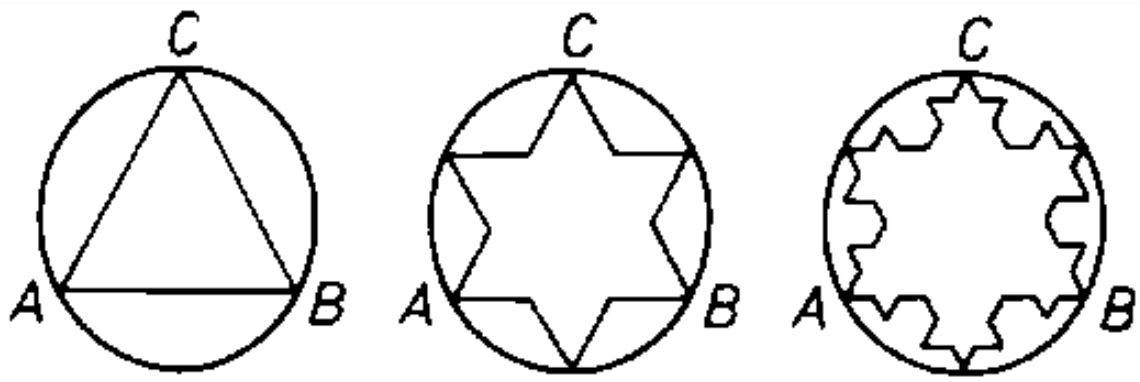


Figure 23. Courbe de Von Koch conçue en deux étapes d'itération. (Source : Frankhauser, 2003)

Figure 24. La forteresse de Palmanova sous forme d'un flocon de Koch, située dans la province d'Udine au nord-est d'Italie. Source : vdouine.net

Afin de caractériser de telles entités particulières, le domaine de la théorie de la mesure fait référence à la dimension de Hausdorff (Falconer, 1985). Dans le cadre d'applications répétées, cette dimension coïncide avec la dimension homothétique intrinsèque ou dimension fractale.

3.1.3. La mesure Hausdorff

La mesure de Hausdorff constitue un concept essentiel dans le domaine de la géométrie fractale, car elle facilite l'attribution d'une mesure à des ensembles qui peuvent ne pas être conformes à la régularité. La mesure de Hausdorff sert de généralisation du concept de mesure extérieure, permettant ainsi de quantifier la complexité géométrique inhérente à un ensemble donné. La mesure extérieure de Hausdorff permet d'évaluer la taille d'un sous-ensemble contenu dans un espace métrique. Les attributs de la mesure de Hausdorff incluent la monotonie et l'invariance traductionnelle. Elle peut être utilisée pour quantifier la complexité géométrique d'un objet.

3.1.4. Ensemble de Cantor

Au lieu d'ajouter des morceaux de droite, comme dans le cas de la courbe de Von Koch, il est également possible de soustraire, par exemple, le tiers central d'une ligne d'une unité de longueur. En répétant ce processus pour les segments restants, un ensemble de points entièrement distincts est finalement obtenu, reconnu comme l'ensemble Cantor.

Appelée également la poussière de Cantor, est un ensemble fermé, situé dans l'intervalle unitaire [0, 1] et présente la particularité de posséder un intérieur dépourvu de tout élément. Ce sous-ensemble constitue une excellente illustration visant à démontrer l'existence d'ensembles infiniment étendus mais qui ne sont pas dénombrables (figure 25). De plus, il s'agit de l'exemple pionnier d'une entité fractale, même si la terminologie elle-même n'a vu le jour qu'un siècle après sa découverte, et possède notamment une dimension qui n'est pas de nature entière (Cantor, 1884), (Edgar, 2008).

Le processus de sa formation se déroule par étapes, en commençant par le segment initial [0, 1] et en excisant ensuite son tiers central ; cette procédure est appliquée de manière récursive aux deux segments résultants, en se perpétuant de manière itérative. La représentation visuelle présentant les six premières étapes de ce processus itératif est illustrée visuellement dans la figure suivante.

Figure 25. Ensemble de Cantor en trois étapes d'itération

3.2. Propriétés des fractales

Selon Mandelbrot, réputé pour ses travaux novateurs dans le domaine de la géométrie fractale, il reste extrêmement difficile de formuler une définition claire et sans équivoque qui résume la nature fondamentale des fractales de manière exhaustive. Néanmoins, vers la conclusion de son livre, qui comprend trois volumes, il a clairement exprimé qu'une fractale fait référence à une figure géométrique ou à une entité naturelle qui présente ou incorpore les caractéristiques suivantes.

- Les composants ou segments de la figure conservent la même forme ou les mêmes caractéristiques structurelles que l'ensemble, bien qu'à une échelle différente et présentant potentiellement des déformations mineures.
- La configuration générale de la figure est caractérisée par une extrême irrégularité ou est définie par des interruptions ou une fragmentation importante quelle que soit l'échelle à laquelle elle est examinée.

- Il comprend ce que l'on peut appeler des « *éléments distinctifs* » qui possèdent des échelles très hétérogènes et englobent un spectre étendu.

Le cadre dominant de la géométrie euclidienne, qui a toujours facilité la compréhension des entités géométriques, est inadéquat pour la caractérisation complète des objets fractals, principalement en raison de leurs caractéristiques intrinsèquement irrégulières qui échappent à toute représentation dans les limites des constructions euclidiennes. La discipline de la géométrie fractale apparaît comme une solution viable à ces défis complexes posés par l'irrégularité. Il devient donc essentiel d'approfondir et d'examiner méticuleusement les principales caractéristiques et propriétés qui spécifiques aux fractales.

3.2.1. L'irrégularité

Le terme « fractale », dérivé du mot latin « fractum », qui signifie « fracturé », a été introduit pour la première fois dans le lexique des mathématiques par Mandelbrot. Il définit des objets géométriques que l'on peut qualifier d'irréguliers et brisés. «*Une des caractéristiques principales de tout objet fractal est sa dimension fractale, dénotée D. Elle mesure son degré d'irrégularité et de brisure* » (Mandelbrot, 1975, p. 6), ce qui caractérise fondamentalement ce que nous entendons par fractales. Ces irrégularités se manifestent de manière cohérente sur chaque échelle d'observation, ce qui indique qu'une fractale peut être conceptualisée comme un objet régulier dont l'irrégularité inhérente reste constante à toutes les échelles et à chaque point d'observation. «*Les nuages ne sont pas des sphères, les montagnes ne sont pas des cônes, les rivages ne sont pas des arcs de cercle, l'écorce d'un arbre n'est pas lisse et l'éclair ne trace pas de ligne droite*.» (Frankhauser, 1994, p. 40).

3.2.2. L'invariance d'échelle

Dans le domaine de la géométrie classique, une ligne est caractérisée comme une entité unidimensionnelle, une surface est définie comme une entité bidimensionnelle et un volume est reconnu comme une entité tridimensionnelle. Par conséquent, nous avons l'habitude de rencontrer des entités dont la dimensionnalité (D) est représentée par les entiers 1, 2 ou 3. Cependant, la dimensionnalité d'un ensemble de points situés sur une droite, une courbe irrégulière et plane ou une surface présentant des caractéristiques alambiquées demeure ambiguë. Ainsi, la dimension fractale sert de représentation numérique qui quantifie l'étendue de l'irrégularité ou de la fragmentation inhérente à un objet, ou bien quantifie la rugosité

associée à une surface. La dimension fractale peut se manifester sous la forme d'une fraction ou d'un nombre irrationnel ou sous la forme d'un entier. Une analogie peut expliquer cette notion : la composition démographique d'une famille moyenne au Canada est quantifiée à 2,2 enfants ; quelles sont les implications de la notion de 0,2 enfant ? Ce concept de dimension fractale est pertinent pour les objets qui présentent une invariance d'échelle : il existe des segments qui ressemblent à l'objet lui-même, bien qu'avec l'application d'une expansion (agrandissement). Lorsque l'on modifie l'échelle d'observation d'un objet invariant à l'échelle, les formes restent cohérentes. Contrairement à une figure géométrique euclidienne, une fractale est dépourvue d'échelle ou de magnitude caractéristique. Chaque segment d'une fractale reproduit la forme globale, quel que soit le degré de grossissement.

3.2.3. L'autosimilarité

L'autosimilarité indique la correspondance d'une partie avec son ensemble, illustrant la structure inhérente d'une fractale. Les fractales présentent une autosimilarité, caractérisée par des caractéristiques identiques à toutes les échelles, bien que toutes les fractales ne possèdent pas cette caractéristique. L'autosimilarité peut se manifester de manière stricte dans les systèmes de fonctions itérés ou de manière statistique dans les phénomènes naturels, avec d'autres distinctions basées sur des relations d'échelle et mathématiques. L'autosimilarité stricte ou exacte implique une invariance d'échelle, garantissant l'uniformité entre les grossissements. La courbe de Von Koch est un exemple illustratif d'une fractale auto-similaire, cependant, pour de nombreux objets naturels, l'autosimilarité n'est pas précise : la représentation agrandie ressemble à son image initiale mais n'en est pas une réplique exacte. Ce scénario est illustré par un littoral accidenté ou un profil topographique. Dans ces cas, l'autosimilarité est de nature statistique. Par conséquent, un objet fractal est défini comme un objet dont les propriétés géométriques peuvent être articulées par le biais d'une dimension non entière, qui n'a pas d'échelle définitive et incarne la caractéristique de l'auto-similitude.

Le tapis Sierpinski illustre une fractale strictement similaire, grâce à une division itérative et à la suppression de carrés, ce qui donne une structure semblable à un tapis. Ses propriétés ont conduit à des applications pratiques en électronique, notamment dans la technologie GPS en raison de sa capacité de capture de fréquence.

L'éponge Menger, dérivée d'un cube, illustre l'autosimilarité grâce à ses innombrables trous plus petits, où chaque partie reflète l'ensemble de la structure. La relation entre l'éponge de Menger et ses cubes constitutifs illustre la nature autosimilarité de la fractale.

Le triangle de Sierpinski illustre une autosimilarité stricte. Un triangle équilatéral est divisé en quatre triangles plus petits dont le triangle central est retiré, et ce processus se perpétue. Chaque petit triangle conserve les caractéristiques du grand triangle. Par conséquent, le triangle de Sierpinski présente une autosimilarité prononcée.

L'ensemble triadique de Cantor se caractérise par l'autosimilarité, car un zoom avant révèle chaque segment reproduisant la structure globale.

3.2.4. La rugosité

Il est important de noter que la rugosité n'est pas intrinsèquement limitée aux surfaces fractales. Ce qui définit distinctement une surface fractale, c'est la présence de rugosité à toutes les échelles d'observation. Mandelbrot préfère le terme « rugosité » à « irrégularité » en raison de sa connotation latine où « irrégularité » signifie un écart par rapport à la « régularité » ; cependant, cette perspective est trompeuse : « régularité » s'oppose à « rugosité », car la nature intrinsèque du monde est fondamentalement rugueuse ; nous parlons de « structure fine » lorsque nous parlons d'informations localisées (autour d'un point spécifique), tandis que « rugosité » concerne l'information qui est ponctuel (en ce qui concerne le point lui-même). Par conséquent, la notion de « rugosité » ou de « régularité ponctuelle » est ainsi jugée plus précise que celle de « structure fine ».

Mandelbrot conceptualise les fractales comme des entités « infiniment fragmentées » ou intrinsèquement rugueuses, ce qui indique leur manque de fluidité. Prenons l'exemple d'un cercle dans les limites de la géométrie euclidienne. En sélectionnant un point arbitraire sur ce cercle et en l'agrandissant, on perçoit finalement une ligne droite simple et lisse, qui contraste nettement avec le comportement des fractales. Dans le cas des fractales, le grossissement révèle constamment l'apparition de détails complexes, comme en témoigne la courbe de Van Koch. De manière significative, quel que soit le point de grossissement sur la courbe, on découvre invariablement des détails : le même motif est répété sans fin. Par conséquent, la courbe de Van Koch illustre la rugosité. La dimension fractale d'un objet est déterminante pour son degré de rugosité.

3.2.5. La lacunarité

Bien que la dimension fractale englobe le déploiement spatial d'un objet, elle ne tient pas compte de la disposition de ses composants dans cet espace. En étudiant la distribution des galaxies dans l'Univers, Mandelbrot a ensuite identifié un nouvel attribut des fractales : « *il ne*

peut y avoir de fractales sans grands vides » (Mandelbrot, 1995, p. 132). Il a désigné cet attribut comme « lacunarité », dérivé du latin lacuna, qui signifie « trou ». La lacunarité définit la distribution spatiale des vides au sein d'un objet à une échelle spécifiée. Plus la lacunarité d'un objet est faible, plus il devient homogène. Un objet présentant une hétérogénéité à une échelle particulière peut présenter une homogénéité à une échelle étendue. Par conséquent, la lacunarité L (r) dépend de l'échelle d'analyse. Il est défini comme le rapport entre la variance[12] var (r) et le carré de la moyenne du nombre de vides (r). Certains chercheurs se sont demandé si la lacunarité des fractales pouvait servir d'instrument méthodologique pour caractériser la texture osseuse et, par extension, à des fins diagnostiques. La lacunarité explique l'organisation spatiale par la configuration des « vides ».

3.3. Composants des fractales

Les modèles fractals dans la nature et les artefacts humains sont des instantanés reflétant la dernière scène d'une histoire évolutive. Les racines de l'histoire comprennent une base (où se trouvent les ressources), un initiateur (où l'histoire commence), un générateur (les forces qui font avancer le système), un chemin (la séquence d'événements dans le temps) et des perturbations (ce qui rend son histoire unique par rapport à d'autres systèmes similaires). Dans un système fractal, le générateur se répète à plusieurs échelles (et dans certains cas, à l'infini) dans le temps ou l'espace, et fournit au système une structure d'échelle, où la hiérarchie émerge et est visualisée dans l'instantané du résultat. Un flocon de neige, qui est unique et ne peut être reproduit, est un exemple courant du résultat du processus de formation fractale.

La géométrie fractale repose essentiellement sur le concept de « *répétition d'un principe d'emboitement d'échelles* » (Frankhauser, 2003, p. 12). Une fractale est caractérisée par plusieurs composants clés qui contribuent à sa structure complexe :

3.3.1. La base

L'environnement ou le cadre contextuel dans lequel la fractale se trouve, émerge et évolue, qui sert de point de référence principal dans la configuration géométrique, et joue un rôle indispensable dans la définition de ses caractéristiques et de son comportement global.

[12] Dans l'analyse statistique, la variance sert de métrique pour quantifier la dispersion au sein d'un échantillon.

3.3.2. L'initiateur

L'initiateur peut être défini comme la forme élémentaire ou l'entité géométrique qui sert de point de départ au développement de la fractale. Il est généralement un objet géométrique euclidien, tel qu'un carré, un cercle ou une autre forme géométrique reconnaissable. Bien que l'initiateur puisse sembler d'une importance significative, il joue en fait un rôle relativement mineur dans le cadre plus large de la géométrie fractale. De plus, il est lié au facteur de forme.

3.3.3. Le générateur

Le générateur de fractales, qui est le mécanisme ou la règle de répétition qui orchestre la création du système spatial hiérarchique, est un composant essentiel de la géométrie fractale. Ce générateur délimite la transition d'une échelle à l'échelle suivante et contient des informations cruciales concernant les paramètres qui définissent le principe d'imbrication, facilitant ainsi la construction complexe des fractales.

3.3.4. L'itération

Le processus de génération d'une fractale s'effectue par l'application itérative de la règle de répétition, ce qui nécessite de passer par plusieurs étapes d'itération. À chaque étape distincte de ce processus itératif, la structure produite comprend des répliques de la figure géométrique initiale, communément appelées éléments ou éléments occupés (N) de la structure fractale (figure 26). L'ensemble de ces éléments occupés est désigné comme la masse occupée de la fractale à un stade d'itération spécifique, reflétant la complexité et la richesse aux formations fractales.

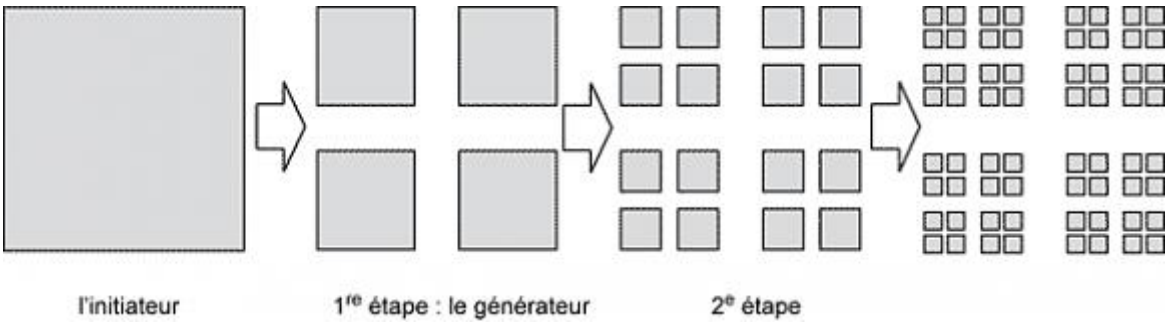


Figure 26. Les composants d'une fractale (Frankhauser, 2005)

On peut également citer l'exemple de la courbe de Van Koch, citée précédemment dans la rubrique réservée à la rugosité. Le processus commence par le dessin d'un segment (initiateur). Le tiers central de ce segment est remplacé par deux segments dont la longueur correspond chacun à celle du tiers excisé (générateur). Cette opération est ensuite réitérée sur chacun des segments obtenus, perpétuant le processus à l'infini. À chaque étape de la construction, un tiers

est supprimé tandis que les deux tiers sont incorporés ; ainsi, la courbe connaît une augmentation d'un tiers, soit 33 %. La construction implique notamment un nombre infini d'itérations. En conséquence, sa longueur est rendue infinie malgré sa capacité à être représentée sur une surface finie.

4. Formes fractales et formes urbaines

La forme urbaine traditionnelle suit le réseau de transport piétonnier. La ville d'antan, essentiellement piétonne, a été construite au fil du temps - avec des ajouts incrémentaux continus - sur un modèle fractal, sans que ses bâtisseurs en soient conscients (Salingaros, 2003). L'esprit humain est imprégné d'un modèle fractal, de sorte que ce qu'il génère intuitivement aura une structure fractale (Mikiten et. al. 1995).

Il est impératif de reconnaître que même si les applications préliminaires des analyses spatiales fractales étaient principalement orientées vers les phénomènes naturels, les principes essentiels relatifs aux fractales, leurs échelles pertinentes et le concept complexe de dimension fractale se sont par la suite révélés très utiles dans les disciplines de la géographie physique et de la géographie humaine, comme l'ont formulé Goodchild et Mark (1987) et examinés plus en détail par Barnsley (1988, p. 245 à 271). L'intégration des fractales dans le discours scientifique a entraîné une augmentation significative du nombre d'applications et de publications dans diverses disciplines. Parallèlement, la perspective fractale a imprégné le domaine de la géographie quantitative. Les premières publications utilisaient exclusivement la méthodologie fractale pour délimiter des configurations topologiques linéaires spécifiques, telles que les limites des agglomérations (Batty et Longley 1986, 1987) et examiner des réseaux urbains particuliers (Thibault et Marchand 1987). Entre temps il a été montré que l'analyse fractale peut bien servir à caractériser d'autres propriétés des structures d'agglomérations, telles que l'occupation de la surface dans les agglomérations (Frankhauser 1990), mais également du processus de la croissance des agglomérations (Frankhauser 1990), (Batty et Longley 1989).

On peut attribuer les villes à des modèles fractals de références qu’on explique en détails dans ce sous chapitre.

4.1. Les modèles théoriques des fractals

Les cadres théoriques supposent une fonction parallèle en géométrie fractale, comme le font les figures géométriques classiques (telles que les carrés, les cercles, les ellipses et les sphères) en géométrie euclidienne. Pour élucider les caractéristiques singulières de la géométrie fractale, nous avons choisi de présenter des modèles théoriques de fractales (modèles fondamentaux,

modèles hybrides) qui illustrent les caractéristiques uniques des configurations urbaines. Ces fractales sont construites sur la base d'un principe d'emboitement d'échelle : grâce à l'application itérative d'une règle de construction, une hiérarchie hautement organisée est établie, manifestant un niveau de complexité croissant.

4.1.1. La poussière de Fournier

A l'échelle des îlots urbains, la zone construite comprend des bâtiments individuels ou des groupes de bâtiments, représentant des éléments détachés qui se combinent pour former des agrégats. Cette structure spatiale peut être illustrée à l'aide d'un type spécifique de fractale, la poussière de Fournier (figure 27).

Au stade initial, un carré, appelé initiateur, est remplacé par N = 4 copies avec une longueur de base réduite d'un facteur r = 2/5. Ce processus, appelé générateur, est ensuite répété pour les carrés générés à l'étape suivante. Le processus de construction d'un tel fractal est illustré à la figure 26. Elle montre la possibilité de poursuivre ce processus itératif. Les carrés à chaque étape d'itération sont appelés « éléments », constituant collectivement la « zone occupée » associée à l'environnement bâti lorsque l'on compare la fractale à un tissu urbain (figure28). À chaque itération, la surface totale des carrés générés approche de zéro. L'itération entraîne la formation de clusters séparés par des bandes vides de largeurs variables. Ce système hiérarchique ressemble à celui d'un réseau routier composé de larges avenues et d'un nombre croissant de rues plus étroites.

Les recherches (Pumain, 1981), (Frankhauser, 1994) indiquent que cette hiérarchie suit un principe spécifique, la distribution de Pareto-Zipf, couramment utilisée en géographie pour décrire la règle du classement des villes, reflétant la distribution de la population dans un système urbain. Il est important de noter que les caractéristiques essentielles d'une fractale ne sont pas influencées par le placement des éléments dans le générateur ou par la forme de la figure initiale.

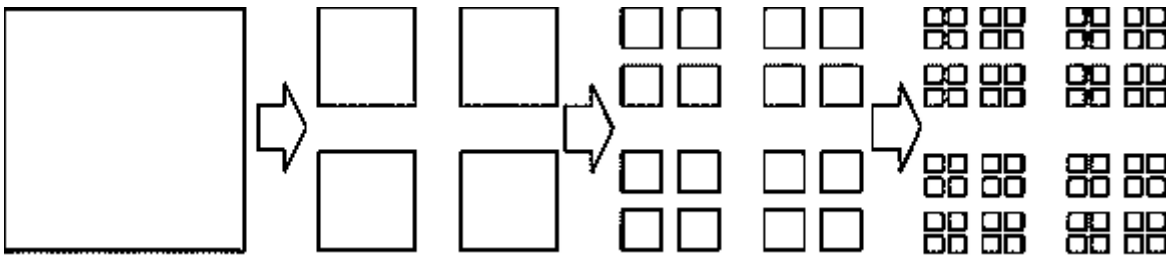


Figure 27. La poussière de Fournier construite par itération (Frankhauser, 2005)

Figure 28. Le grand ensemble de Pissevin à Nîmes, exemple d'un urbanisme au modèle de poussière de Fournier. Source : techno-science.net

L'examen de la représentation graphique simplifiée de la figure 1a révèle une autre caractéristique des structures urbaines. À cette échelle, les villes apparaissent comme des points de forme irrégulière. Cet attribut peut être représenté par un autre modèle fractal, semblable au premier, le tapis Sierpinski.

4.1.2. Le tapis Sierpinski

Le principe sous-jacent reste le même que le précèdent, sauf que les éléments du générateur se touchent (figure 29). Par conséquent, la fractale forme un agrégat unique à travers les étapes. Néanmoins, la frontière devient progressivement plus irrégulière.

Nous pouvons conceptualiser ce diagramme comme une représentation simplifiée d'un centre urbain qui s'est étendu le long de deux axes de transport orthogonaux désignés comme les axes principaux du réseau, un peu comme le cas des villes construites sur un substrat romain (Cardo / Decumanus). La première étape dans la figure 30 présente une configuration en forme de croix, servant de représentation cartographique de base de la ville. La progression vers des représentations plus détaillées révèle d'autres complexités au sein de la structure urbaine. Ainsi, la représentation (b) illustre une ville qui s'étend non seulement le long des axes principaux mais également le long des axes secondaires qui leur sont rattachés. L'illustration suivante (c) montre la présence d'axes tertiaires, et ainsi de suite. Malgré des limites complexes, le tracé urbain conserve un certain degré de densité, comme en témoignent quatre places non urbanisées de grande taille (illustrées sur la figure 30d).

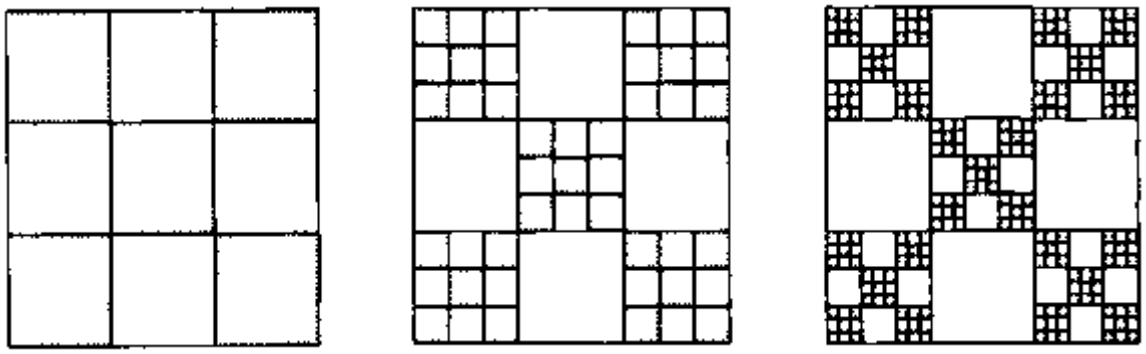


Figure 29. Exemple d'un Tapis de Sierpinski avec trois étapes d'itération (Frankhauser, 1990)

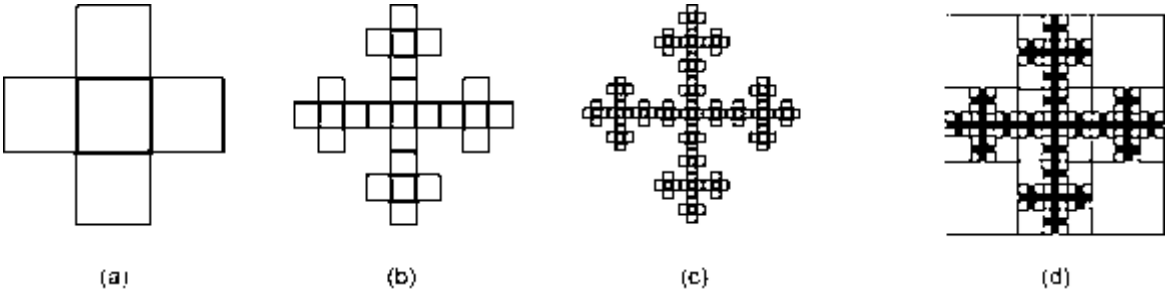


Figure 30. Les étapes de construction d'un tapis de Sierpinski ((a) (b) (c)) et le système d'emboîtement d'échelles des parties vides (d), (Frankhauser, 2005)

Figure 31. Grand Ensemble des Aunettes dite Résidence Pergaud : Modèle tapis de Sierpinski. Source : inventaire.iledefrance.fr, prise de vue en 2011

En ce qui concerne les zones inoccupées de la poussière de Fournier, la disposition de ces espaces vides reflète le concept fondamental des échelles interconnectées. Ce concept apparaît plus clairement lors de l'observation du tapis de Sierpinski sur la figure 30a. Ici, le bord extérieur du fractal est lisse ; l'allongement du périmètre devient évident lorsque toutes les bordures d'espace internes formées progressivement par étapes itératives sont prises en compte.

Le modèle de ville fractale semblable à celle présentée dans la figure 31 présente plusieurs avantages en termes d'accessibilité à divers types de commodités. Cette distinction devient évidente lorsque l'on compare ce modèle à deux modèles alternatifs où la surface bâtie reste constante mais est distribuée différemment (Frankhauser et al, 1998). Dans ce sens, on peut parler des différentes possibilités d'implantation, de différentes conformations urbaines, qu'on présente dans la figure 32.

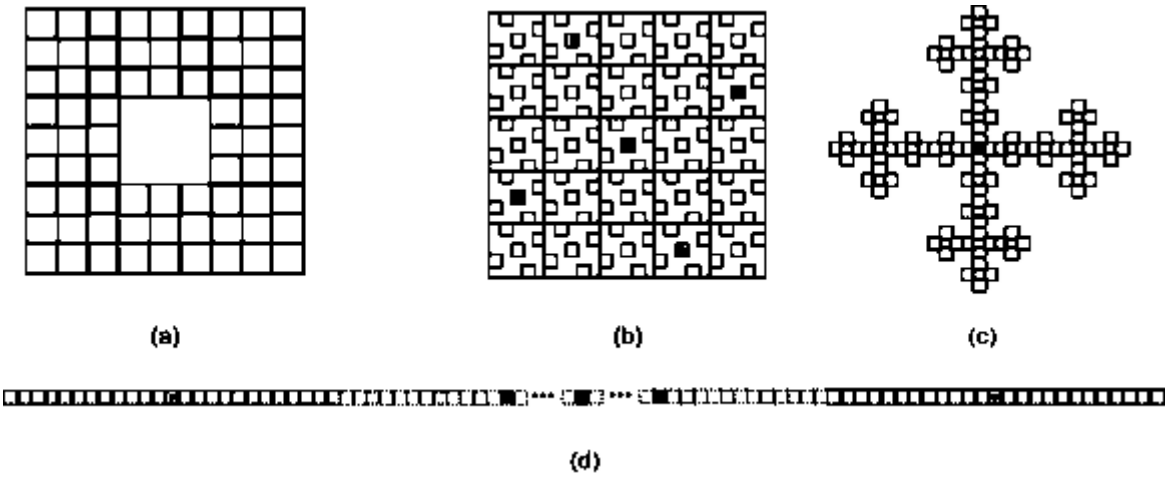


Figure 32. Différents scenarios d'aménagement de la ville fractale selon le modèle Tapis de Sierpinski (Frankhauser, 2005)

Dans cette dernière illustration (figure 32), Frankhauser (2005) nous présente des modèles théoriques et leur possible transposition dans les villes comme suit :

a. Une représentation relativement compacte du tapis Sierpinski au stade de la deuxième itération.
b. Modèle illustrant un environnement urbain compact dans lequel les centres de services de différents niveaux hiérarchiques sont répartis stratégiquement : le centre principal est indiqué en noir au centre, tandis que les centres secondaires, tertiaires et quaternaires sont représentés en gris.
c. Un segment d'une « ville fractale » où les centres de services sont positionnés aux intersections d'axes. L'ensemble de la configuration est composé de cinq segments de ce type disposés selon une disposition cruciforme.
d. Composante d'un modèle urbain linéaire, dans lequel un élément sur cinq constitue un centre de services du niveau le plus bas. À l'inverse, le centre de service situé au milieu de cinq centres fournit un niveau de service supérieur. Le niveau hiérarchique suivant est établi au point médian de 25 sites. En fin de compte, le centre principal est situé au cœur de la structure.

4.1.3. Les modèles mixtes

Il est concevable d'aborder les aspects morphologiques d'un tissu en fusionnant les deux modèles précédents, à savoir le tapis de Sierpinski et la poussière de Fournier. Par conséquent, la fractale est constituée d'un cluster primaire entouré de clusters de tailles variables. Le cluster central pourrait potentiellement être reconnu comme une métropole de grande envergure entourée de sous-centres positionnés à une distance spécifique de celui-ci, ressemblant à une structure urbaine hiérarchique (figure 33). À proximité de chaque ville, une multitude de petites villes sont dispersées, ce qui contribue à la configuration spatiale complexe du paysage urbain. Une deuxième configuration issue de la combinaison des deux logiques précédentes, se présente comme des clusters qui pourraient vraisemblablement être corrélée à un arrangement intra-urbain caractérisé par la composition des îlots urbains (figures 33 et 34).

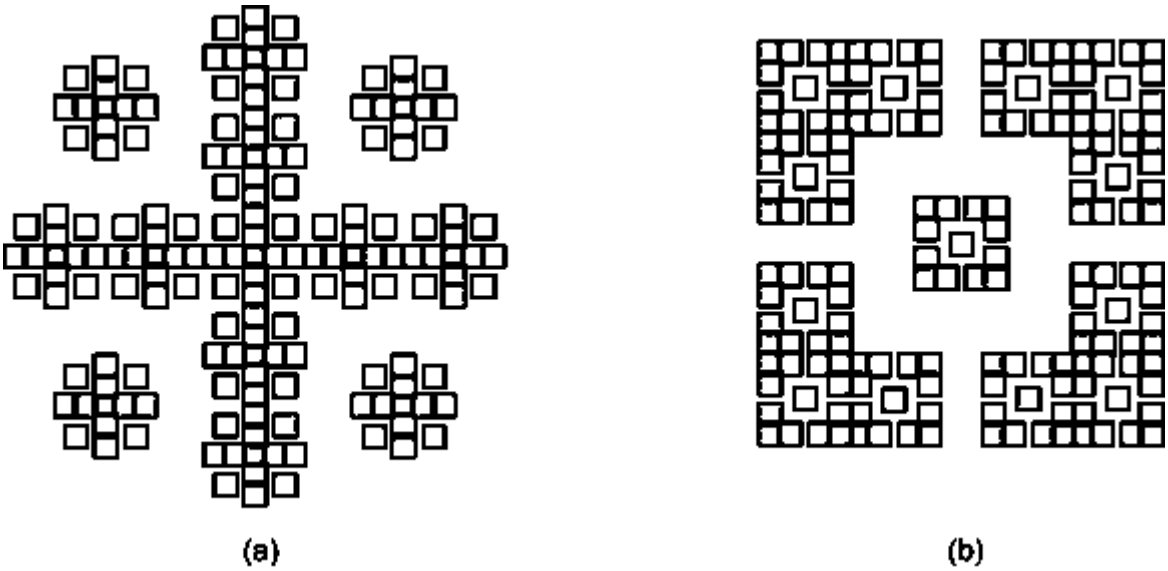
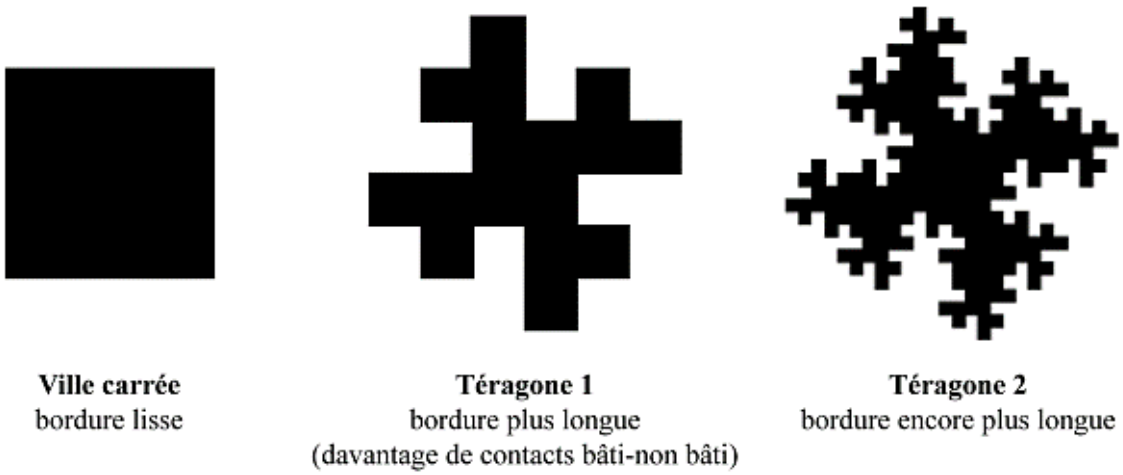


Figure 33. Deuxième étape d'itération de modèles mixtes : (a) exemple de semis d'habitats et (b) exemple de tissus intra-urbains (Frankhauser, 2005)

Figure 34. Le grand ensemble de Sarcelles en Iles de France à l'exemple des modèles mixtes. Source : lesechos.fr

4.1.4. Le téragone

C'est un modèle particulier conçu pour analyser la périphérie urbaine. Il sert d'outil pour comprendre les caractéristiques distinctives de l'étalement urbain. L'une des caractéristiques essentielles de l'étalement urbain réside dans la nature complexe de la périphérie de l'agglomération. L'allongement de la bordure du tapis de Sierpinski au cours des processus itératifs constitue une indication notable de l'applicabilité des fractales à l'examen de ce phénomène. Cette affirmation est encore renforcée lorsqu'on utilise un modèle alternatif tel que le téragone. Dans ce contexte, un objet topologique linéaire est construit, comme l'illustre le générateur présenté sur la figure 35. Initialement, la figure géométrique comprend un segment linéaire d'une longueur spécifique. Le générateur remplace ensuite ce segment par un polygone composé de huit sections droites d'un quart de longueur. Cette logique itérative est appliquée successivement à chacune des huit sections de ligne, perpétuant ainsi l'expansion de l'objet. Au fur et à mesure que l'itération progresse, la longueur de cet objet tend vers l'infini. Cette structure géométrique est conçue comme représentant une ville, en supposant une distribution uniforme de la masse bâtie dans la zone urbaine. Par conséquent, le carré initial de la figure symbolise un modèle de ville d'une superficie prédéfinie, caractérisé par un environnement bâti homogène confiné dans une limite quadrilatérale. Au fur et à mesure que l'itération se déroule, la structure s'étend progressivement sur la surface, la bordure prenant une apparence sinueuse ressemblant de manière plus prononcée à des tissus urbains authentiques.



Distance minimale moyenne à la bordure :
– Téragone 1 : 56 % de la distance mesurée pour la ville carrée
– Téragone 2 : 91 % de la distance mesurée pour le téragone 1
Distance minimale moyenne au centre :
– Téragone 1 : 112 % de la distance mesurée pour la ville carrée
– Téragone 2 : 104 % de la distance mesurée pour le téragone 1
(D'après Frankhauser 2000)

Figure 35. Construction d'un téragone dont la surface totale reste constante au fil des itérations avec une bordure est fractale dont la longueur tend vers l'infini. (Tannier, 2009)

4.1.5. Modèle multi-fractal

Ce modèle multi-fractale émerge de l'intégration de plusieurs facteurs de réduction, désignés par ri, au sein d'un générateur ; tout au long du processus itératif, des facteurs composites se manifestent. Deux facteurs de réduction distincts ont été mis en œuvre sur un carré singulier. Le facteur initial, $r_1 = 1/2$, facilite la génération d'un carré positionné au centre du carré d'origine, tandis qu'un facteur secondaire, $r_2 = 1/4$, génère quatre carrés disposés autour du carré central. L'itération suivante révèle des carrés de trois dimensions disparates, qui sont en corrélation avec les facteurs composites (figure 36). Contrairement aux multi-fractales, nous ferons référence aux uni-fractales pour désigner des structures caractérisées par un facteur de réduction constant.

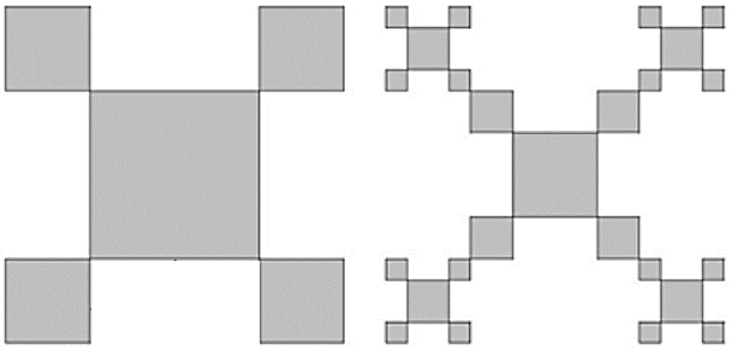


Figure 36. Modèle multi-fractal. (Frankhauser, 2003)

4.1.6. Fractales aléatoires

La configuration symétrique des fractales générées ne reflète pas les structures irrégulières généralement observées dans l'environnement qu'il soit naturel ou artificiel (figure 37). Pour obtenir des figures qui semblent moins artificielles, il est possible d'incorporer des éléments stochastiques dans la construction fractale sans compromettre ses caractéristiques fractales. Par exemple, dans le scénario d'un tapis de Sierpinski, étant donné que le générateur est uniquement défini par les paramètres N et r, il semble plausible de déterminer le positionnement des éléments à chaque étape itérative, à condition que les défaillances générées lors des étapes précédentes soient dûment reconnues.

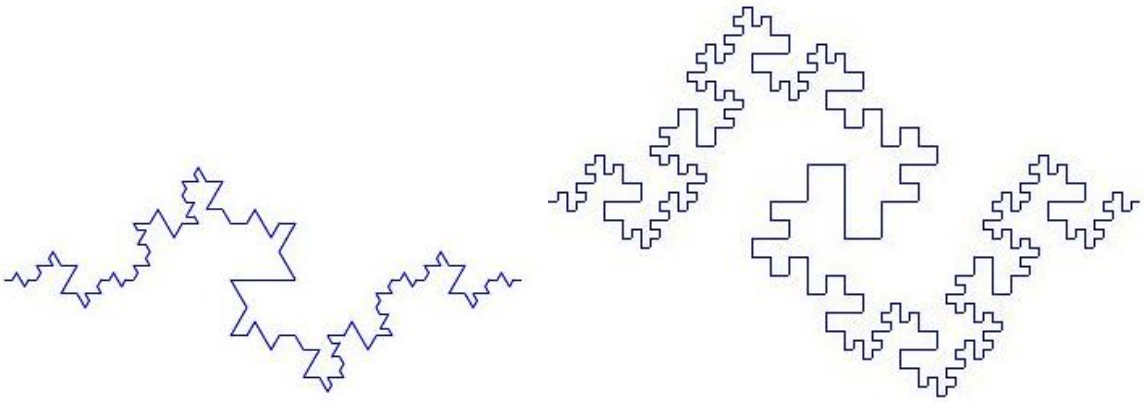


Figure 37. Formes fractales à itérations multiples qui se rapprochent plus de la brodure urbaine. A gauche une forme qui se refère au flocon de Koch, à droite une forme qui se ratache du tragone. Source : vdouine.net

Il est à mentionner que le tapis Sierpinski, la poussière de Fournier et le téragone sont les modèles les plus fréquemment utilisés dans les recherches menées par Mandelbrot (1985), Frankhauser (1997, 2003), DeKeersmaecker (2004) et Tannier (2006). Chaque modèle fractal

dépend du thème spécifique étudié. Par exemple, le modèle de poussière de Fournier et le tapis Sierpinski constituent des références pertinentes pour examiner la distribution des surfaces bâties ; à l'inverse, le téragone est particulièrement adapté pour analyser la tortuosité des bordures urbaines (figure 38).

Objet de recherche	Modèle
Répartition de la surface bâtie	Téragone, tapis de Sierpinski
Bordure urbaine	Téragone, tapis de Sierpinski
Réseaux de transport (couverture de la surface, accesibilité)	Ramification: Tamis de Sierpinski Tortuosité : téragone, courbe de Peano

Figure 38. Le modèle de référence adapté à chaque objet de recherche. (Frankhauser, 2005)

4.2. Les modèles fractals des villes

Dans le cas d'une forme bâtie urbaine fractale, le terrain, l'établissement initial, le processus de croissance/développement de la population et le temps, sont respectivement, la base, l'initiateur, le générateur, et l'itération. Parallèlement à l'identification des premières formes fractales dans le tissu urbain, plusieurs modèles ont été développés pour reproduire et comprendre le générateur des phénomènes étudiés à l'aide de simulations informatiques. Dans ce sens, une étude de synthèse de tous les travaux portant sur l'application de la géométrie fractale dans le domaine de la planification urbaine, établie par Jahanmiri et Parker (2022). Elle stipule la classification des villes en trois nouveaux modèles, il s'agit notamment des modèles d'agrégation limitée par diffusion (Sander, 2000), (Andersson, Rasmussen et White , 2002), des modèles d'automates cellulaires (Yeh et Li, 2001), (Liu et Duan , 2013) et des modèles basés sur des agents (Van Vliet, Hurkens, White et Van Delden , 2012).

4.2.1. L'agrégation limitée de diffusion (DLA)

C'est la première catégorie de modèles fractals urbains, où des groupes de cellules urbaines se développent autour d'un point unique dans un paysage simulé par accrétion. Dans ces modèles, la croissance urbaine est représentée par une particule libre en marche aléatoire qui rejoint une zone urbaine existante lorsqu'elle en rencontre une. Le générateur est constitué par les forces qui s'opposent entre l'attraction centripète de la graine la moins accessible et la force centrifuge des cellules éloignées plus accessibles. Ce processus peut produire des distributions de densité très proches de celles de villes réelles ayant une géographie similaire (figure 39).

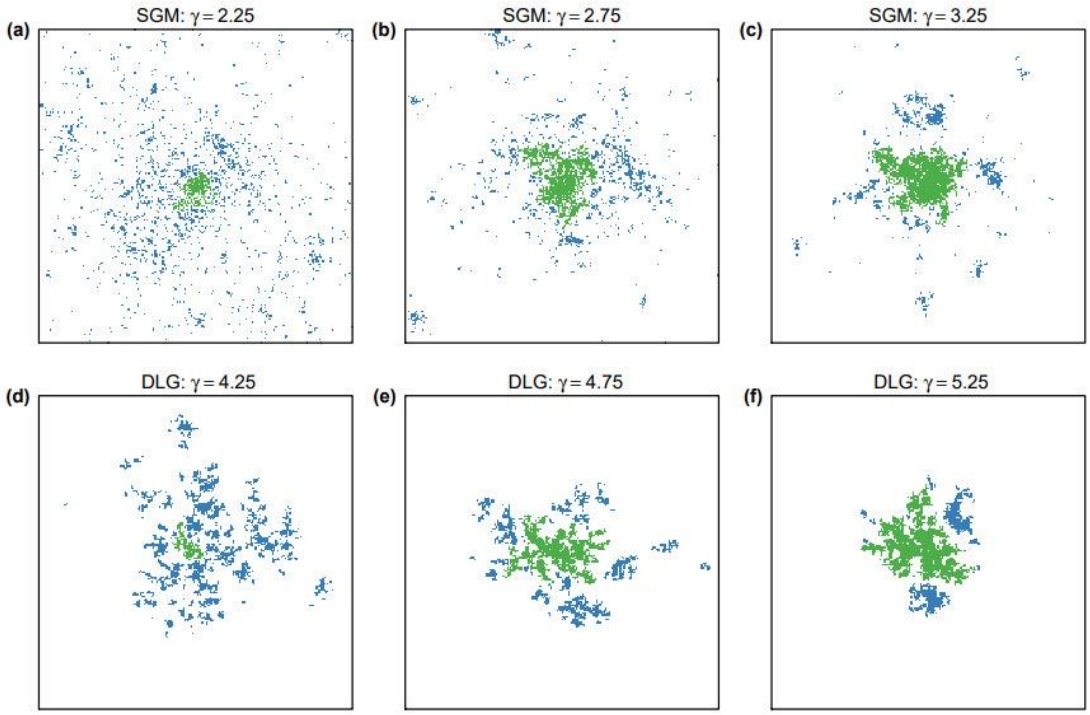


Figure 39. Exemple d'une modélisation de la morphologie urbaine générée selon le modèle DLA ou les pixels verts représentent les clusters centraux alors que les pixels verts représentent les autres espaces occupés. Source : (Rybski, Born et Kropp, 2021)

4.2.2. Le modèle d'automate cellulaire (CA)

L'ère suivante des modèles urbains est basée sur une étude bien connue de White et Engelen (1993) qui ont construit un modèle d'automate cellulaire pour simuler l'expansion d'une ville imaginaire avec quatre catégories d'utilisation du sol : vacante, résidentielle, commerciale et industrielle. À l'aide de règles de transition simples et de taux de croissance, ils ont démontré que la distribution log-logarithmique taille-fréquence des clusters commerciaux correspond aux résultats empiriques de diverses villes américaines. De plus, ils ont reproduit le développement de la structure urbaine de Berlin et ont trouvé un rapport entre leur dimension fractale radiale simulée et les mesures réelles de Frankhauser et Sadler (1991). L'approche de modélisation des automates cellulaires ressemble beaucoup à la dynamique de croissance urbaine observée, dans laquelle les villes évoluent progressivement à partir d'un noyau central, tout en reflétant les processus complexes de formation fractale (figure 40). La majorité des applications fractales urbaines dans les modèles de CA se concentrent sur la validation des résultats des modèles par rapport à des données du monde réel, en utilisant des dimensions fractales et d'autres mesures du paysage pour comparer les résultats de simulation avec les paramètres urbains réels (Barredo, Kasanko, McCormick et Lavalle, 2003), (Lin, J.; Huang, B.; Chen, M.; Huang, 2014).

Ces modèles se concentrent principalement sur la reproduction des formes urbaines, mais la chaîne explicite de processus reliant les caractéristiques urbaines fractales aux processus socio-économiques sous-jacents reste largement inexplorée.

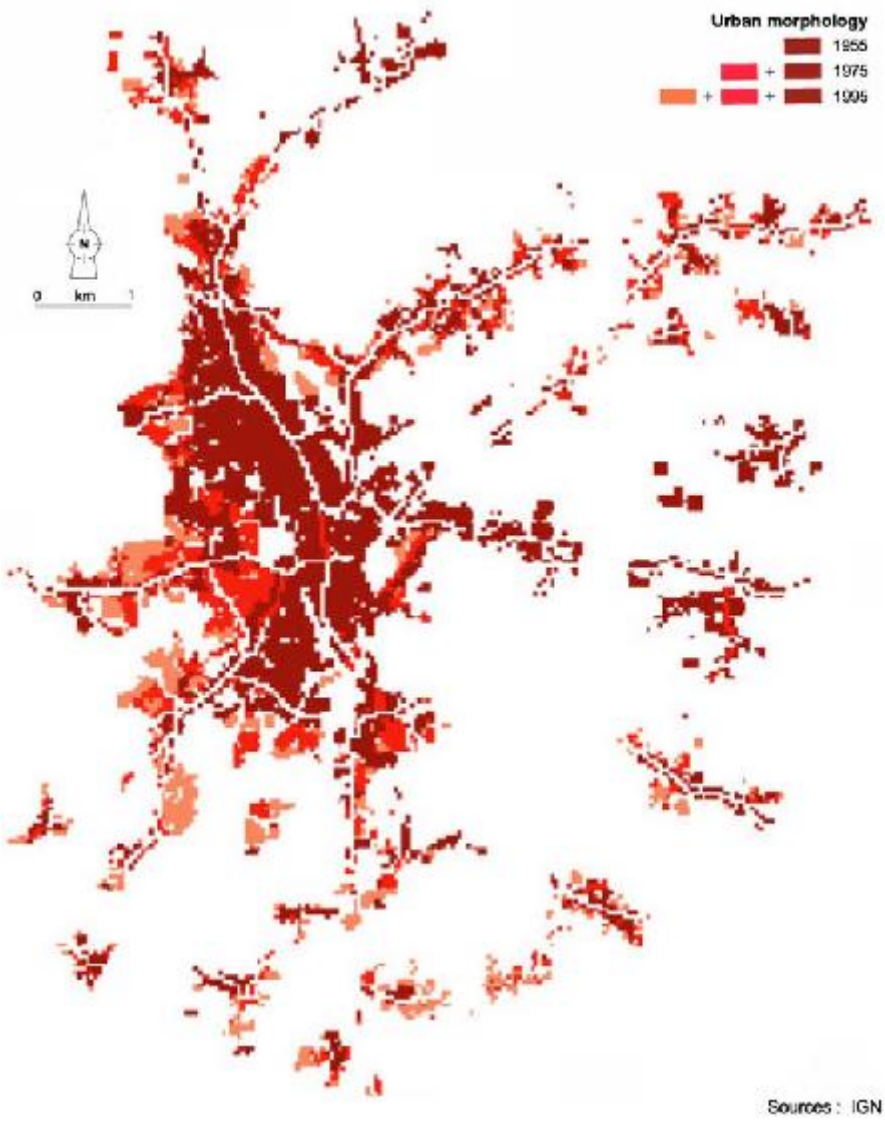


Figure 40. Evolution de la forme urbaine de Belfort-France selon le modèle cellular automata. Source : (Antoni, 2001)

4.2.3. Les modèles à base d'agents (ABM)

C'est la troisième catégorie de modèles urbains dynamiques, qui se concentrent sur les agents humains et institutionnels au sein des systèmes urbains et simulent des processus de prise de décision au niveau individuel qui donnent lieu à des modèles macroéconomiques (figure 41) (Crooks et al. 2021). Ces modèles répondent à des questions de sciences sociales et incluent des exemples tels que le modèle des réseaux mondiaux à petite échelle (Barabási et Albert , 1999) et l'émergence d'entreprises (Axtell , 1999) présentant une distribution de la taille selon la loi du pouvoir en raison d'un attachement préférentiel. Malgré l'abondance de guichets

automatiques pour la croissance urbaine (Shi et al, 2021, p. 885-910), seuls quelques-uns (Caruso, Rounsevell, et Cojocaru, 2005, p103-23), (VanVliet, White et Dragicevic, 2009, 35-43), (Parker et Meretsk, 2004, p233-50) étudient spécifiquement les fractales. Jahanmiri (2015) a formulé un modèle basé sur des agents reliant la formation de réseaux sociaux à la génération de morphologie urbaine fractale, marquant ainsi un effort novateur pour combler cette lacune. Cependant, des recherches supplémentaires sont essentielles pour approfondir ces processus et pour représenter et intégrer efficacement les données sur les agents urbains.

A l'issu de ces trois modèles, on constate que la reproduction du processus sous-jacent à partir des unités microéconomiques les plus simplifiées est utilisée dans les modèles urbains pour démontrer comment les modèles fractals sont générés. Ces modèles permettent aux simulations d'itérer suffisamment longtemps pour révéler des modèles émergents à macro-échelle. Les modèles de simulation pionniers comprennent des modèles de localisation (principalement des automates cellulaires) qui modélisent le processus de changement d'utilisation ou de couverture des sols à partir de l'unité foncière à micro-échelle et génèrent des modèles qui reflètent ceux des villes du monde réel, exploitant ainsi la théorie fractale pour valider les résultats de la simulation. La capacité des modèles informatiques à itérer des fonctions dans le temps et l'espace, développée depuis le début des années 1990, a permis de générer et de valider de tels modèles (White et Engelen , 1993), (Batty,1998). L'identification empirique d'une gamme commune d'exposants d'échelle urbains a considérablement amélioré la prévisibilité de la croissance urbaine dans les modèles (Portugali, Meyer, Stolk et Tan, 2012). L'ensemble des règles qui régissent la transition des états cellulaires fonctionnent comme des générateurs de modèles fractals et peuvent être résumées par la combinaison de forces contraires (agglomératrices et dispersives).

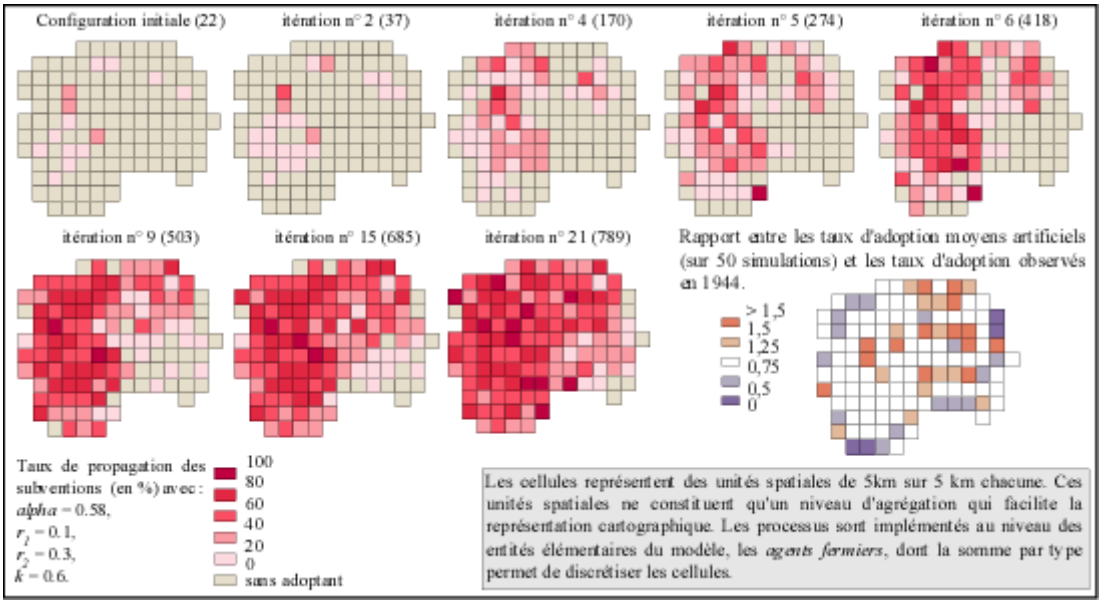


Figure 41. Simulations et écarts à partir d'une modélisation individu, espace et innovation. Source : (Daudé, 2003)

5. Configuration morphologique de la ville fractale

La nature fragmentée des agglomérations actuelles les rend perçues comme « amorphes », ce qui entraîne un manque de vocabulaire et de références géométriques appropriés pour leur description (figure 42). De nombreuses observations indiquent que les structures urbaines respectent des principes internes spécifiques. Lorsque l'on examine la corrélation entre les périmètres des zones bâties et leurs surfaces internes, une relation significative entre les deux paramètres est évidente ; toutefois, cette relation contredit la géométrie euclidienne. La valeur de la zone est directement proportionnelle à la valeur du périmètre, contrairement au carré du périmètre comme en géométrie euclidienne (Frankhauser 1993). Cette analyse met en évidence l'allongement significatif des limites urbaines, notamment caractérisé par de grandes « baies » qui empiètent sur la zone bâtie. Ces baies sont souvent composées de plusieurs baies plus petites, ce qui contribue à la nature tentaculaire des agglomérations. Une tendance similaire semble régir les vides au sein des tissus urbains, avec la rareté des grands espaces vides et la prévalence de zones plus petites et de cours intérieures, ce qui suggère une disposition hiérarchique des échelles dans les environnements bâtis.

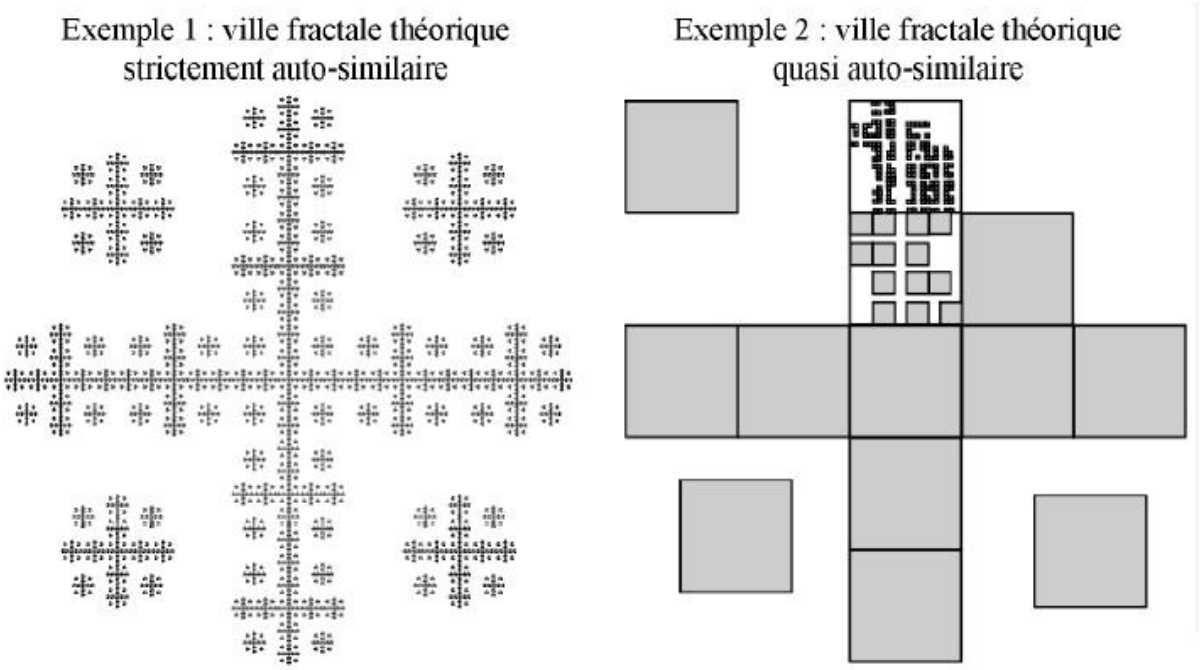


Figure 42. Deux exemples de relation entre formes globales et formes locales (Source : Tannier et al. 1 : 2007 et 2 : 2006)

Les espaces urbains émergents ne sont pas des entités isolées mais comprennent plutôt un large éventail d'habitats de taille variable, notamment lorsqu'il s'agit des villages périurbains et ruraux, des petites villes et des villes de taille moyenne. La distribution de ces zones urbaines répond à la loi de Pareto-Zipf (expliquée dans le sous-chapitre 3). En outre, la distribution de l'espace bâti présente un schéma non uniforme, avec des concentrations le long des axes de transport. Certaines zones présentent une plus forte concentration de bâtiments que d'autres, ce qui entraîne une diminution progressive de la densité en s'éloignant des centres fortement peuplés. Cette diminution de la densité du centre urbain vers la périphérie est conforme à une loi de Pareto-Zipf, ce qui suggère un schéma de distribution similaire possible pour la masse bâtie (Bussière et Stovall ,1981). Dans ces nouveaux espaces urbains, on peut donc observer un principe d'ordre interne qui doit plutôt être interprété comme le produit des interactions entre une multitude d'acteurs publics et privés et qui traduit le fonctionnement « multi-échelle » de ces espaces. Dans une société de loisirs, les déplacements sont aisés et les lieux fréquentés ne sont plus seulement liés à la résidence et au travail. La demande d'accessibilité à des espaces de nature et de vocation différentes se diversifie selon un processus d'auto-organisation (Dubois-Taine, Chalas, 1997).

De nombreux éléments démontrent que les villes, dans leur forme organique et irrégulière, reflètent les principes fractals à la fois dans la manière dont elles remplissent l'espace disponible au fil de leur évolution et dans les modèles qu'elles créent. Ces processus d'occupation de

l'espace comprennent la manière dont les nouveaux développements se produisent à proximité de sites déjà aménagés, qui subissent des changements pour s'adapter à la croissance et la manière dont les désirs des individus en matière d'espaces ouverts et d'accès aux services s'adaptent au modèle fractal. Les modèles comprennent la distribution de la taille de l'environnement bâti, y compris les bâtiments, les parcelles et les réseaux routiers (Batty et Xie, 1996)

Les concepts fractals ont été utilisés principalement comme outil analytique pour caractériser et interpréter les zones urbaines, ce qui a conduit au développement de modèles de simulation urbaine (White et Engelen, 1993), (Chen, 2013). Au fur et à mesure que la recherche sur les fractales s'est étendue à d'autres domaines, les chercheurs ont formé deux groupes distincts. Le premier groupe semble aliéné par la nature hautement technique de l'analyse fractale. En revanche, des chercheurs plus orientés vers la technique ont tiré parti de la reconnaissance du fait que les villes, dans l'espace et dans le temps, suivent des formes fractales. Cette lacune est particulièrement évidente dans les outils de planification participative. En particulier, la question de savoir comment l'outil de calcul de la dimension fractale peut aider le processus de planification n'a pas encore été clairement formulée d'une manière qui soit accessible aux planificateurs universitaires et pratiques.

Les propriétés fractales dans les contextes urbains sont mises en évidence dans les profils spatiaux et non spatiaux des villes. L'avènement des cartes numériques, des images et des systèmes d'information géographique a permis à de nombreuses études d'identifier des modèles fractals dans les paysages urbains (Herold, Scepan et Clarke, 2002). Par conséquent, les études antérieures sur les villes fractales se sont concentrées sur l'environnement bâti, avec sa limite urbaine (Batty, 1997), la densité et l'occupation des sols (White et Engelen, 1993), la taille des parcelles par zone (Fialkowski et Bitner, 2008), l'empreinte et l'allométrie des bâtiments (Batty,1997), (Batty, 2012, les terrains imperméables (Ma, WuHe et Hu, 2018), le réseau routier (Wang, Luo et Luo, 2017) et les flux de circulation à l'échelle de la ville (Umemoto, 2021).

La capacité d'obtenir et d'analyser des données à grande échelle sur les aspects socio-économiques des villes nous a récemment permis de mieux comprendre la complexité de la dynamique urbaine. Notre étude comprend des données sur les profils spatiaux et non spatiaux des villes (Martinez, 2015), (Clauset, Shalizi et Newman, 2009). Il est important de noter que l'analyse des signatures socio-économiques urbaines s'est concentrée plus généralement sur leurs distributions en loi de puissance. Il est courant dans la littérature de qualifier de fractales des phénomènes de loi de puissance non spatiaux, tels que les séries temporelles (Weng, Chang

et Lee, 2008), les réseaux complexes (Kim, et al. 2007) et les distributions démographiques (Padua et Borres, 2013), (Akkerman, 1992).

6. L'intérêt des fractales pour les villes

La géométrie fractale a été utilisée par plusieurs équipes de recherche en raison des observations sur l'organisation spatiale des agglomérations (Batty et Longley, 1986,1994), (Frankhauser, 1993, 1998). La possibilité d'analyser un phénomène sur plusieurs échelles permet de trouver des rapports d'organisation spatiale. Il semble possible de comparer et de classer les tissus urbains. De plus, des traits morphologiques fractals sont présents dans les tissus urbains et révèlent des principes d'ordre interne que l'on ne retrouve pas dans d'autres approches.

Bien que la géométrie fractale ait facilité l'identification de principes intrinsèques dans divers domaines, il existe des justifications plus spécifiques qui plaident en faveur de son application à l'examen des tissus urbains. Frankhauser a observé de nombreux parallèles entre la morphologie des tissus urbains et certaines entités fractales. En effet, le phénomène urbain se caractérise par un ordre intrinsèque complexe, délimité par une morphologie fragmentée, qui permet de le classer comme amorphe, complexe ou irrégulier. Cet ordre latent peut être articulé à travers un cadre mathématique distinct : la géométrie fractale (Derygke, 1996). Il sert à la fois de méthodologie analytique, d'instrument de modélisation.

- Les fractales permettent spécifiquement d'étudier les lois de distribution régissant les espaces construits au sein des tissus urbains à différentes échelles, allant de la parcelle à l'ilot, au quartier, jusqu'à la ville. En se référant aux modèles théoriques cités dans le sous-chapitre précèdent, et en fonction de l'orientation thématique et des objectifs de la recherche, il serait possible de classifier les tissus analysés.
- Les fractals constituent un outil de mesure spatiale qui transcende la notion de densité et se concentrent plutôt sur une hiérarchie à différentes échelles
- La géométrie fractale possède la capacité de générer des structures géométriques qui régissent par des lois de distributions spécifiques. Cela permet de modéliser des tissus de référence visant à illustrer des formes particulières d'organisation spatiale. Les logiciels actuellement offre une multitude de possibilités de générer des tissus complexes rien qu'en introduisant une variation dans le générateur à titre d'exemple.
- Grâce à ses capacités de modélisation, la géométrie fractale permet de référer des structures construites à des structures empiriques, en fonction de leur loi de distribution. Plus encore, elle permet la comparaison morphologique et la classification des tissus

urbains, ainsi de mieux comprendre les principes internes, souvent omis par d'autres méthodologies

- La possibilité de découvrir des « ruptures » de seuils dans l'organisation spatiale des tissus urbains, fournissant ainsi un aperçu de la morphologie de cette organisation et facilitant la localisation de chaque seuil au niveau spatial (Kacha, 2010).

7. Conclusion

Ce chapitre constitue une assise théorique de connaissance, qui nous a renseigné sur ce qu'est une fractale, ses modèles théoriques, ainsi que sa possibilité d'application dans les domaines de la ville. On peut dire en conclusion, les fractales sont un outil de mesure spatiale, et un moyen de simulation des structures urbaines quel que soit leur degrés de complexité.

L'idée fondamentale de Mandelbrot (1983) selon laquelle la nature ne produit point de structures régulières mais plutôt des structures compliquées à différentes échelles d'observation convient assez bien aux structures observées dans les agglomérations. Outre cet aspect assez général, les fractales semblent bien adaptées à la description des structures urbaines. Les fractales peuvent servir à caractériser d'une manière quantitative des systèmes à structure interne hiérarchisée, et c'est propriété qui nous intéresse le plus dans notre approche.

Chapitre 3 : Fractals, approches méthodologiques

1. Introduction

Les exemples d'entités fractales majoritairement révèlent qu'une caractéristique essentielle des formations fractales est la présence d'un principe d'imbrication d'échelle, qui se manifeste notamment par l'existence de zones vacantes de tailles variables. Par conséquent, les constituants d'une fractale sont inégalement répartis, avec des zones de forte et de faible concentration sur la surface occupée. Dans ce cadre-là, ce chapitre a pour but d'identifier la manière dont on peut quantifier les invariances morphologiques du tissu urbain, à travers une palette d'outils et de méthodes de comptage et de lissage, ainsi que les performances de chacun. Il dresse également un aperçu sur les expériences d'applications fractales, effectuées sur des exemples concrets globaux et nationaux, qui vise à caractériser la morphologie à l'aide d'outils fractals. Il passe en revue les preuves empiriques tirées de la littérature sur les signatures fractales dans le cadre urbain, qui varient dans le temps et dans les contextes culturels, historiques et politiques. Enfin, ce chapitre définit la feuille de route à appliquer dans l'analyse de notre corpus, toutes les étapes justifiées de notre méthodologie d'approche.

2. Mesurer la fractalité

2.1. Dimensions entières

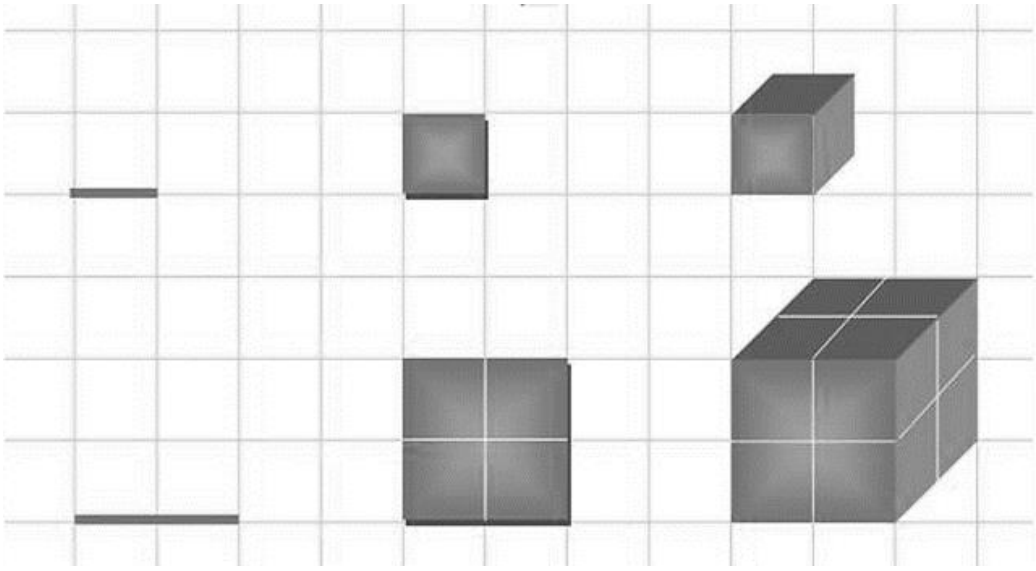
2.1.1. Dimension topologique

En géométrie classique, une ligne est définie comme un objet unidimensionnel, une surface est un objet bidimensionnel, tandis qu'un volume est un objet tridimensionnel. Ce sont des valeurs entières. Ces éléments ont des propriétés et des structures spatiales qui restent invariants.

	Point	**Ligne**	**Surface**	**Volume**	**Hyper volume**
Dimension	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**

2.1.2. Dimension d'homothétie

La relation homothétique constitue la corrélation de proportionnalité existant entre deux figures géométriques à la suite d'une transformation homothétique. Par exemple, lorsque le rapport homothétique est désigné par 2, cela signifie que la figure résultante possède des dimensions deux fois supérieures à celles de la figure d'origine. Le facteur d'agrandissement ou d'homothétie est égal à $\mathbf{2}^{\textbf{Dimension Topologique}}$. C'est toujours une valeur entière (figure 43).



Dimension 1	**Dimension 2**	**Dimension 3**
Segment doublé	Carré doublé	Cube doublé
Facteur 2 = 2^1	Facteur 4 = 2^2	Facteur 8 = 2^3

Figure 43. Dimension d'homothétie. Source : http://villemin.gerard.free.fr/NombDico/index.htm

2.2. Dimension fractale

« *Une des caractéristiques principales de tout objet fractal est sa dimension fractale, dénotée D. Elle mesure son degré d'irrégularité et de brisure* » (Mandelbrot, 1975, p. 6).

Si les deux dimensions précédentes ont des valeurs entières et invariantes, la dimension d'une série de points le long d'une droite, d'une courbe plane irrégulière ou d'une surface caractérisée par des convolutions reste ambiguë. Pour cela, le concept de dimension fractale a été introduit par Mandelbrot en 1975. De ce fait, la dimension fractale peut être comprise comme une mesure numérique qui quantifie l'étendue de l'irrégularité ou de la fragmentation présente dans un objet ou qui évalue la rugosité d'une surface. La dimension fractale peut se manifester sous la forme d'un nombre fractionnaire irrationnel (par exemple 1,38) ou sous la forme d'un entier.

La fractale construite sur la figure 44 est composée d'une quantité spécifique d' « *éléments occupés* », représentés en noir, répartis sur une surface. Dans le contexte d'un tissu urbain, ces éléments correspondent à la masse construite. Lorsqu'on observe une représentation cartographique numérisée d'un tissu existant, le nombre d'éléments occupés est proportionnel au nombre de pixels noirs.

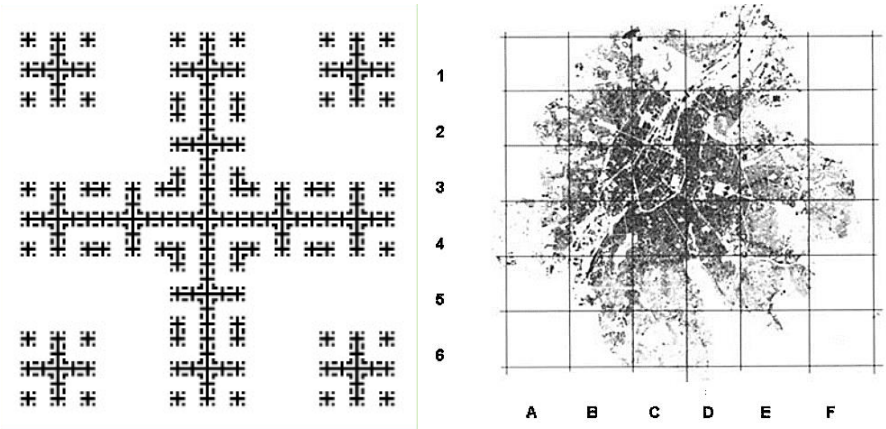


Figure 44. Analogie des pixels noirs. A gauche : Exemple d'une fractale construite. Source : .A droite : L'espace bâti de la région de la capitale de Bruxelles. Source : Brussel Urbis, (Keersmaeker et al. 2004)

Nous s'intéressons maintenant à examiner la signification de la dimension fractale. Dans un premier temps, considérons la loi qui relie, au sein d'une fractale, le nombre d'éléments occupés N sur un rayon ε de disque centré autour du barycentre de la fractale (figure 45) : D représente la dimension fractale, tandis que L sert de pré-facteur offrant une approximation de la forme euclidienne de notre objet (comme un carré). Il est impératif que L soit sélectionné de manière à maintenir la validité de la relation dans le contexte des entités géométriques euclidiennes. D est contraint de varier entre 0 et 2 (Keersmaeker et al. 2004).

Keersmaeker et al (2004) élucide la signification de la dimension fractale, en établissant une comparaison avec la densité afin d'examiner la répartition de la surface bâtie. Comme la densité fluctue au sein d'une structure fractale, nous étudions en particulier la relation entre la dimension fractale et le gradient qui quantifie les variations de densité. Batty et Kim (1992) ont fait cette comparaison concernant la répartition de la population urbaine. Il a été observé que les dérivées partielles représentent les variations le long des rayons et de l'angle (figure 45). Ces variations facilitent l'établissement direct du lien avec le gradient de densité, qui, selon les définitions mathématiques, est un vecteur qui indique la direction du plus grand taux de variation de densité. La dimension fractale pour des surfaces donc mesure la baisse de concentration de la surface bâtie dans le voisinage d'un bâtiment et le contraste dans le tissu urbain.

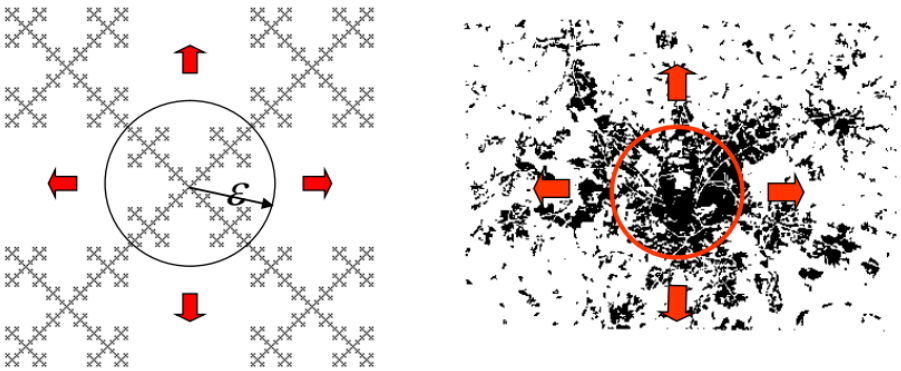


Figure 45. Signification de la dimension fractale (Frankhauser, 2003, p.22)

La dimension fractale facilite la caractérisation des constructions euclidiennes, notamment des surfaces, des points ou des lignes uniformes, et permet de discerner des distributions spécifiques lorsque les métriques classiques, présentent une variation par rapport à la surface de référence. De plus, elle résume l'attribut fondamental de la géométrie fractale, qui se rapporte à l'organisation hiérarchique d'un système spatial. Le cadre conceptuel consiste à envelopper la structure examinée d'entités géométriques et d'éléments de dimensions prédéterminées (par exemple, des carrés dont la longueur de base est ε). En outre, elle cherche à déterminer la quantité minimale d'objets nécessaires pour recouvrir complètement la structure. La dimension fractale est définie comme :

$$\mathbf{D} = -\frac{\mathbf{logN}}{\mathbf{logr}} \quad (1)$$

D : la dimension fractale est un paramètre invariant qui ne dépend pas de l'étape d'itération n

N : le nombre d'éléments de l'étape d'itération n.

r : est un facteur de réduction de l'étape d'itération n.

Cette corrélation est inadéquate pour l'examen des fractales stochastiques, nécessitant l'adoption de méthodologies qui facilitent la détermination du nombre N (ε) d'éléments occupés correspondant à une taille de couverture ε, en modulant le paramètre ε. Nous optons pour une représentation bi-logarithmique entre N (ε) et ε. Dans ces conditions, on obtient :

$$\mathbf{\log N(\varepsilon) = Const \pm D \times \log \varepsilon} \quad (2)$$

Selon Frankhauser (2003, p. 48), il est possible de réarticuler la loi fractale N (ε) de manière à intégrer le paramètre de position ainsi que le facteur de forme. Ce dernier paramètre permet d'élucider les attributs de la structure qui sont indépendants de sa fractalité. Il décrit la configuration globale de l'objet et fournit des informations préliminaires concernant la forme euclidienne de l'entité. L'équation prend la forme suivante :

$$\mathbf{N(\varepsilon) = a \times \varepsilon^{-D} + c} \quad (3)$$

D : la dimension fractale est un paramètre invariant qui ne dépend pas de l'étape d'itération n

N : le nombre d'éléments de l'étape d'itération n.

a : le pré facteur ou le facteur de forme

c : le paramètre de position.

La dimension fractale est cohérente avec la géométrie euclidienne, et les fractales occupent un continuum morphologique entre une structure linéaire caractérisée par D=1 et une surface plane

désignée par D=2. «La valeur de la dimension fractale caractérise le degré de concentration de la masse dans une zone choisie de la structure, autrement dit, le degré d'homogénéité ou de non-homogénéité de la répartition de la masse. Une valeur proche de deux correspond à une structure assez homogène, donc faiblement hiérarchisée, tandis qu'une valeur proche de zéro transcrit une forte hiérarchie avec des concentrations de masse importantes à certains endroits » (Frankhauser, 2003, p. 30)

Enfin, la géométrie fractale permet d'explorer l'agencement des éléments constitutifs d'une structure à toutes les échelles, ce que ne permet pas la géométrie euclidienne.

2.3. Méthodes de mesure de la fractalité

Le principe fondamental de la géométrie fractale repose sur la réitération d'emboitement d'échelles. De ce fait, deux éléments distincts sont suffisants pour identifier une fractale :

- La configuration de la structure de base est désignée comme la figure principale, ou ce qu'on a appelé dans le chapitre précèdent l'*initiateur*. Typiquement, il incarne une entité géométrique euclidienne : un carré, un cercle ou toute autre forme géométrique. Dans le cadre de la théorie fractale, l'importance de l'initiateur est relativement minime car il indique simplement l'aspect euclidien d'une construction fractale : un carré, un cercle ou une forme alternative. Il est associé à un élément qui n'est pas classé comme fractal qui ressortira de nos examens, c'est le facteur de forme.
- La règle de reproduction, engendrée par le système spatial hiérarchique, et considérée comme la composante génératrice de la fractale. Ses caractéristiques sont essentielles pour les indicateurs morphologiques des fractals, en particulier les dimensions fractales. Le générateur fournit des définitions qui facilitent le passage d'une échelle à une autre. Il comprend des informations concernant les paramètres associés au principe d'emboitement.

La fractale est générée par l'application itérative de cette règle. Nous distinguons les différentes étapes de l'itération. À chaque phase, la structure réalisée consiste en un ensemble de figures identiques à la forme initiale, qui sont classées comme les éléments de la structure. Ces éléments représentent la masse occupée par une fractale à un stade d'itération donné (Frankhauser 1994, 2003 et 2005).

2.3.1. Méthodes de comptage

Ce sont des méthodes d'analyse qui effectuent par un simple comptage des éléments composant le tissu bâti, dans un rayon donné comme l'analyse radiale, ou les éléments entre eux comme l'analyse de corrélation (Frankhauser, 1997, 2003). C'est des méthodes valables pour l'étudie la surface bâtie des villes aussi bien que les bordures.

a- L'analyse radiale

Cette analyse fournit des mesures exprimant les variations locales de la fractalité. L'analyse radiale est préférable lorsqu'elle concerne des zones spécifiques de la ville, comme le centre ou des quartiers spécifiques. Pour réaliser ce type d'analyse, on choisit le centre de comptage qui fournit la loi de distribution des sites occupés autour de ce point. Le choix du centre de la fenêtre d'analyse dépend de la structure de la zone elle-même et de la partie de la ville à analyser, qu'il s'agisse du barycentre de la figure ou d'un autre point choisi. Le centre est entouré d'un carré ou d'un cercle, dont la médiane/le rayon varie en fonction de la dilatation ε. Pour chaque valeur ε, on compte le nombre de pixels occupés à l'intérieur du carré ou du cercle. Ensuite, la dimension fractale radiale (Dr) peut être calculée à chaque étape et ses variations suivies au fur et à mesure que ε augmente : « *la procédure rappelle la situation d'un observateur qui se place en un lieu donné et qui élargit progressivement son champ de vision. La méthode d'analyse radiale présente ainsi des analogies avec notre perception de l'espace* » (François *et al.* 1995). Elle est bien adaptée à l'étude de structures en fragmentant les zones en fonction de leur comportement fractal (Frankhauser et al. 2003).

b- La courbe du comportement scalant

La courbe de comportement d'échelle est formée par la représentation des variations de Dr. La courbe de balayage radial est nettement moins régulière. En identifiant et en mesurant les changements dans l'organisation spatiale des structures urbaines, cette méthode permet de segmenter les zones en fonction de leur comportement fractal et de comparer la perte radiale de densité à différentes distances du centre (Frankhauser et al. 2003).

Si on observe que les valeurs initiales sont élevées, ceci indique la présence de structures importantes dans la zone étudiée. À l'inverse, les valeurs les plus faibles concernent généralement une zone éparse, pleine de vides entre les ilots. Ceci reflète l'état des surfaces construites dans un intervalle de distance. Les valeurs qui restent constantes correspondent soit à la répartition égale relative des bâtiments les uns par rapport aux autres, soit à la distribution spatiale homogène des ilots au sein du tissu urbain (Frankhauser et al. 2003 ; Frankhauser, 2005).

c- L'analyse de corrélation

Cette analyse consiste à définir la dimension de corrélation fractale (Dc). L'analyse de corrélation permet de mesurer la force de la relation linéaire entre les points occupés et de calculer leur association (distances entre chacun). Elle consiste à compter le nombre de points occupés éloignés les uns des autres et le nombre de corrélations. Sur une image raster ou rastérisée de la surface construite, chaque pixel occupé est entouré d'une petite fenêtre carrée de taille ε, et le nombre de pixels occupés à l'intérieur de chaque fenêtre est compté, en fonction de sa taille. La même opération est appliquée de manière itérative en élargissant ε pour des

fenêtres de taille croissante, générant une série de points représentés par une courbe exponentielle.

d- L'analyse du quadrillage

La méthode implique l'application d'une grille caractérisée par une configuration de maillage variable ε. Pour chaque valeur spécifique de « ε », nous déterminons le nombre de cellules « N (ε) » qui contiennent au moins un point occupé. En établissant une correspondance qui reflète la relation entre « N (ε) » et « ε », nous dérivons la dimension fractale associée à cette relation, qui est désignée comme la dimension du quadrillage « Dq ». Cette dimension fournit des informations générales sur l'organisation spatiale de la zone urbaine examinée qui est englobée par la grille (Frankhauser et al. 2003).

Cette approche analytique constitue une extension de la méthode « comptage des boîtes ». Son objectif est d'obtenir une couverture minimale de la structure en plaçant chaque point occupé dans un carré de taille ε. Néanmoins, si deux points sont situés à une distance inférieure à « ε », une seule case est conservée. Cette méthodologie s'aligne effectivement sur le principe de couverture minimale ; elle se heurte toutefois au défi de concevoir un algorithme capable de reproduire cette logique de manière informatique (Frankhauser et al. 2003).

e- Le comptage de boites

La méthodologie de comptage de boites (Box counting) a été utilisée dans l'analyse fractale des systèmes urbains lors de ses applications initiales (White et Engelen, 1993). Le concept fondamental consiste en la sélection d'une région d'une forme peut inclure des carrés (carrée ou rectangulaire), ensuite on la divise progressivement en 4^n segments égaux ; en parallèle, les côtés sont divisés en 2^n segments égaux. La dimension fractale calculée selon cette méthodologie est appelée méthode de comptage des boites (Chen, 1995).

2.3.2. Méthodes de lissage

Il s'agit de méthodes qui fonctionnent par lissage progressif des éléments composant le tissu bâti, comme l'analyse de dilatation ou l'analyse gaussienne (Frankhauser, 1997, 2003). C'est des méthodes valables pour l'étudie la surface bâtie des villes aussi bien que les bordures sauf pour la convolution gaussienne qui n'analyse pas la surface.

a- L'analyse de dilatation

L'analyse de dilatation mesure la distribution globale de la surface occupée au sein d'une zone. Pour l'analyse de dilatation, nous avons procédé à une dilatation progressive et itérative, pixel par pixel, des tissus sélectionnés pour faire disparaître les détails jusqu'à l'apparition d'un agrégat de masse significative.

Pour obtenir la dimension de dilatation (Dd), le principe est simple : un carré entoure chaque point, considéré comme une surface complètement occupée (pixel noir). En agrandissant progressivement la taille de ces carrés, on mesure la surface totale couverte à chaque étape. Progressivement, à chaque étape de la dilatation, les pixels noirs sont agrandis d'une valeur ε de sorte que les espaces blancs entre les pixels disparaissent progressivement. En divisant cette surface totale par la surface d'un carré, on obtient le nombre d'éléments N(ε) nécessaires pour couvrir toute l'image.

b- La convulation Gaussienne

Le lissage gaussien constitue une méthodologie alternative pour effectuer une analyse fractale. Cette approche peut être assimilée à une moyenne mobile, dans laquelle nous déterminons pour un point limite « x » la moyenne des valeurs situées à une distance inférieure à « ε ». Dans ce scénario, le paramètre « ε » signifie la largeur de la fonction gaussienne. Les points compris dans cet intervalle sont pondérés selon une fonction gaussienne dont le sommet est situé au point « x ». L'opération est appliquée de manière itérative pour chaque point « x » de la frontière, ce qui donne une courbe lissée. Pour déterminer la dimension fractale, nous manipulons « ε » et calculons la longueur de la courbe lissée pour chaque valeur de « ε », puis nous la relions à la variance. À mesure que la variance augmente, le degré de lissage s'intensifie, ce qui entraîne une atténuation des détails structuraux. Ce phénomène correspond à une diminution de la résolution qui élimine toutes les caractéristiques complexes. Cependant, le lissage faible révèle des détails structurels. Dans les applications pratiques, le temps de calcul requis pour les analyses de surface s'avère considérablement important (Frankhauser et al. 2003).

2.3.3. Indices fractals

La dendricité est caractérisée par la division des périphériques urbains et la métrique composite de rugosité. Sur la base des dimensions susmentionnées, deux indices ont été évalués empiriquement par Frankhauser et son collectif de recherche, en particulier l'indice de fragmentation et l'indice de dendricité, alors que la métrique de rugosité synthétique a été formulée par Badariotti (2005)

L'indice de fragmentation «φ »

Cet indice particulier permet de déterminer si le tissu urbain est fragmenté, c'est-à-dire s'il est constitué d'une entité unique ou de plusieurs entités. Cela dépend de la taille globale du périmètre et celle de l'entité principale, présentant une variabilité entre « 0 » et « 1 ».

$$\mathbf{0 \leq \varphi = (D_{bord/tot} / D_{bord/agr}) \leq 1}$$

Lorsque « φ » prend la valeur zéro cela « *indique que la structure est constituée d'un seul agrégat tandis qu'une valeur proche de un caractérise un tissu fragmenté constitué d'un grand nombre d'îlots qui couvrent la surface de façon quasi uniforme.* » (Frankhauser et al., 2003)

L'indice de dendricité « σ»

La dedricité d'une bordure exprime le rapport entre la dimension de la masse et celle de la bordure. Elle présente une variabilité entre « 1 » et « 2 », et est formulée comme suit :

$$\mathbf{1 \leq \sigma = (D_{surf} / D_{bord/agr}) \leq 2}$$

«*Une structure compacte et lisse coïncide avec la valeur zéro et une valeur proche de un correspond à un tapis de Sierpinski pour lequel les dimensions de la bordure et de la surface se confondent* » (Frankhauser, 2005).

Grâce à une analyse comparative des deux dimensions $\mathbf{D_{surf}}$ / $\mathbf{D_{bord/agr}}$, on peut élucider la dendricité de la bordure. Si les valeurs des deux dimensions sont importantes, la dendricité est prononcée ; si elles sont minimes, les pourtours sont vraiment lisses. Par contre si $\mathbf{D_{surf}}$ dépasse $\mathbf{D_{bord}}$, les bordures ont tendance à être plutôt lisses.

L'indice synthétique de rugosité « Is »

Cet indice synthétique de rugosité « Is » a été conçu en fonction de la dimension euclidienne. Il évalue quantitativement, de manière synthétique, l'écart à la dimension « 2 » pour $\mathbf{D_{surf}}$ et l'écart à la dimension « 1 » pour $\mathbf{D_{bord}}$. (Badariotti, 2005). Son expression mathématique se présente comme suit :

$$\mathbf{Is = 1 - D_{surf} + D_{bord}}$$

Cet indicateur dépend de la complexité structurelle. Conformément aux affirmations de Badariotti (2005), les seuils conventionnels pour cet indicateur sont définis comme suit :

Is = 0, indiquant que la forme est euclidienne, ce qui indique une surface et un périmètre très lisses ; $\mathbf{D_{surf}}$ tend donc vers 2 et $\mathbf{D_{bord}}$ vers 1 ;

Is = 1, signifie un niveau élevé de rugosité des objets examinés. Trois cas illustratifs peuvent permettre d'élucider ce phénomène :

> $\mathbf{D_{surf} = D_{bord}}$ proche de « 1 » ; une forme de surface très hétérogène tout en étant entourée d'une bordure très lisse, ce qui donne un aspect général rugueux ;
>
> $\mathbf{D_{surf} = D_{bord}}$ proche de « 2 » ; la forme possède une surface lisse mais est limitée par une bordure très dentelée, comme dans le cas précédent, l'ensemble apparaît rugueux ;

D_{surf} = D_{bord}, proche de « 1,5 » ; le périmètre et la surface des formes présentent une hétérogénéité.

Ce scénario est illustré par certaines figures fractales théoriques, telles que le tapis de Sierpinski ou la poussière de Fourier (Badariotti, 2005). Néanmoins, l'indice synthétique révèle parfois des écarts aux incohérences entre la dimension fractale de la surface et celle de la bordure. À cet égard, Badariotti (2005) affirme que lorsque nous isolons artificiellement des segments de tissu urbain à des fins d'analyse, les limites de ces échantillons de tissus sont sélectionnées de manière arbitraire, et l'indication de la dimension fractale de la bordure doit être abordée avec prudence, car elle reflète plus précisément la délimitation obtenue uniquement à la limite véritable du phénomène. Quoi qu'il en soit, cet indicateur est significatif car il fournit une valeur synthétique simple qui correspond à la co-variation des dimensions de la surface et de la bordure.

2.3.4. Performance des méthodes

La géométrie fractale présente un large éventail de méthodologies analytiques et de mesures qui fournissent des informations distinctes concernant le tissu examiné. En fonction des objectifs spécifiques à chaque question de recherche, le choix s'effectue selon leur pertinence et leur cohérence. Il est important de mentionner que les diverses méthodes d'analyse présentées ne sont pas similaires ; elles fournissent des informations relatives à des dimensions disparates. Une méthode conçue spécifiquement pour l'examen des surfaces ne facilite pas intrinsèquement l'analyse de la tortuosité présente dans les bordures. De plus, une approche locale ne transmet pas les mêmes informations qu'une méthode globale. Une synthèse des pertinences de chaque méthode est élaborée par Frankhauser (2003) présentée dans le tableau 2.

Tableau 2. Performance des méthodes d'analyse : Forces et faiblesses de chaque méthode. Source : Frankhauser, 2003, p.36

Type d'analyse	L : Locale G : Globale	Longueur : L Surface : A	Fiabilité Application
Analyse radiale	L	L et A	Bonne Logique particulière
Analyse de quadrillage	G	L et A	Mauvaise
Analyse des boites	G	L et A	Très bonne Réalisation difficile
Analyse de corrélation	G	L et A	Très bonne
Analyse de dilatation	G	L et A	L : Mauvaise A : Acceptable

Convolution gaussienne	G	L	L : Bonne A : réalisation difficile

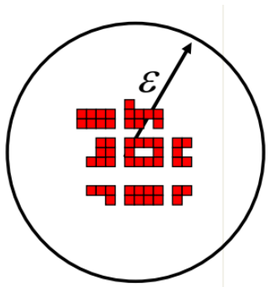
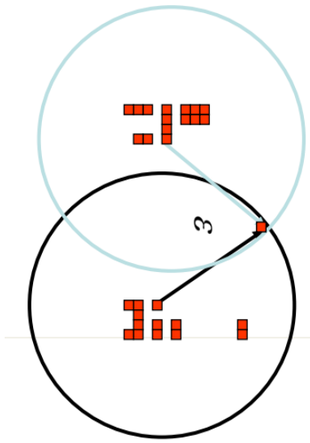
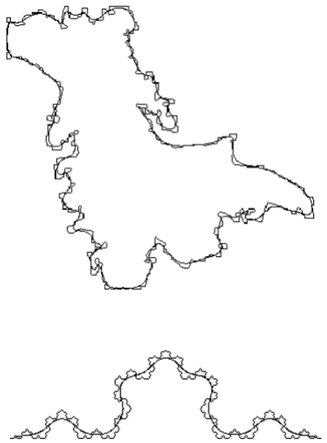
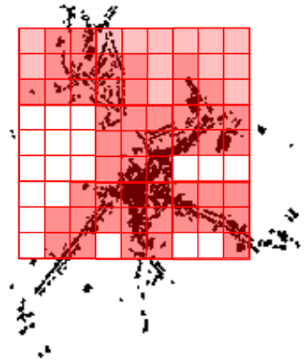
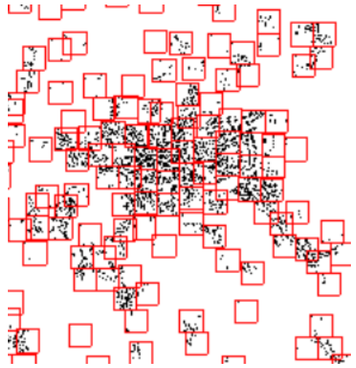
Méthodes	Analyse Radiale	Analyse de Corrélation	Analyse de Dilatation	Convolution Gaussienne	Dimension du Quadrillage	Comptage de Boite
Illustrations						
Descriptif	Choix d'un centre de comptage Compter le nombre N(ε) de sites occupés situés à une distance ε du centre de comptage choisi.	Choix d'une zone d'étude compter selon la logique de l'analyse radiale le nombre N(ε) de sites occupés situés à une distance inférieure à ε de chaque site occupé Calculer nombre moyen $N_{moy}(\varepsilon)$ de sites occupés situés à une	Dilatation progressive de la texture : Procédure de lissage progressif perte progressive de détails	Lissage progressif d'une bordure par transformation des données	Couverture de la zone d'étude par un carroyage à maille de taille de variable ε Comptage du nombre N(ε) de mailles contenant du bâti	Approche d'un vrai « box counting » Problème l'intersection des boites

Planche 1. Synthèse des méthodes d'analyse fractale. Source : Auteur, Source des illustrations : Frankhauser, 2003

3. L'analyse fractale appliquée sur les tissus urbains : Etat de l'art

Bien que l'initiation des analyses fractales spatiales soit ancrée dans les entités naturelles, les principes des fractales, de l'échelle et de la dimension fractale ont ensuite été étendus aux domaines de la géographie physique et humaine (Goodchild et Mark, 1987 ; Barnsley, 1988, p. 245–71). Au cours des trois dernières décennies, il y a eu une prolifération de méthodologies fractales dans divers domaines. Malgré les défis associés à la collaboration interdisciplinaire, des progrès importants ont été réalisés grâce aux progrès impressionnants des méthodes informatiques. La plupart des recherches menées jusqu'à cette époque étaient motivées par des obstacles techniques visant à favoriser l'émergence de nouvelles applications urbaines (Dupuy, 2017).

À la suite de la numérisation d'images et des progrès de la technologie des systèmes d'information géographique, de nombreuses recherches ont été entreprises pour définir des configurations fractales en milieu urbain (Herold, Scepan et Clarke, 2002). Par conséquent, les premières indications de la ville fractale se concentraient principalement sur l'environnement construit, qui comprend, sans s'y limiter, la délimitation des limites urbaines (Batty, 1997) ; la distribution radiale des gradients de densité d'utilisation des sols (White et Engelen, 1993). Les dimensions des parcelles par zone (Fialkowski et Bitner, 2008), les empreintes des bâtiments et les relations allométriques (Batty et al. 2008 ; Batty, 2012), imperceptible les surfaces (Ma et al. 2018), les réseaux routiers (Wang, Luo et Luo, 2017), ainsi que la dynamique du trafic à l'échelle des villes (Umemoto, 2021) sont également des pistes développées dans ce contexte.

À l'heure actuelle, de nouvelles voies sont tracées. Diverses applications existent aujourd'hui pour analyser la distribution fractale des populations, des bâtiments et des structures de services réseau au sein des espaces. Les preuves à l'appui de l'existence de caractéristiques fractales dans les environnements urbains englobent à la fois les dimensions spatiales et non spatiales des villes.

En mettant l'accent sur le principe des échelles imbriquées, la géométrie fractale permet de comparer directement des structures empiriques significativement irrégulières et des structures théoriques conçues conformément à la loi de distribution pertinente (Batty et Milton, 2021 ; Frankhauser, 2017). L'examen des comportements d'échelle peut permettre d'élucider diverses formes d'urbanisation en fonction des contextes historiques (Thomas et al. 2008 ; Yu et Zhao, 2021). Les recherches menées par de nombreux chercheurs sur les tissus urbains indiquent que le paradigme fractal constitue un modèle relativement robuste pour caractériser les tissus urbains (Batty et Longley, 1989 ; Boeing, 2018 ;

Frankhauser, 1994 ; Shen, 2002 ; Tannier et Pumain, 2005). Il est utilisé dans les études urbaines pour délimiter la configuration spatiale des environnements construits, quelles que soient les caractéristiques du tissu : villes entières, fragments urbains ou tissus périphériques (Caglioni et Rabino, 2004 ; De Keersmaecker, 2004 ; Thomas et al. 2008 ; Lagarias et Prastacos, 2021).

La question de l'échelle

Les premières études fondamentales dans le domaine de la géographie ont souligné que la dimension fractale ne devrait pas rester invariante dans les contextes empiriques (Goodchild 1980) ; elle est plutôt fréquemment constante à des intervalles d'échelle spécifiques mais présente une variabilité entre les intervalles d'échelle successifs (Lam & Quattrochi 1992 ; White & Engelen 1994). Les caractéristiques d'invariance d'échelle et d'autosimilarité statistique intrinsèques aux formes urbaines sont donc contingentes localement plutôt que universellement applicables, et sont limitées à des plages d'échelle limitées. La dimension fractale calculée pour l'ensemble d'une zone urbaine diverge de celle calculée pour ses quartiers individuels. Chaque secteur d'un environnement urbain possède une dimension fractale distincte, comme l'illustrent les recherches menées par Thomas, Frankhauser et Badariotti (2012).

Pistes de recherche

En étudiant la morphologie physique urbaine (Arlinghaus, 1985 ; Arlinghaus et Nystuen, 1990 ; Batty et Xie, 1997) et la dynamique de la croissance urbaine (White et Engelen, 1993 ; Schweitzer et Jens, 1998 ; Shen, 2002), ces principes, largement appliqués dans le cadre des formes et systèmes urbains, établissent une corrélation entre la structure. De nombreuses enquêtes ont exploré de vastes régions métropolitaines à l'aide de représentations cartographiques simplifiées (Batty et Kim, 1992 ; White et Engelen, 1994 ; Frankhauser, 1990, 2005, 2015 ; Benguigui et al. 2000 ; Schweitzer et Steinbrick, 2002 ; Shen, 2002 ; Frankhauser et Tannier, 2005 ; Jin et al., 2017 ; Sahity et Prasad, 2020) (Frankhauser, 1990, 2017, 2021 ; Caglioni & Rabino, 2004 ; Frankhauser et Tannier, 2005 ; Tannier et Pumain, 2005). Ces méthodologies ont été mises en œuvre au niveau des quartiers, en s'appuyant sur des bases de données cartographiques complètes. Ces études fondamentales ont cherché à établir une relation entre la fractalité et la morphologie de l'utilisation des terres urbaines. Ils se sont spécifiquement concentrés sur différentes typologies de parcelles : résidentielles, commerciales-industrielles, éducatives et de transport (Frankhauser, 1994, 2005 ; Caglioni et Rabino, 2004 ; Keersmaecker et al. 2004). Un nombre limité d'études se sont concentrées sur l'examen des tissus des centres villes urbains d'un point de vue fractal (De Keersmaecker, 2004 ; Thomas et al. 2008 ; Lagarias et Prastacos, 2021), se concentrant plutôt sur des agglomérations complètes qui

s'étendent des zones centrales aux zones périphériques en tant que composantes de l'étalement urbain ou de l'optimisation des transports. Néanmoins, les centres urbains méritent une attention particulière en raison de leur importance, de leurs fonctions, de leur contexte historique, de leurs caractéristiques géométriques et de leurs formes générales.

L'impact du facteur temps

De nombreux chercheurs se sont penchés sur l'évolution temporelle de la dimension fractale des zones urbaines. Bien qu'une analyse comparative des valeurs dimensionnelles issues de différentes études ne soit pas pratique en raison de l'hétérogénéité des données et des méthodologies utilisées, les tendances observées restent constantes. Frankhauser (1990) a quantifié une augmentation de la dimension fractale de Berlin en Allemagne au fil du temps, enregistrant notamment des valeurs de 1,43 en 1875, 1,54 en 1920 et 1,69 en 1945. Shen (2002) a constaté une augmentation similaire de la dimension fractale de Baltimore aux Etats-Unis, passant de 1,015 en 1822 à 1,722 en 1992. On note une attitude similaire pour l'agglomération tri-nationale de Bâle (Suisse, France, Allemagne) de 1882 à 1994 (Tannier & Pumain 2005) et pour l'agglomération de Lisbonne (Portugal) entre 1960 et 2004 (Encarnação et al. 2012). Cependant, si les zones urbaines se développaient effectivement selon un processus caractérisé par une croissance fractale, on pourrait s'attendre à ce que leur dimension fractale reste invariante au fil du temps.

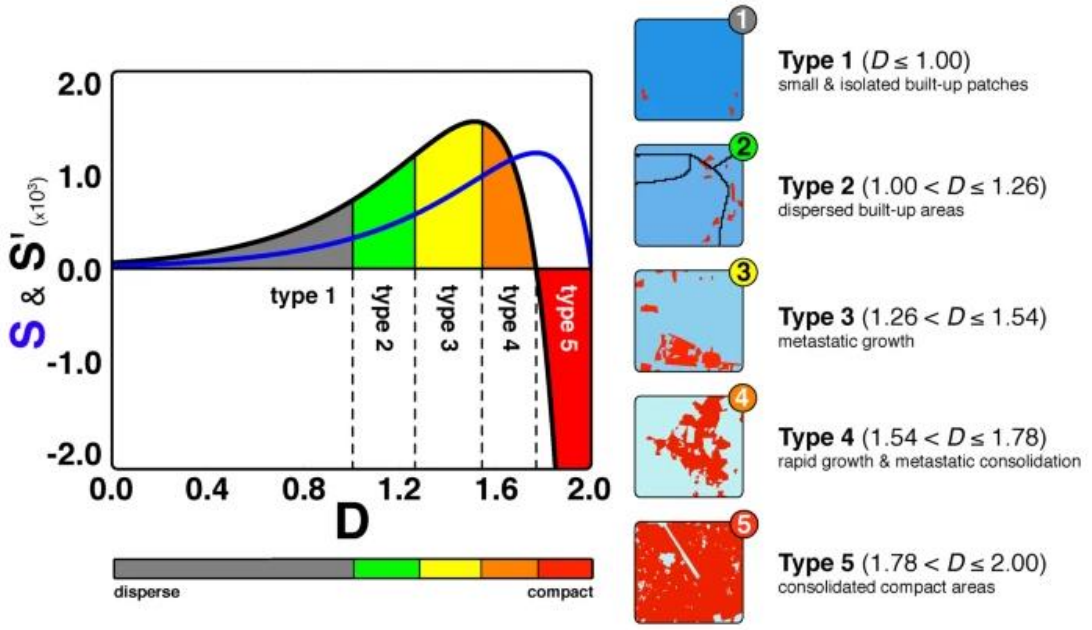


Figure 46. Evolution spatio-temporelle de la dimension fractale de Lisbonne. Source : (Encarnação et al. 2012)

On peut soutenir que ces études considèrent chaque ville dans un cadre spatial qui reste statique dans le temps, englobant à la fois la ville elle-même (qui s'étend progressivement) et sa périphérie (dont l'influence spatiale diminue en même temps que l'expansion de la

ville). Par conséquent, des études alternatives ont intégré des considérations relatives à la ville dans un contexte spatial qui s'étend parallèlement au processus d'urbanisation. L. Benguigui, D. Czamanski, M. Marinov et J. Portugali (2000) ont notamment étudié l'évolution de l'agglomération de Tel Aviv en Palestine, de 1935 à 1991 en analysant trois zones d'étude imbriquées. Leurs résultats ont indiqué que des segments distincts de l'agglomération présentent des trajectoires de développement divergentes, certains segments atteignant des caractéristiques fractales (c'est-à-dire statistiquement autosimilaires à différentes échelles) avant d'autres, et que l'agglomération en tant qu'entité cohésive n'a adopté de propriétés fractales qu'au milieu des années 1980. De plus, leurs recherches révèlent que dans chaque segment de l'agglomération, la dimension fractale augmente à des rythmes variables.

4. L'analyse fractale dans le contexte urbain algérien : bilan et critique

Meme si le fractals ont largement été introduits dans les domaines de la géographie et la ville, très peu de recherches l'ont appliqué dans le contexte algérien.

L'étude la plus ancienne est menée par Selka et Benamar (2001) intitulé « *Analyse radiale du tissu urbain d'Oran* ». Elle a fait l'objet d'une présentation lors de la 5e réunion de Théo Quant. Cette recherche porte sur l'analyse radiale appliquée sur une image satellite plutôt que sur une carte conventionnelle. Les résultats de cette analyse indiquent que la structure urbaine du centre présente une homogénéité et possède une organisation hiérarchique, tandis que la périphérie de la ville révèle une dimension fractale inférieure à celle du centre-ville.

L'enquête intitulée « *Structure fractale des objets urbains* » menée par Kholladi (2004) explique l'importance de l'application de la géométrie fractale aux environnements urbains et à leurs réseaux de communication, en appliquant une analyse de la convolution gaussienne des formes structurelles des constructions liées à l'occupation du sol, avec comme cas d'application la ville de Constantine.

Ben-Hamouche (2011) a également traité la question de l'usage de l'analyse fractale dans la définition des origines de la morphologie de la ville musulmane. Selon lui, l'impact de la loi de succession (par héritage) est à l'origine du découpage parcellaire et donc influe directement sur la morphologie. Il explique les mécanismes de subdivision conformément aux lois de succession et fournit des exemples hypothétiques pour illustrer leur impact direct sur la morphologie urbaine, à travers les itérations continues de lotissement pendant des siècles, qui confèrent à ces villes une nature fractale, constituant ainsi la principale source de leur complexité (Figure 47). La plupart des propriétés ont fait l'objet de subdivisions successives jusqu'à l'obtention d'éléments minimaux mais fonctionnels.

Cependant, cette fragmentation ne doit pas être perçue indépendamment d'autres mécanismes, qui ont parfois conduit à la réunification de ces fragments, établissant ainsi un équilibre dynamique au sein du tissu urbain.

Figure 47. L'impact de la loi de succession (par héritage) sur la géométrie urbaine des anciennes villes musulmane, avec hypothétique découpage du parcellaire. (Ben-Hamouche, 2011)

On note un engouement vis-à-vis l'étude de la ville par le fractale au cours des dix dernières années. Commençant par l'étude de Dechaicha (2013), intitulée « *Étalement urbain et contraintes physiques et naturelles : étude de cas de la ville de Bou Saâda* », produite dans le cadre de l'obtention du diplôme de magistère. Cette étude se concentre sur la compréhension de la dynamique de l'urbanisation dans la ville de Bou Saâda, à travers l'analyse du quadrillage, de corrélation, et l'analyse radiale. Les résultats montrent une dispersion spatiale du tissu de plus en plus prononcée au-delà du centre-ville, de nature fragmentée en périphérie. La variété des formes urbaines contribue à l'hétérogénéité morphologique.

On souligne l'importance de la contribution de l'étude de Arrouf, Kacha et Mansouri (2015) sur l'usage des mesures fractales dans la définition de l'identité morphique des tissus auto-construits spontanément dans la ville de Batna. L'étude consiste en premier lieu de comparer l'identité morphique des tissus auto-construits spontanés et celle des tissus planifiés d'une part, et d'examiner leur conformation avec l'identité morphique des tissus auto-construits traditionnelles (vernaculaires) d'une autre part. Les résultats indiquent que les tissus auto-construits spontanés représentent un système morphique cohérent, en raison de leur capacité à s'adapter au site, de l'organisation hiérarchique de leurs espaces de circulation et de la complexité de leurs formes intrigues, ce qui leur donne une forme intermédiaire entre les tissus traditionnels et les tissus planifiés.

Dans le meme contexte, la recherche de Barrou (2019) intitulée « *Les établissements humains anciens face à la micro urbanisation* » a été appliquée sur des villages traditionnels aurassiens qui sont Menaa, Teniet El Abed et Arris. Les méthodes utilisées dans cette recherche sont l'analyse de corrélation pour déterminer l'homogénéité, hiérarchie et complexité des surfaces ; l'analyse de dilation pour la compacité des tissu urbains et la bordure ; ainsi que les indicateurs de la dendricité, de fragmentation, et de rugosité de la bordure. Les résultats révèlent les caractéristiques morphologiques des différentes tâches urbaines représentatives des trois agglomérations étudiées. Les noyaux anciens sont homogènes, hiérarchisés et d'un degré de complexité élevé, les extensions par contre présentent un aspect lâche et moyennement complexe. Les bordures urbaines des cas d'études sont moins dendriques et fragmentées

Une autre contribution scientifique s'intéresse à la morphologie des tissus urbains a fait l'objet de revue dans le cas de notre recherche. Elle traite la comparaison d'un cas d'étude algérien à deux autres cas d'études étranger. Elle développe les caractéristiques fractales des tissus et des paysages urbains (Kacha, Abdessemed et Matsumoto, 2022). Cette étude vise à étudier les propriétés fractales à travers le temps, présentes dans trois zones urbaines distinctes : Beb-el-Oued (Alger), Chiyoda-ku (Tokyo) et Lower Manhattan (New York). Les résultats ont indiqué que tous les quartiers présentent une structure de surface uniforme dans la période contemporaine, avec des niveaux distincts de complexité (figure 48). Les limites urbaines présentent une structure diversifiée, ramifiée et robuste. Les paysages urbains de Chiyoda-ku et du Lower Manhattan sont plus complexes que ceux d'Alger en raison de l'abondance de détails et de caractéristiques complexes (tels que la signalisation, la verdure, etc.). Les résultats ont confirmé sans équivoque que les quartiers examinés ne possèdent pas de caractéristiques morphologiques identiques, attribuables à des distinctions culturelles, historiques et géographiques.

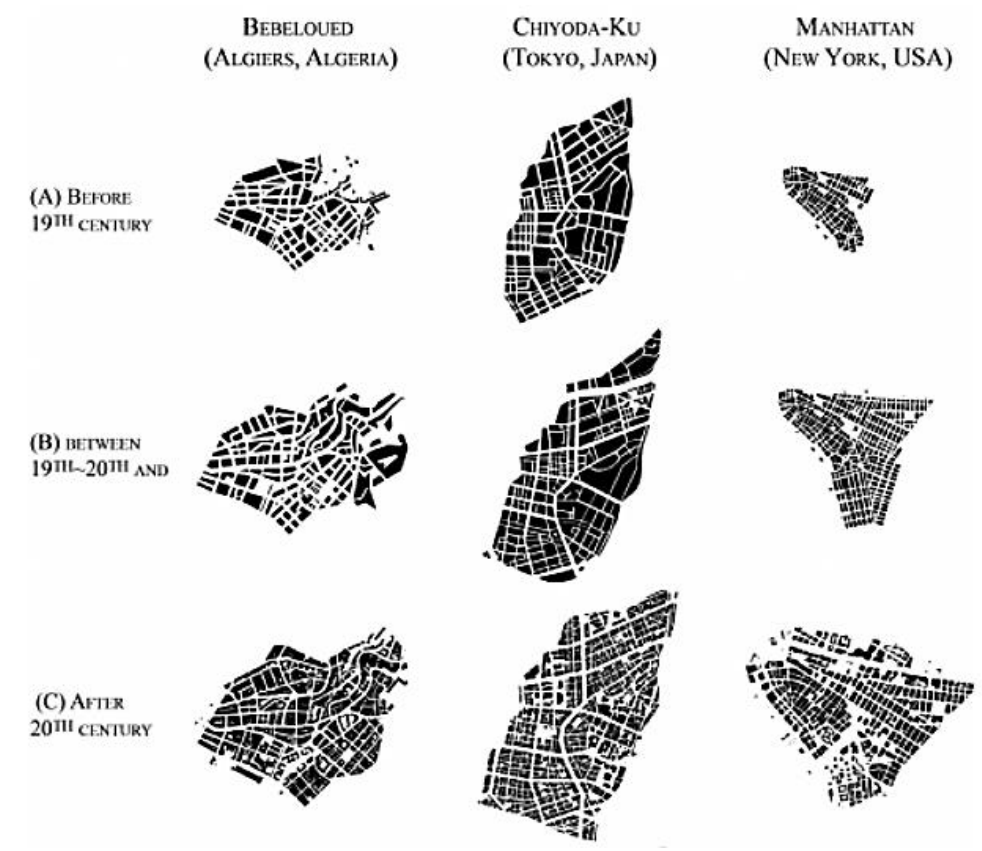


Figure 48. Tissus urbains analysée. Source : (Kacha, Abdessemed et Matsumoto, 2022)

La thématique la plus répandue pour l'usage de l'analyse fractale des tissus urbains est la question de l'étalement urbain. On commence par l'étude de Benkouider et al. (2018) qui a fait l'objet d'une publication en proceeding post-conférence, portant sur l'analyse de la morphologie urbaine par la télédétection et la géométrie fractale, avec comme cas d'application, l'agglomération de Laghouat. Comme toute zone semi-aride, les défis de gestion de l'étalement urbain sont particulièrement prononcés, surtout au cours des trente dernières années, affichant un taux d'urbanisation de 92,83 %. Au cours de ces phases de transformation, l'environnement oasien a évolué vers une configuration qui n'est pas toujours conformes aux normes architecturales et urbaines. Une dilution de densité progressive a été observée sur le tissu urbain du centre-ville vers la périphérie. La recherche indique que les modifications de la configuration spatiale et de la dimension fractale constituent des indicateurs efficaces et pertinents pour l'évaluation et l'analyse de l'étalement urbain.

Toujours dans le cadre de l'étalement urbain, l'analyse fractale, a fait l'objet d'une alternative approche pour renouvellement urbain de la ville de Bejaia (Bouiche, Alkama et Bouamrane, 2020). Cette étude a comme objectif d'évaluer et de délimiter la dynamique spatio-temporelle de l'environnement urbain de la ville de Bejaia, par la mise à l'échelle allométrique, ainsi que la modélisation fractale. Les résultats de l'analyse révèle qu'entre les années 1947 et 2019, les caractéristiques structurelles de la zone

d'étude présentent un degré significatif de dilution accompagné d'irrégularités tant au niveau de la taille que de la forme (Dsurf1947= 1,75, Dsurf 1985= 1,58 et Dsurf 2019 = 1,71), en raison de la réduction des terres agricoles et forestières. Les résultats indiquent que la progression spatiale et temporelle de l'environnement urbain passe d'une ville compacte (a1947=1,80) à un tissu urbain plus dilué (a2019=1,27).

Dans une meme approche, Abdou et Alkama (2022) étudient des facteurs de l'étalement spatial par l'utilisation de l'analyse fractale. Cette étude analyse l'évolution spatio-temporelle de la ville de Biskra de 1958 à 2015, ainsi que les facteurs qui ont contribué à ce développement spatial, à travers l'analyse des plans urbains de 1958, 1998 et 2015. Les résultats indiquent que l'expansion spatiale de la ville s'est principalement produite sur des terres inoccupées et agricoles (palmeraies), présentant des irrégularités de taille et de forme (Dsurf1958 = 1,567, Dsurf 1998 = 1,727 et Dsurf 2015 = 1,77), passant d'une configuration compacte à une configuration fragmentée (a1958 = 3,444 a 2015 = 2,565).

L'étude la plus récente concerne sur la question de l'étalement urbain est intitulée : *Cartographie et analyse de l'étalement urbain,* ayant comme cas d'étude le groupe intercommunal de la wilaya de Batna (Fekkous.N, Alkama et Fekkous.K, 2023). Cette recherche scientifique se concentre sur l'examen de la de l'étalement urbain sous l'angle de la compacité et de la dispersion urbaines au sein du collectif intercommunal de Batna, qui englobe quatre districts communaux contigus et interdépendants : Batna, Tazoult, Oued Chaaba et Fesdis. Dans un premier temps, la macro forme urbaine est examinée en délimitant les zones urbaines qui présentent des transformations morphologiques sur une période de presque quatre décennies de 1984 jusqu'à 2008, en utilisant la télédétection et des systèmes d'information géographique (SIG). En outre, une analyse fractale par le comptage des boites est employée pour élucider les caractéristiques morphologiques de la macro forme à la suite de modifications urbaines. Les résultats indiquent que le collectif inter-municipal de Batna a connu un développement urbain modéré sur l'aire temporelle de 1984 à 2020.

Tableau 3. Revue de litterature sur l'analyse fractale des tissus urbains dans le contexte algérien. Source : Auteur

Thème traité	Travaux consultés	Méthodologie	Cas d'étude
Morphologie des structures urbaines	(Selka et Benamar, 2001)	Analyse radiale	Ville d'Oran
Environnement urbain et réseaux de communication	(Kholladi, 2004)	Analyse de la convolution gaussienne	Ville de Constantine
Morphologie des structures urbaines	(Ben-Hamouche, 2011)	-	Ville d'Alger

Etalement urbain (surface)	(Dechaicha, 2013)	Analyse de quadrillage Analyse de corrélation Analyse radiale	Ville de Bou Saâda
Morphologie des structures urbaines Bordures urbaines	(Arrouf, Kacha et Mansouri, 2015)	Degré d'homogénéité Degré d'hiérarchie Degré de complexité Degré de dendricité Degré de compacité Degré de rugosité	Tissus AC spontanés Z'mala, Bouakal, Parc-à-fourrage, Kéchida Tissus planifiés Kemouni, El-boustane, Stand Tissus AC traditionnels Menaa, Hidous
Etalement urbain (surface et périmètre)	(Benkouider, Abdelkader, Hamami, Serradj, 2018)	Comptage des boites Analyse radiale	L'agglomération de Laghouat
Morphologie des structures urbaines Morphologie de la bordure urbaine	(Berrou, 2019)	Analyse de corrélation Analyse de dilatation Degré de dendricité Degré de rugosité Degré de fragmentation	Villages auressiens -Menaa, -Teniet El Abed -Arris
Etalement urbain (surface et périmètre)	(Bouiche, Alkama et Bouamrane, 2020)	Analyse de corrélation Analyse de dilatation Analyse radiale Degré d'homogénéité Degré d'hiérarchie Degré de complexité Degré de dendricité	Ville de Bejaïa
Morphologie des structures urbaines Complexité des paysages urbains	(Kacha, Abdessemed et Matsumoto, 2022).	Analyse de corrélation Analyse de dilatation Comptage des boites	Echelle communale -Bab el Oued (Alger) -Chiyoda-ku (Tokyo) -Lower Manhattan (New York)
Etalement urbain (surface et périmètre)	(Abdou et Alkama, 2022)	Analyse de corrélation Analyse de dilatation Degré de dendricité Degré de rugosité Indice synthétique	Ville de Biskra
Etalement urbain (surface et périmètre)	(Fekkous.N, Alkama et Fekkous.K, 2023)	Comptage des boites	Intercommunal Batna -Commune de Batna -Commune de Tazoult -Commune d'Oued Chaaba Commune de Fesdis

5. Méthodologie d'approche

5.1. Positionnement de la recherche

Pour atteindre les objectifs définis dans cette recherche et évaluer empiriquement les hypothèses formulées dans le chapitre introductif, nous avons décidé d'effectuer une analyse fractale des tissus urbains, en combinant le facteur temps. Il s'agit d'étudier la dimension fractale à travers le temps, en se basant sur des plans historiques jusqu'à aujourd'hui. Notre approche est motivée par l'aspiration à étudier les centres urbains afin de comprendre leur développement et effectuer une caractérisation fractale de ces tissus urbains particuliers.

Le choix des fractales comme instrument analytique pour l'examen et la caractérisation de la morphologie urbaine découle de leur capacité à étudier les principes de distribution qui régissent les environnements construits au sein des tissus urbains à différentes échelles, en utilisant des modèles de référence adaptés à l'orientation thématique et aux objectifs de notre recherche scientifique. En tant que mécanisme de modélisation, les fractales améliorent également la classification des tissus urbains examinés grâce à leur capacité à produire des configurations géométriques qui respectent un principe de distribution prédéterminé.

5.2. Justifier le choix du corpus

En ce qui concerne la portée de notre recherche, nous avons initialement choisi d'élargir notre cadre d'investigation en nous concentrant sur la région centre-nord de l'Algérie, en utilisant une méthodologie comparative qui tient compte de l'échelle des villes sélectionnées dans notre corpus ainsi que du contexte historique, qui doit nécessairement englober les trois époques historiques critiques : précoloniale, coloniale et postcoloniale. Notre corpus s'est limité finalement à trois cas d'étude, en raison de la disponibilité de la documentation et de l'accessibilité des informations pertinentes. Il s'agit bien de : Blida, Médéa, et Miliana. Ce sont des villes de moyenne échelle. L'échelle des villes sélectionnées résulte d'une préférence délibérée, appuyée par la revue de littérature effectuée sur notre thématique dans le contexte algérien. En effet, on a remarqué une préférence notable soit pour le contexte semi-aride à aride (Batna, Bou Saâda, Laghouat, Biskra), ou bien les grandes villes (Alger, Oran, Constantine), sinon des villages traditionnels (Menea, Hidous, Arris). On estime que les villes de moyenne échelle de la région nord, méritent une attention particulière pour des fins d'analyse et de documentation, d'autant plus qu'elles constituent une voie d'exploration intéressante, en

particulier dans le domaine des études comparatives. En effet, dans le contexte de la recherche, et plus spécifiquement en ce qui concerne l'Algérie, il existe un intérêt marqué pour les pistes citées, entre autre les grandes villes et les villages traditionnels. Ce phénomène est sans aucun doute attribuable à la richesse de la documentation disponible, ainsi qu'au corpus de recherche préexistant, qui fournit des pistes supplémentaires propices à l'exploration continue.

La structure urbaine complexe et multiforme d'une ville ne peut être comprise de manière globale que si l'on considère sa dimension historique, car sa réalité tangible est liée au passage du temps, qui se manifeste par une succession complexe de faits et de développements qui découlent d'un état d'existence antérieur, qui inscrit et superposé de façon indélébile des traces, parfois moins prononcées dans certains cas, et évidentes dans la plus part des cas. Il est important de mentionner dans notre contexte que la période coloniale française marque une transition importante dans l'histoire urbaine des villes algériennes, de l'urbanisme berbéro-arabo-musulman, avec ses caractéristiques distinctives, au modèle urbain européen, qui incarne une approche fondamentalement différente ; d'autant plus que la ville coloniale française constitue une partie importante du noyau urbain algérien actuel. Elle est également considérée comme l'époque la plus documentée de l'histoire urbaine de l'Algérie.

Dans les trois prochains chapitres, nous nous lancerons dans un examen diachronique détaillé de notre corpus, au cours duquel nous décrirons méticuleusement les processus de formation et de transformation qui caractérisent les villes de Blida, Médéa et Miliana. L'objectif principal de cette analyse approfondie n'est pas simplement de compiler les faits historiques, mais plutôt de reconstituer l'histoire urbaine, en explorant les différentes phases qui ont contribué à sa formation et à ses transformations ultérieures. L'effort consistera en une compréhension approfondie de la structure historique qui sous-tend la ville. L'objectif principal est d'identifier toutes les préexistences précoloniales, coloniaux, et postcoloniaux, les restituer sur les plans, pour pouvoir au final les analyser les modèles intra-urbains d'un même centre historique, et vois si ses dimensions fractales sont constantes ou variables dans le temps.

5.3. Préparation des supports graphiques

Nous avons commencé par des enquêtes de terrain, qui ont été menées sur la base de recherches documentaires pour comprendre la trajectoire historique de chaque noyau urbain, délimitant ainsi les modifications survenues dans les tissus urbains. Par la suite, nous avons synthétisé, croisé et hiérarchisé les données quantitatives et qualitatives afin

d'élucider les aspects importants de l'histoire urbaine relatifs à chaque étude de cas. L'objectif était de générer des représentations graphiques qui servent d'éléments fondamentaux pour le calcul de la morphologie urbaine.

Les limites de la zone d'étude pour chaque cas d'étude sont principalement basées sur le périmètre historique, qui se réfère au mur d'enceinte mentionné soit sur les premiers plans du génie militaire datés de (1840-1841), ou bien les premiers plans cadastraux (1852 – 1867). Ces limites ont été reprises sur les plans qui appartiennent aux trois périodes. Toute autre extension urbaine en dehors de ce périmètre n'entre pas dans le cadre de cette étude.

Notre recherche s'intéresse à trois phases historiques différentes, donc trois modes différents d'urbanisation de la ville. Chaque période est illustrée par un ou plusieurs plans de référence qui nous renseignent sur l'état de la ville à cette époque. Des cartes à différentes échelles ont été obtenues auprès du service d'urbanisme de la municipalité. Elles ont ensuite été reproduites et tramées en images binaires non compressées (*.tiff).

Pour résoudre le problème de l'hétérogénéité de la précision des documents graphiques, en particulier des plans cadastraux sans échelle graphique, nous avons extrait des ilots dont la précision est inférieure ou égale au plus petit dénominateur commun entre les plans historiques. Il en résulte que des échelles de plans unifiées peuvent être produites avec une extrême précision. L'échelle de toutes les cartes est la même. On obtient des plans *footprint*, où les pixels noirs représentent les zones bâties, tandis que les pixels blancs représentent les vides urbains (routes, places) comme sur la figure 49. Ces plans sont utilisés pour examiner les caractéristiques fractales des noyaux des villes au cours des trois périodes étudiées. Lors de la restitution des supports graphique, on tient à préciser qu'on a fait abstraction des vides intérieurs comme les patios et cours intérieurs en se limitant aux vides urbains

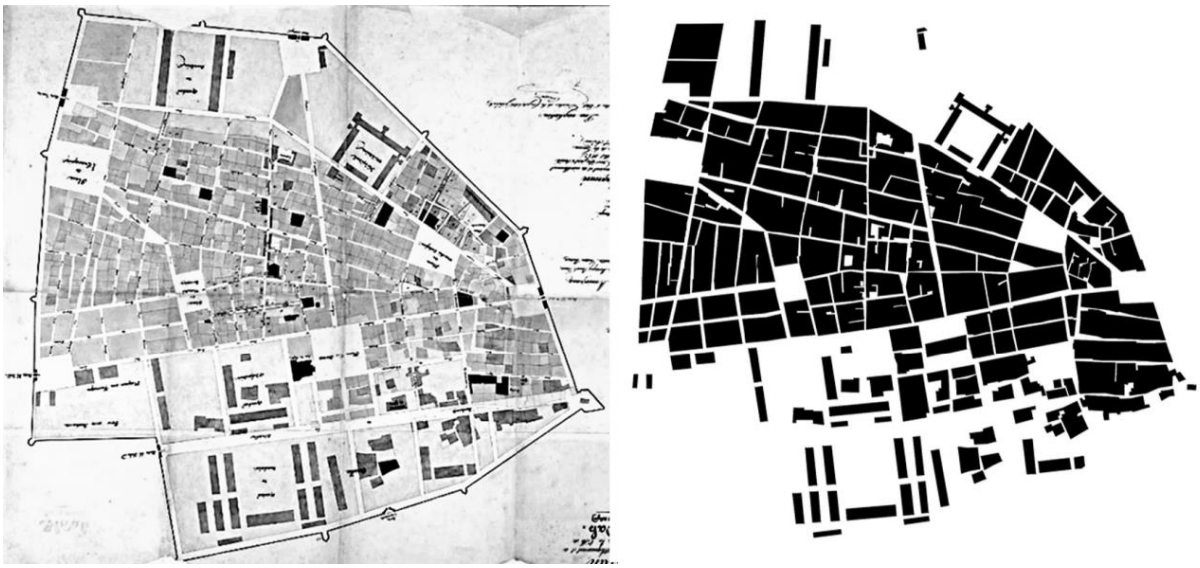


Figure 49. Restitution d'un plan footprint à partir du plan cadastral de 1852 de la ville de Blida. Source : Bellala et Dahmani 2024

5.4. Calculs de la dimension fractale

Les analyses sont effectuées à l'aide du logiciel « Fractalyse», développé en 2003 et potentiellement amélioré au sein d'une base de données Matlab des laboratoires ThÉMA du CNRS à Besançon, facilitée par les équipes « Ville, mobilité, territoire » et « Image et ville » de Strasbourg, dirigées par Gilles Vuidel et Cécile Tannier, sous la supervision de Pierre Frankhauser. Ce logiciel englobe un large éventail de méthodologies analytiques, ainsi que diverses fonctionnalités qui le rendent particulièrement avantageux pour nos activités de recherche. Néanmoins, nous n'utilisons pas la suite complète de méthodologies fournie par le logiciel. Il existe une multitude d'approches analytiques fractales qui, en raison de leur logique inhérente, ne transmettent pas exactement le même type d'informations. Compte tenu de la nature comparative de notre projet, il est impératif de nous limiter aux techniques de mesure les plus cohérentes : c'est pourquoi nous appliquons principalement des analyses de corrélation et de dilatation. L'analyse radiale est également utilisée. Cette méthode permet d'examiner la variabilité de la fractalité au sein du tissu urbain, du centre à la périphérie (Batty, Longley et Fotheringham 1989). Toute méthode d'analyse spatiale qui facilite l'exploration de la distribution à différentes échelles est considérée comme utile pour l'analyse de la fractalité d'une structure. Ces analyses traitent la zone d'étude sous deux angles physiques :

- L'analyse globale du cœur de ville, qui ne concerne que la zone située à l'intérieur de la première enceinte.

- L'analyse partielle, qui porte sur les différents tissus relatifs à l'évolution de l'occupation du sol.

Les aspects méthodologiques des analyses sont :

Les meilleures techniques pour une analyse globale sont les méthodes de dilatation et de corrélation. Le nombre de dilatations utilisées a été choisi de manière à n'avoir qu'un seul grand cluster, en comparant les résultats obtenus avec un nombre croissant de pas.

L'analyse radiale est préférable lorsqu'elle se réfère à des zones particulières de la ville, telles que le centre, la périphérie ou les quartiers distinctifs. Dans notre cas, elle est donc intéressante parce qu'elle examine l'ensemble de la surface urbanisée par rapport au noyau urbain. De plus, elle permet d'examiner l'état de l'occupation du sol dans un rayon partant du centre de la fenêtre d'analyse.

Le choix du centre de la fenêtre d'analyse, qu'il s'agisse du barycentre de la figure ou d'un autre point choisi, dépend de la structure de la zone elle-même et de la partie de la ville que l'on souhaite analyser.

Les dimensions fractales (D) inférieures, se rapprochant de 1 représentent généralement des zones éparses, tandis que les dimensions fractales proches de deux sont associées à des zones bâties compactes (Benguigui et al. 2000).

Pour certifier la fiabilité de la valeur D calculée, un test est effectué : si le coefficient d'ajustement est inférieur à 0,999, la dimension fractale calculée est considérée comme moyennement ou mal ajustée à la courbe théorique. S'il est inférieur à 0,999, l'ajustement est bon ; s'il est compris entre 0,999 et 1,000000, l'ajustement est excellent (Caglioni et Rabino, 2004).

Fractalyse intègre différentes méthodologies (grille, radiale, corrélation, etc.) pour quantifier la dimension fractale associée à des dimensions distinctes. Le calcul de cette mesure est exécuté selon un processus en deux phases : la méthode de comptage ; le module d'estimation.

5.4.1. Forme de l'élément de référence

Dans tous les cas, nous choisissons d'utiliser le carré comme figure de référence pour les analyses de propagation à partir d'un point. Le carré, dont la forme est cohérente avec la géométrie du pixel, a l'avantage de produire des résultats plus stables et plus réalistes.

5.4.2. La méthode de comptage

Les méthodologies de comptage sont basées sur un cadre itératif. À chaque phase d'itération, cette méthodologie énumère les pixels (désignés par des points noirs) qui se trouvent dans une fenêtre de comptage désignée. En passant d'une itération à la suivante, les dimensions de la fenêtre de comptage sont augmentées. Par conséquent, le niveau

d'analyse des images subit une transformation artificielle. Pour chaque méthodologie, deux paramètres sont définis en fonction de l'étape itérative « i », à savoir : le nombre total de « N » d'objet (points noirs) inscrits dans la fenêtre de comptage ; la dimension de la fenêtre de comptage ou de l'élément de référence « ε ». Cette méthodologie produit une série de points de données qui peuvent être représentés graphiquement par une courbe dont l'axe X est désigné par « ε » et l'ordonnée par « N » (Frankhauser et al. 2003).

5.4.3. La représentation des courbes d'analyse

En fonction de la sélection parmi les lois fractales intégrées au logiciel Fractalyse, deux types distincts de représentations graphiques des relations empiriques « N (ε) » sont générés ; la première illustre directement la relation empirique, tandis que la seconde adopte un format bi-logarithmique (Frankhauser et al. 2003).

5.4.4. L'estimation des paramètres

Conformément à la loi fractale sélectionnée, les paramètres sont déterminés par une analyse de régression non linéaire. Il est possible de dériver les paramètres « a » et « c » directement via la résolution d'équations linéaires, tandis que « D » est évalué quantitativement. Pour améliorer la fiabilité de l'estimation, une procédure d'estimation supplémentaire est intégrée au logiciel, exécutée simultanément : tous les paramètres sont fournis collectivement en utilisant une stratégie d'évolution (Frankhauser et al. 2003). La progression méthodologique de cette recherche a suivi une approche comparative sur deux paliers : Une comparaison entre les trois cas d'étude ; et une comparaison entre les périodes historiques du meme cas d'étude dans la mesure de disponibilité des supports graphiques

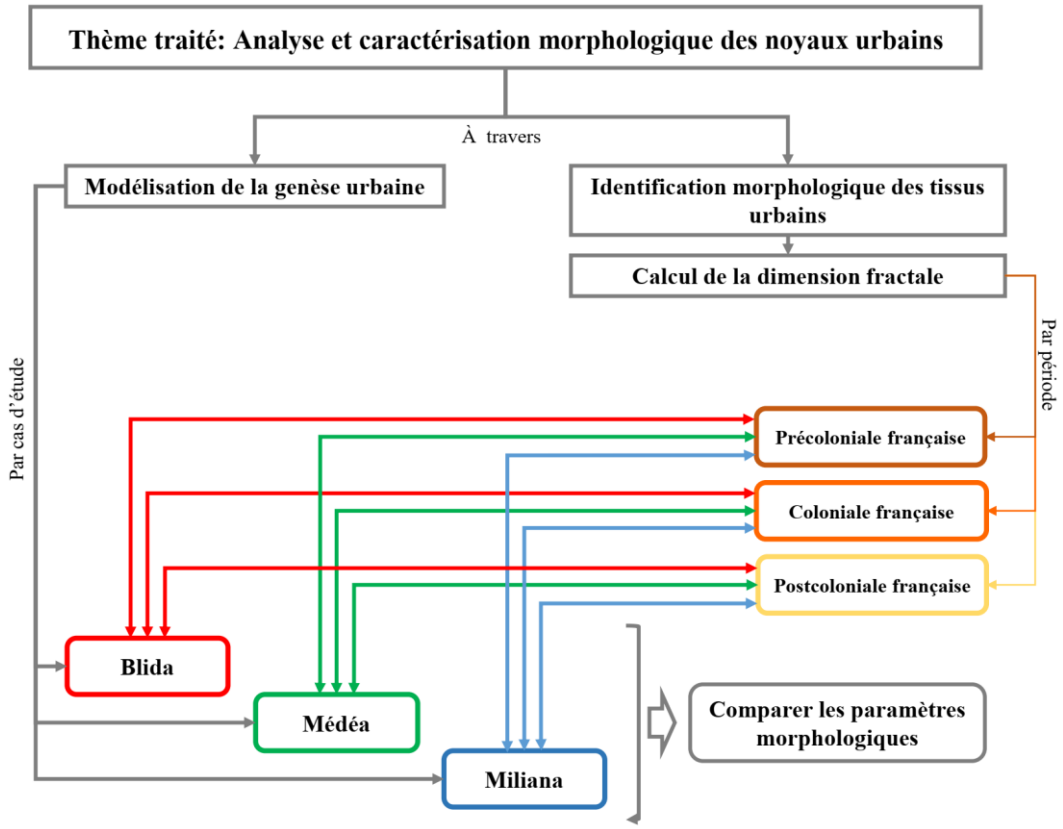


Figure 50. Méthodologie d'approche adoptée pour l'analyse du corpus d'étude. Source : Auteur

6. Conclusion

En effectuant un examen avancé des méthodologies actuellement utilisées dans l'étude de la morphologie urbaine, on peut améliorer la compréhension du processus d'urbanisation. Dans le contexte de notre recherche, il est évident que les méthodologies historiques et fractales sont particulièrement bien adaptées à cette analyse. Pour bien saisir le développement historique de ces noyaux urbains, il est impératif d'évaluer de manière critique les documents graphiques liés aux différentes phases d'urbanisation ainsi que les processus historiques qui les ont façonnés.

Le mode d'urbanisation progressif et successif des noyaux urbains est quantifié dans le cadre de ce travail de recherche grâce à l'application de techniques analytiques et de modèles d'évaluation fondés sur des paramètres morphologiques soigneusement sélectionnés, permettant ainsi une caractérisation morphologique soigneusement menée. Pour analyser la configuration urbaine, ainsi que les attributs morphologiques du tissu urbain dans les trois villes sélectionnées, nous utiliserons des mesures fractales calculées à partir du logiciel Fractalyse.

Partie II : Lecture et caractérisation des noyaux urbains algériens

Chapitre 4 : Vers la caractérisation morphologique du noyau urbain de Blida

1. Introduction

Ce chapitre traite de l'utilisation des fractals pour analyser et caractériser le tissu urbain du noyau urbain de Blida. L'objectif est de définir les paramètres morphologiques ensuite de les comparer à travers le temps, pour évaluer la dimension fractale des surfaces bâties, et déterminer les caractéristiques physiques du tissu, ses variations ou dans le cas contraire, son authenticité, sur la base des variations spatiales calculées. À cette fin, ce chapitre vise à approfondir la connaissance sur la zone bâtie intra-muros, en employant diverses méthodes de mesure fractale.

Ce chapitre examine si les modèles intra-urbains d'un même centre historique ont des dimensions fractales constantes ou variables dans le temps. La question suivante se pose : La dimension fractale est-elle un indice utile pour distinguer l'authenticité de la morphologie urbaine ? En outre, l'enquête se concentre sur la question de savoir si les indices fractals peuvent améliorer l'analyse de la structure des centres urbains.

Il est important de préciser qu'il ne s'agit pas de reconstituer l'histoire de Blida, mais plutôt mentionner des faits qui permettent de de différencier les éléments structurants actuels de l'espace, qui appartiennent à chaque période (permanant, modifiés et nouveaux), à travers le processus d'urbanisation du périmètre - les modalités et les formes liées à chaque mode d'urbanisation.

2. Présentation du premier cas d'étude : Blida

Blida est une ville algérienne dont le noyau urbain remonte au XVIe siècle. Elle a une forme assez distincte en raison des événements naturels et historiques qui l'ont façonné au fil du temps. C'est pourquoi nous tentons à travers ce chapitre de caractériser sa morphologie. De ce fait, on examine d'abord la genèse urbaine à travers les trois périodes clés de l'histoire du centre-ville de Blida, ensuite nous essayons d'évaluer les changements opérés sur le tissu.

La ville de Blida est située à 47 km au sud-ouest d'Alger la capitale, et à 22 km de la ligne côtière (figure 51). C'est une ville de piémont, ouverte au nord sur la plaine de la Mitidja et bordée au sud par les montagnes de l'Atlas Blideen. Ahmed ben El Kebir a fondé la ville vers 1535, avec le soutien du Pacha d'Alger, pour accueillir les Andalous qui fuyaient

Valence pendant la Reconquista. En ce qui concerne sa topographie, Blida est une zone surélevée en forme de cône, à l'abri des inondations, idéale pour l'agriculture en raison de ses sols légers et fertiles, propices à l'arboriculture. Les Andalous jadis apportent les techniques d'irrigation et la culture des agrumes ; ils entourent la ville de plantations qui feront sa renommée (Cote, 1991).

Figure 51. Image satellite illustre la délimitation du périmètre d'étude ainsi que sa situation dans la ville de Blida. Source : Auteur sur support Google earth pro

3. Genèse historique urbaine du noyau urbain de Blida

Dans ce sous-chapitre, notre intérêt se porte principalement sur la genèse urbaine du centre de Blida. Toute opération urbaine extramuros sera évoquée brièvement afin de comprendre le développement général de la ville. Néanmoins, la focalisation sera portée sur le noyau historique, objet de notre recherche.

Une promenade à travers les rues de la ville de Blida laisse toujours une impression ambiguë : les places, les édifices publics, les façades des maisons, pour la plupart, portent la marque de la colonisation française. Et pourtant, à de multiples détails, à une ambiance particulière, à l'échelle des constructions, un bout d'impasse, une fontaine, une petite mosquée, on pressent la ville arabe: L'intervention sur l'espace de pouvoirs différents, à finalités différentes,- même si l'un des objectifs: le contrôle d'un territoire, fut identique -, ne pouvait que transformer profondément le paysage urbain, la structure de la ville. On connaît par les auteurs de l'époque l'ampleur des destructions de la conquête et parfois - paradoxalement - la nostalgie de la ville arabe : *«… plus d'ombre dans les rues, plus de cafés, les trois-quarts des mais détruites et remplacées par des bâtisses européennes ; d'immenses casernes, des rues de colonies ; au lieu de la vie arabe, la vie des camps…. ce que la guerre a commencé, la paix l'achève...* » (Fromentin, 1859, p.150).

3.1. Blida précoloniale française

a- La fondation de la ville

Blida est née d'une convergence d'intérêts, sa création en 1535 étant le résultat d'une collaboration entre l'autorité politico-militaire centralisée, les Turcs, et l'influence religieuse incarnée par un marabout local, Sidi Ahmed el Kebir. Cette alliance symbolisait le soutien apporté au Maghreb central par des personnalités religieuses spécifiques de la Régence, qui s'opposaient à l'autorité des chefs tribaux de la région (Deluz-Labruyère, 1988). L'installation d'un groupe de Mores-Andalous expulsés d'Espagne par la Reconquista, sous la protection du Pacha Kheir-Eddine, a également contribué de manière significative à cette dynamique. Leur rôle en tant que constructeurs et l'impact de leurs projets d'irrigation sur le paysage de la ville ont joué un rôle crucial, laissant une impression indélébile sur la structure de Blida.

Outre son objectif religieux consistant à se rassembler autour de la mosquée, Blida a été créée avec une mission précise en tête : représenter l'autorité centralisée de Mitidja auprès des tribus locales, assurer l'ordre, faciliter la collecte des impôts et servir de lien entre Alger et le Beylik de Titteri (Lacoste, Nouschi, Prenant, 1960). À l'origine, elle servait de bastion militaire et de ville de garnison, mais l'attrait de ses jardins d'agrumes en a fini par en faire une destination de loisirs pour les représentants du gouvernement.

b- L'édification de la ville

En 1535, à l'emplacement de l'actuelle Blida, une petite colonie est fondée, habitée par une partie de la communauté d'Ouled Soltane, qui fait partie de la tribu Beni Khelil, originaire des plaines. Il semble que l'Ouled Soltane ait cédé la partie sud du cône de rejet

de l'Oued el Kebir aux Andalous, formant ce que l'on appelle aujourd'hui la « haute Blida », située à peu près au-dessus de l'actuelle rue Belkarim Kaddour. L'espace alloué était entouré d'une fortification composée d'un mur en pisé et des murs solides des habitations construites à la périphérie. Cette fortification a été reculée une ou deux fois, enveloppant le village de Hadjar Sidi Ali, jusqu'à atteindre une longueur de 1 609 mètres (Trumelet, 1887). Elle comportait un accès réservé à la citadelle et 5 entrées, qui donnaient sur des sentiers muletiers : la route d'Alger « Bab Dzaïr », la route de Titteri « Bab er Rabah », vers une communauté religieuse du nord de la ville, ou la ville s'ouvrait sur des orangeraies « Bab Zaouïa », vers les cimetières « Bab el Kebah », et enfin l'accès sur l'esplanade du marché du samedi « Bab es Sebt » (figure 52).

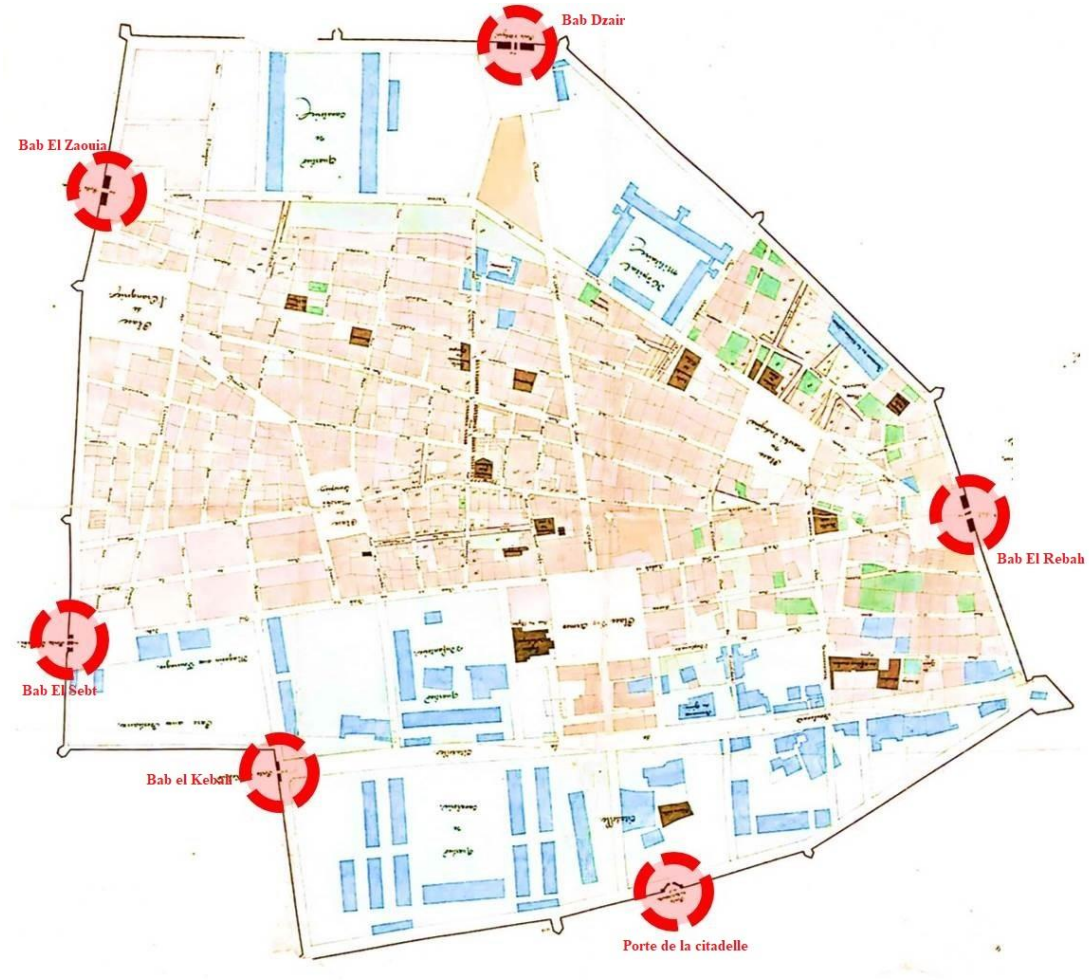


Figure 52. Position des portes de la ville sur le plan cadastral de 1852. Source : Plan cadastrale Blida, BN

Une citadelle est construite au sud-ouest du centre urbain, pouvant accueillir environ 500 janissaires. En conséquence, une zone urbaine est délimitée et structurée pour remplir son rôle politico-militaire. L'emplacement choisi résulte de deux raisons principales : il a influencé l'aménagement de la ville et a permis la mise en place d'une zone irriguée. Le cône d'éjection d'Oued el Kebir a fourni un terrain sec et perméable propice à la construction, à l'abri de la plaine inondable ; la ville a donc adopté une forme incurvée et

a obtenu son caractère distinctif de ville « en éventail ». La faible pente, d'environ 3 %, a facilité le drainage et l'utilisation efficaces de l'eau à des fins d'irrigation « *Toutes les villes précoloniales d'Algérie - Alger aussi bien que Constantine, Tlemcen, Mostaganem, Miliana, Médéa, Blida. - sont assises au cœur d'un terroir particulièrement favorisé par les conditions naturelles, notamment quant aux possibilités d'irrigation, qui constitue la pièce maîtresse de leur bien foncier et est consacré aux vergers et aux jardins* » (Prenant, 1971, p.220)

Les Andalous entreprissent d'importants efforts pour améliorer la productivité agricole de la ville. Réputés pour leur expertise en matière d'irrigation, ils ont d'abord dévié le cours de l'Oued el Kebir vers l'ouest, modifiant son flux initial vers le nord et divisant l'intramuros. Cette action a protégé Blida des inondations soudaines et destructrices, permettant d'occuper une zone auparavant inutilisable en remplissant le lit de la rivière. Utilisant habilement la pente du terrain, ils ont construit un système complexe de réservoirs et de canaux d'irrigation, redirigeant les eaux de l'Oued el Kebir vers la base de la fortification nord. Une initiative similaire a été menée dans l'est, en commençant par la rivière Beni Azza, établissant ainsi la zone irriguée de Blida qui, ornée d'orangeraies, a valu à la ville la réputation de « ville oasis » et lui a conféré la configuration caractéristique « en forme de gant » qu'elle conserve encore aujourd'hui. La production agricole de ces jardins a contribué de manière significative à la prospérité de la ville, servant de source de produits non seulement à Blida mais également à Alger.

c- Les éléments structurants du noyau urbain

Les traits morphologiques de la ville de Blida sont associés à son site, sa fonction politico-militaire, aux éléments constituants (rempart, casbah). Cependant, la dimension religieuse demeure très essentielle dans sa constitution, et influence considérablement l'espace urbain blidéen. La restauration approximative du tracé urbain de Blida, en vue du réseau complexe de rues et de la configuration urbaine, met clairement en évidence les caractéristiques d'une ville islamique (Chevallier, 1979). Il n'est pas question de retracer la structure urbaine d'origine, mais d'en discerner l'essence grâce aux croquis et plans (figures 53 et 54) réalisés par le Génie militaire français en début de colonisation, réalisés lors de l'installation et la mise en place des voies militaires.

Les rues principale ainsi que secondaires sont sinueuses, et favorisant l'intimité communautaire. La topographie du cône ainsi que le passage du lit de l'Oued el Kebir dictent un tracé radial. Les deux axes principaux de la ville guident le flux vers les quatre portes principales, lignés nord/sud (rue er Rabah Djoughlali), et est/ouest en disposition angulaire de l'ex rue Kouloughlis (rue Belkaïm Kaddour), et la rue du Grand Café (rue Ezzroug-Ezzraïmi).

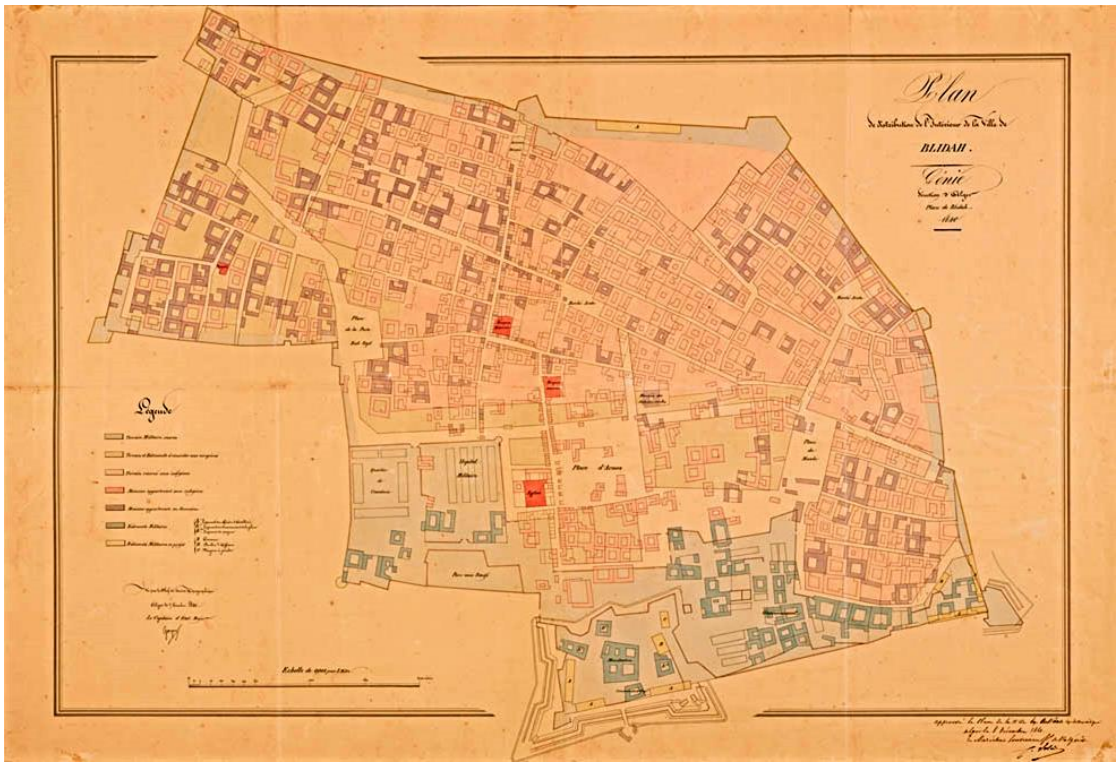


Figure 53. Plan de 1840 établi par le Génie militaire français. Source : BNA

La position des quelques places dans le tissu urbain est liée étroitement à leurs fonctions. La place principale de la ville est située en périphérie par rapport au tissu, elle juxtapose la mosquée principale, un hammam et des équipements de vie communs tels qu'un four commun et un fondouk destinés aux visiteurs passagers. De cette place, on entre dans le souk (marché arabe), les rues commerçantes animées de la ville. On note également la création d'une autre place extramuros, réservée pour le marché hebdomadaire des bestiaux à proximité de Bab Es-Sebt. Cette décision a probablement été prise non seulement pour limiter l'afflux d'étrangers dans la ville, mais également pour des raisons de commodité et pour atténuer les perturbations liées à de telles activités commerciales (figure 53).

La première mosquée et un hammam, aujourd'hui disparus, ont été érigés par Pacha Kheïir-Eddine, et ont été construits près de l'actuelle place du 1er novembre. Par la suite, trois autres mosquées ont été disséminées dans une zone relativement compacte s'étendant de Bab el Kebour à l'ouest à Bab Dzaïr à l'est, formant ainsi le cœur animé de la ville. Actuellement, deux de ces mosquées sont toujours nichées dans la ville historique : Sidi Mohamed Ben Saddoun, rue Belkaïm Kaddour (ancienne rue des Kouloughlis), et Et Terk, rue Ezzroug-Essraïmi (ancienne rue du Grand Café).

Distinguées par leurs minarets imposants, les mosquées constituent des points de repère religieux et urbain. Ils sont traditionnellement associés à des hammams, et fonctionnent également comme des centres sociaux, à l'instar du souk qui borde certaines artères du district central.

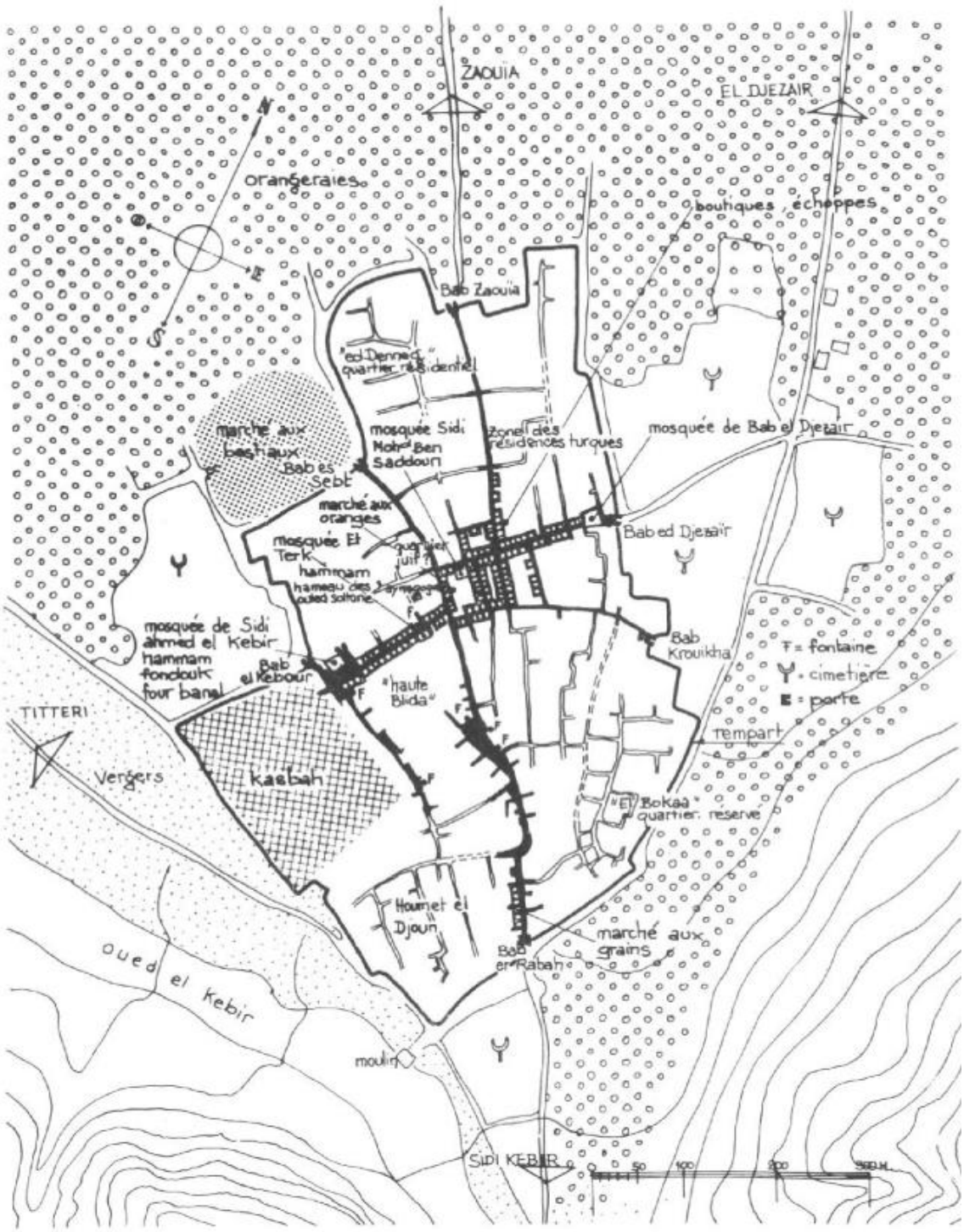


Figure 54. Blida, ville précoloniale. Source : (Deluz-Labruyère, 1988, p28).

Les activités commerciales et artisanales sont stratégiquement organisées le long des rues spécialisées constituant le souk, englobant la zone située entre la place de la mosquée Sidi Ahmed el Kebir et Bab Dzaïr : de la rue des orfèvres à la rue des tisserands, et de la rue des charpentiers à la rue de la menuiserie (figure 54). En outre, divers marchés tels que le marché aux oranges de la rue Abdallah Chouiet et le marché aux céréales de la rue Er Rabah Djoughlali ont été créés (Trumelet, 1887). Les ruelles étroites sont bordées de petites boutiques, les petits stands d'artisans sont organisés par des corporations. Cette agitation quotidienne considérablement s’intensifie les jours de marché, attirant non

seulement les habitants mais aussi des habitants d'Alger, de Titteri et des douars environnants. Les principales artères de la ville citées précédemment canalisent le flux des étrangers vers le souk, préservant ainsi l'intimité des habitants de la ville.
Aux alentours de la ville s'étendaient des jardins du fahs de Blida, en particulier une orangeraie évaluée à plus de 400 hectares (J. Franc, 1928, p.58). Il n'existe que très peu de maisons en extramuros, construites en maçonnerie ou en pisé (Rozet, 1833, p.200). Par contre, on note la présence de maisons de campagne construites dans les jardins d'orangers par les riches fonctionnaires de la Régence (Trumelet, 1887).

Au centre se trouve un quartier résidentiel autour de la rue du Bey (rue Amirouche) présentant un mélange de petits palais et de maisons modestes, ainsi que des bâtiments publics tels que le Hakouma[13] et Dar el Kadi, reflétant le pouvoir limité de la caste dominante de la ville. Le principal centre du pouvoir quant à lui est situé près de la mosquée Sidi Ahmed el Kebir, à l'intersection des principaux axes. On cite les deux autres quartiers de la Haute-Blida décrits dans l'ouvrage de Trumelet (1887) : le quartier « Hammam Em-M'zalet [14]» qui jouxtait le quartier réservé, et, au sud-ouest, le quartier Houmet el Djoun. Enfin, au nord, entre Bab es Sebt et Bab Zaouïa, s'étendait un quartier assez riche, plus récent et plus aéré : le quartier Ed Denneg.

Cette reconstruction de la ville précoloniale, basée sur des ouvrages historiques et des textes de colonisation, donne un aperçu de son organisation interne qui ressemble au modèle de ville musulmane traditionnel d'Afrique du Nord. Le quartier central de la ville, avec ses souks, ses monuments et ses grandes demeures, entouré de quartiers à densité décroissante et d'espaces plus ouverts vers la périphérie (Lowy, 1975).

Entre le XVIIe et le XIXe siècle, Blida subit de nombreux tremblements de terre, dont le plus grave s'est produit en 1825[15], tuant la moitié de la population (Trumelet, 1887). La ville n'est que partiellement effondrée avant l'occupation française (Deluz-Labruyère, 1998). Avant la colonisation française et le dernier tremblement de terre, qui ont considérablement modifié la ville, la structure urbaine de Blida facilitait les échanges internes tout en protégeant la société des influences extérieures. Elle symbolisait l'identité islamique de la communauté et reflétait la dynamique du pouvoir au sein de la structure sociale, révélatrice de la domination turque au Maghreb central.

[13] Hakouma: palais du gouverneur ou vivait Le Hakem, personnalité principale de la ville, turc.
[14] Hammam em M'zalet: « bain des indigents ». Au sens litteral «des depouilles ». Houmet el Djoun:Houmet fait référence à la communauté, « Djoun » n'a pu étre traduit. Ed Denneg, qui est un quartier nord proche du rempart, pourrait signifier « dont le regard porte vers l'extérieur »
[15] La population de Blida, environ 7000 personnes avant le tremblement de terre de 1825 qui tua presque la moitié des habitants de la ville.

3.2. Blida coloniale française

a- Le contexte de la colonisation

La conquête de Blida, une ville importante de la Régence, était un objectif clé de la colonisation, considérée comme capitale de la Mitidja, un point central sur la route du Titteri, et un emplacement important pour l'expansion sur les territoires de la plaine. L'appropriation de l'espace urbain lors de la colonisation est étroitement liée à l'incertitude quant au statut de l'Algérie. L'hésitation initiale quant à la réussite de la conquête a conduit une stratégie d'occupation d'espaces développés préexistants à l'instar de Blida et d'autres villes algériennes. Les batailles persistantes ont fait craindre une

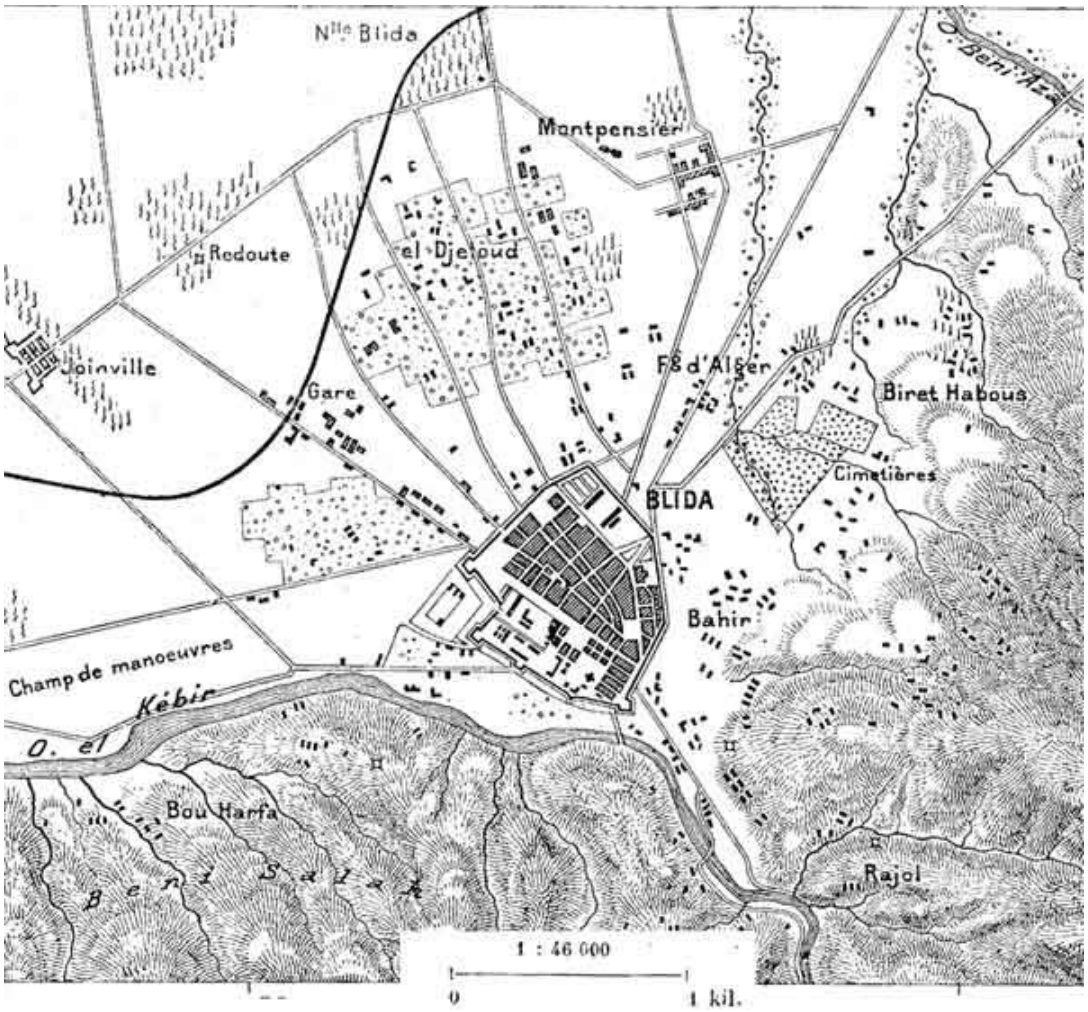


Figure 55. Les environs de Blida en 1885. Source : gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

éventuelle résurgence, ce qui a entraîné une protection militaire supplémentaire. L'état de la ville suite à la dévastation causée par le tremblement de terre de 1825, et le délissage des espaces intramuros dotés d'attributs constructifs satisfaisants, dans le contexte de l'exode provoqué par les attaques militaires successives, sont des facteurs qui facilitent l'occupation initiale par l'armée, puis par la communauté européenne, ce qui a entraîné des actions brutales dans le paysage urbain. Cette approche a permis également à l'armée française de prendre le contrôle de terres urbanisables de premier ordre, contrôlant ainsi la croissance. En 1839, Blida est occupée définitivement et devient une ville de garnison. Le noyau de Blida contrôle l'expansion urbaine, fortement structurée en éventail en

continuité des principales artères et routes qui rayonnent le cône (figure 55). L'urbanisation s'est étendue vers le nord et l'ouest à partir du triangle urbain initial jusqu'à la fin du dix-neuvième siècle, où les quartiers résidentiels et les équipements publics ont proliféré dans l'orangeraie environnante. Des installations militaires ont été entreprises durant les 9 premières années à savoir, deux forts Koudiet Mimich et Koudiet el Misraoui au sud en 1836. Dans la meme année, le blockhaus de Dalmatie (Ouled Yaïch) est érigé à l'est, devenu un centre urbain en 1844. On note également l'édification en 1838 du camp supérieur et le camp inférieur au nord-est et nord-ouest, devenus plus tard en 1843 les centres urbains de Joinville (Zabana) et de Montpensier (Ben Boulaid).

b- Urbanisme militaire et espace urbain : La restructuration

Les premières mesures prises dans la ville sont d'ordre militaire. Les objectifs sont divers et les raisons complexes : principalement, renforcer la défense et la gouvernance de la ville, tout en démontrant l'autorité du colonisateur en imposant son système ; en outre, créer un cadre ressemblant à la France pour les habitants appelés à résider dans la nouvelle colonie, une entreprise que seule l'armée pouvait mener à bien au cours de ces premières étapes de conquête.

Lors de la prise de la citadelle, convertie en fortification semblable à une structure « Vauban », des efforts sont déployés pour renforcer le rempart endommagé par un mur de pierre robuste, dépassant de manière significative les limites d'origine. Les espaces libres, provenant en grande partie des cimetières, sont utilisés à des fins militaires : casernes, dépôts, hôpital militaire, etc. L'aspect militaire de Blida, s'est considérablement réaffirmé et développé. Simultanément, les militaires entreprissent de réorganiser le paysage urbain en damier, avec adaptation des rues sinueuses de la ville turque (Quentin, 1846).

Le plus ancien plan à présent (figure 53), établi par l'armée, illustre l'état original de la ville et superpose la vision de la nouvelle conformation. Une comparaison entre les deux implantations révèle l'ampleur des démolitions et met en lumière l'impression initiale de ville de Blida. L'une des formes d'urbanisme militaire colonisateur, est le plan en damier (tradition romaine) ainsi que l'aménagement de places (principalement la place d'arme), afin d'imposer aux vaincus le respect du vainqueur (Quentin, 1846).

Les principaux axes, à savoir la rue d'Alger (rue des Martyrs), la rue Tirman (rue Djoughlali) et le boulevard Trumelet (rue Laïchi), sont recoupés à la place d'Armes (place 1er novembre), un espace carré, englobant l'emplacement de la mosquée Sidi Ahmed el Kebir, découpant ainsi le tissu sans prendre en considération le tracé précédent.

Les voies secondaires sont directement reliées à la place d'Armes, délimitent des ilots carrés ou rectangulaires. Pour le reste de la ville, et à l'inverse de la disposition précédente, les itinéraires secondaires, bien qu'orthogonaux, respectent généralement l'ancien schéma en éventail, tout en s'inscrivant dans les alignements. Plusieurs impasses ont été conservées, mais les rues tortueuses ont été redressées au profit d'un tracé plus

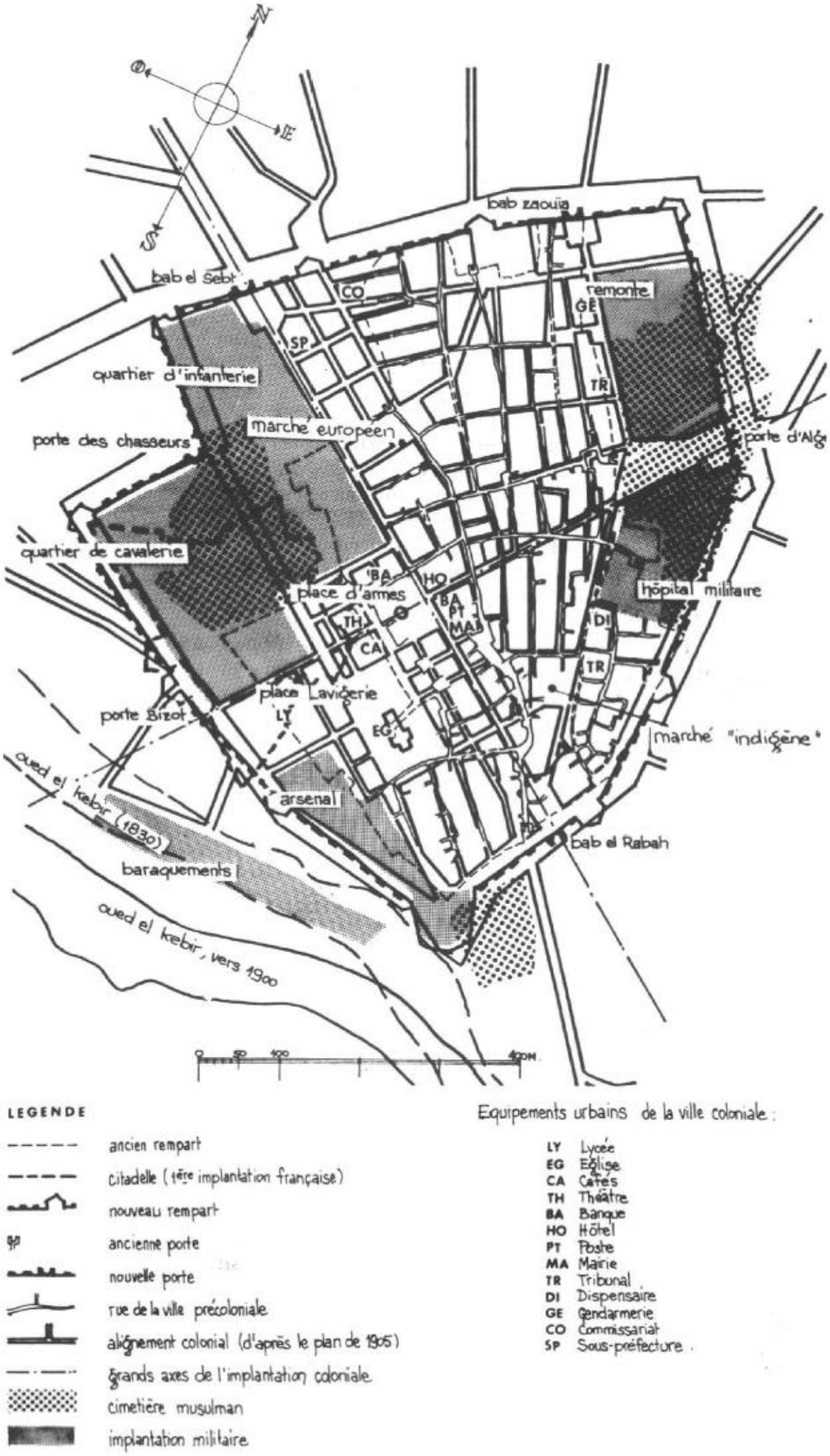


Figure 56. L'installation des structures urbaines coloniales. Source : Source : (Deluz-Labruyère, 1988)

direct. Outre la place d'Armes, initialement réservée, comme son nom l'indique, à la parade militaire et qui constitue l'espace convergent de Blida, de nombreuses autres places sont créées. Le dédoublement de l'espace urbain est marqué par les deux places du

marché, en référence aux marchés européen au nord, et le marché arabe au sud. Un peu plus tard, la place Lavigerie (place Ben Mrah), à proximité de la place d'Armes, où est érigée l'église monumentale de la ville.

Les opérations, planifiées lors du début de la colonisation, durent plusieurs années, ou la vie civile remplace l'occupation militaire en partie, engendrant une diminution significative de l'habitat traditionnel au profit d'espaces européens dépaysant (Labruyere, 1988). Cependant, l'établissement du pouvoir colonial était également accompagné d'un modèle administratif, économique et culturel qui nécessitait une infrastructure complète, à laquelle s'ajoutait une autre infrastructure nécessaire à la gestion de la population du pays. L'un des premiers gestes des colonisateurs est la consécration au culte catholique de la principale mosquée de la ville, la plus sacrée : « *J'ai pensé, comme je le devais, à donner à ses habitants (de Blida) les moyens si généralement désirés de pouvoir remplir les exercices de leur religion et j'ai affecté au culte catholique une mosquée, la plus belle de la ville, et heureusement placée dans les limites de la ville française. Je donne des ordres pour que le minaret soit immédiatement surmonté d'une croix qui, annonçant le règne de la religion chrétienne, consacre mieux que tout autre chose, l'occupation définitive* » (Comte Valée, 1841). En 1863, la ville est dotée d'une église, alors que la mosquée qui en avait tenu lieu était démolie pour permettre l'aménagement définitif de la place d'Armes[16].

La ville civile française est installée à l'ouest, à l'abri de la citadelle, dans une zone que le remblaiement de l'ancien lit de l'oued el Kebir a fragilisée et où les destructions du tremblement de terre de 1825 sont importantes, puis, elle s'étend vers le nord et le nord-est, en démolissant une partie de l'ancienne ville, où la trame en damier pouvait se déployer sans obstacle. Si la percée de la rue d'Alger (des Martyrs) bordée d'immeubles nouveaux à 2 ou 3 étages constitue la rue principale de la ville française, avec le boulevard Trumelet (rue Laïchi), c'est plutôt la vieille rue des Kouloughlis (rue Belkaim Kaddour), plus au nord, qui limitait le quartier réservé aux autochtones, où se trouvent les deux vieilles mosquées, vestiges de la ville turque.

La place d'Armes est le centre du pouvoir européen. Entourée d'immeubles à arcades, plantée d'arbres, de nombreux cafés y installent leurs terrasses, un théâtre y est construit, ainsi que les premiers bâtiments publics de la ville : mairie, poste, banque, symbolisant un ordre administratif et économique nouveau. Les façades à l'architecture du XIXème siècle françaises remplacent peu à peu le long des rues goudronnées les façades aveugles des maisons mauresques. Deux tribunaux, un commissariat de police, une gendarmerie complètent l'infrastructure administrative et policière de la ville. Parallèlement, pendant quelques années, la Hakouma subsiste, maïs le poste de Hakem, de plus en plus symbolique, est supprimé en 1855, consacrant l'unification de l'administration. En ce qui concerne la justice, la Mahakma et le poste de Cadi[17] sont maintenus avec peu de prérogatives. On note la capitulation des bâtiments réservés au culte musulman comme les démolitions de mosquées dans la ville ou leur affectation au culte catholique ; la grande mosquée de Blida servit même d'entrepôt.

---

[16] Église démolie après l'Indépendance et sur l'emplacement de laquelle se construit la plus grande mosquée de la ville.

[17] Lieu ou s'exerce la justice musulmane et son administrateur

La forme d'appropriation de l'espace urbain n'a pas laissé subsister une médina à côté d'une ville française nouvelle comme ce fut le cas pour d'autres villes au Maghreb. Ce n'est donc pas dans ce sens que l'on peut parler, à Blida, de « double ville », mais plutôt dans celui d'aménagements révélateurs de formes de vie différentes, en même temps que d'une situation ségrégative qui n'existait pas sous cette forme dans la ville turque.

La comparaison des différents plans de Blida durant la période coloniale montre des extensions successives du périmètre urbanisé, une croissance lente et irrégulière jusqu'à la deuxième guerre mondiale. La croissance spatiale s'est faite essentiellement en extra-muros, structurée par des éléments nouveaux mis en place par la colonisation ainsi que par des éléments issus de l'organisation précoloniale, comme le tracé des anciennes seguias. Il s'agit d'une reproduction élargie de la structure du noyau, remodelé en « quartiers européens » et en « quartiers indigènes ».

Au plus loin que l'on remonte dans l'histoire, Blida est une ville de garnison. La conquête française confirme Blida dans sa fonction. Elle devient le siège du l er régiment de tirailleurs et elle le restera jusqu'à l'Indépendance. Sans insister sur le rôle économique de l'armée, ni revenir sur les effets de l'urbanisme militaire que nous avons développés précédemment, nous voudrions rappeler l'étendue et les conséquences de la présence militaire sur l'espace blidéen. L'armée française a une emprise matérielle sur la ville beaucoup plus forte que celle des turcs. Elle occupe une grande partie de sa surface, décida des tracés principaux, et modifie sa structure. Sur les 41 hectares de l'intramuros, 20 hectares, presque la moitié, sont constitués par des terrains ou des bâtiments militaires. L'élargissement du rempart au détriment des cimetières périphériques aux portes de la ville, a surtout profité à l'armée ; l'emprise des quartiers d'habitation a assez peu augmenté et la ville « française » s'est étendue au détriment de la ville « arabe ». L'armée a conservé durant toute la période coloniale l'intégralité des bâtiments qu'elle occupait au début de la conquête, après la démolition de la citadelle, prenant la vieille ville en tenaille et bloquant son extension vers au sud-ouest, par l'ensemble des casernes et la manutention, et vers le nord-est, par le dépôt de remonte et l'hôpital militaire.

Les villes sont d'abord des centres administratifs avant d'être des centres économiques. Presque tous ces services sont localisés dans la « vieille ville » où des aménagements successifs les adaptent à la multiplication de la demande. Cependant, dans le contexte de développement qui a caractérisé Blida après la deuxième guerre mondiale, la nécessité d'un desserrement du centre s'est imposée et le transfert partiel de la fonction administrative est décidé. Des locaux destinés à abriter la sous-préfecture, la poste, le commissariat central, l'Hôtel des Finances, sont construits au niveau du boulevard périphérique nord, créant un petit ensemble administratif à proximité immédiate du centre. On note dès 1845, un certain nombre d'écoles de quartier sont ouvertes dans la ville, ainsi qu'un collège secondaire.

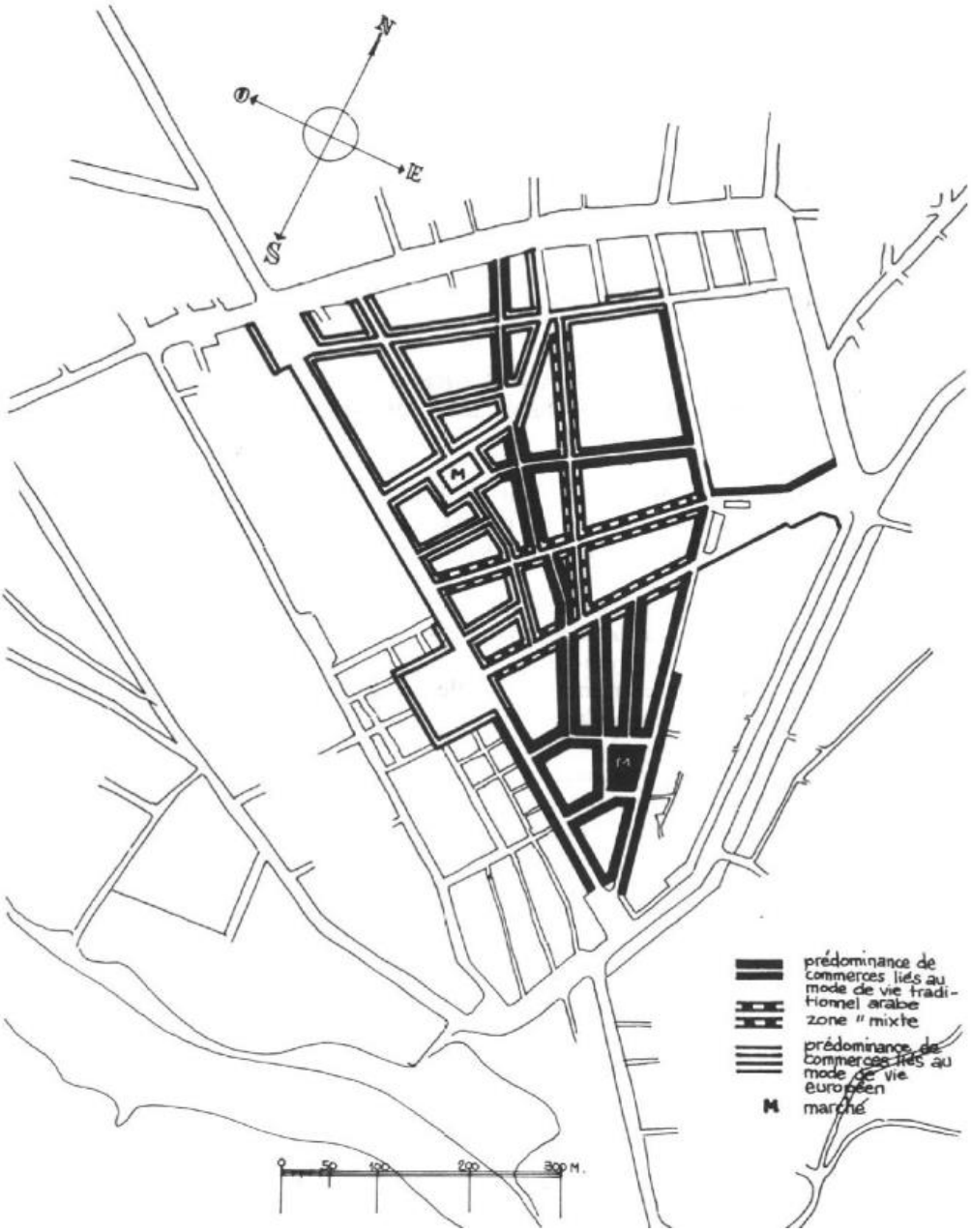


Figure 57. Blida : Répartition des commerces à l'époque coloniale. Source : Source : (Deluz-Labruyère, 1988)

Dès la fin de la guerre en Mitidja, en 1842, les activités commerciales de Blida reprennent et se développent rapidement, aussi bien sur le marché hebdomadaire qu'à l'intérieur de la ville (figure 57). Les besoins de la population européenne, de la ville elle-même et des nouveaux villages de colonisation environnants, provoquent une grande expansion du commerce[18], malgré le repliement et la paupérisation de la population algérienne, mais en modifient complètement la structure et l'organisation. Plus de 50% de l'ensemble des commerces montre bien le rôle de centre commercial régional de la ville. Outre les deux marchés d'alimentation, des axes ou des points spécialisés apparaissent en continuité avec

[18] Le relevé le plus complet du commerce pendant la période coloniale nous est fourni par T.Socard du projet d'urbanisme de 1953.

les rues commerçantes héritées : par exemple, pour l'habillement, les rues comprises entre les deux marchés ; pour l'hôtellerie, la place d'Armes (place du 1 er Novembre), qui devient le lieu de rencontre et de loisirs de la population blidéenne européenne (Labruyère, 1976).

c- Premières extensions extramuros

Deux extensions majeures en continuité avec le tissu précolonial sont à mentionner. Le quartier de la Zaouïa, le seul quartier arabe au nord de la ville, est situé au niveau de Bab Zaouïa, sur le chemin de la Zaouïa de Sidi Medjebeur. Il est considéré comme le refuge d'une partie de la population blidéenne après le tremblement de terre de 1825, puis pendant la colonisation de la ville, il se densifia rapidement. Il est formé d'un ensemble de petites maisons à cour intérieure, séparées par des jardins. A l'origine, il s'est construit autour d'une grosse tannerie. La propriété algérienne diminue progressivement face à la spéculation immobilière[19]. Le deuxième quartier des Ouled Soltane, du nom de l'une des tribus locales, au sud-est, est formé de plusieurs noyaux assez compacts de maisons à patio, s'est rapidement développé, matérialisant l'exclusion de la ville des blidéens d'origine, qui reconstituent de l'autre côté des remparts, une partie de la ville dont ils ont été chassés. Limité vers l'est par le nouveau cimetière européen et par un résidu de cimetière musulman, à l'ouest par le quartier des Moulins, le quartier des Ouled Soltane, encore appelé « Douiret », semble s'être développé en relation avec la première route d'Alger par le piémont et Bab er Rabah (Deluz-Labruyère, 1988).

Certaines composantes de la ville turque comme les remparts et du réseau d'irrigation ont marqué la ville de façon durable et orienté son extension. Les remparts qui fermaient la ville primitive, bien qu'ils soient reconstruits et leur tracé élargi, à l'est et à l'ouest surtout, par l'armée française, nous semblent appartenir par l'histoire à la ville turque. Percés de 6 portes qui ne sont plus que symboliques, mais qui limitent les accès au centre, ils ne sont abattus qu'en 1926 : plus de 80 ans après l'installation française. Les boulevards de ceinture qui suivent leur dessin délimitent la « vieille ville» de façon aussi nette et aussi catégorique que des murailles et commandent tout le réseau de rues des quartiers périphériques. Le système complexe de séguias, de bassins, de fontaines, aménagé par les Mores-Andalous, qui traverse la ville pour irriguer les jardins d'orangers, sont repris et même développés par les colons pendant longtemps, de grands bassins avec jeux d'eau ont été l'un des charmes de Blida. Par la suite, ils sont peu à peu abandonnés et sont recouverts et convertis en réseau d'égouts dans la ville. Ils sont devenus les axes de circulation des quartiers nord, fixant une forme d'urbanisation linéaire. La transformation des séguias en rues montre bien l'interaction des différents éléments qui structurent la ville ainsi que le site en tant que support déterminant de la forme urbaine, créant une continuité entre la ville précoloniale et la ville coloniale (Deluz-Labruyère, 1988).

[19] D'une façon générale, par les besoins de l'extension urbaine, les terrains proches de la ville ont acquis une plus-value qui a incité à la vente les propriétaires et fait reculer vers le nord la zone agricole, tout en laissant subsister des parcelles cultivées (vergers, maraichage..) entre les lotissements.

Figure 58. Image aérienne de la ville de Blida prise en 1935. Source : fond privé

Jusqu'après la 2ème guerre mondiale, la croissance de Blida s'est faite à partir du noyau initial (figure 58). Les contraintes du site, conjuguées à l'influence du réseau de circulation et les installations militaires, ont orienté la croissance de la ville vers la plaine, de façon impérative. La structure urbaine porte l'empreinte de la ville précoloniale dans ses tracés. Les particularités de l'organisation spatiale blidéenne, caractérisée par la coexistence d'un noyau urbain compact à partir duquel rayonne un réseau dense de voies de communication et d'un espace aéré de jardins, ont fait que deux modes de croissance se sont superposés : une croissance linéaire, le long des voies de communication, avec comme axe majeur l'avenue de la Gare ; et une croissance en taches, par densification d'un tissu très lâche de maisons séparées par des parcelles de culture.

3.3.Blida Postcoloniale : Etat des lieux

Après l'indépendance de l'Algérie en 1962, Blida a connu un exode rural important. Cette progression démographique a généré une poussée urbaine et a provoqué le développement incontrôlé de constructions illicites dans le tissu urbain dont le noyau ancien. Après l'indépendance, Blida a connu un vide d'urbanisation comme toutes les villes algériennes. L'absence des outils et plans d'urbanisme efficaces ont conduit à une saturation urbaine notable résultant une urbanisation incontrôlée au profit des terrains agricoles, parallèlement une dégradation du cadre bâti du noyau surpeuplé.

En 1975, des opérations de logement type collectif sont entreprises essentiellement à l'extérieur du noyau. A partir de 1977, et durant environ une décennie, la croissance urbaine a pris de l'ampleur vers le nord, par la mise en place de zones industrielles, ZHUN, des grands équipements, tandis qu'elle s'est propagé timidement vers le piémont.

Depuis plus de deux décennies, une mutation notable s'est produite dans les villes algériennes dont Blida avec l'avènement des promotions immobilières, principalement dans le secteur privé, qui ont influencé de manière significative le tissu urbain, et plus particulièrement les centres anciens dont la valeur du foncier est inégale.

4. Préparation cartographique et traitement des supports graphiques

La lecture et caractérisation morphologique du noyau urbain de Blida se base sur une série de plans. Notre recherche s'intéresse à trois phases historiques différentes, donc trois modes différents d'urbanisation de la ville. La période précoloniale est renseignée par les plans de 1840 et 1852. La période coloniale française est étudiée à travers les plans de 1852, 1916 et 1956 ; alors que la période postcoloniale est abordée par le seul plan disponible, celui de 2010, actualisé en 2022 à partir d'une enquête sur site et d'une image satellite récente.

4.1. Délimitation du périmètre

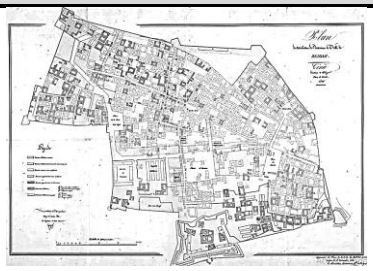
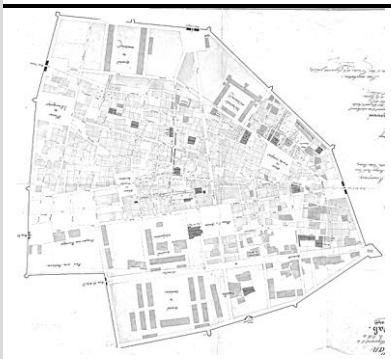
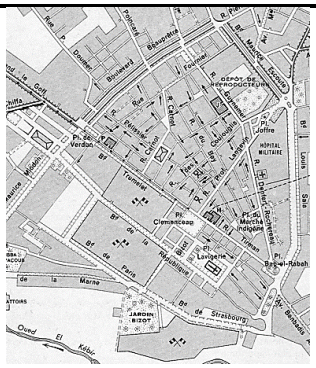
Les limites de la zone d'étude sont principalement basées sur le périmètre historique, qui se réfère au mur d'enceinte mentionné soit sur les premiers plans du génie militaire, et qui date de 1840, appuyé par le premier plan cadastral de 1852. La surface de ce périmètre avoisine les 52 ha. Ces limites ont été reprises sur les plans qui appartiennent aux trois périodes. Toute autre extension urbaine en dehors de ce périmètre n'entre pas dans le cadre de cette étude.

4.2. Traitement des supports graphiques

Des cartes à différentes échelles ont été obtenues auprès des archives, des fonds bibliothécaires, et du service d'urbanisme de la municipalité. Elles ont été reproduites et ensuite restituées en images binaires non compressées (*.tiff).

L'échelle de toutes les cartes est la même. On obtient des plans figure-sol, où les pixels noirs représentent les zones bâties, tandis que les pixels blancs représentent les vides urbains (Tableau 4). Ces plans sont utilisés pour examiner les caractéristiques fractales de la ville au cours des trois périodes étudiées.

Tableau 4.Supports graphiques utilisés dans la caractérisation morphologique du noyau de Blida. Source : Auteur

Date	Plan de référence	Plan des traces au sol
1840		
1852		
1916		
1952		
2022	Pos 1 actualisé	

5. Analyse fractale des données urbaines

Les résultats des calculs sont présentés en deux parties. Dans un premier temps, une approche globale du champ d'étude est discutée afin de déterminer les valeurs relatives à la dimension fractale sur trois périodes différentes en fonction des trois paramètres analysés - analyse radiale, dilatation et corrélation - tout en soulignant la relation entre la valeur de la dimension fractale et le contexte urbain/historique auquel elle se réfère. Seuls les résultats les plus pertinents sont présentés dans les tableaux 5 à 10.

5.1. Analyse fractale du plan précolonial hypothétique

La restitution hypothétique du parcellaire sur la base des relevés des officiers du Génie militaire ainsi que les plans cadastraux du noyau historique de Blida révèlent d'emblée la présence d'un centre très compact qui se réfère au noyau précolonial. On suppose encore que le centre était plus compact que ce qu'il a l'air sur cette restitution, si l'on se réfère aux descriptions de Trumlet (1887). Les calculs de la dimension fractale obtenus après l'analyse du tissu sont présents dans le tableau 5.

Tableau 5. Calcul de la dimension fractale (Radiale, Dilatation, Corrélation) du noyau précolonial hypothétique

Plan hypothétique durant la période ottomane	**D**	**Valeur**	**Ajustement**	**Confidence 95%**
	Radial R=1025	**1.976**	**0,999868**	**1,959 - 1,993**
	Radial R=4097	**1,962**	**0,999845**	**1,946 - 1,979**
	Radial R=8193	**1.921**	**0,998094**	**1,869 - 1,974**
	Dilatation	**1.880**	**0,998945**	**1,837 – 1,923**
	Correlation	**1.935**	**0,999787**	**1,914 - 1,957**

Bien que les analyses fractales radiales font bien ressortir les grandes discontinuités structurelles de l'agglomération, comme déjà observé dans les travaux antérieurs (Frankhauser, 2003), (Badariotti, 2006), on constate, lors l'analyse du noyau urbain de Blida à l'époque précoloniale, que le tissu présente une compacité et une homogénéité irréprochable avec des valeur de dimensions fractale radiale de (1.976, 1.962 et 1.921) de la petite fenêtre d'analyse jusqu'à celle qui englobe tout le tissu. La valeur de ε croissante n'a pas une grande incidence sur la dimension fractale. En effet, lorsque l'on étudie la courbe du comportement scalant pour l'ensemble du noyau urbain à cette époque (figure

59) avec un point de comptage localisé au barycentre, on observe très peu de ruptures (2) dans la décroissance de fractalité du centre vers la périphérie.

Le tableau 5 montre également que le noyau urbain de Blida à l'époque précoloniale présente un aspect connexe avec une dimension fractale Dd=1.88, qui s'agrège au bout de quelques itérations (8 itérations ce qui représente 8 m compte tenu de la résolution).

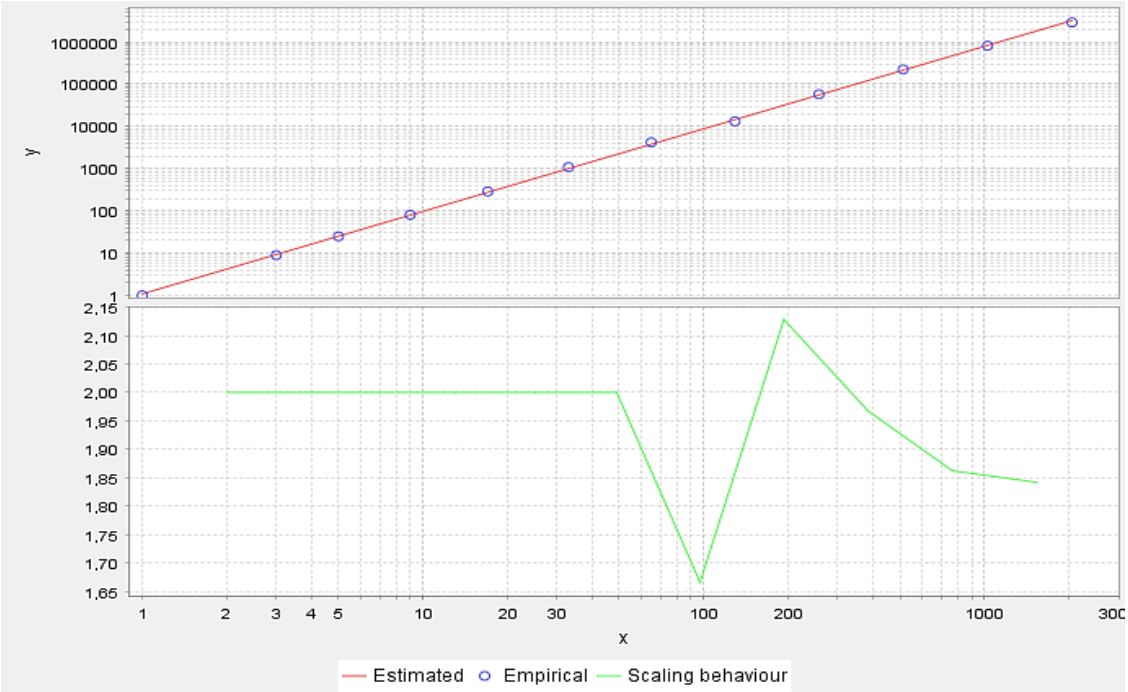


Figure 59. Courbe du comportement scalant de la période avant 1840. Source : Auteur

L'analyse de la corrélation montre bien que l'indicateur fractal permet d'illustrer l'homogénéité urbaine dans une plus large mesure que l'intensité de l'occupation spatiale : au noyau urbain, on rencontre des formes très homogènes, la plupart des objets pleins ayant une taille comparable et leur disposition étant assez régulière. Dans ce contexte, la notion d'homogénéité se rapporte à la distribution des pleins nous avons affaire à des formes très homogènes, la plupart des objets pleins ayant une taille comparable et leur disposition étant assez régulière, caractérisé par une rugosité égale, ce qui correspond à la conceptualisation des mesures de fractalité par Mandelbrot : «*les fractales promettent une nouvelle science, celle de la rugosité. […] j'ai trouvé dans les fractales l'objet fondamental de la rugosité, comme la sinusoïde est l'objet fondamental de la lumière et du son*» (2004, p64).

5.2. Analyse fractale diatonique globale du périmètre d'étude

En analysant les autres plans, on constante que l'analyse fractale décrit avec précision la morphologie urbaine, qui reste relativement dense de 1840 à 2022. En effet, la dimension fractale radiale Dr de l'ensemble de la zone d'étude est très élevée, autour de 1,9, comme le montre le tableau 6. Tout d'abord, à mesure que le rayon ε de l'étude augmente, la valeur de Dr diminue légèrement (1,912 – 1,908 – 1,876), (1,960 - 1,946 - 1,920), (1,894 - 1,886

- 1,844), (1,944 - 1,933 - 1,911), (1,959 - 1,936 - 1,907). Ce résultat indique une réduction de la surface urbanisée le long du rayon des fenêtres analysées ε. Ces résultats sont généralement acceptables en raison de la valeur élevée de leurs coefficients d'ajustement. La courbe théorique est en effet très proche de la courbe réelle de la surface urbanisée (figure 60). La délusion progressive mais minime se fait essentiellement vers les périphéries nord et sud. Elle représente les premières interventions urbaines françaises à la périphérie du noyau originel au profit des orangeraies, ce qui entraine une perte tout de meme minime d'homogénéité du tissu, et donc le gain d'irrégularité et de complexité, au fur et à mesure que l'on progresse vers ces zones périphériques.

Tableau 6. L'analyse radiale du périmètre d'étude selon trois rayon à travers les années : 1840, 1852, 1916, 1956, 2022. Source : Auteur

	Global plan	Radius (pixels) from	to	D_R	Ajustement	Confidence 95%
1840		**1**	**1025**	**1.912**	**0,998127**	**1.849 – 1.974**
		1	**4097**	**1.908**	**0.998971**	**1.867 – 1.948**
		1	**8193**	**1.876**	**0.998100**	**1.825 – 1.928**
1852		**1**	**1025**	**1.960**	**0.999749**	**1.937 - 1.984**
		1	**4097**	**1.946**	**0.999763**	**1.926 - 1.966**
		1	**8193**	**1.920**	**0.999082**	**1.883 - 1.956**
1916		**1**	**1025**	**1.894**	**0.998382**	**1,836 - 1,951**
		1	**4097**	**1.886**	**0.998812**	**1,842 - 1,929**
		1	**8193**	**1.844**	**0,997096**	**1,781 - 1,907**
1956		**1**	**1025**	**1.944**	**0.999415**	**1.909 - 1.980**
		1	**4097**	**1.933**	**0.999367**	**1.901 - 1.965**
		1	**8193**	**1.911**	**0.999112**	**1.875 - 1.947**
2022		**1**	**1025**	**1.959**	**0.999542**	**1.927 - 1.990**
		1	**4097**	**1.936**	**0.999502**	**1.907 - 1.964**
		1	**8193**	**1.907**	**0.998711**	**1.864 - 1.950**

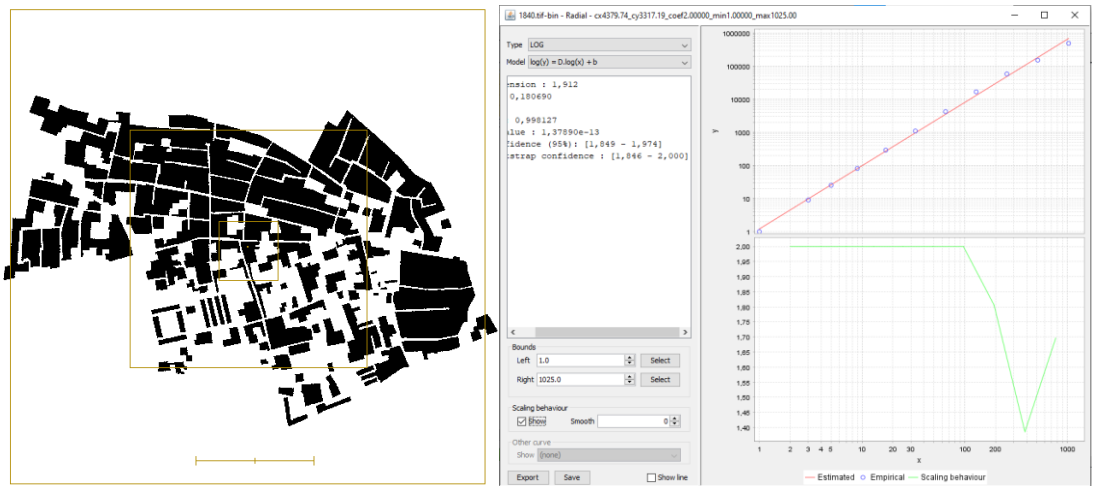
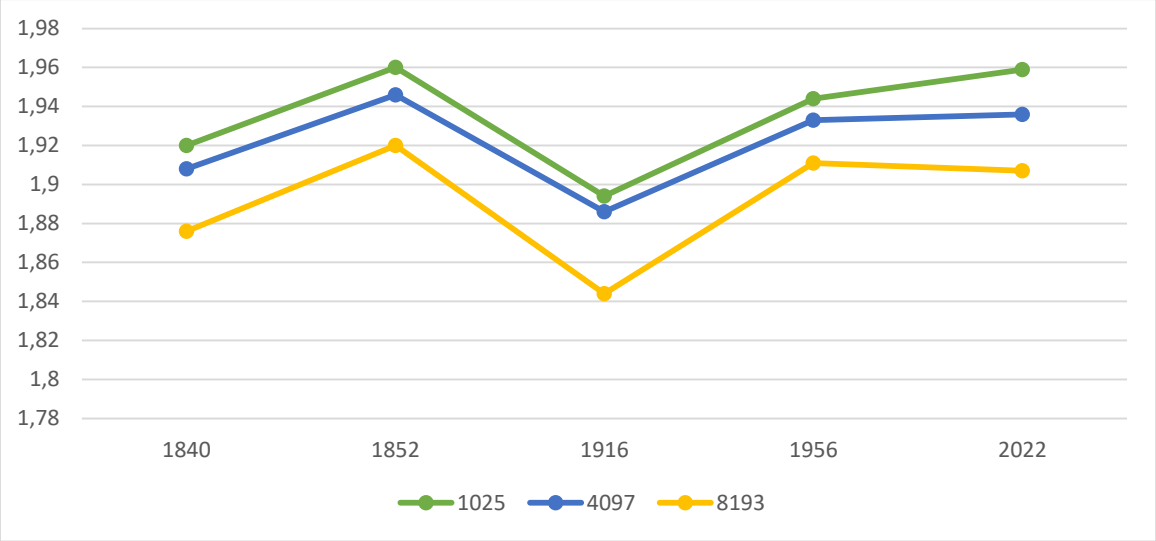


Figure 60. La courbe du comportement scalant du footprint de 1840. Source : Auteur

Les plans des traces au sol *footprint* révèlent une probable similitude dans certaines parties de ce noyau. L'analyse de dilatation effectuée sur le noyau urbain donne des résultats relativement importants. La dimension fractale Dd varie entre 1,811 et 1,845 sur les cinq plans étudiés, avec un bon coefficient d'ajustement qui dépasse 0,999022 à l'exception du plan de 1916, qui présente une Dd = 1.785 avec un coefficient d'ajustement de 0,998650 (tableau 7). Cette valeur est significative car le tissu inclus dans notre périmètre a connu peu de vides urbains au cours du temps, d'autant plus que le tracé urbain du noyau précolonial très compact influence significativement la valeur globale de Dd. L'analyse des corrélations démontre l'homogénéité du champ d'application. Elle a une valeur relativement constante dans le temps : 1,892 en 1840, 1,893 en 1852, 1,894 en 1956 et 1,901 en 2022. Les coefficients d'ajustement correspondants sont supérieurs à 0,999617 (tableau 7). Encore une fois, on tient à mentionner l'écart minime concernant la situation de la ville en 1916, dont la dimension Dc est de 1.848 avec un coefficient d'ajustement de 0,998970.



Graphique 1. Variation de la dimension fractale radiale selon trois fenêtres correspondantes à trois rayons d'analyse. Source : Auteur

Tableau 7. L'analyse de Dilatation et corrélation du périmètre d'étude. Source : Auteur

	Global plan	Dd/Dc	Dimension	Adjustment	Confidence 95%
1840		**Dilatation**	**1.811**	**0.998581**	**1.769 – 1.859**
		Correlation	**1,892**	**0,999494**	**1,860 - 1,924**
1852		**Dilatation**	**1.831**	**0.999022**	**1.791 - 1.872**
		Correlation	**1.893**	**0.999689**	**1.867 - 1.918**
1916		**Dilatation**	**1.785**	**0,998650**	**1,739 - 1,832**
		Correlation	**1.848**	**0,998970**	**1,804 - 1,893**
1956		**Dilatation**	**1.845**	**0.999182**	**1.807 - 1.882**
		Correlation	**1.894**	**0.999617**	**1.866 - 1.922**
2022		**Dilatation**	**1.844**	**0.999335**	**1.811 - 1.878**
		Correlation	**1.901**	**0.999749**	**1.879 - 1.924**

Afin de mener dans les détails notre investigation, la zone d'étude est divisée en trois zones homogènes (Planche 2) pour affiner les résultats liées à la forme distincte des tissus qui composent ce centre urbain au cours des trois périodes. L'étude locale de différentes zones urbaines permet de définir la dimension fractale propre à chaque tissu en fonction de ses spécificités urbaines et de son histoire : Zone centrale dont le substrat est précolonial (a), Zone de restructuration nord-française (b), et Zone de restructuration sud-française (c). Contrairement aux formes régulièrement réparties du noyau initial, les tissus de la périphérie (b) et (c) présentent une structure nettement plus hiérarchique. Le tissu est plus hétérogène de par la répartition du bâti concerne les extensions coloniales françaises initiales, qui, en fait, englobent un plus large éventail de masses et de vides, ainsi qu'une configuration plus irrégulière.

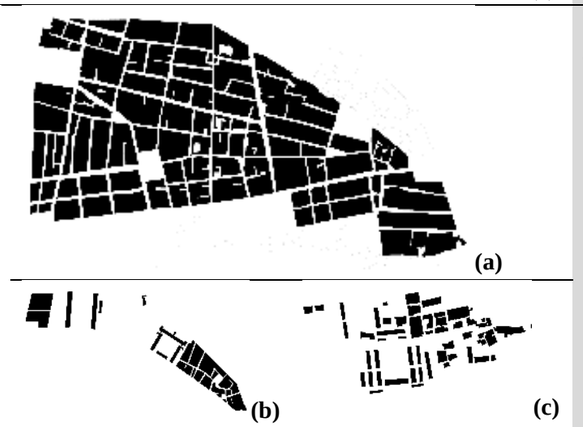
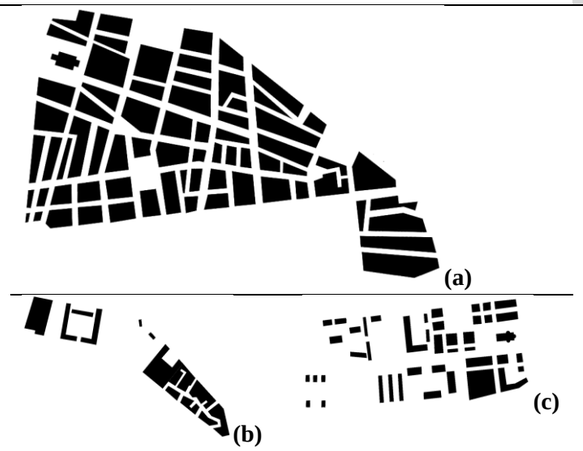
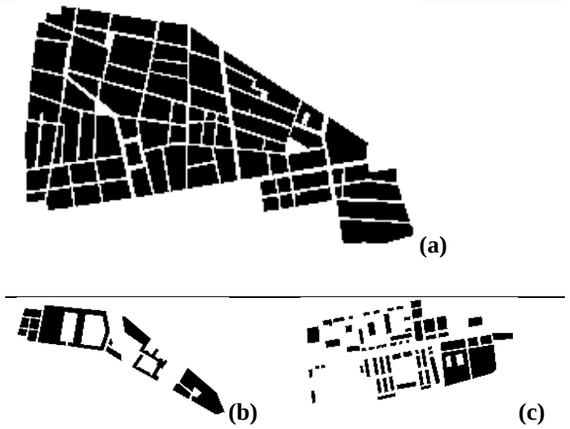
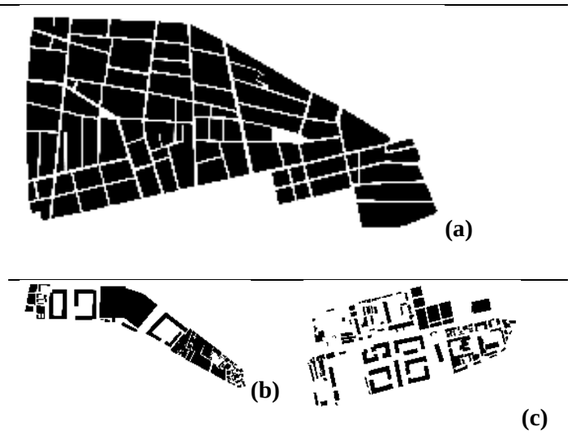
Année	Périmètre d'étude	Zones à analyser
1840		
1852		
1916		
1956		
2022		

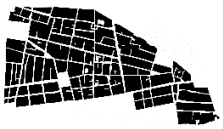
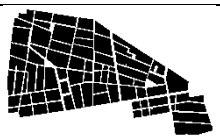
Planche 2. Découpage du périmètre d'étude en zone homogène. Source : Auteur

5.3. Analyse fractale diachronique par zone

a- Zone centrale précoloniale (a)

Cette zone présente un degré élevé de compacité. À quelques exceptions près, comme la densification des vides et les opérations minimales de réalignement effectuées sur certaines parties, le découpage des îlots sur les cinq plans correspondant aux trois périodes d'étude est presque identique. Outre son aspect sur le plan urbain, la partie centrale du noyau historique est homogène et compacte à travers les trois périodes précoloniale, coloniale et postcoloniale, comme en témoigne le comportement d'échelle, avec très peu de ruptures (2 à 3) dans la décroissance de fractalité du centre vers la périphérie (Figure 61). Les valeurs de Dr sont très grandes et presque identiques dans les différentes périodes, comprises entre 1,931 et 1,961, sauf pour 1916, ou sa valeur est 1.880, avec de très bons coefficients d'ajustement (Tableau 8).

Tableau 8. Résultats de l'analyse radiale, dilatation et corrélation de la zone (a) du périmètre d'étude. Source : Auteur

	Zone (a)	Dimension	N° pixels	D	Ajustement	Confidence 95%
1840		**Radial**	**4097**	**1.961**	**0,999767**	**1,940 - 1,983**
		Dilatation	**3180**	**1,800**	**0,997657**	**1,738 - 1,861**
		Correlation	**3180**	**1,896**	**0,999378**	**1,860 - 1,931**
1852		**Radial**	**4097**	**1.931**	**0.999515**	**1.902 - 1.959**
		Dilatation	**2670**	**1.868**	**0.998994**	**1.826 - 1.909**
		Correlation	**2670**	**1.920**	**0.999802**	**1.898 - 1.942**
1916		**Radial**	**4097**	**1,880**	**0,998582**	**1,826 - 1,933**
		Dilatation	**2310**	**1,764**	**0,998193**	**1,707 - 1,820**
		Correlation	**2310**	**1,851**	**0,998970**	**1,807 - 1,896**
1956		**Radial**	**4097**	**1.931**	**0.999152**	**1.894 - 1.969**
		Dilatation	**2620**	**1.874**	**0.999042**	**1.833 - 1.915**
		Correlation	**2620**	**1.924**	**0.999801**	**1.902 - 1.946**
2022		**Radial**	**4097**	**1.961**	**0.998609**	**1.922 - 2.000**
		Dilatation	**2420**	**1.882**	**0.999091**	**1.842 - 1.922**
		Correlation	**2420**	**1.932**	**0.999848**	**1.912 - 1.951**

La valeur de la dimension fractale augmente légèrement au fil du temps, à mesure que les vides urbains, autrefois rares, se remplissent davantage. Pour les cinq périodes, les valeurs Dd et Dc sont élevées. La dimension fractale de l'analyse de dilatation augmente progressivement de 1.800 en 1840, 1,868 en 1852 et 1,874 en 1956 à 1,882 en 2022 et demeure exceptionnellement basse en 1916 en raison de Dd= 1.764 (tableau 5). La dimension de corrélation passe de 1,896 en 1840 à 1,932 en

2022, avec une exception notée en 1916 dans la valeur baisse à 1851. Au fil du temps, les valeurs qui ressortent de ces deux dimensions caractérisent une masse bâtie très homogène.

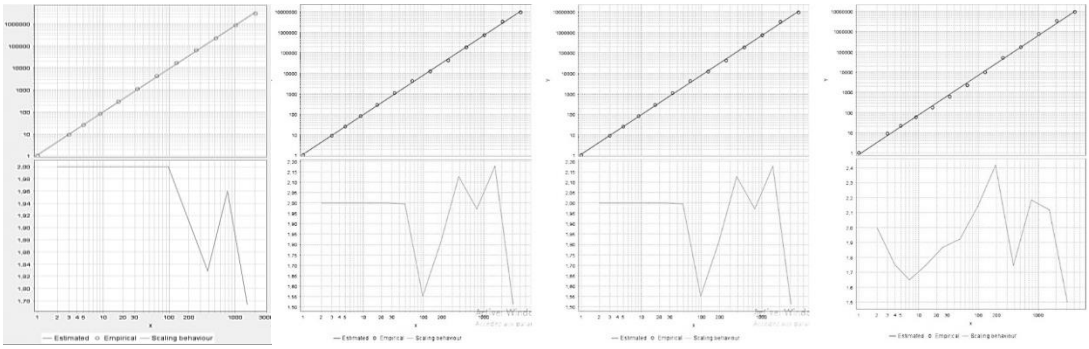


Figure 61 Analyse radiale de la zone (a) sur les années 1840, 1852, 1956 et 2022 avec la courbe du comportement scalant. Source : Auteur

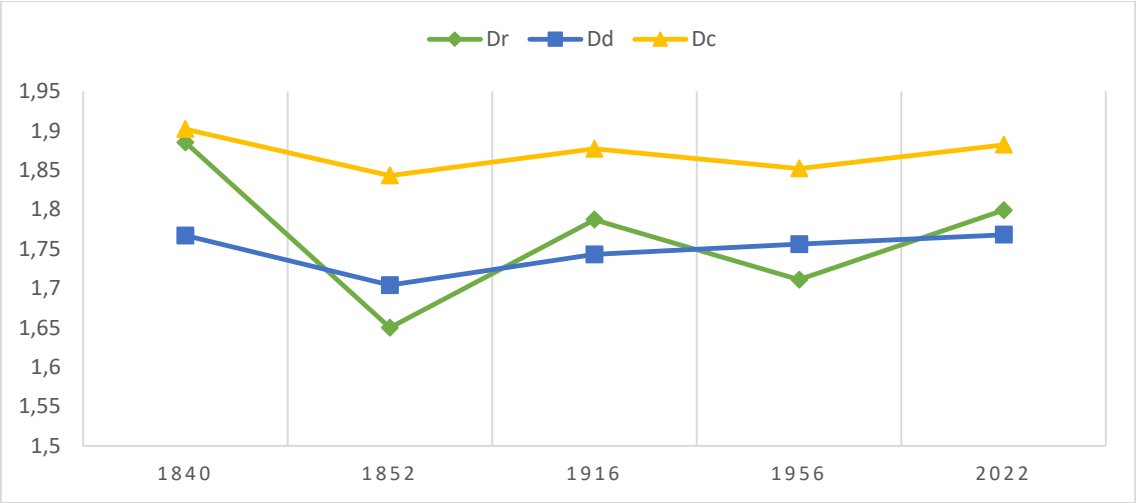
Figure 62. Reportage photographique sur les ruelles de la zone (a) dont la largeur est étroite (piétonne). Source : mahlakiyaelblida.org

Figure 63. Reportage photographique sur les ruelles de la zone (a) dont la dimension est carrossable. Source : mahlakiyaelblida.org

b- Zone de restructuration/extension nord-française (b)

Selon la genèse historique et urbaine de la ville de Blida, développée dans le début de ce chapitre, cette zone couvre une des premières zones de restructurations/extensions urbaines coloniale. Elle montre des différences significatives dans la distribution des bâtiments et des vides urbains au cours des périodes d'étude. La valeur de la dimension fractale diminue dans la zone (b) par rapport au noyau d'origine (tableau 9). On note une valeur importante Dr en 1840, compte tenu de la surface occupée qui est très petite mais très compacte en meme temps. Elle diminue lors des premières années de colonisation suite à la restructuration de cette zone. Elle est de 1.885 en 1840 par rapport à la compacité de la surface urbanisée dans cette période. Elle diminue autours de 1852, ensuite elle augmente avec le temps, passant de 1.650 en 1852, 1.787 en 1916, baisse encore à 1.711 en 1956,

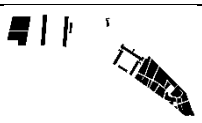
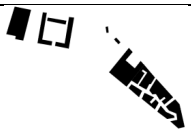
puis augmente jusqu'à 1,799 en 2022, en raison de l'urbanisation et la restructuration progressive de cette zone.

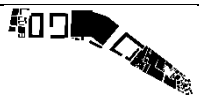


Graphique 2. La variation de la dimension fractale de la zone (b). Source : Auteur

Sur les cinq périodes, la valeur de la dimension fractale de dilatation est très faible, ce qui s'explique par la variation relativement faible de la surface urbanisée. Elle prend comme valeur 1.767 en 1840, ensuite varie entre 1,704 en 1852 et 1,768 en 2022en augmentation progressive. La dimension de corrélation Dc augmente légèrement avec le temps tout en restant relativement élevée, variant de 1,843 en 1852 à 1,882 en 2022. Toutefois, ces valeurs Dc ne sont pas statistiquement significatives, car les coefficients d'ajustement dans cette zone sont généralement assez faibles. D'ailleurs lors de l'analyse radiale de cette zone, le comportement scalant indique de grandes oscillations des dimensions fractales qui s'y réfèrent.

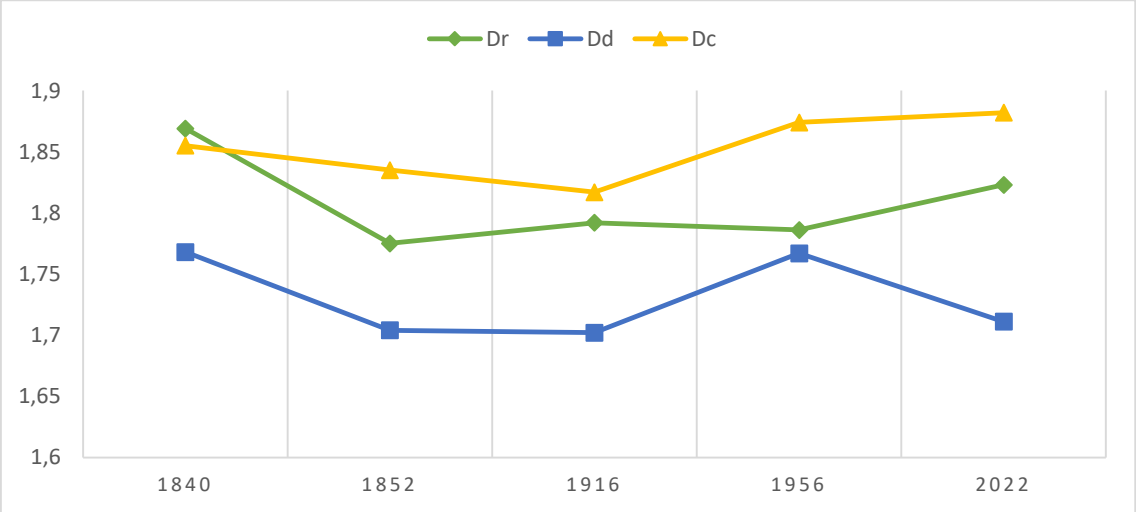
Tableau 9. Résultat des analyses radiales, dilatation, et corrélation de la zone (b). Source : Auteur

	Zone (b)	Dimension	N° pixels	D	Ajustement	Confidence 95%
1840		**Radial**	**1300**	**1,885**	**0,995215**	**1,793 - 1,977**
		Dilatation	**1300**	**1.767**	**0,994978**	**1,673 - 1,862**
		Correlation	**1300**	**1,902**	**0,998581**	**1,847 - 1,956**
1852		**Radial**	**2280**	**1.650**	**0.987943**	**1.529 - 1.771**
		Dilatation	**2280**	**1.704**	**0.993216**	**1.605 - 1.803**
		Correlation	**2280**	**1.843**	**0.997009**	**1.772 - 1.914**
1916		**Radial**	**1840**	**1,787**	**0,994518**	**1,694 - 1,881**
		Dilatation	**1840**	**1,743**	**0,995174**	**1,651 - 1,834**
		Correlation	**1840**	**1,877**	**0,998120**	**1,815 - 1,938**
1956		**Radial**	**2310**	**1.711**	**0.992447**	**1.612 - 1.810**

		Dilatation	**2310**	**1.756**	**0 .995601**	**1.674 - 1.839**
		Correlation	**2310**	**1.852**	**0.997757**	**1.780 - 1.923**
2022		**Radial**	**2110**	**1.799**	**0.995870**	**1.718 - 1.881**
		Dilatation	**2110**	**1.768**	**0.996559**	**1.695 - 1.841**
		Correlation	**2110**	**1.882**	**0.998585**	**1.832 - 1.932**

c- Zone de restructuration/extension sud-française (c)

Comme pour la zone précédente, cette zone périphérique est moins compacte et régulière et plus hiérarchique que le noyau d'origine, ce qui explique une diminution de la valeur de D sur tous les paramètres étudiés (tableau 10). Dans cette partie de la ville, comme dans la zone (b), la surface urbanisée devient moins compacte le long du rayon de la fenêtre d'analyse par rapport au noyau d'origine, mais elle est tout de meme plus dense que la zone (b). La dimension fractale Dr diminue d'abord de 1,869 en 1840 à 1,775 en 1852, puis augmente avec le temps, passant à 1,823 en 2022. Ce phénomène est expliqué dans la section précédente par l'urbanisation progressive ainsi que la restructuration urbaine de la périphérie du noyau précolonial pendant la période française. L'analyse de dilatation donne également des valeurs Dd modérément faibles pour les cinq périodes, ce qui indique une faible urbanisation de la zone (c). L'analyse de corrélation révèle des valeurs très différentes selon les périodes. La dimension fractale Dc passe de 1,855 en 1840 à 1,835 en 1852 à 1,817 en 1916, puis 1,874 en 1956 avant de redescendre à 1,805 en 2022, indiquant une restructuration urbaine de la zone (c) plutôt qu'une urbanisation progressive (tableau 10).



Graphique 3. La variation de la dimension fractale de la zone (c). Source : Auteur

Tableau 10. Résultat des analyses radiales, dilatation, et corrélation de la zone (c). Source : Auteur

	Zone (c)	Dimension	N° pixels	D	Ajustement	Confidence 95%
1840		**Radial**	**1840**	**1.869**	**0,997950**	**1,810 - 1,929**
		Dilatation	**1840**	**1.768**	**0,998249**	**1,712 - 1,824**
		Correlation	**1840**	**1,855**	**0,998249**	**1,797 - 1,914**
1852		**Radial**	**1970**	**1.775**	**0.990998**	**1.648 - 1.903**
		Dilatation	**1970**	**1.704**	**0.993216**	**1.605 - 1.803**
		Correlation	**1970**	**1.835**	**0.997174**	**1.762 - 1.909**
1916		**Radial**	**1430**	**1,792**	**0,994046**	**1,694 - 1,890**
		Dilatation	**1430**	**1,702**	**0,995541**	**1,616 - 1,788**
		Correlation	**1430**	**1,817**	**0,996580**	**1,737 - 1,897**
1956		**Radial**	**1780**	**1.786**	**0.994934**	**1.696 - 1.876**
		Dilatation	**1780**	**1.767**	**0.997325**	**1.698 - 1.836**
		Correlation	**1780**	**1.874**	**0.998494**	**1.820 - 1.929**
2022		**Radial**	**2130**	**1.823**	**0.996380**	**1.746 - 1.900**
		Dilatation	**2130**	**1.711**	**0.997319**	**1.648 - 1.773**
		Correlation	**2130**	**1.805**	**0.997311**	**1.739 - 1.871**

Figure 64. Reportage photographique sur les vides urbains de la zone (c). Source : mahlakiyaelblida.org

6. Discussion des résultats

Dans le noyau précolonial relatif à la zone (a), le tracé montre des rues plus étroites que dans les deux restructurations/extensions françaises relatives aux zones (b) et (c). La typologie des tissus qui en résulte reflète cette différence de traitement des espaces non bâtis : on retrouve une image contrastée de l'agglomération, avec des tissus compacts et réguliers qui s'opposent aux tissus plus aérés et hiérarchisée des zones urbaines coloniales plus récentes. La dilatation est donc un premier indicateur intéressant qui permet de différencier les tissus urbains et d'évaluer leur degré de compacité.

Dans notre étude, lors des phases de dilatation, le seuil d'apparition du premier agrégat, pour les types de tissus analysés, est assez intéressant : il montre des ruptures remarquables selon le type de

tissu concerné, où apparaissent les tissus les plus solidaires et les tissus les plus lâches. Le tissu le plus solidaire est sans aucun doute le noyau précolonial. Les plus lâches sont les tissus coloniaux, dont la maille de base est très distendue du fait de leur nécessaire adaptation aux modes de circulation modernes : installation militaires, trottoirs plus larges, places publiques, voies de circulation multiples. Alors que la réadaptation de la ville coloniale sur le tissu précolonial s'est faite d'une manière très limitée à travers les réalignement, la mise en place de quelques place publiques, très rares à l'intérieur du tissu comme la place du marché arabe et la place du marché européen à l'intérieur du tissu, mais souvent en périphérie de la ville comme la place Zaouïa et la place de Bab El Sebt devant les portes portant les mêmes noms, la place de l'orangerie, la place d'arme qui ponctue au milieu la rue Bâb el Sebt et Bâb El-Rabah. Tous ces éléments urbains sont mentionnés sur les plans 1852 et 1866 joints en annexes.

Une étude détaillée comparant ces indicateurs avec d'autres indicateurs issus de l'analyse spatiale ou de la géographie urbaine, dont la densité, est également possible. Ce type d'étude a déjà été réalisé par d'autres auteurs (Keersmaecker, Frankhauser et Thomas, 2003 et 2004), qui ont conclu qu'il existe une bonne corrélation entre les mesures de fractalité et les mesures de densité. Ils ont également conclu que la dimension fractale fournit un élément plus intéressant que la densité seule, comme la forme des noyaux.

Au cours des cinq périodes étudiées, la zone intramuros présente une valeur de dimension fractale radiale Dr très élevée et presque identique. Les valeurs Dd et Dc caractérisent une masse bâtie très homogène. En même temps, cette zone présente une configuration urbaine très similaire à travers les cinq périodes. Ces deux paramètres nous permettent d'attester sur un contexte urbain plus ou moins conservé, plus particulièrement concernant l'occupation des sols *footprint*, avec la préservation partielle des traces urbaines au sol, par conséquent, la préservation de l'identité urbaine, malgré la reconstruction de la ville sur elle meme. Par conséquent, nous pouvons envisager une préservation globale de l'ensemble de la zone à partir de la zone (a).

Les zones (b) et (c) sont moins compactes que la zone (a), plus hiérarchisées. L'analyse de ces deux zones permet de conclure qu'elles présentent des caractéristiques morphologiques mesurables similaires. Il convient de noter que la conformation urbaine de ces zones est très variable. Elle ne témoigne pas vraiment d'une extension urbaine mais plutôt d'une restructuration multiple. Actuellement, ces zones comprennent des groupes d'habitations, un centre d'affaires dans la zone (b), des écoles et des lycées, un stade municipal et d'autres équipements dans la zone (c), etc. Ceci exclut toute suggestion de conservation globale de la zone concernée. Néanmoins, la valeur historique de ce tissu, considéré comme la première restructuration/extension coloniale de la ville, mérite une attention particulière pour son importance patrimoniale. En effet, il conviendrait de proposer une valorisation ponctuelle des éléments architecturaux et/ou urbains méritant une attention particulière.

Ces résultats peuvent être comparés soit à des analyses similaires réalisées sur des tissus d'autres villes comme c'est le cas dans notre étude (chapitre 7), soit à d'autres indicateurs morphologiques liés à l'occupation du sol. Tout d'abord, il faut noter que des comparaisons avec des analyses similaires utilisant le même type de tissu et la même méthode de découpe des échantillons sont possibles, à condition de respecter l'échelle de la ville (métropole, ville secondaire....), l'histoire de la ville et une méthode de découpe qui favorise l'homogénéité tissulaire des échantillons. Cela nous

permettra de fournir plus d'informations sur les noyaux urbains algériens dont la valeur demeure inégale, mais aussi de conclure le travail par une méthode d'analyse qui peut potentiellement être appliquée à n'importe quel noyau urbain, avec comme objectif de élaborer une boîte à outils pour aider à la prise de décisions en matière d'intervention sur des sites de valeur historique.

Ces résultats peuvent également être comparés aux coefficients utilisés dans les règlements d'urbanisme, tels que le coefficient d'occupation des sols. Il faut souligner que ces indicateurs datent d'une période plus tardive que notre zone d'étude puisque les zones étudiées ont été construites bien avant l'introduction du plan d'occupation des sols et donc bien avant la définition du coefficient d'occupation des sols. La comparaison des résultats dans ce cas n'est qu'indicative pour de futurs travaux sur un tel site historique.

7. Conclusion

Pour l'étude des propriétés spatiales, l'analyse fractale continue d'offrir des avantages significatifs. Dans cette étude, les résultats de l'analyse fractale, combinés au facteur temps via la lecture diachronique du noyau urbain de Blida et la superposition des plans, nous ont donné une vision mesurable de l'évolution du tissu urbain. Cette méthode ajoute de l'objectivité par sa nature mathématique et géométrique. Le centre urbain de Blida apparaît compact et homogène, et conserve potentiellement son tracé urbain. Ce travail sera appliqué dans les deux chapitres suivants sur des villes relativement similaires. Même si chaque cas est unique en raison du contexte historique, géographique, social et morphologique, il est important pour nous d'observer, à travers l'analyse fractale, les changements morphologiques apportés aux noyaux des villes au fil du temps, d'observer le comportement urbain au fil du temps, et de vérifier si ces tissus ont préservé quelques éléments de leurs tracés comme témoins de continuité.

Chapitre 5 : Essai de caractérisation morphologique du noyau urbain de Médéa

1. Introduction

Le présent chapitre est axé sur le noyau historique de la ville de Médéa, qui possède une riche histoire s'étalant sur plus d'un millénaire Comme de nombreuses villes en Algérie, Médéa est une ville riche en culture et en histoire, elle possède un patrimoine qui s'est manifesté au fil du temps à travers son architecture et ses traditions. En explorant sa vieille ville, ses rues un peu sinueuses, et en analysant ses façades harmonieuses et diversifiées, il est facile de comprendre les différentes périodes qui ont marqué Médéa et qui ont contribué à la création de son paysage urbain. Cependant, il est important de comprendre ce qui a été dissimulé depuis toujours derrière un mur d'enceinte virtuel. Ce chapitre de entreprend une enquête approfondie sur l'analyse fractale spatio-temporelle relative au tissu urbain historique de la ville de Médée, qui a toujours suscité un intérêt pour les études urbaines. Cette méthode analytique vient dans la continuité des recherches universitaires antérieures qui ont exploré l'application de la géométrie fractale à l'analyse des tissus urbains, mais en se concentrant spécifiquement dans le cadre de notre recherche sur le noyau d'origine de la ville. L'objectif principal de ce travail comme pour le chapitre précédant, est de mener une analyse comparative des paramètres morphologiques fréquemment utilisés pour évaluer la dimension fractale des zones urbaines, permettant ainsi un examen approfondi des caractéristiques morphologiques du tissu urbain, sur la base des variations spatiales qui ont été méticuleusement calculées.

2. Présentation du deuxième cas d'étude : Médéa

Médéa est une ville importante au sein de l'ancien Titteri ottoman. Elle est dotée d'une riche lignée historique, dont les origines remontent à plus d'un millénaire et elle se caractérise par des vestiges archéologiques qui peuvent être datés de l'époque romaine, comme l'indiquent les travaux de Berbrugger (1858). À cette époque, Médéa était une station de passage vitale pour les voyageurs, stratégiquement située à mi-chemin de la route reliant Césarée à la colonie romaine d'Auzia, comme en témoigne son nom même, dérivé de l'expression latine « ad medias » qui signifie « au milieu ». L'itération contemporaine de la ville de Médéa, telle qu'elle est reconnue aujourd'hui, remonte aux périodes de domination ottomane et française, qui ont duré respectivement des années 1500 à 1830 et de 1830 à 1962. Plus récemment, Médéa constitue un périmètre classé par le ministère de la culture (annexe1).

2.1. Localisation de Médéa

Médéa, issue de l'ancien Titteri est une grande région qui comporte 7 communes. Limitée au nord par Blida, Ain Defla et Tissemsilt à l'ouest, Djelfa au sud et Msila au sud oued et Bouira à l'est. Elle se trouve aux pieds des montagnes du Titteri et sur le versant sud du Djebel Nadhor, dans un terrain très agité (figure 65). Ses caractéristiques topographiques uniques, combinées à sa position défensive avantageuse qui lui offrait une vue imprenable sur les plaines environnantes, ont contribué à son histoire par l'occupation successive et diversifiée de peuples à travers les âges. La ville quant à elle se situe à 90 km au sud d'Alger, et à 40 km de Blida. Elle se situe au croisement des deux axes routiers RN1 route nationale reliant la capitale au sud, et RN18 qui est un axe est-ouest. Sa

topographie et son aspect défensif permettant la domination de toutes les plaines environnantes, lui ont valu la succession des occupants

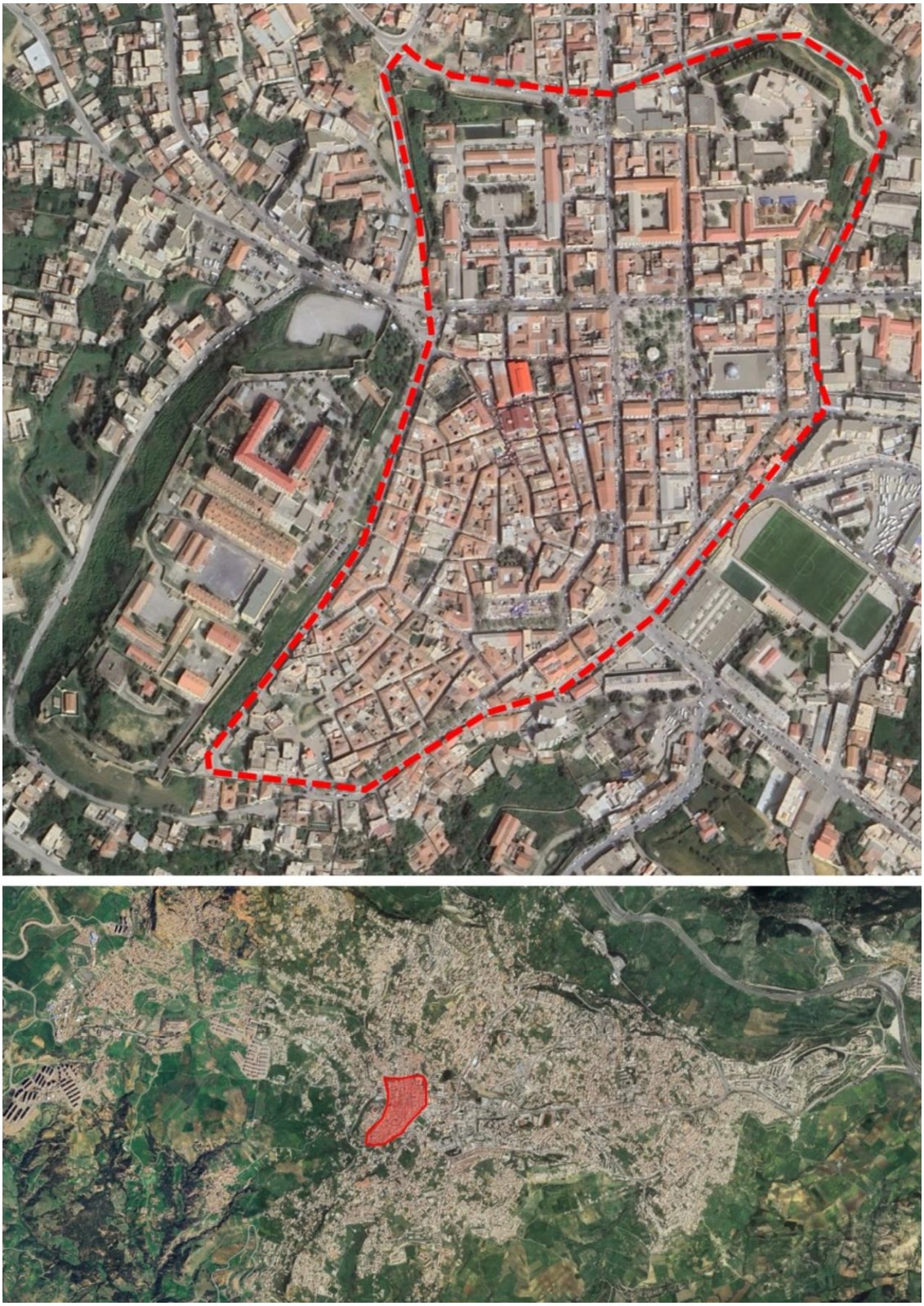


Figure 65. Image satellite illustre la délimitation du périmètre d'étude ainsi que sa situation dans la ville de Médéa. Source : Auteur sur support Google earth pro

2.2. Toponymie

Dans les sources historiques, le nom de Médéa est interprété de différentes manières. D'après des sources historiques, le nom désigne la production de « lemmdi » par ses habitants, qui signifie couteau (Cortès, 1909). Le nom de Médéa est considéré également dérivé du mot latin Médias, qui désigne la distance médiane entre deux établissements humains. En effet, Berbrugger (1858) explique cela par le fait qu'elle se trouvait à mi-distance de deux colonies romaines. La troisième hypothèse, quant à elle, fait référence au nom d'une reine romaine. D'après Cortès (1909), la première version est la plus appropriée, car les habitants de la ville ont toujours été désignés comme étant des « Lemdani ».

3. Genese historique urbaine du noyau urbain de Médéa

Le paysage urbain de la ville de Médéa est profondément marqué par une sédimentation complexe de divers épisodes historiques qui racontent collectivement son passé. Le noyau ancien de cette zone urbaine présente une influence significative provenant des conceptions architecturales ottomanes, comme en témoignent notamment la multitude de vestiges remontant à cette période illustre de l'histoire.

3.1. Médéa pré-coloniale française

a. La période antique

Le noyau urbain de Médéa est situé sur des vestiges d'un établissement romain connu sous le nom de « Lambdia », qui a servi de point central au sein de l'ancien Empire romain. En effet, en 216 Ap-JC, les Romains sont arrivés sur le territoire de Médéa en suivant le chemin du fond de la vallée. Ils ont établi un camp militaire et construit un rempart défensif percé de portes (Berbrugger, 1858). Il est fermement établi que Médéa est construite sur des fondations romaines, les matériaux mêmes de cette ancienne colonie sont réutilisés pour la construction de certaines constructions post-romaine (Cortès, 1909). Les preuves matérielles mises au jour grâce à de nombreuses recherches et découvertes archéologiques, en particulier après la conquête française, fournissent des témoignages convaincants sur l'existence et la localisation de la ville de Médéa romaine, démontrant son rôle essentiel au sein du réseau de colonies romaines. Il est à mentionner que d'après Cortès (1909), un aqueduc est érigé par des constructeurs arabes au moyen âge, mais sur un soubassement plus ancien qui date de l'époque romaine, donc il constitue un élément qui témoigne ces propos. Il est partiellement conservé dans le lieu-dit Bab Lakouas D'autres découverts sont mises au jour lors de la construction de l'hôpital militaire en 1843, qui comprennent des médaillons, une gravure de femme sur un vase, des objets en bronze et des poteries.

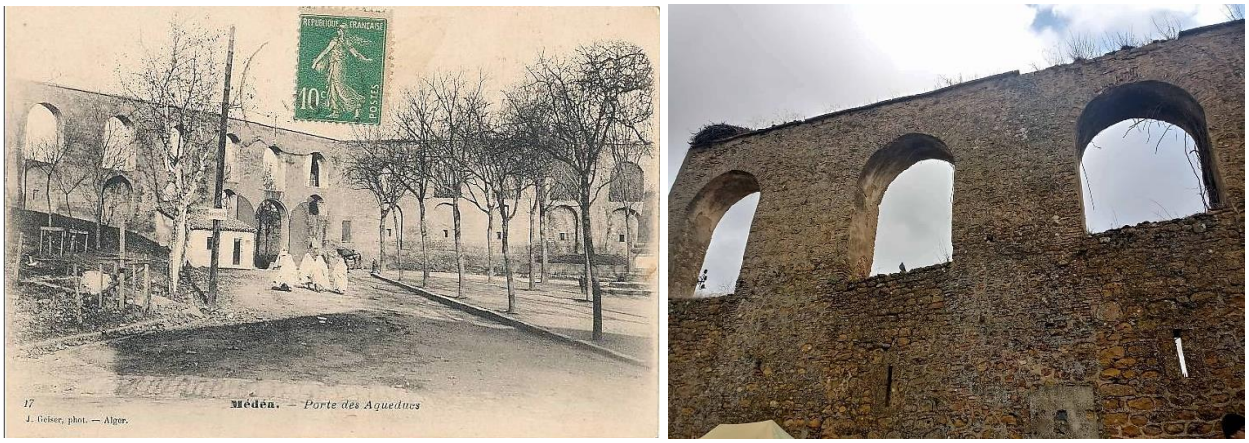


Figure 66. L'aqueduc romain de Médéa. A gauche : Ancienne carte postale (Source : delcampe.net). A droite : Prise de vue récente (Source : Auteur)

Le choix stratégique du site de Médéa découle de son adéquation en tant qu'établissement ou campement militaire, qui a ensuite été renforcé par la construction d'un rempart défensif destiné à protéger la ville contre d'éventuelles invasions. Selon certaines informations, le site de Médéa a été sélectionné en raison de son relief défensif avec domination stratégique, ce qui lui permet de contrôler l'ensemble de son environnement. Quelques soient les raisons qui ont motivé cet établissement, il est à mentionner qu'il a servi de lien vital entre les villes de Berrouaghia et de Miliana, en traversant la crête secondaire qui caractérise le paysage géographique de la région.

b. La période arabo-musulmane

Médéa a connu une résurgence significative lorsqu'elle est refondée par le célèbre Bologhine Ibn Ziri Ben Menad en 972, simultanément avec la création d'Alger et de Miliana. Cet évènement marque une période d'une importance considérable pour la région au cours du Moyen Âge. L'emplacement stratégique de Médéa et son statut florissant à cette époque ont joué un rôle essentiel dans le façonnement du paysage sociopolitique de l'époque, comme en témoignent les récits historiques. Ce territoire particulier était principalement habité par la tribu des Sanhadja connue sous le nom de Lamdiyya, dont l'héritage perdure au sein du groupe ethnique moderne Lemdānī, représentatif de la population de Médéa (Ibn Khaldoun, 1854). La région de Médéa, ainsi que les régions voisines telles qu'Alger, Blida et M'Sila, étaient comprises dans le territoire plus large de la formidable confédération de tribus berbères de Sanhadja, qui a acquis un pouvoir et une influence considérables sous la direction de Ziri ibn Menad, qui a réussi à unifier ces tribus au cours du Xe siècle. Cependant, malgré leur force initiale, les tribus se sont finalement épuisées en raison de conflits incessants avec des factions nomades berbères, telles que les Zénètes et les Almoravides à l'ouest, ainsi que du harcèlement continu des tribus nomades arabes du sud, qui ont finalement abouti à leur incapacité à résister à l'assaut catastrophique des Almohades (Ibn Khaldoun, 1854). Par conséquent, la ville de Médéa a connu l'installation d'un gouverneur Zianide, une évolution politique survenue dès le règne de Yaghmoracen Ibn Ziane, qui a consolidé davantage la gouvernance de la région. À l'époque médiévale, entre 650 et 1500 ap-JC, la composition démographique de Médéa était principalement berbère, les premiers habitants romains, vandales et grecs ayant quitté la région où s'étant assimilés à la suite de mariages mixtes avec les tribus berbères locales, dont les Sanhadja et les Zénètes (Guyon, 1998).

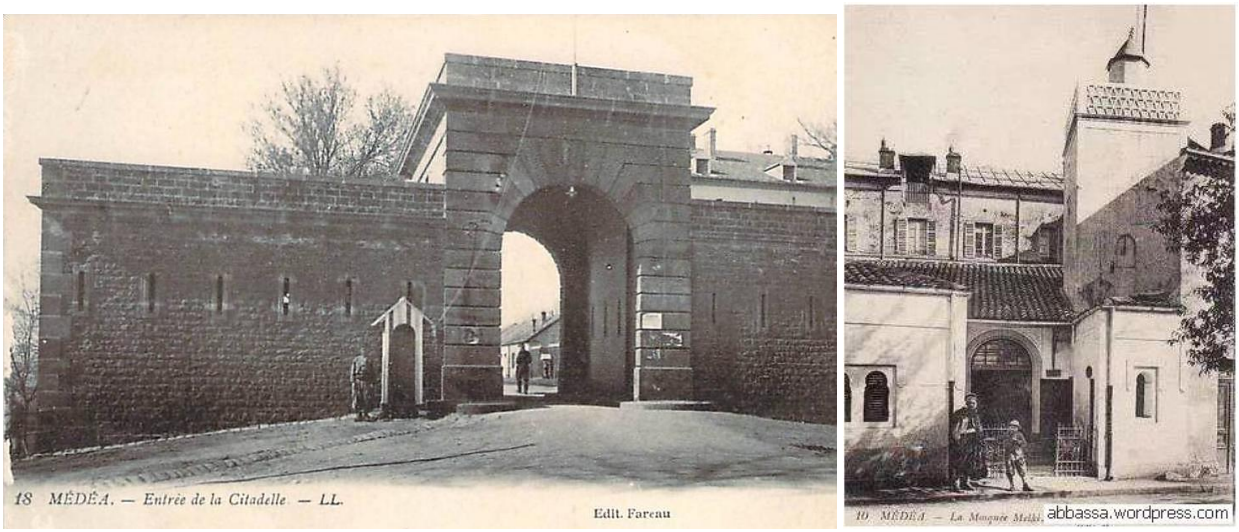


Figure 67. Vestiges de l'époque Médiévale. A gauche : Carte postale de l'entrée de la citadelle en 1910 (Source : delcampe.net). A droite : La mosquée Malékite (Source : Fond privé Dr Abbassa)

Léon l'Africain (1981) décrit Médéa, en ville fertile, riche en ressources et en richesses, principalement grâce à ses réseaux commerciaux florissants. Il est à mentionné que sa citadelle et la mosquée Malikite ont été construites par les mérinides en 1303 (figure 66 et 67).

c. La période ottomane

Médéa devient la capitale du Beylik de Titteri à partir du 16ème siècle. En effet, après la conquête d'Alger en 1516, Arroudj Barberousse occupe Médéa en 1517, établissant une garnison d'infanterie turque dans la ville, complétée par un contingent de cavaliers andalous d'Espagne issus d'une vague d'émigrés fuyant la Reconquista, et qui ont cherché refuge en Algérie, dont un bon nombre se sont installés dans la ville de Médéa, contribuant ainsi à la dynamique multiculturelle de la région. Dans le contexte de la régence d'Alger, Médéa a accédé au statut de capitale du Beylik de Titteri, l'une des quatre provinces qui composaient la régence, servant de résidence aux Beys sous l'administration d'Hassan Pacha en 1548. La province de Tittery s'étendait vers le sud jusqu'à Boghar et englobait, d'est en ouest, l'étendue du territoire allant d'Aumale à Miliana. A ce moment-là que la construction de Médéa a sérieusement commencé, car avant cette période, la ville n'existait que sous la forme d'un ensemble de maisons à l'emplacement de la ville romaine. Seule, la citadelle existait, elle est construite de 701 à 704, par Abou Yahia, sur l'ordre du Sultan (Cortès, 1909). À l'approche de la fin du XVe siècle, la nécessité de fortifier la ville commence à se sentir suite à la variété de son paysage topographique, ce qui a entraîné un tracé urbain irrégulier. Cette fortification comprend cinq portes distinctes. Pendant la période ottomane, la ville a connu d'importants progrès en matière de développement, caractérisés par une masse urbaine homogène et soudée complétée par un réseau diversifié de rues (Cortes, 1909).

Figure 68. La citadelle Médéa, le centre de pouvoir ottoman, 2016.
Source : jeune-independant.net

Figure 69. La citadelle Médéa, le centre de pouvoir ottoman, Gravure 1865.
Source : Descampes.net

Figure 70. Fortifications et portes de la ville de Médéa. A gauche : la porte des jardins. A droite : La porte de Blida. (Source : Descampes.net)

Malgré sa désignation en tant que capitale régionale, il est important de reconnaître que la ville de Médéa a conservé un niveau d'importance moyenne dans le contexte plus large de l'Empire ottoman. Son caractère distinctif tient toutefois à son rôle économique en tant que centre d'échange, facilitant les trocs et le commerce dans la région puisque Médéa est stratégiquement positionnée comme dernière étape pour les caravanes en provenance du Sud. Cette zone de contact cruciale favorise l'interaction de deux économies complémentaires, celle de la région du Tell et celle des Hautes Plaines. Tout comme la ville voisine de Blida, la prospérité économique de Médéa peut être attribuée à la culture florissante d'arbres fruitiers, une pratique qui a notamment été développée par les musulmans andalous qui se sont installés dans la région (Abed, 2015). En plus de l'arboriculture, l'abondante production agricole, notamment du blé et du bétail, ont influencé de manière significative le niveau de vie des habitants de la ville, qui se reflétait à travers de belles maisons et d'une magnifique mosquée, comme témoignage de la vitalité culturelle et économique de la région (Abed, 2015).

d. Les éléments structurants de la ville précoloniale

Avant 1839, les estimations fournies par divers auteurs indiquaient régulièrement que la population ne dépassait pas le chiffre de 10 000 habitants, ce qui suggère un centre urbain relativement petit à ce stade de l'histoire. La ville de Médéa à l'époque ottomane est fortifiée (figures 68 et 69). Ces fortifications sont ponctuées de plusieurs portes : Bâb Lakouas, Bâb El-Ghort, Bâb Dzair, Bâb el

Berkani et Bâb Sidi Sahraoui, etc. Il est difficile de les situer sur un plan puisque les noms de certaines portes ont probablement changé sur le cadastre de 1867, ou on retrouve la porte de Laghouat, la porte des jardins et la porte de Blida (figure 70), On note la présence de deux forts de Bordjs (poternes). Le seul document qui peut nous renseigner partiellement sur l'état de la ville précoloniale est le plan cadastral de 1867 (figure 73), ou on aperçoit la ville dans sa situation la moins restructurée.

Figure 71. Fortifications naturelles de la ville de Médéa au XIXe siècle

Figure 72. Fortifications artificielles de la ville de Médéa au XIXe siècle

La zone urbaine est principalement habitée par divers groupes ethniques, notamment les Hadars, les Kouloughlis et les Turcs. Le secteur supérieur de la ville, connu sous le nom de Dakhla, est principalement occupé par les Kouloughlis, qui non seulement y résident mais utilisent également ce quartier pour diverses fonctions administratives et militaires, établissant ainsi un point focal pour la gouvernance et la défense. À l'inverse, la ville basse se caractérise par ses résidences plus anciennes et plus traditionnelles et ses structures d'utilité publique essentielles, qui abritent le reste de la population de la ville, illustrant une distinction claire entre les couches sociales du paysage urbain. Distinguées par leurs minarets imposants, les mosquées constituent des points de repère religieux et urbain à l'exemple de Djamaa Lahmar. Ils sont traditionnellement associés à des hammams, et fonctionnent également comme des centres sociaux, à l'instar du souk qui borde certaines artères du district central. On note également la présence d'une caserne El-Hanafi et de fondouk.

La structure résidentielle est composée d'une multitude de petites maisons entrecoupées de boutiques d'artisanat reflétant la dynamique socio-économique de l'époque. En outre, la ville précoloniale se distingue par son style architectural unique, qui la différencie des centres urbains voisins d'Alger et de Blida, car d'après les voyageurs contemporains en provenance d'Alger ; l'architecture résidentielle se caractérise par ses murs bruns, complétés par des trottoirs soigneusement alignés. Ces bâtiments manquent notamment de terrasses, arborant plutôt des toits inclinés ornés de tuiles, créant ainsi une contraste visuel saisissant avec le architecture trouvée dans les villes voisines.

Les activités commerciales et artisanales sont systématiquement organisées le long des artères désignées qui constituent le souk. Les ruelles étroites sont peuplées de petits magasins de détail, les petits stands d'artisans étant organisés par corporations (figure 74). Cette agitation quotidienne s'intensifie considérablement les jours de marché, attirant non seulement les habitants locaux mais également les habitants des zones adjacentes. Les principales artères de la ville décrites ci-dessus

facilitent l'afflux d'étrangers au souk, préservant ainsi l'isolement des habitants de la ville. Cette reconstruction du paysage urbain précolonial, inspirée par la littérature historique et les récits coloniaux, offre un aperçu de sa configuration interne qui reflète le paradigme urbain musulman traditionnel qui prévaut en Afrique du Nord.

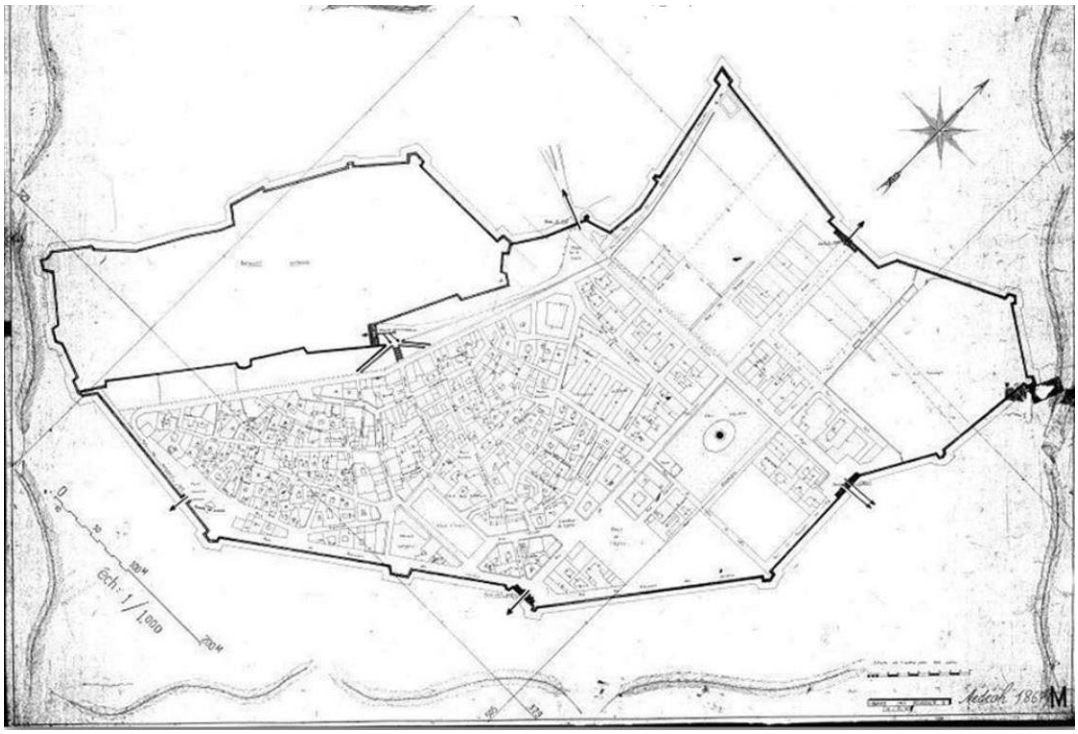


Figure 73. Le plan cadastral de la ville de Blida en 1867. Source : BNA

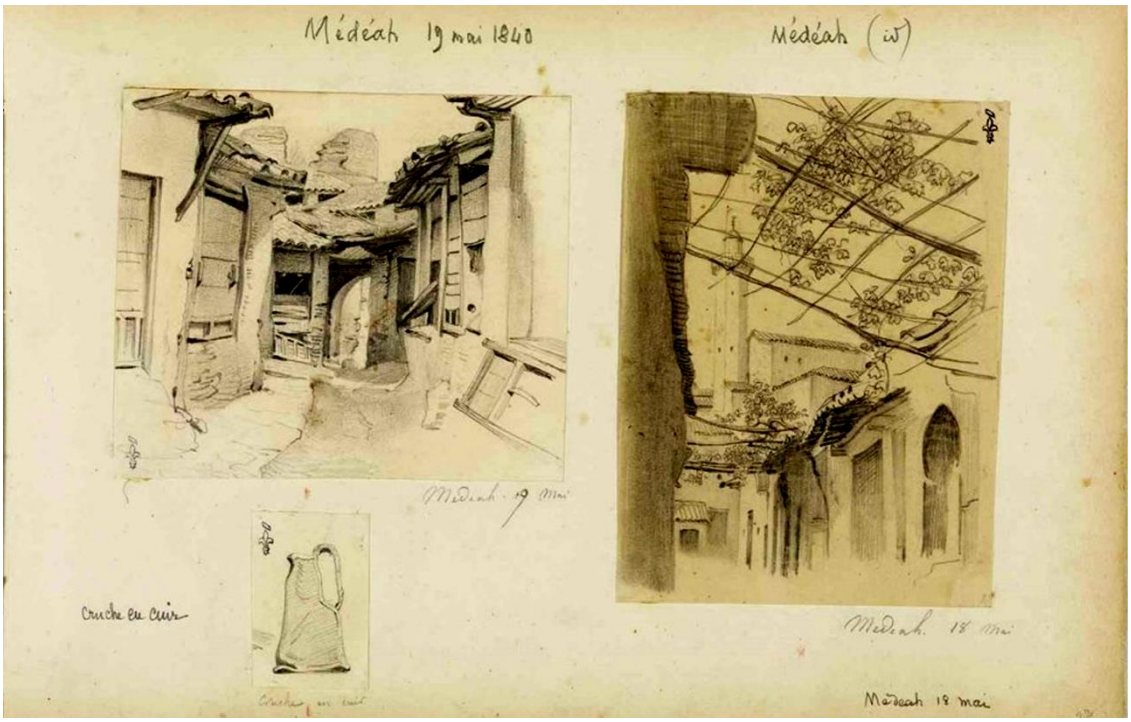


Figure 74. Ruelles de Medeah dessinées par Philippoteaux Félix. Vues et portraits faits pendant ma campagne de mai 1840, Algérie[20].

[20] Philippoteaux est envoyé en Afrique en avril 1840 par le roi Louis-Philippe qui le charge de réaliser des tableaux destinés aux galeries historiques de Versailles. Cet album retrace notamment la première campagne militaire du jeune duc d'Aumale qui

3.2. Médéa coloniale fraçaise

a- Le contexte de la colonisation

Bien que l'armée française commence la conquete de la ville en 1830, elle ne n'est annexée par la colonie que le 17 mai 1840. Au cours de cette décennie de résistance, la ville est intégrée à l'État naissant de l'EAK, lors du traité de Tafna, conclu en 1837 entre le maréchal Bugeaud et l'émir Abd el-Kader, élevant ainsi le statut de Médéa en tant qu'une des principales capitales de l'émirat à cette époque de gouvernance régionale. La population de Médéa est estimée à environ 5 000 habitants, ce qui reflète une communauté à la fois dynamique et engagée dans les luttes politiques. Cependant, la situation prend un tournant décisif en 1840, lorsque l'armée française réussit à reprendre le contrôle de Médéa, marquant ainsi un changement significatif dans la dynamique du pouvoir dans la région (Djillali, 1972).

À chaque expédition militaire entreprise par les forces françaises, la ville subit de graves ravages et ses habitants sont contraints de déménager, ce qui contribue à l'instabilité persistante de la population locale. En 1850, Médéa est devenue le site de l'une des trois « madrasas » créées par les autorités coloniales, les deux autres étant situées à Constantine et à Tlemcen ; cet établissement d'enseignement a ensuite été transféré à Alger, soulignant les efforts de l'administration coloniale pour influencer le paysage culturel de la région.

b- Urbanisme militaire et espace urbain : La restructuration

À partir de 1842, les ingénieurs du génie militaires entreprennent des efforts globaux visant à restructurer et à transformer l'environnement urbain, aboutissant à la démolition de parties importantes du tissu urbain existant afin de faciliter la construction de casernes militaires, à l'image des transformations similaires imposées à diverses médinas à travers l'Algérie (Figures 77, 78 et 79). En outre, plusieurs quartiers de la ville ont subi une refonte radicale, caractérisée par des opérations de réalignements, la création de larges artères selon deux axes perpendiculaires, le Cardo et le Decumanus, qui sont stratégiquement alignés avec les portes de la ville. La réorganisation de la ville en ilots en damier, disposés de manière systématique, avec la mise en place de bâtiments haussmanniens qui incarnent les tendances architecturales de cette époque, encerclant les équipements publics la poste et l'hôtel de ville. On note également la création d'une place importante « Place d'Armes », ainsi que le développement d'autres places publiques qui ont contribué à la création d'une identité urbaine de l'époque (figure 75). Un nouveau quartier européen est apparu dans la partie nord de la ville, organisé selon deux axes perpendiculaires, ce qui a conduit à la création de divers bâtiments publics spécialement conçus pour répondre à cette nouvelle démographie de résidents (figure 76).

---

rejoignait en Algérie, à la même date, son frêre aîné, le duc d'Orléans. Bulletin du Musée Condé. Chantilly, décembre 1995, n°49 ; P.2-8, Numéro d'inventaire : NA 748-F22-1

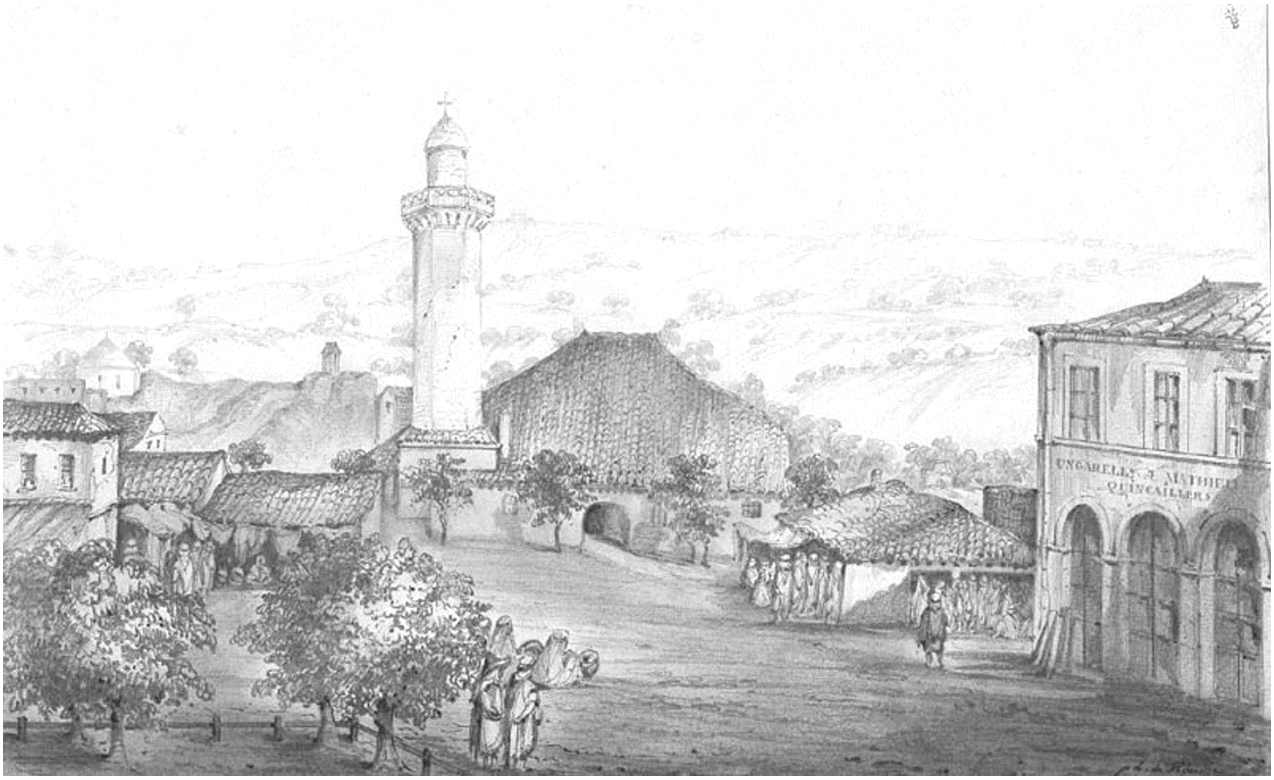


Figure 75. Place de Médéa (vue prise du Belvédère de la maison du commandant supérieur, par Ph. de Rouvre 1846 Le capitaine d'Etat-major. Source : Musée Condé. Numéro d'inventaire : DE 685

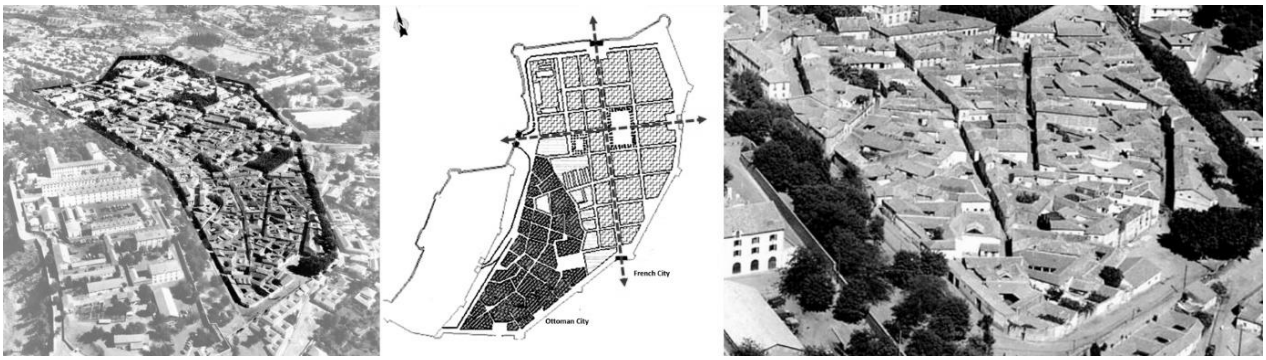


Figure 76. Restructuration urbaine du noyau de Médéa en 1867 (Source :)

c- Premières extensions extramuros

La deuxième phase de l'urbanisation coloniale marque une expansion significative au-delà des limites du noyau urbain d'origine : à l'aube du XXe siècle et partir de 1915, la ville a connu son extension inaugurale au-delà de ses limites d'origine, en particulier vers le nord et l'est, marquant une phase importante de son développement urbain. En effet, un afflux de colons français s'est établi à Médéa, amenant la ville à atteindre un point de saturation critique. Cette poussée démographique nécessite le démantèlement des parties est et sud-est de la muraille, entraînant ainsi une inévitable expansion urbaine qui s'est étendue au-delà des limites précoloniales de la ville.

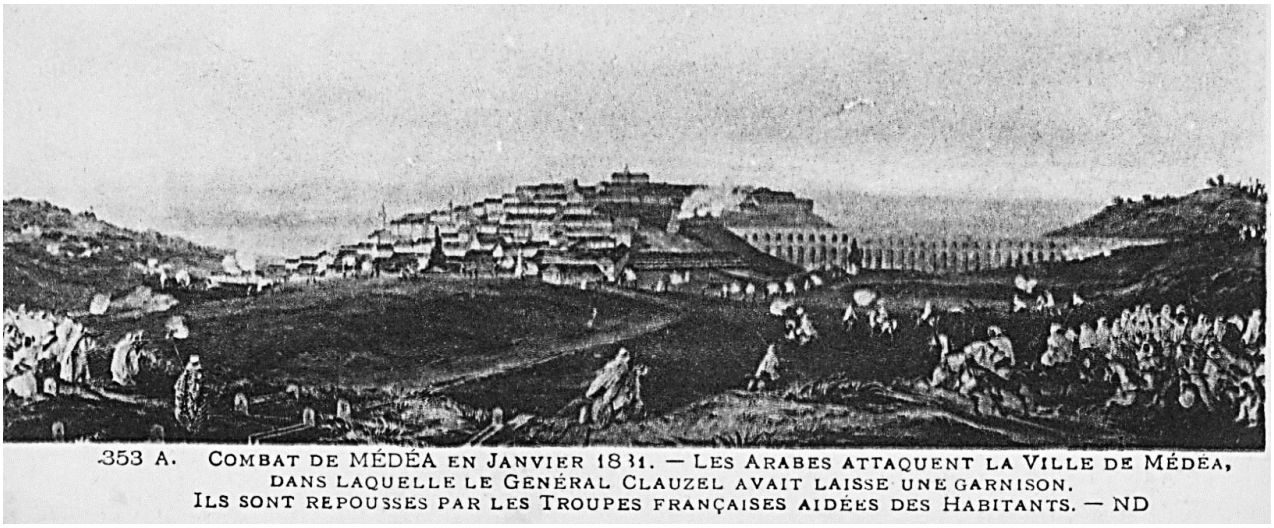


Figure 77. Médéa en 1831. (Source : Descampes.net)

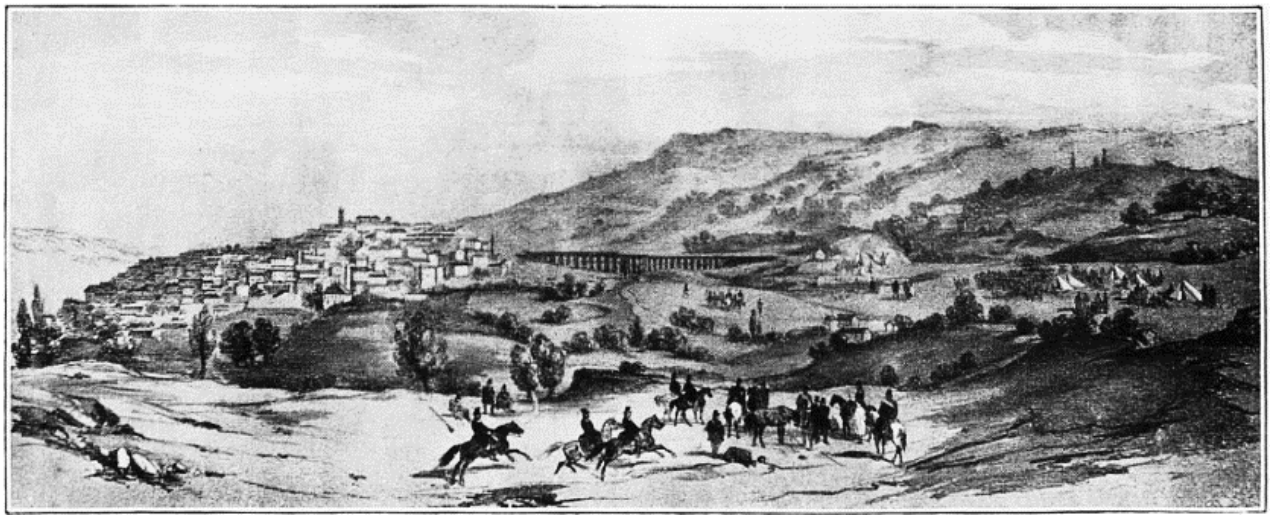


Figure 78. Médéa en 1840. Source : (Cortès, 1909, p16-17)

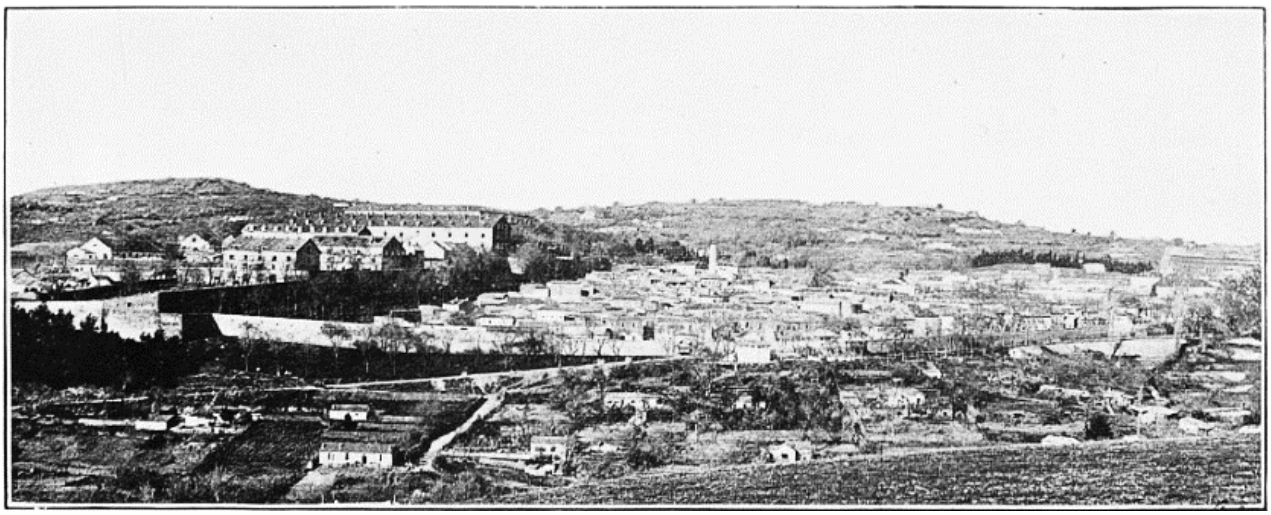


Figure 79. Médéa en 1907. Source : (Cortès, 1909, p16-17)

La troisième phase concerne la création de la partie totalement européenne de la ville : ces extensions se distinguent par leur disposition systématique, leur orthogonalité et leur uniformité, qui sont obtenues grâce à la division parcellaire et fonctionnelle de la ville, y compris les bâtiments publics et les zones résidentielles. Cet urbanisme est marqué par la planification réfléchie de la taille et de la forme des ilots, ainsi que l'inclusion d'espaces publics et verts qui ont amélioré l'environnement urbain. On note que pendant la période de la Seconde Guerre mondiale, de nouvelles démolitions et reconstructions ont eu lieu, ce qui a modifié davatage le paysage de la ville (figures 80 et 81). En 1956, Médéa acquit un nouveau statut lorsqu'elle est désignée capitale du département de Médéa, désignation qui correspond au district historique du même nom au sein de la structure administrative plus large du département d'Alger, consolidant ainsi son importance dans le contexte plus large de la gouvernance et de l'administration algériennes.

Figure 80. Architecture proto-rationaliste de l'après-guerre. Les HLM de Médéa. Source : (Source : Fond privé Dr Abbassa)

Figure 81. Architecture proto-rationaliste de l'après-guerre. Le tribunal de Médéa. Source : (Source : Fond privé Dr Abbassa)

3.3. Médéa Post-coloniale : Etat des lieux

À l'époque contemporaine, la ville est aux prises avec un phénomène de conurbation, qui est apparu comme une conséquence directe de l'étalement urbain incessant associé à l'agglomération, alors que celle-ci continue de s'étendre vers les municipalités adjacentes ; cette expansion se produit dans un contexte de pénurie critique d'espaces urbanisables au sein du noyau urbain, une situation encore aggravée par une augmentation rapide de la population. En réponse à ces défis urbains urgents, un vaste plan de développement urbain pour la région de Grand Médéa a été élaborée, en mettant l'accent sur l'expansion urbaine projetée qui englobe plusieurs municipalités situées à proximité.

Le fait de considérer les villes comme un lieu relativement sûr, pour des raisons économiques et sécuritaires, a conduit vers l'augmentation de la population, qui s'est faite sur deux phases clés pour le cas de Médéa : suite à l'émigration massive après l'indépendance en quête de travail, ensuite vers la fin des années 80, début des années 90, ou Médéa devient la destination de la population adjacente principalement rurale, menacée par le terrorisme.

La nouvelle population s'installe sur les zones limitrophes de la ville notamment ses parties Sud et Ouest par la construction de quartiers informels composés principalement d'habitat individuel, régularisés un peu plus tard par la loi 08-15. Cette période est marquée également par la réalisation de plusieurs cités de grands ensembles suivant la disponibilité d'assiettes foncières sur tout le territoire de la ville, ainsi que quelques réalisations secondaires de lotissements et des équipements publics de proximité. (Aouissi et Kaoula, 2023)

Figure 82. Place du premier novembre et la mosquée El Nour. Source : Wikipédia

4. Préparation cartographique et traitement des supports graphiques

La lecture et caractérisation morphologique du noyau urbain de Médéa se base sur une série de plans. Notre recherche s'intéresse à trois phases historiques différentes, donc trois modes différents d'urbanisation de la ville. La période précoloniale est renseignée par le premier plan cadastral, qui est le relevé le plus ancien en notre possession. Il date de 1867. La période coloniale française est étudiée à travers les plans de 1867 et 1958 ; alors que la période postcoloniale est abordée par deux plans disponibles, celui de 1985 et celui de 2010, actualisé en 2023 à partir d'une enquête sur site et d'une image satellite récente.

4.1. Délimitation du périmetre

Les limites de la zone d'étude se refèrent aux remparts de la ville, qui figure sur le plan cadastral de 1867 dont la surface avoisine mes 22 ha. Ces limites sont conservées sur les plans qui appartiennent aux trois périodes. Par conséquent, l'objectif principal de cette enquête scientifique est d'étudier et de vérifier la structure urbaine du noyau d'origine de la ville, afin de comprendre son organisation spatiale à travers le temps. Il est impératif de noter que toute expansion urbaine potentielle au-delà de ces limites historiques est expressément exclue dans le cadre de cette recherche.

4.2. Traitement des supports graphiques

Notre effort de recherche se concentre sur l'exploration de différentes phases historiques, ce qui nous amène par conséquent à identifier et à analyser trois modes d'urbanisation uniques, en particulier ceux qui se sont produits pendant avant la colonisation française, durant la colonisation française et après cette période, c'est-à-dire depuis l'indépendance de l'Algérie. Chacune de ces périodes historiques est accompagnée d'un ou de plusieurs plans de référence qui fournissent des informations précieuses sur l'état de l'environnement urbain au cours de cette période spécifique. Les relevés de la ville de Médéa constituent la base essentielle de notre recherche et contribuent à faciliter l'analyse morphologique. Nous avons obtenus quatre relevés de diverses sources archivistiques, également du service d'urbanisme de la municipalité. Nous avons ensuite redessinées ces relevés pour en améliorer la clarté et la précision avant de les convertir en images binaires non compressées au format TIFF (Tagged Image File Format) (Figure 83).

En abordant les complexités associées aux variations de précision entre les différents documents graphiques, en particulier ceux dépourvus d'échelle graphique, nous avons entrepris un processus d'extraction comparative des ilots. Cette extraction a été exécutée avec une précision égale ou inférieure au plus petit dénominateur commun trouvé dans les plans historiques analysés. Grâce à cette méthodologie, nous avons pu produire une série de plans uniformes caractérisés une précision exceptionnelle. Il est important de noter que toutes les cartes générées sont maintenues à une échelle constante, ce qui conduit à la création de plans figuratifs dans lesquels les pixels noirs indiquent les zones bâties tandis que les pixels blancs indiquent les vides urbains, qui incluent des éléments essentiels tels que les routes et les places publiques (Tableau 11). Ces cartes méticuleusement conçues sont ensuite utilisées pour effectuer un examen approfondi des caractéristiques fractales présentées dans le tissu de la ville au cours des différentes périodes couvertes par notre étude.

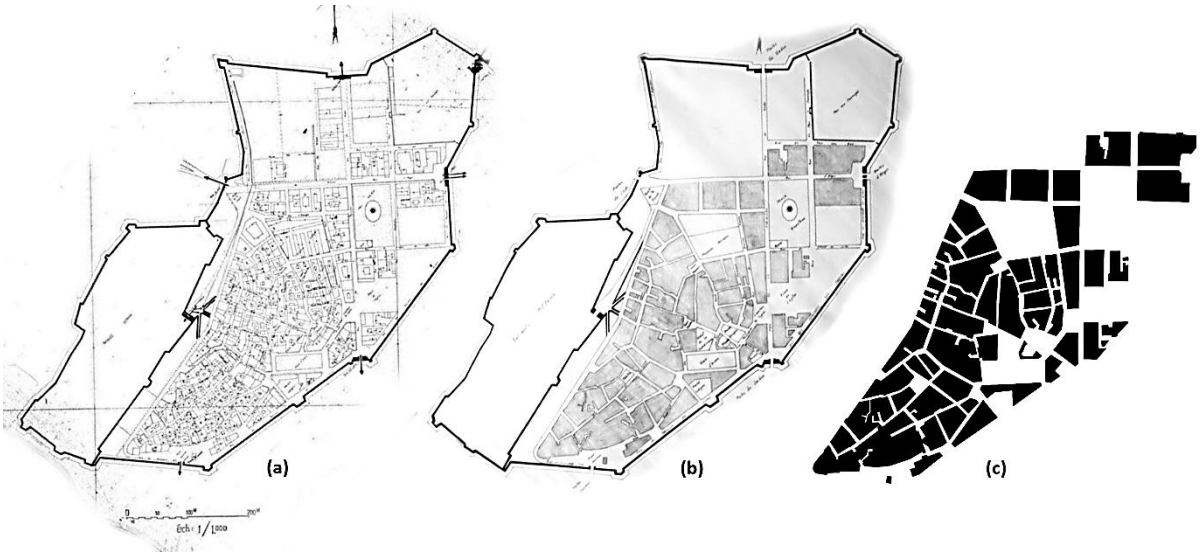
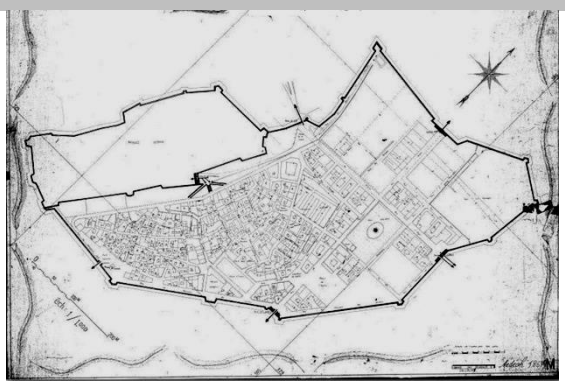
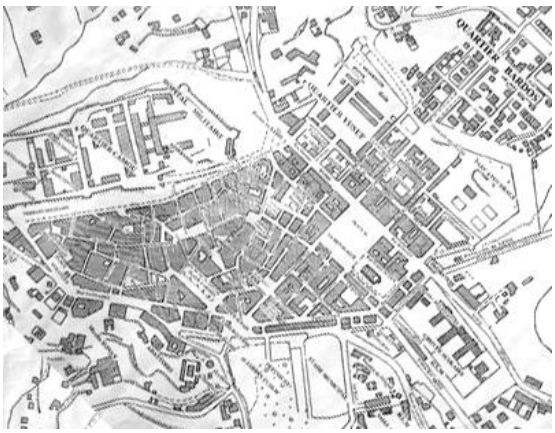
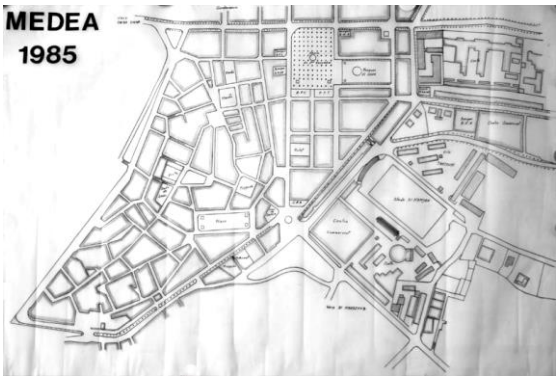


Figure 83. Plan de la ville en 1867 affiné ensuite reproduit en format (.tiff) (Source : Services d'urbanisme de l'APC)*

Tableau 11. Supports graphiques utilisés dans la caractérisation morphologique du noyau de Médéa. Source : Auteur

Date	Plan de référence	Plan des traces au sol
1867		
1959		
1985		
2023	POS 1 Acualisé	

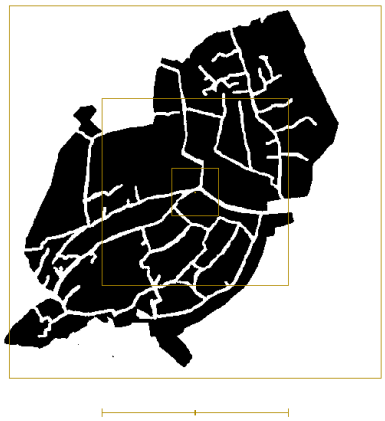
5. Analyse fractale des données urbaines

Les résultats des calculs sont présentés en deux parties. Dans un premier temps, une approche globale du champ d'étude est discutée afin de déterminer les valeurs relatives à la dimension fractale sur trois périodes différentes en fonction des trois paramètres analysés - analyse radiale, dilatation et corrélation - tout en soulignant la relation entre la valeur de la dimension fractale et le contexte urbain/historique auquel elle se réfère. En second temps, des analyses locales sont effectuées selon un découpage du noyau urbain effectué selon le paramètre historique, afin d'affiner davantage les résultats. Seuls les résultats les plus pertinents sont présentés dans les tableaux 12 à 16.

5.1. Analyse fractale du plan précolonial hypothétique

La restitution hypothétique du parcellaire sur la base du relevé des officiers du Génie militaire 1840 du noyau historique de Médéa révèlent d'emblée la présence d'un centre très compact qui se réfère au noyau précolonial. Les calculs de la dimension fractale obtenus après l'analyse du tissu sont présents dans le tableau 12.

Tableau 12. Calcul de la dimension fractale (Radiale, Dilatation, Corrélation) du noyau précolonial hypothétique de Médéa. Source : Auteur

Plan hypothétique durant la période ottomane	D	Valeur	Ajustement	Confidence 95%
	**Radial R1**	**1.975**	**0,998137**	**1,961 - 1,989**
	Radial R2	**1,941**	**0,996862**	**1,885 - 1,997**
	Radial R3	**1.925**	**0,996774**	**1,869 - 1,981**
	Dilatation	**1.766**	**0,996918**	**1,678 – 1,853**
	Correlation	**1.901**	**0,999638**	**1,869 - 1,934**

On remarque lors l'analyse radiale du noyau urbain de Médéa à l'époque précoloniale, que le tissu présente une compacité et une homogénéité irréprochable avec des valeurs de dimensions fractale radiale de (1.975, 1.941 et 1.925) de la petite fenêtre d'analyse jusqu'à celle qui englobe tout le tissu, la valeur de ε croissante n'a pas une grande incidence sur la dimension fractale. En effet, lorsque l'on étudie la courbe du comportement scalant pour l'ensemble du noyau urbain à cette époque avec un point de comptage localisé au barycentre, on observe très peu de ruptures (2) dans la décroissance de fatalité du centre vers la périphérie.

Le tableau 12 montre également que le noyau urbain précolonial de Médéa présente un aspect connexe avec une dimension fractale Dd=1.766, qui s'agrège au bout de quelques itérations (5 itérations ce qui représente 5 m compte tenu de la résolution).

L'analyse des corrélations montre qu'au noyau urbain, on rencontre des formes très homogènes, la plupart des objets pleins ayant une taille comparable et leur disposition étant assez régulière. Dans

ce contexte, la notion d'homogénéité se rapporte à la distribution des pleins nous avons affaire à des formes très homogènes, la plupart des objets pleins ayant une taille comparable et leur disposition étant assez régulière, caractérisé par une rugosité égale.

5.2. Analyse fractale diaronique globale du périmetre d’étude

Les résultats issus de ces calculs sont présentés dans deux sections distinctes. Dans un premier temps, nous avons adopté une analyse globale concernant le périmètre d'étude, ce qui nous a permis de déterminer les valeurs des dimensions fractales pertinentes pour quatre périodes historiques, en fonction de la documentation analysée. Cette approche globale implique l'utilisation de l'analyse radiale, l’analyse de dilatation et celle de la corrélation. Les résultats issus de ces calculs seront systématiquement croisés avec les faits urbains historiques ainsi que le travail de terrain.

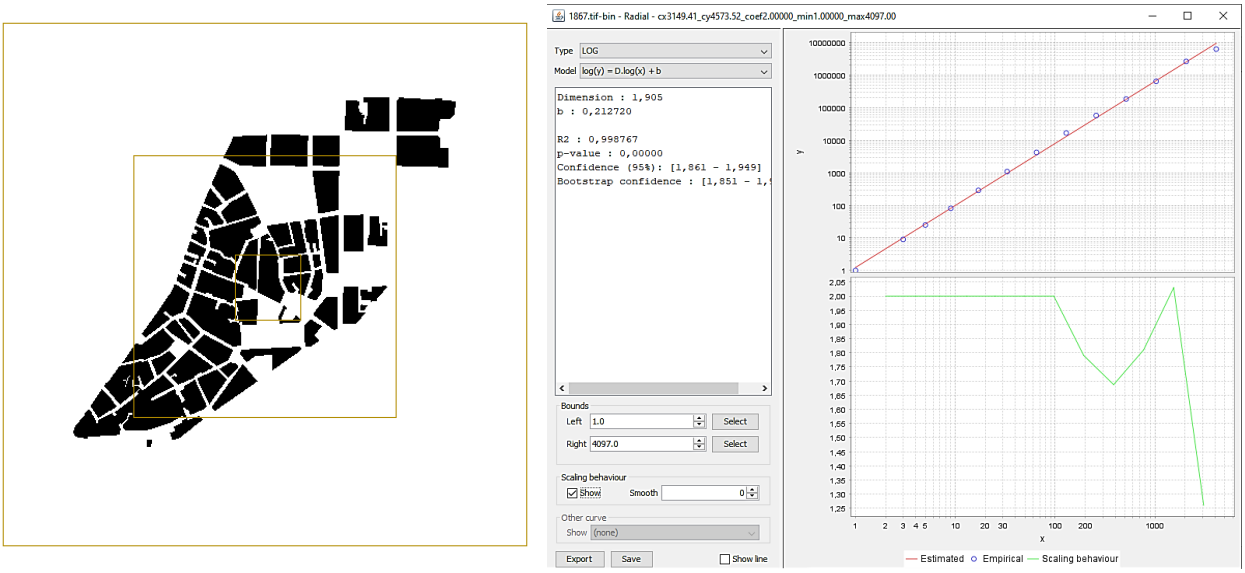


Figure 84. Courbe du comportement scalant du noyau urbain de Médéa en 1867. Source : Auteur

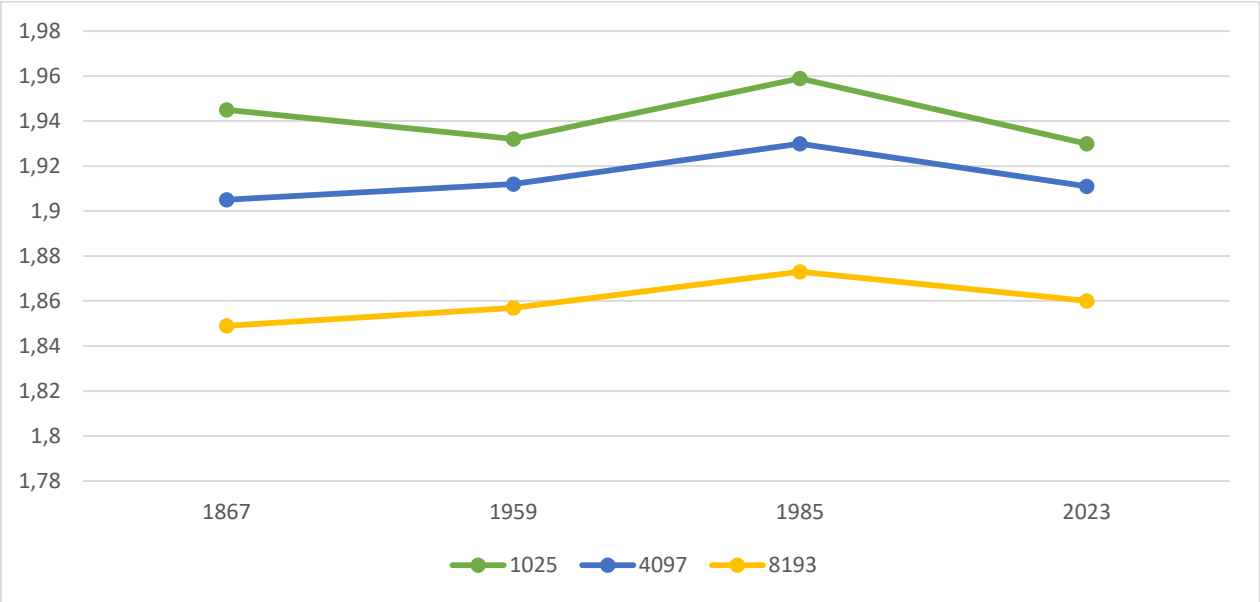
Un examen immédiat des cartes révèle la présence remarquable d'un centre urbain particulièrement compact, directement associé au précolonial, dont la compacité se dilue progressivement à mesure que l'on se va vers les bordures nord et est et est de la ville. Ces zones périphériques sont en effet les zones initialement touchées par les interventions urbaines françaises. Dans les tableaux suivants présentés dans cette étude, nous avons soigneusement sélectionné et publié uniquement les résultats les plus marquants et les plus pertinents, qui contribuent à la compréhension de l’évolution urbaine parallèlement à l'évolution historique.

Tableau 13. L'analyse radiale du périmètre d'étude selon trois rayon à travers les années : 1867, 1958, 1985, 2023. Source : Auteur

	Plan global	Radius (pixels) from	to	D_R	Ajustement	Confidence 95%
1867		**1**	**1025**	**1.945**	**0,999206**	**1.903 – 1.986**
		1	**4097**	**1.905**	**0.998767**	**1.861 – 1.949**
		1	**8193**	**1.849**	**0.994639**	**1.861 – 1.949**
1959		**1**	**1025**	**1.932**	**0.999097**	**1.889 - 1.976**
		1	**4097**	**1.912**	**0.999133**	**1.875 - 1.949**
		1	**8193**	**1.857**	**0.996027**	**1.783 - 1.931**
1985		**1**	**1025**	**1.959**	**0.999625**	**1,930 - 1,987**
		1	**4097**	**1.930**	**0.999307**	**1,896 - 1,964**
		1	**8193**	**1.873**	**0,995796**	**1,797 - 1,950**
2023		**1**	**1025**	**1.931**	**0.999185**	**1.885 - 1.978**
		1	**4097**	**1.922**	**0.999219**	**1.877 - 1.967**
		1	**8193**	**1.852**	**0.996263**	**1.780 - 1.925**

On tient à mentionner que les valeurs ε adoptées dans l'analyse globale sont de les mêmes que ceux choisis pour le cas d'étude précèdent à savoir Blida. De ce fait, On remarque sur la figure 84 que la fenêtre d'analyse la plus grande présente les valeurs Dr les moins importantes. Ceci évidement est dû à la surface du périmètre de Blida qui mesure approximativement plus que le double de celui de Médéa, ce qui fait moins de pixels à calculer dans la dernière fenêtre, mais en aucun cas, sème le

doute sur la compacité très perceptible du noyau. En effet, la dimension fractale radiale Dr pour l'ensemble de la zone d'étude est notablement élevée, elle se rapproche de 1,9, comme illustré dans le Tableau 13. Dans un premier temps, à mesure que le rayon de l'étude s'étend, la valeur de Dr diminue légèrement (1,945 — 1,905 — 1,849) pour 1867, (1,932 - 1,912 - 1,857) pour 1959, (1,959 - 1,930 - 1,873) pour 1985, et enfin (1,931 - 1,922 - 1,852) pour 2023. Ce résultat signifie une dilution modérée de la masse urbanisée le long du rayon des fenêtres examinées. Ces résultats sont généralement acceptables en raison des valeurs élevées de leurs coefficients d'ajustement à l'exception de la dernière fenêtre pour les raison citées précédemment. La courbe théorique est en effet remarquablement conforme à la courbe réelle représentant la zone urbaine (figure 84). La dilution progressive mais marginale se manifeste principalement dans la partie nord et est du centre urbain. Ce phénomène dénote les premières interventions urbaines françaises en ville, sous forme de démolition et restructuration, ainsi que des opérations de réalignements opérés sur cette zone. Ce entraîne à son tour une dégradation minimale de l'homogénéité du tissu et, par conséquent, une augmentation de l'irrégularité et de la complexité à mesure que l'on avance vers le nord et l'est.



Graphique 4. Variation de la dimension fractale radiale de Médéa selon trois fenêtres correspondantes à trois rayons d'analyse. Source : Auteur

Dans le tableau 13, on a songé à calculer la dimension fractale radiale Dr du périmètre d'étude avec une fenêtre de calcul optimale, dont la valeur ε s'insère entre les deux premières valeurs d'analyse choisies dans le tableau précèdent. Comme en témoignent les données présentées dans ce tableau, la dimension fractale notée Dr, qui concerne l'ensemble du périmètre de l'étude, est remarquablement élevée, oscillant encore une fois autour de la valeur de 1,9. Dans un premier temps, on peut observer une modeste trajectoire ascendante au fil du temps, qui semble se stabiliser de manière significative à partir de 1985, avec des valeurs enregistrées de 1,906, 1,915, 1,926 et 1,925. Cette augmentation progressive peut être interprétée comme une légère dilution du périmètre urbanisé le long des différents rayons des fenêtres qui ont été méticuleusement analysées précédemment ; parallèlement, ce phénomène indique également une densification progressive du périmètre, qui atteint un point de saturation notable après l'année 1985. Ces résultats sont jugés acceptables et valides, compte tenu des valeurs moyennes à élevées des coefficients d'ajustement

qui ont été observées tout au long de l'analyse. De plus, la courbe théorique est très proche de la courbe réelle représentant la surface urbanisée.

Tableau 14. L'analyse Radiale, dilatation et corrélation du périmètre d'étude de Médéa. Source : Auteur

Global plan	D	Nbre pixels From – to	D value	Ajustement	Confidence 95%
1867	**Dd**	1-1450	1.786	0.997785	1.723 – 1.850
	Dc	1-1450	1.883	0.999069	1.840 – 1.926
	Dr	1-2910	1.906	0.998443	1.853 – 1.959
1959	**Dd**	1-1480	1.796	0.998554	1.744 – 1.847
	Dc	1-1480	1.888	0.999298	1.858 – 1.918
	Dr	1-2960	1.915	0.998971	1.872 – 1.959
1985	**Dd**	1-1410	1.817	0.998434	1.763 – 1.871
	Dc	1-1410	1.900	0.999506	1.869 – 1.932
	Dr	1-2820	1.926	0.999215	1.888 – 1.964
2023	**Dd**	1-1460	1.807	0.998498	1.754– 1.861
	Dc	1-1460	1.895	0.999474	1.863 – 1.928
	Dr	1-2910	1.925	0.999273	1.880– 1.970

Après un examen attentif des cartes générées, on peut rapidement discerner une densification progressive des vides urbains qui existent dans certaines sections spécifiques de ce centre urbain. Une analyse approfondie du phénomène de dilatation donne un résultat progressivement croissant au fil du temps. La dimension fractale désignée Dd présente des variations allant de 1,786 en 1867 à 1,796 en 1959, puis 1,817 en 1985 et culminant à 1,807 en 2023, avec un coefficient d'ajustement moyen d'environ 0,998, comme détaillé dans le tableau 14. Bien que cette valeur soit considérée comme faible, elle suit néanmoins une trajectoire ascendante, car le périmètre présente une tendance progressive de densification des vides urbains au fil du temps, à l'exception de l'intervalle entre 1985 et 2023. Cette vision est particulièrement prononcée étant donné que le noyau précolonial très compact (figure 85) exerce une influence significative sur la valeur globale de Dd.

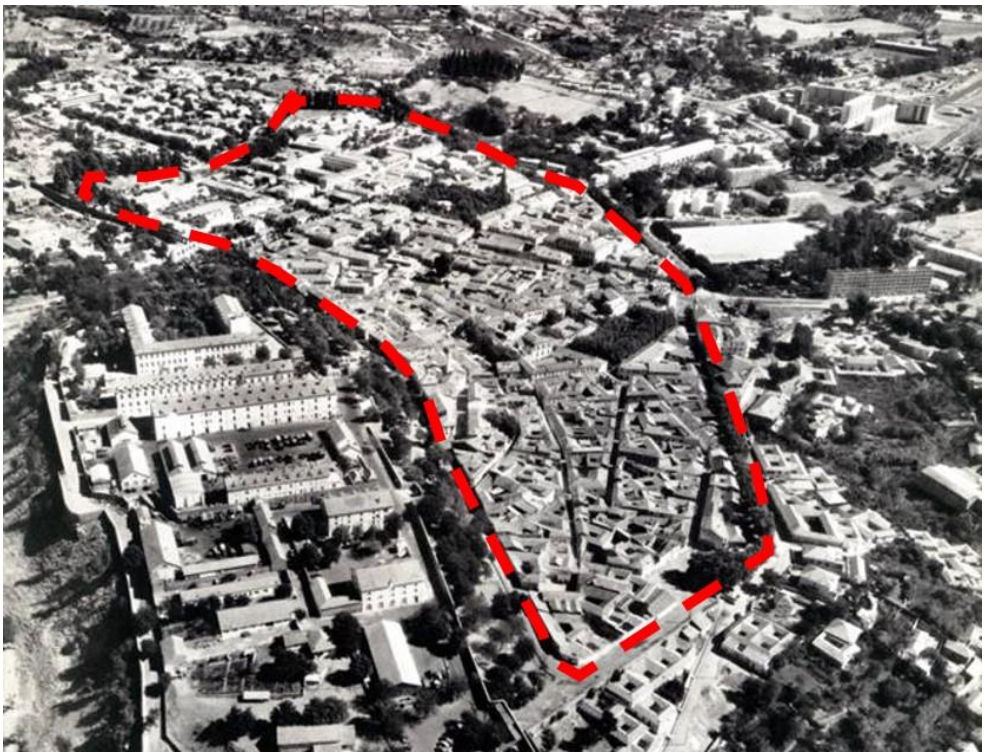


Figure 85. Image satellite des années 60 montre la compacité élevée du noyau urbain de Médéa. Source :

Les résultats de l'analyse de corrélation révèlent un degré d'homogénéité modéré/élevé au sein du périmètre analysé. Les valeurs dérivées de cette analyse restent relativement stables entre les deux premières périodes, qui sont enregistrées comme 1,883 en 1867 et 1,888 en 1959, ainsi qu'entre les deux périodes suivantes, qui affichent des valeurs de 1,900 en 1985 et 1,895 en 2023. Les coefficients d'ajustement correspondants sont remarquablement élevés, toutes les valeurs dépassant 0,999069, comme illustré dans le tableau 14.

À la lumière des facteurs liés à la morphologie des tissus qui constituent ce centre urbain au cours des différentes périodes historiques, et dans le but d'affiner les résultats de notre analyse, nous avons divisé notre périmètre d'étude en deux zones distinctes (planche 3). L'analyse locale des deux différentes zones urbaines facilite notre capacité à définir la dimension fractale spécifique associée à chaque tissu, en tenant compte de sa conformation unique et de son contexte historique. Ces zones délimitées comprennent la zone (a), qui concerne le tissu précolonial peu restructurée, et la zone (b), qui concerne la zone précoloniale restructurée.

Année	Périmètre d'étude	Zones à analyser		Année	Périmètre d'étude	Zones à analyser	
1867		(a)	(b)	1958		(a)	(b)
1985		(a)	(b)	2023		(a)	(b)

Planche 3. Découpage du périmètre d'étude de Médéa en zones homogènes avec illustrations photographiques. Source : Auteur

5.3. Analyse fractale diachronique par zone

a. Zone avec interventions minumes : Zone (a)

Cette zone particulière présente un niveau de compacité remarquable, comme en témoigne un examen de l'organisation spatiale des ilots en question (figures 86, 87), et comme l'illustrent les plans urbains relatifs aux quatre périodes temporelles étudiées ; cette compacité reste presque uniforme, à quelques exceptions près, malgré l'apparition de vides urbains sur le dernier plan, quoi peut être due soit à des effondrements, soit de démolitions délibérément exécutées. On note quelques opérations de réalignement menées sur certains segments de cette zone mais qui reste très minimale.

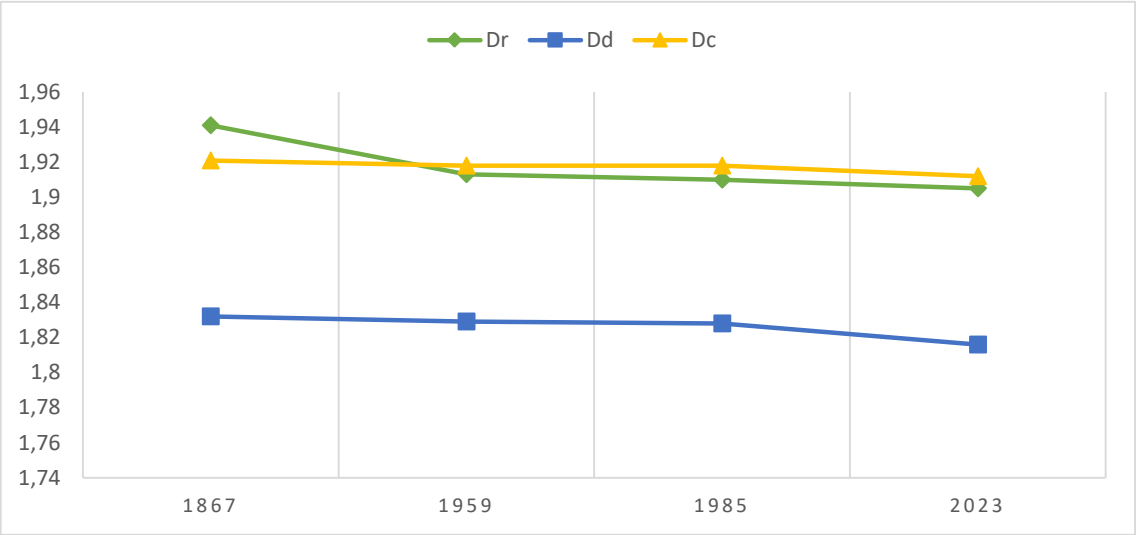
Figure 86. Reportage photographique de la zone (a) de Médéa : présence de petits équipements et commerces. Source : Auteur

Outre les quelques modifications relevées sur les plans des quatre périodes analysées, il est important de souligner que la partie centrale du noyau urbain reste à la fois homogène et compacte, ce que confirment les valeurs Dr, qui sont très élevées, fluctuent entre 1,941 et 1,907, accompagnées de coefficients d'ajustement favorables, comme le montre le tableau 15. Parallèlement, on observe que la valeur de la dimension fractale diminue légèrement au fil du temps, ceci est attribuable à l'apparition de très peu de vides urbains de dimensions relativement petites, qui n'existaient pas auparavant. Ce changement qui est illustré dans les plans d'urbanisme correspondants.

Au cours des quatre périodes étudiées, on peut également identifier des valeurs élevées de Dd et Dc, ce qui permet de mieux comprendre la nature du tissu urbain de cette zone. La dimension fractale relative à l'analyse de dilatation présente une régression modeste et progressive, passant d'une valeur de 1,832 en 1867 à 1,829 en 1959, puis à 1,828 en 1985, pour finalement atteindre 1,813 en 2023, indiquant ainsi une perte d'homogénéité et de compacité constante mais faible dans le temps.

Tableau 15. Résultats de l'analyse radiale, dilatation et corrélation de la zone (a) du périmètre d'étude de Médéa. Source : Auteur

	Zone (a)	Dimension	Radius (N° pixels) From - to	D	Ajustement	Confidence 95%
1867		**Dd**	1-860	1.832	0.998575	1.776 – 1.889
		Dc	1-860	1.921	0.999662	1.892 – 1.950
		Dr	1-1310	1.941	0.999162	1.899 – 1.983
1959		**Dd**	1-870	1.829	0.998869	1.772 – 1.882
		Dc	1-870	1.918	0.999709	1.889 – 1.947
		Dr	1-1420	1.913	0.999320	1.871 – 1.954
1985		**Dd**	1-884	1.828	0.998504	1.771 – 1.886
		Dc	1-884	1.918	0.999637	1.889 – 1.948
		Dr	1-1540	1.910	0.999312	1.872 – 1.947
2023		**Dd**	1-843	1.813	0.998528	1.752– 1.875
		Dc	1-843	1.915	0.999592	1.883 – 1.947
		Dr	1-1560	1.907	0.999002	1.862– 1.953



Graphique 5. La variation de la dimension fractale de la zone (a) - Médéa. Source : Auteur

Figure 87. Reportage photographique de la zone (a) de Médéa : quartier exclusivement résidentiel. Source : Auteur

L'analyse de corrélation quant à elle présente une tendance similaire, passant d'une valeur de 1,921 à 1,915. Les valeurs qui se dégagent de ces deux dimensions, telles qu'elles sont analysées au fil du temps, caractérisent clairement une masse bâtie de nature très homogène mais qui devient plus irrégulière dans le temps.

b. Zone restructurée nord et est : Zone (b)

Cette zone particulière concerne les premières restructurations urbaines à l'intérieur du noyau, survenues pendant la période coloniale française. Elle se caractérise par des disparités plus

importantes que la zone (a), dans la distribution spatiale des bâtiments et des vides urbains au cours des périodes examinées, révélant un niveau de compacité inférieur à celui du noyau d'origine, et établissant ainsi un contraste notable avec la zone précédente, qui présente un degré plus élevé d'homogénéité.

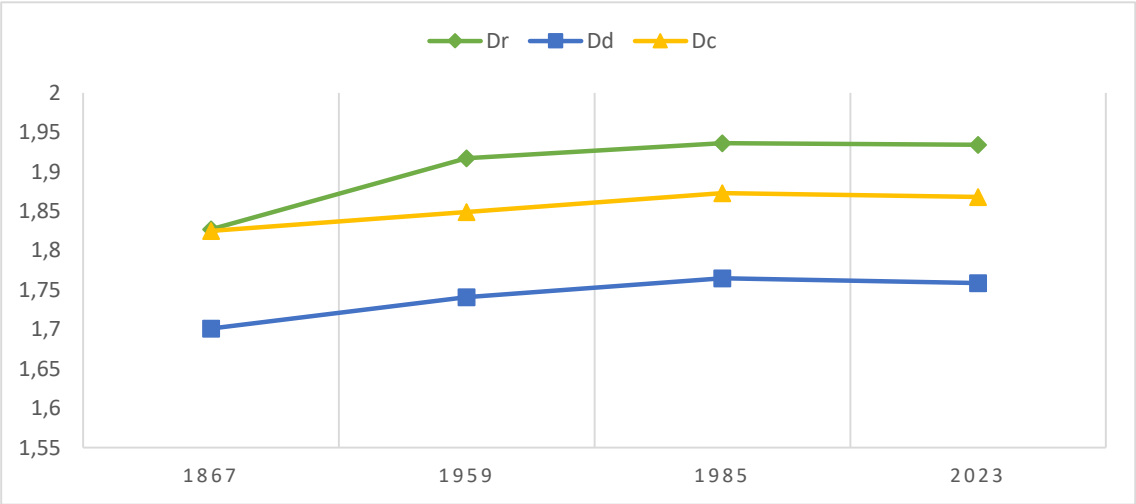
Figure 88. Reportage photographique de la zone (b) de Médéa : quartier commercial. Source : Auteur

Dans la zone (b), on observe que la valeur de la dimension fractale Dr augmente progressivement à travers le temps, ce qui contraste nettement avec le comportement de la dimension fractale de la zone (a). Cette hausse progressive se manifeste progressivement au fil du temps. Elle commence par une valeur de 1,827 en 1867, passant à une valeur de 1,917 en 1959, pour culminer avec des mesures de 1,936 et 1,933 au cours de la période allant de 1985 à 2023, un phénomène étroitement lié à l'urbanisation continue et systématique de cette zone particulière, qui est historiquement considérée comme zone qui a subi une restructuration importante (figure 88) si ce n’est totale si l’on observe bien le footprint des relevés des différentes périodes sur le tableau 16.

Les valeurs observées pour la dimension fractale Dd restent relativement faibles au cours des quatre périodes temporelles distinctes. Ces valeurs oscillent entre une valeur de 1,701 en 1867 et qui s’accrue légèrement à 1,757 en 2023. En outre, la dimension de corrélation, appelée Dc, connaît une augmentation légère mais perceptible au fil du temps, maintenant des valeurs relativement élevées de 1,825, 1,849 et 1,873, pour finalement s'établir à 1,866 en 2023 ; il est toutefois essentiel de noter que ces valeurs n'ont pas de signification globale significative. En outre, il est impératif de souligner que, lorsqu'elle est évaluée de manière holistique, cette zone particulière présente des coefficients d'ajustement plutôt faibles, une condition attribuée aux oscillations considérables des dimensions fractales référencées ici, qui sont clairement observables lorsque l'on examine le comportement d'échelle.

Tableau 16. Résultat de l'analyse radiale, dilatation, et corrélation de la zone (b) du périmètre d'étude de Médéa. Source : Auteur

Zone (b)	Dimension	Radius (N° pixels) From - to	D	Ajustement	Confidence 95%
1867	**Dd**	1-1280	1.701	0.994678	1.607 – 1.795
	Dc	1-1280	1.825	0.996875	1.748 – 1.902
	Dr	1-2060	1.827	0.995498	1.741 – 1.914
1959	**Dd**	1-1300	1.741	0.997054	1.670 – 1.813
	Dc	1-1300	1.849	0.998528	1.795 – 1.902
	Dr	1-1810	1.917	0.998864	1.869 – 1.966
1985	**Dd**	1-1280	1.765	0.996978	1.692 – 1.838
	Dc	1-1280	1.873	0.998882	1.825 – 1.920
	Dr	1-1820	1.936	0.999300	1.897 – 1.975
2023	**Dd**	1-1310	1.757	0.997059	1.672– 1.842
	Dc	1-1310	1.866	0.998868	1.818 – 1.914
	Dr	1-1930	1.933	0.999304	1.890– 1.976



Graphique 6. La variation de la dimension fractale de la zone (b) - Médéa. Source : Auteur

6. Discussion des résultats

Même si la dimension fractale n'est pas uniforme dans la zone centrale, y compris dans les zones situées à l'intérieur de l'ancienne enceinte, au cours des différentes périodes étudiées, les fluctuations observées restent minimes, variant de 1,7 % pour le Dr, 2,1 % pour le Dd et 2 % pour le Dc. Simultanément, les valeurs associées à Dr, Dd et Dc caractérisent une masse bâtie remarquablement homogène, malgré le fait que la conformation urbaine ne présente pas de similitude entre les quatre périodes temporelles distinctes analysées. Ces paramètres suggèrent que notre hypothèse initiale, qui postule que la dimension fractale n'est pas préservée de manière cohérente dans le temps pour l'ensemble du noyau urbain, ne peut être globalement étayée. Par conséquent, nous sommes contraints d'envisager une exploration plus approfondie et détaillée de ce phénomène.

Dans la zone (a), le noyau précolonial possède une dimension fractale Dr exceptionnellement élevée, dépassant généralement la valeur de 1,905 au cours de toutes les périodes étudiées. Les valeurs de Dd et Dc corroborent non seulement cette observation, mais caractérisent également une masse accumulée qui présente un degré d'homogénéité remarquable, avec des oscillations maximales enregistrées à 1,6 % pour Dd et à peine 0,9 % pour Dc, renforçant ainsi la notion d'uniformité spatiale dans cette zone.

La zone (b) présente un moindre degré de compacité par rapport à la zone (a), bien qu'elle reste relativement peu dispersée. Les enseignements tirés de l'analyse de cette zone conduisent à l'inférence suivante : il convient de noter que la configuration urbaine de cette zone ne diffère pas de manière significative sur les quatre plans analysés, mais cela signifie une densification progressive du tissu urbain, caractérisée par des oscillations importantes allant de 10,9 % pour

Dr, 5,8 % pour Dd et 4,8 % pour Dc. Il est à préciser que l'état du noyau représenté sur le premier plan, issu du relevé cadastral de 1867, ne reflète pas vraiment la ville précoloniale, qui habituellement présente un aspect plus compact. On suppose de ce fait qu'il a été exécuté au cours des travaux de restructuration opérés sur cette zone.

Ces résultats réfutent toute supposition suggérant la conservation de la dimension fractale dans le temps. Néanmoins, l'importance historique de ce tissu urbain, considéré comme faisant partie autrefois de la ville précoloniale, mérite une attention particulière. Dans le même contexte, il convient de mentionner que la configuration urbaine de cette zone particulière reste relativement similaire au cours des différentes périodes qui ont été examinées. On peut affirmer avec certitude que les plans urbains se chevauchent sur beaucoup d'emplacement, à l'exception de vides spécifiques apparus dans le relevé urbain le plus récent, qui sont probablement liés à des effondrements involontaires résultants du processus de vieillissement naturel du tissu urbain relativement délabré tel qu'observé in situ. Ces paramètres nous permettent de valider notre hypothèse partiellement, qui postule la conservation de la dimension fractale sur le continuum temporel, sur certaines zones.

7. Conclusion

L'analyse fractale présente souvent des avantages notables pour la caractérisation spatiale. Dans le cadre de cette étude, les résultats issus de l'analyse fractale, associés à la dimension temporelle grâce à une interprétation diachronique du noyau urbain, ainsi qu'à la superposition de plans, ont facilité une compréhension plus approfondie de la genèse urbaine et la caractérisation du tissu du noyau de Médéa. Ce dernier présente un caractère globalement compact et homogène ; toutefois, l'examen minutieux de ses caractéristiques distinctes révèle qu'il est peu fragmenté. La dimension fractale constitue ici une métrique indicative des conditions d'utilisation des sols. En effet, nous pouvons affirmer que la dimension fractale des tissus, bien que relativement importante dans chacun des tissus, répond à des logiques différentes : la dimension fractale du tissu précolonial le mieux conservé diminue avec le temps, comme en témoigne une baisse minimale de compacité, tandis que la dimension fractale du tissu colonial restructuré présente une trajectoire ascendante au fil du temps, caractérisée par une densification progressive et substantielle.

Les résultats présentés ici sont préliminaires et fondés sur l'analyse de données relatives à un secteur spécifique de la ville de Médéa. Par conséquent, il est impératif de démontrer la cohérence de ces résultats provenant du noyau de Médéa avec ceux des deux autres centres urbains du corpus, et présentant des paramètres physiques, historiques et sociologiques analogues. Bien que la plupart des résultats soient encourageants, un examen plus approfondi à travers l'analyse d'autres paramètres fractals est nécessaire. De plus, une augmentation en

nombre et en diversité des mesures fractales est cruciale pour stabiliser ces résultats. En outre, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour améliorer l'intégration des mesures fractales à la dynamique urbaine.

Chapitre 6 : Caractérisation des paramètres morphologiques du noyau urbain de Miliana

1. Introduction

Ce chapitre concerne l'application de l'analyse fractale pour des fins de caractérisation urbaine du noyau de Miliana. L'objectif est de définir les paramètres morphologiques et de procéder ensuite à une comparaison temporelle de ces paramètres, dans le but d'évaluer la dimension fractale des surfaces construites et d'identifier les caractéristiques physiques du tissu, sur la base des variations spatiales calculées. Pour atteindre cet objectif, ce chapitre se veut d'améliorer la compréhension de l'environnement bâti intramuros en utilisant diverses méthodes de mesure fractales. Ce chapitre examine si les modèles intra-urbains du centre urbain présentent des dimensions fractales constantes ou fluctuantes au fil du temps. En outre, la recherche se concentre sur la question de savoir si les indices fractals peuvent améliorer l'analyse de la composition structurelle des centres urbains. Il est essentiel de préciser que l'intention n'est pas de reconstruire le récit urbain de Miliana, mais plutôt de mettre en évidence ce qui permet de différencier les éléments structurants spatiaux contemporains, qui sont associés à des phases temporelles distinctes, tout au long du processus d'urbanisation de la zone d'étude, en particulier les modalités et les formes pertinentes à chaque mode de développement urbain.

2. Présentation du troisième cas d'étude : Miliana

Miliana, la ville millénaire est dotée d'une histoire très riche, et maintient un lien étroit avec son patrimoine historique. La ville de Miliana se situe dans la wilaya d'Ain Defla, située au sud de Dahra, sur les contreforts du mont Zaccar, et surplombant la vallée du Chelif. Elle est fondée au Xe siècle par le prince ziride Bologhine ibn Ziri sur les vestiges d'une ville romaine connue sous le nom de Zucchabar. Elle a connu un déclin à l'époque coloniale, au profit de Khemis Miliana, située dans la plaine adjacente. Le quartier historique de la ville comprend plusieurs monuments importants et est désigné comme zone protégée conformément au décret exécutif n° 23-150 du 9 avril 2023 portant sur "création et délimitation du secteur sauvegardé de la vieille ville de Miliana" joint en annexe 2. La conformation urbaine de la ville de Médéa d'aujourd'hui, remonte principalement à la période de domination française 1830 à 1962. Néanmoins, quelques monuments ainsi que très peu de ruelles subsistent de la période ottomane 1500 à 1830.

2.1. Localisation de Miliana

Situé au pied du mont Zaccar, Miliana est une municipalité dont l'expansion géographique est limitée, elle est possible uniquement vers l'est le long de la route menant à Ain Torki ou vers le

sud, en direction de Zougala et El-Khemis, où les jardins fertiles étagés d'autrefois cèdent progressivement le pas à l'empiètement du béton qui continue de s'infiltrer progressivement vers la plaine. La ville de Miliana est géographiquement située dans la région nord de la wilaya d'Aïn Defla, à 114 kilomètres au sud-ouest d'Alger, à 50 kilomètres à l'ouest de Médéa et à 92 kilomètres à l'est de Chlef. Construite à 740 mètres d'altitude sur une plate-forme rocheuse caractérisée par des contours abrupts, Miliana est entièrement protégée au nord. À l'est et au sud, Elle offre une vue sur la vallée de Chélif, tandis qu'à l'ouest se trouve un vaste plateau qui s'étend vers la chaîne de montagnes d'Ouarsenis (figure 89).

2.2. Toponymie

Les historiens de l'Antiquité, dont Pline l'Ancien et Ptolémée, ont présenté des divergences quant à l'étymologie du toponyme associé à cette localité. Diverses appellations ont été documentées, telles que Zucchabar ou Sugabar et Manliana ou Malliana (Gsell, 1927). Le toponyme Zucchabar ou Sugabar a été référencé dans des artefacts épigraphiques indiquant le site principal de la ville. On pense que cette appellation provient de racines phéniciennes ou libyco-berbères et signifie « *marché du blé* » (Kanzandian, 1913, p13). L'appellation Manliana ou Malliana a été mentionnée dans les textes anciens pour une colonie située sur le site contemporain de la ville ou dans ses environs, Saint Augustin faisant référence à un évêque associé à cette localité (Pechot, 1914, p83). Ce nom, d'origine latine, est attribué à un patricien romain nommé Manlia, qui possédait d'importants domaines dans la région agricole de la vallée de Chélif. Cependant, certains chercheurs affirment que ce nom a des origines berbères. Pline, pour sa part, appelait cette ville Colonia Augusta. Au cours de la conquête islamique, Manliana a été arabisée, devenant « Meliana », qui en arabe signifie « remplie », désignant essentiellement un état d'abondance, notamment en termes d'eau et de ressources agricoles.

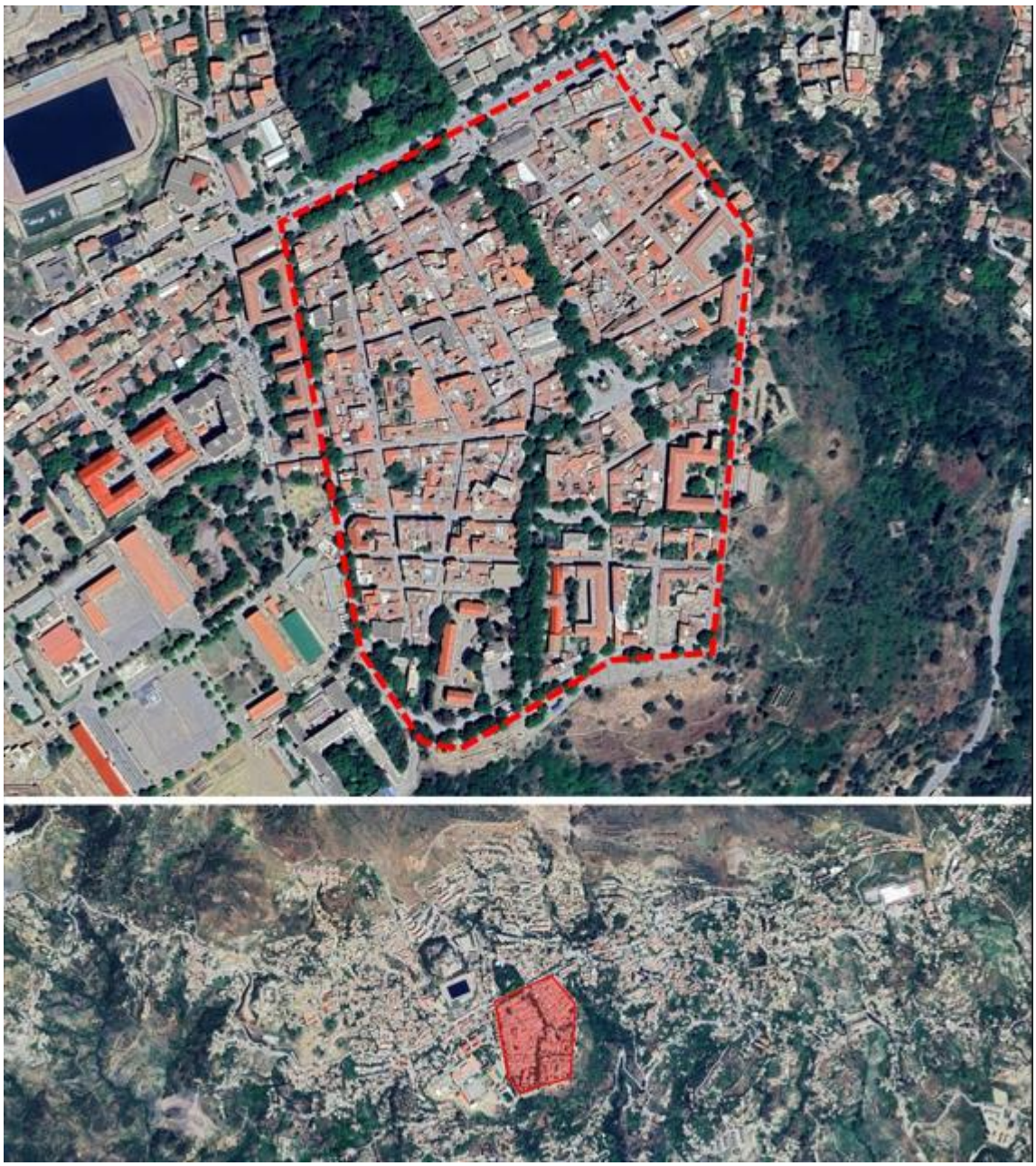


Figure 89. Image satellite illustre la délimitation du périmètre d'étude ainsi que sa situation dans la ville de Miliana. Source : Auteur sur support Google earth pro

3. Genese historique urbaine du noyau urbain de Miliana

La genese urbaine de Miliana repose sur un examen approfondi des documents bibliographiques et iconographiques en notre pocession, ainsi qu'une analyse approfondie des documents cadastraux qui nous fournissent un aperçu sur l'organisation spatiale de la ville. Les sources d'information concernant l'histoire ancienne de Miliana remontent principalement à la période coloniale du XIXe siècle. En outre, la réalisation d'une vérification parallèle de la cohérence actuelle des lieux et des bâtiments est essentielle pour établir un récit historique fiable. En fonction de la disponibilité de ces divers matériaux et ressources, l'histoire urbaine

de Miliana à l’instar des deux cas d’étude précedents a été divisée en trois grandes périodes chronologiques qui délimitent son évolution.

3.1. Miliana pré-coloniale française

a- Miliana romaine

Une analyse de la romanisation de l'Afrique du Nord situe Miliana au sein de l'Empire romain, détaillant son annexion après la chute de Carthage et sa gouvernance ultérieure par les rois berbères avant le contrôle direct des Romains en 40 après JC, conduisant à une division administrative en quatre royaumes (Mesnage, 1913). Miliana faisait partie de la Mauritanie Césarienne. Pendant l'interrègne de la Mauritanie césarienne, de la mort de Boccus (33 avant JC) à l'ascension de Juba II (25 avant JC), de nombreuses colonies ont émergé, notamment six à proximité d'anciens ports et trois colonies intérieures, dont Miliana (Lepelley, 1977). L'établissement de Miliana est donc situé entre 33 et 25 avant notre ère, dans la vallée de Chellif, reconnue comme la région la plus romanisée de Mauritanie, comme le confirme Mesnage concernant son occupation précoce de villes comme Zuccabar ou Miliana (Benabou, 1976).

Bien que Miliana soit reconnue comme une fondation romaine, sa localisation précise reste controversée, certaines sources identifiant Zuccabar à Affreville et d'autres à Miliana contemporaine. Cagnat (1842) a noté que les auteurs d'inscriptions latines utilisaient les références synonymes de Miliana et Malliana dans l'itinéraire d'Antonin et les écrits d'Augustin pour corréler ces lieux, plaçant Zuccabar à Affreuville, (Cagnat, 1842). Si ces informations remettent en question la localisation de cette ville, on peut finalement dire que Miliana actuelle est située sur l'emplacement de l'ancienne Zuccabar, à partir des informations fournies par l'historien Piesse : Selon les travaux de géographie comparée, il est possible de déterminer avec certitude l'emplacement de la Miliana des Romains sur celui qu'elle occupe aujourd'hui. Dans les constructions spécifiques et les murs d'enceinte, on peut observer des blocs de bas-reliefs dispersés, ainsi que des fragments de statues, des chapiteaux, des fûts de colonnes supportant la Kouba d'un marabout. Les tombeaux servant de pierres d'ablutions témoignent de l'origine et de la prospérité d'une ville romaine disparue, tout comme tant d'autres, vers le 5e siècle. (Piesse, 1885)

En analysant ces données, nous pouvons conclure qu'il existe deux noms de la ville : Zuccabar et Miliana. D'après certains historiens tels que Gsell (1927), Mercier (1880) et Cagnat (1922), le nom a été modifié à plusieurs reprises. Une étude approfondie a été menée sur la compréhension de la coexistence de deux toponymies et de leurs transformations (Confère, 1980). Des découvertes archéologiques non identifiées de la ville ont été documentées dans des revues africaines par des commissions françaises.

El Bakri (1965) a enregistré la présence d'une enceinte romaine, avec des preuves de l'aménagement de la ville, des portes, des voies romaines et des vestiges tels que des sarcophages transformés en bassins d'ablution, ainsi que des pierres réutilisées dans l'architecture arabo-berbère. À l'heure actuelle, seules quelques inscriptions subsistent, notamment certaines sur des structures coloniales et d'autres incorporées dans l'enceinte.

La littérature historique et les recherches archéologiques affirment l'existence de la ville romaine, mais une documentation complète sur son organisation urbaine fait défaut, probablement en raison de l'instabilité qui a suivi son déclin au Ve siècle (Bousserak, 2000). On peut en déduire que la ville était fortifiée avec trois portes alignées sur des itinéraires spécifiques : la porte nord menant à Cesarea et Aquae Calidae, la porte sud vers Manliana et la porte ouest menant à Opidum Novum.

b- Miliana arabo-musulmane

L'examen des développements historiques depuis la conquête arabe jusqu'à la gouvernance turque de Miliana est une entreprise difficile en raison de l'instabilité persistante de la ville sous différents dirigeants, avec changement d'allégeance de la ville parmi les puissances régionales, notamment le Maroc, Tunis, Magrawa de Chellif et Beni-Abd-El-Oued de Tlemcen, parallèlement à une brève période d'autonomie (Hadj Sadok, 1985). Miliana, ville d'une importance historique considérable, est placée sous le contrôle des forces musulmanes en 647, s'intégrant ainsi à la grande province arabe Omeyyade, dont le centre administratif est Damas, position qu'elle maintient jusqu'en 741, lorsque le paysage géopolitique commence à changer radicalement.

La ville de Miliana entre les années 776 à 892 est subsumée sous la juridiction de l'État idrisside, qui a exercé une influence significative sur la région au cours de cette période (El Bakri, 1965). Après le déclin final et la chute ultérieure de cette dynastie, Miliana se retrouve soumise à une autre forme d'autorité, dont les sources littéraires disponibles laissent une lacune dans le récit historique. À l'approche de la fin du Xe siècle, la région centrale du Maghreb passe sous la domination des Zirides.

En effet, au cours de cette période, à l'instar d'Alger t Médéa, Miliana devient une ville d'une importance considérable dans le contexte régional, d'où la nécessité de la restaurer, car ces villes présentent un rôle militaire et économique important. El Bakri fournit un récit saisissant de cette transformation en déclarant : *« Ziri-Banou-Mennad reconstuisit cette place (Miliana) et la donna pour résidence à son fils Bologhine, elle est maintenant dans un état prospère (...) elle est approvisionnée, bien peuplée, possède quelques puits, de bonnes eaux et un bazar très fréquenté* » (El Bakri, 1965, p127-142). La ville subit une importante restauration[21] sous le

[21] L'utilisation de termes tels que « restaurée » et « reconstruite », comme l'ont fréquemment noté les chroniqueurs

règne de Ziri-Banou Mennad, mettant l'accent sur la continuité du récit historique à travers différentes perspectives culturelles (Djillali, 1972). El-Idrissi (1972) décrit également l'importance de la ville, en soulignant sa pertinence stratégique et économique dans le contexte des développements historiques.

Entre les XIe et XIIe siècles, la ville de Miliana s'est retrouvée sous la domination Hammadite, une situation qui fortement influencée par la dynamique géopolitique de l'époque, notamment avec l'incursion des Banou Hillal depuis les régions orientales et l'arrivée des Mourabitins de l'ouest, qui ont collectivement contribué au déclin progressif et à l'obsolescence éventuelle des dynasties Hammadite et Ziride. Miliana fait partie intégrante de l'État Mourabitine pendant près de soixante-quinze ans, puis intègre le royaume Almohade pendant environ un siècle au XIIe siècle, date à laquelle elle devient la capitale des Maghraouis dans la région de Chellif, bénéficiant souvent du soutien de diverses factions locales, une phase d'instabilité dans l'histoire de Miliana (Hadj Sadok, 1964).

La ville de Miliana vers 1515 est décrite comme étant dotée d'une structure défensive, entourée de formidables remparts anciens. Les résidences de Miliana étaient méticuleusement entretenues et agrémentées de fontaines esthétiques (Léon L'Africain[22], 1981). Bien que chaque récit mette l'accent sur des aspects spécifiques du caractère de la ville, ils convergent vers plusieurs points critiques, notamment l'abondance des sources d'eau, la nature florissante du commerce, la présence d'un mur de protection enveloppant la ville et l'existence d'un marché animé, qui soulignent tous l'importance stratégique et tissu densément construit du paysage urbain au cours de cette période charnière de l'histoire.

c- Miliana ottomane

Après le déclin de la monarchie Zianide, la ville est intégrée au cadre administratif plus large de Dar-El-Sultan, un district directement régi par l'autorité d'Alger (Julien, 1975). La ville était stratégiquement positionnée au cœur d'une région fertile et bien irriguée, qui constituait une composante essentielle de Dar-El-Sultan, et à cette époque, elle sert de résidence à divers fonctionnaires turcs qui supervisent la région, avec une densité de population atteignant environ 10 000 habitants selon les récits militaires enregistrés pendant la période coloniale (Gaubert, 1841). Gaubert (1841) dresse un portrait descriptif de la ville peu après son occupation coloniale, précédant ainsi toute intervention coloniale officielle qui refaçonne plus tard son paysage. A l'image de l'urbanisme des villes arabes, les rues de Miliana à l'époque ottomane se caractérisent par leur caractère étroit et sinueux, abondamment approvisionnées en eau, acheminée par un réseau complexe de conduites souterraines qui alimentaient les fontaines publiques ainsi que les jardins privés des résidences. Miliana possède une place centrale,

[22] Hassane Ibn Mohamed El Ouazzane. Il se distingue comme le chroniqueur contemporain le plus singulier de la période turque

délimitée par un mur bastionné assez imparfaitement construit et comprend une casbah partiellement soutenue par l'enceinte sud. Cette casbah, bien qu'elle présente un certain degré d'expansion, elle est érigée à l'origine par les Turcs et comporte des murs en pisé, caractérisés par leur épaisseur formidable et leur durabilité remarquable (Gaubert, 1841).

En outre, le mur d'enceinte est principalement formé par les murs de boue des maisons environnantes, illustrant l'intégration des structures résidentielles dans l'architecture défensive plus large de la ville (Gaubert, 1841).

Les structures résidentielles sont principalement construites en terre battue, qui est ensuite recouverte d'une couche de chaux, et sont généralement composées d'un rez-de-chaussée et d'un niveau supérieur. Elles comportent une galerie intérieure de forme quadrangulaire, caractéristique de la conception architecturale mauresque traditionnelle. En outre, un vaste réseau de canaux souterrains est chargé d'alimenter à la fois les fontaines publiques, les bains et les besoins en eau des ménages individuels. Dans les limites de la ville, il existe un total d'environ 25 mosquées, dont celle de Sid Ahmed Ben Youcef. (Rozet et Carette, 1980).

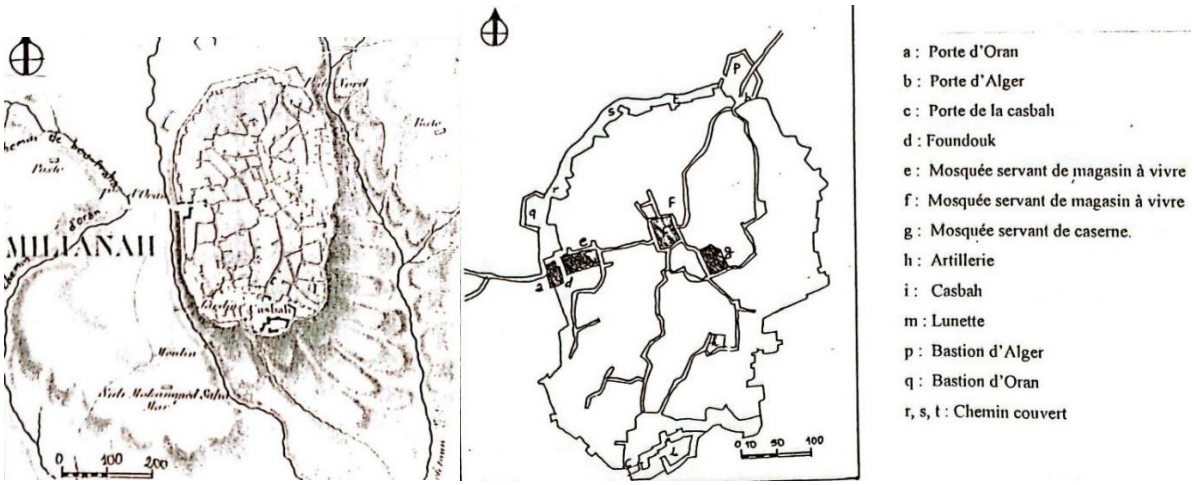


Figure 90. La ville de Miliana précoloniale. Source : (Bousserak, 2000)

Dans ses descriptions de l'état de Miliana à l'époque ottomane, (Léon L'Africain, 1981) donne un aperçu sur ses ressources naturelles, son attrait esthétique et sa position géographique, ce qui a amené à déduire que, pendant cette période historique particulière, cette ville n'a pas une importance ou une importance suffisante. Les dimensions de la ville de Miliana semblent avoir autrefois accueilli une population allant de 15 000 à 18 000 habitants (Pouzzoul, 1942). Il convient de noter qu'avant l'établissement de la domination coloniale française en Afrique, la ville était prospère (figures 91 et 92), comme en témoignent les vestiges de magnifiques résidences qui continuent d'être découverts, ainsi que le nombre considérable et la taille impressionnante des mosquées qui restent intactes à ce jour. (Pouzzoul, 1942)

Figure 91. Vues sur la ville de Miliana. Aquarelles réalisées par Olivier Bro De Coméres en 1840. Source : Fond privé de Setdart Auction House

Figure 92. La ville de Miliana avant les démolitions. Aquarelles réalisées par Olivier Bro De Coméres en 1840. Source : Fond privé de Setdart Auction House

Du point de vue architectural et urbanistique, on peut déduire que la ville est conçue comme une entité fortifiée, dotée de trois portes principales : l'une située du côté est la porte d'Alger, l'autre du côté ouest est la porte d'Oran, et celle au sud est la porte de la casbah. La ville comporte des places publiques à proximité de ses portes d'entrée, et son tissu urbain se caractérise par un tracé compact, regorgeant de rues sinueuses et étroites, où les structures résidentielles sont principalement construites en pisé, et nombre de ces maisons incorporent des fontaines comme éléments principaux. Dans l'ensemble, la ville regorge de fontaines et de diverses sources d'eau, ce qui a contribué de manière significative à son caractère distinctif et à son attrait. Elle compte également un total de 25 mosquées, dont 8 sont reconnues comme étant d'importance significative. Deux d'entre elles datent de la période turque, notamment, la grande mosquée connue sous le nom de « El Batha », souvent appelée mosquée turque, dont le minaret a survécu aux ravages du temps. La deuxième mosquée est dédiée à « Sid Ahmed Ben Youcef », qui est érigée à la suite de la mort du marabout en 1524 et qui existe encore aujourd'hui (Pouzzoul, 1942).

3.2. Miliana coloniale française

a. Le contexte de la colonisation

À partir de 1834, l'Emir Abd El Kader prend délibérément la décision stratégique de traverser le fleuve Chelif, occupant ensuite la ville de Miliana, où il désigne Ben Allal comme son représentant chargé de superviser la gouvernance et l'administration locales (D'Hestre, 1930). La chute de Miliana pousse Abd El Kader à forcer les habitants à évacuer la ville, puis à l'incendier à la veille de son occupation imminente, la rendant ainsi inhabitable et dépourvue en prévision de l'incursion française (figure 93). Les forces françaises sont arrivées à Miliana pour découvrir que la ville était en proie aux flammes. Dès que l'incendie s'est calmé, l'esprit de destruction omniprésent, combiné au besoin urgent de bois de chauffage et à l'espoir alléchant de découvrir des objets de valeur, transforme les soldats en agents de démolition, ce qui a permis à la garnison initiale de démanteler systématiquement ce qui reste debout après la fin de l'incendie ravageur.

Figure 93. Vues sur les ruines de Miliana. Aquarelle réalisée par Olivier Bro De Coméres en 1840. Source : Fond privé de Setdart Auction House

Figure 94. Ancienne mosquée à Miliana. Aquarelles réalisées par Olivier Bro De Coméres en 1840. Source : Fond privé de Setdart Auction House

La période coloniale initiale représente une période d'instabilité et d'incertitude quant à la trajectoire future de la colonie, une phase marquée par une approche aléatoire des efforts d'urbanisme, qui se manifestent dans toutes les villes algérienne, principalement pour des raisons logistiques liées à la mise en œuvre d'initiatives de restructuration ou d'expansion dépassant les limites existantes. Lorsque Miliana est prise de force, ses mosquées sont principalement réaménagées pour des casernes militaires et des services hospitaliers (figure 94). L'une d'entre elles est même transformée en théâtre, illustrant l'ampleur des changements imposés au paysage religieux et culturel local. À ce jour, il ne reste que la Grande Nouvelle Mosquée, à côté de la mosquée de Sidi Ahmed Ben Youcef, qui est également transformée en caserne. Néanmoins, en raison de la haute estime accordée au marabout qui y est enterré, elle est finalement restaurée dans sa fonction d'origine de lieu de culte musulman (Piesse, 1885). Outre l'importance critique attribuée aux lieux de culte de cette ville, il existe également des documents concernant la présence d'une enceinte encerclant la ville, ce qui a contribué à son caractère et à son identité uniques, persistant jusqu'au moment de la prise de la ville en 1840.

b. Urbanisme militaire: La restructuration urbaine

Les campements militaires ainsi que l'administration coloniale occupent une position stratégique au sein du tissu urbain traditionnel déjà établi, s'imposant ainsi au sein de la vie musulmane. Les phases initiales de l'établissement colonial sont caractérisées par une série de projets de réaménagement visant à modifier la structure urbaine de la ville afin de répondre aux exigences logistiques des forces militaires. La période historique allant de 1840 à 1843 est marquée par d'importantes transformations qui impactent la configuration urbaine précoloniale. Au cours de cette période, les principales interventions consistent en l'adaptation d'un certain nombre de structures résidentielles, en les rénovant pour les utiliser comme abris pour les contingents militaires qui commencent à s'installer dans la ville. « *Un des premiers soins qui s'imposait à nous au cours de la conquête fut de nous fortifier, ainsi à mesure que l'on prend possession d'une place, on s'occupa aussitôt de remettre en état et de compléter les défenses si*

c'était déjà une ville habitée ou de l'entourer d'une muraille si le centre était une nouvelle création » (Mercier, 1880, p177).

Figure 95. Restructuration de la partie est de la ville en créant une place à proximité de la porte d'Alger, baptisée Place du Zeccar, et restructuration du tracé pat la création de percements droits t plus larges. Source : Musée communal El Amir Abdelkader de Miliana

Figure 96. Cartes postales anciennes montrant la porte du Zaccar et la place Zaccar. Source : Fond privé

La phase suivante consiste à restructurer le tracé urbain. En effet, les rues étroites et souvent complexes caractéristiques de la ville précoloniale posent d'importants défis au personnel militaire, nécessitant ainsi une refonte de l'infrastructure urbaine. En outre, il est important de souligner l'absence quasi totale d'espaces publics ouverts dans la ville précoloniale, ce qui amplifie encore le besoin pressant de créé des lieux de rassemblement (figure 95). Dans l'ensemble, des efforts concertés sont déployés pour reproduire les caractéristiques d'une ville européenne dans le contexte colonial (figure 96).

Parmi les premiers projets visant à améliorer la ville, on cite principalement la réparation des murs de la fortification, qui sont cruciaux pour la défense et la stabilité de l'environnement urbain. Ces murs robustes endommagés sont partiellement constitués de maisons qui peuplent

la périphérie de la ville. La garnison militaire entreprend également la création d'une vaste rue de rempart sur tout le périmètre. (Gaubert, 1841). L'intégrité du flanc est garantie par la construction de trois bastions en terrasses ainsi que de plusieurs tours en maçonnerie, dont deux anciennes tours de la casbah et diverses sections de crémaillères (Rozet et Carette, 1980).

Figure 97. Anciennes cartes postales illustrant la mosquée de l'intérieur et l'extérieur. Source : Fond privé

Les modifications survenues dans le tissu urbain de la ville, sont caractérisées par l'émergence d'artères importantes qui facilitent les déplacements et l'accès dans toute la ville. Deux grandes rues sont stratégiquement projetées : La première rue est perpendiculaire à la place Zaccar et mène directement à la porte du même nom, située dans l'ancienne muraille précoloniale, élégamment voûtée de pierres de taille, remplaçant ainsi l'ancienne porte est. La deuxième rue diverge de la porte est et mène à la porte en pierre de Chélif. Il convient toutefois de noter que certains édifices, d'une importance architecturale ou culturelle notable, sont judicieusement préservés au milieu de cette restructuration urbaine (Gaubert, 1841). La ville a connu un déclin notable de sa physionomie arabe traditionnelle. « *La ville a perdu sa physionomie arabe, ce que l'on peut regretter du point de vue pittoresque mais nullement sous le rapport hygiénique, … Miliana a conservé quelques monuments curieux, entre autre la mosquée ou repose le marabout Sid Ahmed Ben Youcef, ce vénérable personnage mort il y a 400 ans* » (Le Cannelier, 1955, p27-28).

Figure 98. Résidence de l'Emir Abdel Kader. Source : Auteur

Outre la mosquée susmentionnée (figure 97), la résidence de l'émir à l'époque précoloniale est préservée (figure 98). Elle est appelée hôtel de commandement à l'époque coloniale. La décision de conserver ce bâtiment particulier est intrinsèquement liée la visite de Napoléon III en 1865, qui souligne son importance dans la mémoire collective de la ville. « *L'emplacement de l'hôtel du commandement d'armes avait été prévu pour l'édification de l'église, et l'hôtel était une bâtisse vétuste et espérant qu'elle fut complètement ruinée pour l'abattre définitivement, mais le voyage de l'empereur Napoléon III, c'est du balcon de cet hôtel, depuis historiques que l'Auguste salua la foule massée sur la place de l'horloge, alors on persiste à l'entretenir* » (St Phelix, 1865, p119).

c. Duplication de la ville : Premières extensions extramuros

Jusqu'en 1849, les interventions entreprises par les autorités coloniales se limitent plus particulièrement aux espaces intérieurs de l'enceinte précoloniale. Alors que les besoins et les fonctions de la ville commencent à proliférer de façon exponentielle, il devient de plus en plus évident que le périmètre intramuros ne suffit plus pour répondre de manière adéquate à ces demandes croissantes n'étant pas capable d'intégrer les nouvelles fonctions, soulignant ainsi le besoin urgent d'expansion de l'espace urbain. En conséquence, une nouvelle initiative est prise, consistant à la création d'un nouveau complexe militaire, ce qui conduit à l'expansion de la ville grâce à un processus de duplication. Ce nouveau projet ambitieux, développé entre 1844 et 1867, confère à la ville un caractère strictement militaire, destiné à abriter un district militaire à l'intérieur de ses limites. L'enceinte construite entre 1859 et 1862 est stratégiquement flanquée de deux entrées : l'entrée nord, connue sous le nom de Zaccar, qui est restée remarquablement inchangée, et l'entrée ouest, considérée comme une interprétation moderne de l'ancienne porte précoloniale vers la partie ouest de la ville. L'expansion extérieure de Miliana, nommée Affreville (actuel el-Khemis), qui se produit au-delà des limites d'origine de la ville, est dirigée vers la région nord, nécessitant la suppression d'une partie de l'enceinte existante et la porte nord, qui constituent un obstacle important à la croissance naturelle et au développement de la ville. Cette barrière est ensuite remplacée par un boulevard nouvellement créé, à partir duquel un nouveau segment de la ville commence à prendre forme, comprenant un tissu résidentiel caractérisé par des maisons individuelles, ainsi que l'inclusion d'un jardin public et d'une gare facilitant les transports (figure 99).

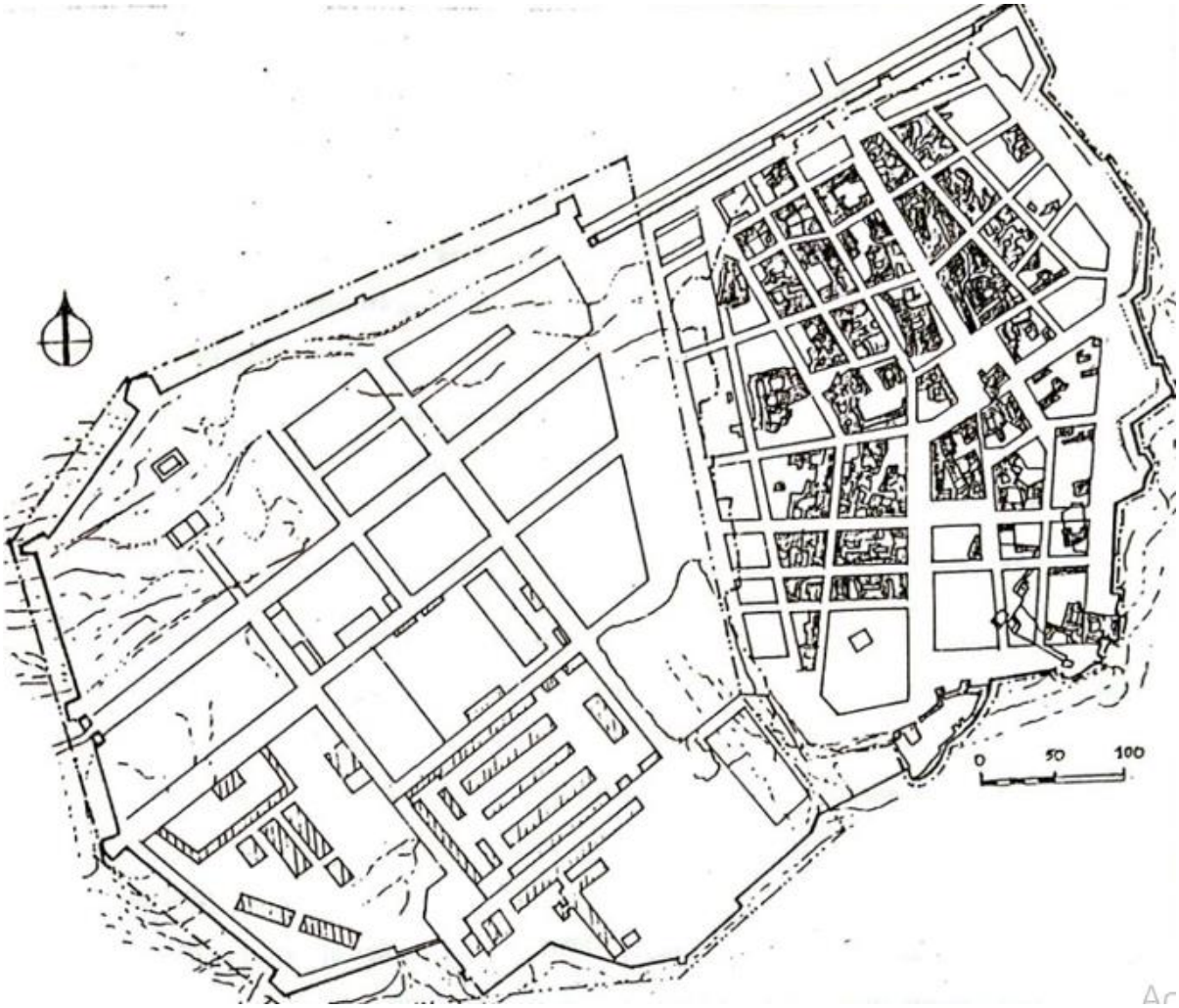


Figure 99. Dédoublement de la ville de Miliana comme première extension. Source : (Bousserak, 2000)

3.3. Miliana Post-coloniale : Etat des lieux

Au début de la période coloniale, Miliana est principalement reconnue comme une ville de garnison ; cependant, au fil du temps, elle devient un centre administratif important et, à l'approche des dernières années de la domination coloniale, elle connait une baisse d'importance. Les activités économiques et la vitalité globale de Miliana sont devenues largement tributaires de l'exploitation des mines de fer, tandis que ses jardins cessent de servir de ressources supplémentaires aux habitants de la ville et aux mineurs qui travaillent dans l'économie locale (Despois et Raynal, 1975).

Le problème lié au déclin urbain est particulièrement prononcé dans les villes qui entretiennent une relation excentrique avec les principales voies de communication, en particulier celles dans des régions montagneuses, présentant des défis importants en termes (Sari, 1980). Après l'indépendance de l'Algérie, Miliana n'a connu aucune forme significative de transformation

urbaine à l'intérieur de ses murs. Au cours des années 1980, l'intervention urbaine intramuros prend une ampleur différente, marquée par la cessation de l'expansion périphérique et l'arrêt des transformations dans les limites de la ville historique. Parallèlement, des opérations de rénovation d'une partie importante du centre historique est entreprise, devient ainsi un centre de services et d'activités administratives et commerciales, avec affectation de certains édifices historiques à des activités liées au tourisme (Bousserak, 2000). Le caractère visuel général de la ville reste inchangé du fait des transformations minimes au niveau des parcelles individuelles, impliquant parfois la démolition de bâtiments d'importance historique au profit de nouvelles constructions. Dans ce sens, et afin de protéger Miliana, un décret exécutif N 23-150 du 9 avril 2023 portant « Création et délimitation du secteur sauvegardé de la vieille ville de Miliana » a vu le jour (figure 100).

Figure 100. Image aérienne de la ville de Miliana. Source : algermiliana.com

4. Préparation cartographique et traitement des supports graphiques

L'examen et l'analyse morphologique du noyau urbain de Miliana s'appuient sur une compilation de plans architecturaux. Notre enquête se concentre sur trois époques historiques distinctes, reflétant ainsi trois modes divergents de développement urbain au sein de la ville. L'ère précoloniale est élucidée à travers les relevés architecturaux du génie militaire ainsi que les plans cadastraux qui datent de 1841 et 1852. L'époque coloniale française est examinée à l'aide des plans de 1852, 1929 ; tandis que l'époque postcoloniale est représentée par les deux plans disponible en notre possession, à savoir celui de 1986 et celui de 2006, révisé en 2024 sur la base d'une enquête sur terrain et d'une image satellite récente.

4.1. Délimitation du périmetre

La délimitation du périmètre de recherche se réfère aux limites historiques intramuros de la ville précoloniale, qui sont mentionnées dans les premiers plans du génie militaire, datant de 1841. L'étendue de ce périmètre est d'environ 17 hectares. Ces limites ont été réitérées dans les plans correspondant aux trois périodes historiques. Toute expansion urbaine ultérieure au-delà de cette délimitation n'entre pas dans le cadre de cette enquête.

4.2. Traitement des supports graphiques

Des représentations cartographiques à différentes échelles ont été obtenues auprès des services d'archives, de collections de bibliothèques et du service municipal d'urbanisme. Elles ont été reproduites puis restaurées sous forme d'images binaires non compressées (*.tiff) comme c'est illustré sur la figure 101. L'échelle de toutes les représentations cartographiques est unifiée. Des plans en footprint ont été générés, dans lesquels les pixels noirs indiquent les zones construites, tandis que les pixels blancs indiquent les vides urbains (Tableau 17). Ces diagrammes servent de base à l'analyse des propriétés fractales du tissu urbain au cours des trois périodes historiques considérées.

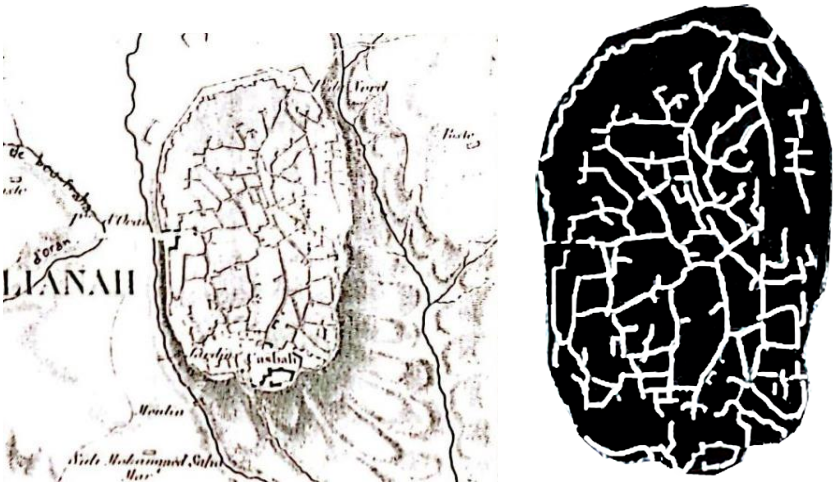
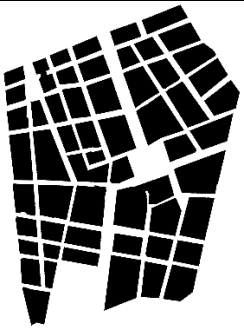
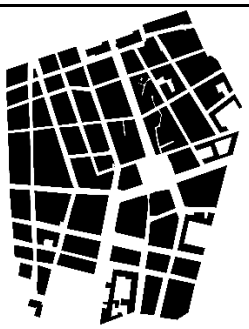


Figure 101. Plan de la ville de Miliana avant les interventions coloniale affiné ensuite reproduit en format (.tiff) (Source : Gsell, 1927)*

Tableau 17. Supports graphiques utilisés dans la caractérisation morphologique du noyau de Miliana. Source : Auteur

Date	Plan de référence	Plan des traces au sol
1841		
1852		
1929		
1986		
2006 actualisé en 2024		

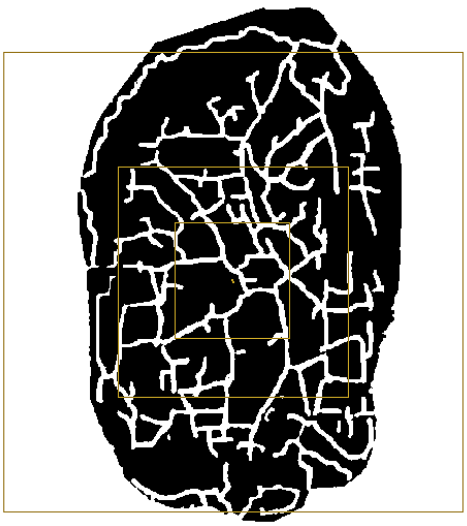
5. Analyse fractale des données urbaines

Les résultats des calculs analytiques sont principalement présentés dans l'analyse globale. En effet, comme présenté dans la rubrique réservée à la genèse urbaine de la ville de Miliana, il a été démontré que le noyau urbain a subit une restructuration presque totale, du fait de l'incendie provoqué la veille de la colonisation de la ville, ainsi que la réadaptation militaire du tracé urbain aux nouveaux besoins coloniaux. De ce fait, un examen complet de la zone d'étude est entrepris pour déterminer les valeurs pertinentes de la dimension fractale au cours de trois périodes historiques, en se fondant sur les trois paramètres analysés (analyse radiale, dilatation et corrélation) tout en accentuant l'interrelation entre la valeur de la dimension fractale et le contexte urbain/historique correspondant. Seuls les résultats les plus importants sont présentés dans les tableaux 18 à 21. Puisque la taille du périmètre est relativement beaucoup plus petite que les deux cas d'étude précédents, on note la réduction des rayons des fenêtres d'analyse (radiale) qui sont proportionnelles, pour optimiser les résultats.

5.1. Analyse fractale du plan précoloniale hypothétique

La reconstruction hypothétique du tracé précolonial, basée sur les relevés menés par des officiers du génie militaire du centre historique de Miliana, révèle sans équivoque l'existence d'un centre remarquablement compact. Les calculs de la dimension fractale relative à l'analyse tissulaire sont décrits dans le Tableau 18.

Tableau 18. Calcul de la dimension fractale (Radiale, Dilatation, Corrélation) du noyau précoloniale hypothétique de Miliana. Source : Auteur

Plan hypothétique durant la période précoloniale	**D**	**Valeur**	**Ajustement**	**Confidence 95%**
	**Radial R=250**	**1.935**	**0,999550**	**1,894 - 1,976**
	Radial R=500	**1,938**	**0,999675**	**1,907 - 1,970**
	Radial R=1000	**1.907**	**0,999051**	**1,859 - 1,955**
	Dilatation	**1.851**	**0,999457**	**1,808 – 1,894**
	Correlation	**1.919**	**0,999942**	**1,905 - 1,934**

Bien que les analyses fractales radiales habituellement mettent clairement en évidence les principales discontinuités structurelles inhérentes aux agglomérations, notre examen du noyau urbain de Miliana à l'époque précoloniale révèle un tissu caractérisé par une compacité et une

homogénéité impeccables, avec des dimensions radiales enregistrées de (1,935, 1,938 et 1,907) selon les différents rayons d'analyses. En effet, notre étude de la courbe de comportement d'échelle pour l'ensemble du noyau urbain pendant cette phase temporelle (Figure 102), avec un point de comptage situé au barycentre, révèle un nombre limité de discontinuités (1) du centre vers la périphérie.

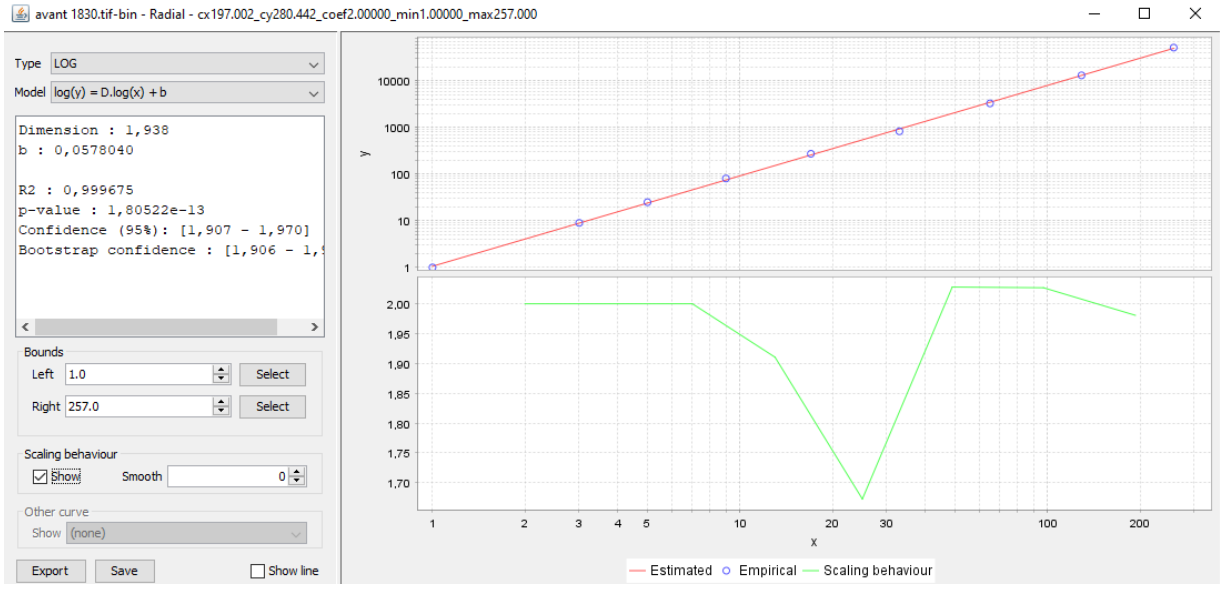


Figure 102. Courbe du comportement scalant de Miliana durant la période précoloniale. Source : Auteur

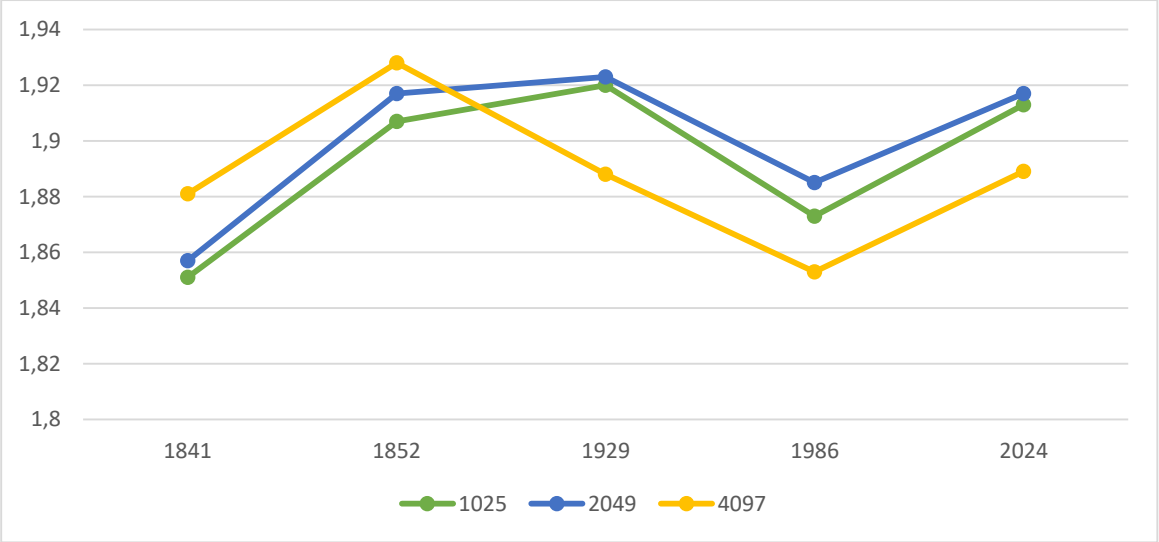
Le tableau 18 montre en outre que le noyau urbain de Miliana à l'époque précoloniale possède un aspect régulier et compact avec une dimension fractale Dd = 1,851, qui apparaît après quelques itérations au maximum (5 itérations correspondant à 5 m, compte tenu de la résolution employée). En effet, lors de la visite et le relevé des quelques traces urbaines de la ville précoloniale, on se rend compte de l'étroitesse des ruelles (figure 103).

Figure 103. Reportage photographique des ruelles de Miliana datant de la période précoloniale. Source : Auteur

L'analyse de corrélation indique que la dimension fractale permet d'élucider davantage l'homogénéité urbaine que la densité de l'occupation spatiale : au sein du noyau urbain, on rencontre des formes particulièrement homogènes, la majorité des objets bâtis présentent des dimensions comparables et leur configuration étant relativement uniforme. Dans ce contexte, la notion d'homogénéité concerne la distribution du bâti ; la majorité des entités solides présentent des tailles analogues et leur disposition est assez ordonnée, caractérisée par une rugosité uniforme, conformément à la conceptualisation des mesures de fractalité par Mandelbrot (2004).

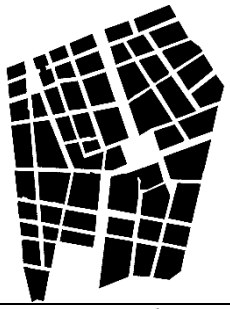
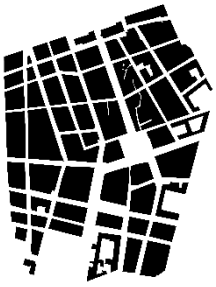
5.2. Analyse fractale diaronique globale du périmetre d'étude

En analysant les cinq plans, il devient évident que l'analyse fractale résume parfaitement la morphologie urbaine de Miliana, qui est restée relativement compacte de 1841 à 2023. En effet, la dimension fractale radiale Dr pour la zone d'étude est remarquablement élevée, elle ne baisse pas en dessous de 1,85, comme indiqué dans le tableau 19. A mesure que le rayon de l'étude s'étend, la valeur de Dr augmente progressivement au XIXe siècle (1,851 — 1,857 — 1,881) en 1841, (1,907 - 1,917 - 1,928) en 1852. A partir du XIXe siècle, la valeur de Dr ne suit plus un rythme progressif, elle augmente en correspondance avec les deux premiers rayons d'analyse, ensuite elle affiche une baisse modérée (1,920 - 1,923 - 1,888) en 1929, (1,873 - 1,885 - 1,853) en 1986, (1,913 - 1,917 - 1,889) en 2024. Ce résultat signifie une augmentation de la zone urbanisée le long du rayon des fenêtres analysées, sauf pour la valeur la plus importante de ε au XIXe siècle qui peut être traduite par une réduction de la surface urbaine. Ces résultats sont généralement considérés comme acceptables, en raison des valeurs moyennes - élevée de leurs coefficients d'ajustement. La courbe théorique est en effet exceptionnellement proche de la courbe réelle de la zone urbaine.



Graphique 7. Variation de la dimension fractale radiale de Miliana selon trois fenêtres correspondantes à trois rayons d'analyse. Source : Auteur

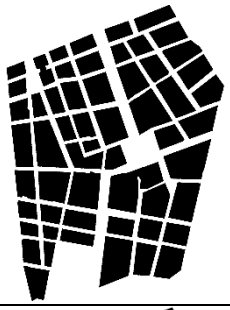
Tableau 19. L'analyse radiale du périmètre d'étude de Miliana selon trois rayons à travers les années : 1841, 1852, 1929, 1986, et 2024. Source : Auteur

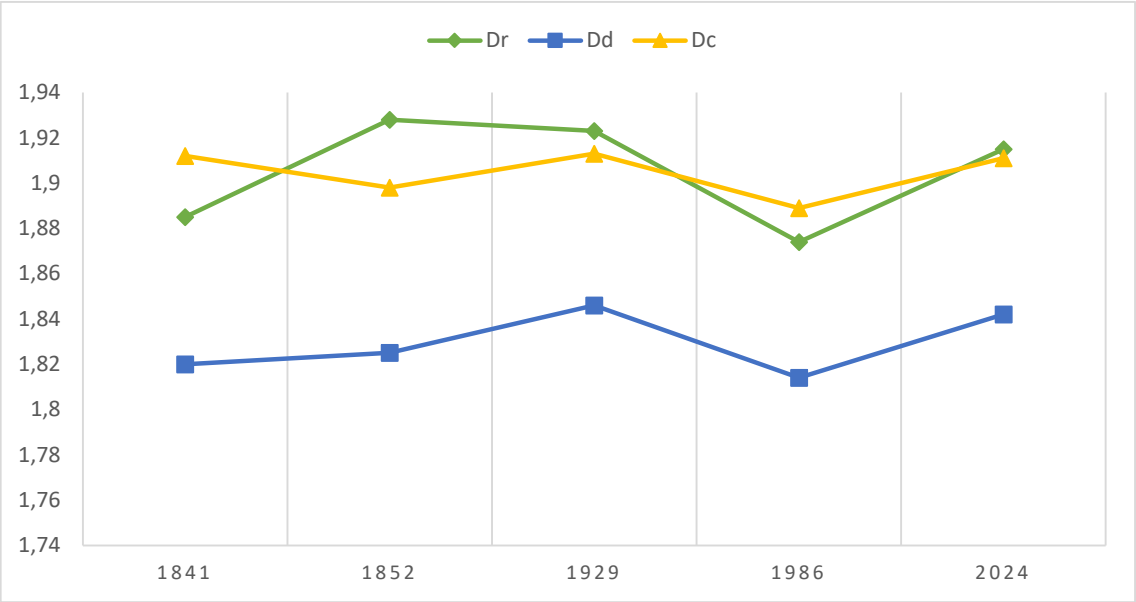
	Plan global	Radius (pixels) from	to	D_R	Ajustement	Confidence 95%
1841		**1**	**1025**	**1.851**	**0,996466**	**1.753– 1.950**
		1	**2049**	**1.857**	**0.997431**	**1.781 – 1.934**
		1	**4097**	**1.881**	**0,997680**	**1.812 – 1.949**
1852		**1**	**1025**	**1.907**	**0.998200**	**1.835 - 1.980**
		1	**2049**	**1.917**	**0.998647**	**1.859 - 1.974**
		1	**4097**	**1.928**	**0.998914**	**1.880 - 1.975**
1929		**1**	**1025**	**1.920**	**0.998312**	**1,861 - 1,980**
		1	**2049**	**1.923**	**0.998707**	**1,874 - 1,972**
		1	**4097**	**1.888**	**0,997710**	**1,828 - 1,948**
1986		**1**	**1025**	**1.873**	**0.996683**	**1.785 - 1.962**
		1	**2049**	**1.885**	**0.997418**	**1.813 - 1.957**
		1	**4097**	**1.853**	**0.996941**	**1.781 - 1.926**
2006 actualisé 2024		**1**	**1025**	**1.913**	**0.997598**	**1.842 - 1.984**
		1	**2049**	**1.917**	**0.998221**	**1.860 - 1.974**
		1	**4097**	**1.889**	**0.998905**	**1.847 - 1.930**

Dans le tableau 19, on a songé à calculer la dimension fractale radiale Dr du périmètre d'étude avec une fenêtre de calcul optimale, dont la valeur ε s'insère entre les deux premières valeurs d'analyse choisies dans le tableau précèdent. Comme en témoignent les données présentées dans ce tableau, la dimension fractale notée Dr, qui concerne l'ensemble du périmètre de l'étude, est remarquablement élevée, oscillant encore une fois autour de la valeur de 1,85. Dans un premier temps, on peut observer une modeste trajectoire ascendante au fil du temps, 1.885 en 1841 à 1,928 en 1852 qui semble se stabiliser de manière à 1,923 en 1929. Elle diminue à 1,84 en 1986 pour remonter ensuite à 1,915 en 2024. Ces fluctuations correspondent aux faits historiques relatés dans l'histoire urbaine de Miliana, dont les multiples restructurations (figure 104), dans le sous-chapitre précédent. La légère augmentation et dilution du périmètre urbanisé le long des différents rayons des fenêtres qui ont été méticuleusement analysées précédemment ; se confirme encore une fois à travers les résultats de la dimension fractale radiale présentés dans le tableau 20. Ces résultats sont jugés acceptables et valides, compte tenu des valeurs moyennes à élevées des coefficients d'ajustement qui ont été observées tout au long de l'analyse. De plus, la courbe théorique est très proche de la courbe réelle représentant la surface urbanisée.

Figure 104. Reportage photographique du périmètre d'étude de Miliana, restructuré durant la période coloniale. Source : Auteur

Tableau 20. L'analyse radiale, de dilatation et de corrélation du périmètre d'étude de Miliana. Source : Auteur

	Plan global	D	Radius (N° pixels) From - to	D	Ajustement	Confidence 95%
1841		**Dd**	**1-725**	**1.820**	**0.999128**	**1.772 – 1.869**
		Dc	**1-725**	**1.912**	**0.999680**	**1.884 – 1.940**
		Dr	**1-1450**	**1.885**	**0.997542**	**1.815 – 1.956**
1852		**Dd**	**1-725**	**1.825**	**0.999209**	**1.783 – 1.867**
		Dc	**1-725**	**1.898**	**0.999530**	**1.865 – 1.932**
		Dr	**1-1450**	**1.928**	**0.998914**	**1.880 – 1.975**
1929		**Dd**	**1-1590**	**1.846**	**0.999162**	**1.806 – 1.887**
		Dc	**1-1590**	**1.913**	**0.999537**	**1.882 – 1.944**
		Dr	**1-2049**	**1.923**	**0.998707**	**1.874 – 1.972**
1986		**Dd**	**1-725**	**1.814**	**0.999239**	**1.773– 1.854**
		Dc	**1-725**	**1.889**	**0.999486**	**1.854 – 1.924**
		Dr	**1-1310**	**1.874**	**0.998049**	**1.811– 1.936**
2006 actualisé 2024		**Dd**	**1-1590**	**1.842**	**0.999223**	**1.803– 1.881**
		Dc	**1-1590**	**1.911**	**0.999585**	**1.882– 1.941**
		Dr	**1-3180**	**1.915**	**0.999489**	**1.885– 1.946**



Graphique 8. La variation de la dimension fractale du périmètre d'étude de Miliana. Source : Auteur

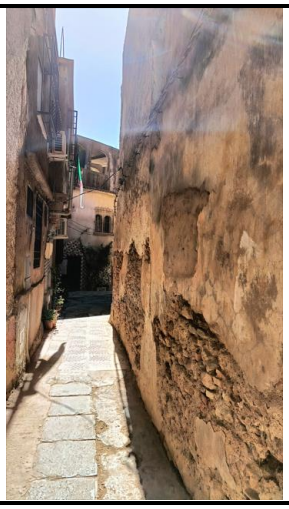
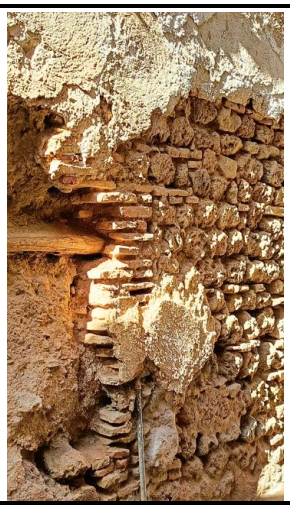
Une analyse de dilatation du périmètre d'étude donne un résultat progressivement croissant au fil du temps. La dimension fractale désignée Dd présente des variations allant de 1,820 en 1841 à 1,825 en 1852, culminant à 1,846 en 1929. Ensuite elle baisse vers 1,814 en 1986 pour remonter à 8.42 en 2024, avec un coefficient d'ajustement optimal qui dépasse dans toutes les périodes 0,999, comme détaillé dans le tableau 20. Bien que ces valeurs soient considérée comme considérables, elle suit néanmoins une trajectoire plus ou moins similaire à celle tracée par la dimension fractale radiale. Cette vision est particulièrement prononcée étant donné que le noyau colonial est très compact (Graphique 8) exerce une influence significative sur la valeur globale de Dd. Les résultats de l'analyse de corrélation révèlent un degré d'homogénéité élevé au sein du périmètre analysé. Les valeurs dérivées de cette analyse diminue dans un premier temps de 1.912 en 1841 à 1.898 en 1852 ensuite elle augmente encore à 1.913 en 1929, redescend à 1.889 en 1986 pour remonter enfin à 1.911 en 2024. Les coefficients d'ajustement correspondants sont élevés, toutes les valeurs dépassant 0,999486, comme illustré dans le tableau 20.

La ville de Miliana a subit une restructuration urbaine quasi-totale. Très peu de traces précoloniales subsistent dans le tracé urbain. Une étude précédente sur les permanences de la ville affirme qu'il s'agit précisément de six ruelles ou portion de ruelles précoloniale qui subsistent jusqu'à aujourd'hui (Bousserak, 2000). Deux ruelles ont fait l'objet d'un relevé dans notre étude. Elles sont analysées à l'état actuel dans le tableau 21.

Les valeurs observées pour la dimension fractale Dd restent relativement élevée à moyenne. Ces valeurs oscillent entre 1,814 pour l'ilot 1 et 1,788 pour l'ilot 2, avec un coefficient d'ajustement relativement faible, ce qui ne leur donne pas une valeur significative. En outre, la dimension de corrélation, appelée Dc, connaît des valeurs très importantes allant de 1,936 pour

l'ilot 1 à 1,927 pour l'ilot 2, avec un coefficient d'ajustement important ce qui rend les résultats très acceptables.

Tableau 21. Relevé photographique de deux ruelles précoloniales. Source : Auteur

Plan	Dimension	D	Ajustement	Confidence 95%
Ilot 1	**Dd**	**1,814**	**0,997295**	**1,729 - 1,898**
	Dc	**1,936**	**0,999643**	**1.903 – 1.968**
	 			
Ilot 2	**Dd**	**1.788**	**0.996134**	**1.688 – 1.887**
	Dc	**1.927**	**0.999443**	**1.887 – 1.968**

6. Discussion des resultats

Le tissu urbain de la ville de Miliana se caractérise par une homogénéité et une régularité irréprochable sur l'ensemble du périmètre d'étude. Les valeurs associées à Dr, Dd et Dc issues de l'analyse de la ville de Miliana sont très élevées et caractérisent une masse bâtie très homogène, malgré le fait que la conformation urbaine ne présente pas de similitude entre les cinq périodes temporelles distinctes analysées. Ces paramètres suggèrent que notre hypothèse initiale, qui postule que la dimension fractale n'est pas préservée de manière cohérente dans le

temps pour l'ensemble du noyau urbain, ne peut être globalement étayée. Ceci est dû à la restructuration de la ville qui s'est faite sur plusieurs étapes, engendrant ainsi une perturbation constante dans le tracé urbain. Le concept de dilatation apparaît comme une métrique préliminaire particulièrement intéressante qui facilite la différenciation des tissus urbains et permet d'évaluer leurs degrés de compacité respectifs, fournissant ainsi un cadre de base pour une analyse plus approfondie.

Dans le cadre de notre étude d'investigation, en particulier au cours des différentes phases de l'expansion urbaine, le seuil délimitant l'émergence de l'agrégat initial par rapport aux types de tissus urbains examinés présente un intérêt convaincant, comme l'illustrent les tableaux 20 et 21 ; ce seuil révèle peu de discontinuités dans le tissu urbain analysé, où l'on peut observer l'émergence d'un seul modèle urbain majoritaire et non totalitaire, totalement européen, issu de l'urbanisme colonial du XIXe et XXe siècle. Ce tissu se distingue comme interconnecté et non hiérarchisé sur l'ensemble du périmètre d'étude et présente un haut degré d'interrelation entre ses composants.

Il est essentiel de reconnaître que l'importance historique attribuée au tissu urbain du périmètre d'étude, qui est reconnue comme la recomposition de la ville sur elle meme, ce qui mérite une attention particulière en raison de sa valeur patrimoniale importante. En fait, il serait prudent de préconiser un processus de valorisation spécifique qui tienne dûment compte de chaque élément architectural ou urbain présent dans le paysage urbain, qui mérite une attention particulière. Les résultats de cette analyse feront objet de croisement avec les deux autres cas d'étude menés dans cette recherche.

7. Conclusion

L'analyse fractale présente encore une fois des avantages considérables pour la caractérisation spatiale des environnements urbains de Miliana à l'instar des deux cas d'étude précédents. Dans le cadre de cette enquête, les résultats issus de l'analyse fractale, lorsqu'ils intègrent la dimension temporelle par le biais d'un examen diachronique du noyau urbain, ainsi que de la superposition des différents plans, permettent une compréhension plus approfondie de la genèse urbaine et de la caractérisation du tissu constituant le noyaude Miliana. Ce dernier présente une structure globalement compacte et homogène; toutefois, un examen méticuleux de ses caractéristiques distinctives indique qu'il n'est pas significativement fragmenté et hierarchisée. Dans ce cadre, la dimension fractale constitue une métrique pertinente pour évaluer les conditions d'utilisation des sols. En effet, on peut affirmer que la dimension fractale des tissus urbains, bien que relativement importante au sein du tissu, répond à une seule logiques: la dimension fractale du tissu colonial restructuré affiche une trajectoire fuluctuante (ascendante et décendante) à travers les échelles temporelles, caractérisée par une restructuration progressive.

Chapitre 7 : Vers la caractérisation morphologique fractale des noyaux urbains

1. Introduction

Ce chapitre se veut une étude comparative entre les résultats de l'analyse fractale des trois cas d'étude du corpus Blida, Médéa et Miliana. Il essaie d'élucider les questions posées au début de cette recherche relatives à la caractérisation fractale des noyaux des villes nord centre de l'Algérie, en étayant les hypothèses avancées par des données tangibles mesurables. Ce chapitre synthèse sert à vérifier la logique morphologique fractale des tissus, tributaire de la logique et du mode d'urbanisation propre à chaque époque : précoloniale, coloniale, postcoloniale. Ce croisement de données est suivi d'une rétrospective sur l'analyse morphologique fractale des tissus urbains de notre corpus confrontée aux résultats d'autres recherches similaires, afin de souligner son intérêt par rapport à la caractérisation morphologique, ainsi que l'impact du facteur temps sur la fractalité des tissus urbains.

2. Lecture comparative du corpus

Afin de statuer sur les résultats obtenus dans les trois chapitres précédents de la deuxième partie de la thèse, une palette d'indicateurs est utilisée pour exploités et synthétiser les données, nous permettant ainsi de caractériser la morphologie des tissus urbains de notre corpus. Il s'agit de :

- **Le degré d'homogénéité :** Il renseigne sur l'homogénéité ou l'hétérogénéité de la répartition bâtis par le biais de la mesure de la dimension fractale radiale Dr et celle de corrélation Dc, ainsi que l'étude du comportement scalant. Une valeur proche de deux avec un comportement scalant moins fluctuant correspond à un tissu assez homogène, une valeur proche de un et un comportement scalant fluctuant consigne une forte hétérogénéité dans la répartition des espaces bâtis.
- **Le degré d'hiérarchie :** Il nous informe sur la hiérarchie de la répartition des espaces bâtis en utilisant les mesures fractales radiale Dr et de corrélation Dc, ainsi que l'étude du comportement scalant. Une valeur proche de deux avec un comportement scalant moins fluctuant correspond à un tissu faiblement hiérarchisée, une valeur proche de un et un comportement scalant fluctuant transcrit une forte hiérarchie.
- **Le degré de complexité** : Il donne une information sur la complexité du tissu étudié à travers la mesure de la dimension fractale et du préfacteur de forme « a ». Plus la valeur de « a » est grande, plus le tissu est complexe.
- **Le degré de compacité :** renseigne sur la compacité du tissu par le biais du nombre d'itérations issu des analyses de dilatation Dd. Des valeurs élevées de Dr et Dc indiquent également que le tissu est compact.

2.1. Caractérisation morphologique des noyaux hypothétiques précoloniaux

L'analyse fractale des noyaux urbains des trois cas d'étude affiche des résultats très analogues. D'abord, l'analyse radiale est effectuée selon trois fenêtres d'analyse, comme expliqué précédemment en détails dans les chapitres relatifs à chaque cas d'étude. Elle affiche globalement une tendance décroissante depuis le centre vers la périphérie du noyau, (1.976, 1.962 et 1.880) pour Blida, (1.975, 1.941 et 1.925) pour Médéa, ainsi que (1,935, 1.938 et 1.907) pour Miliana. L'analyse de corrélation présente également des valeurs importantes pour les trois cas d'étude, avec des valeurs variant de 1.935 pour Blida, 1.901 pour Médéa et 1.851 pour Miliana (tableau 22). Ces données témoignent d'une homogénéité irréprochable du noyau urbain précoloniale, illustré à travers notre corpus. En effet, une des particularités des villes conformes à l'urbanisme musulman est la répartition homogène du bâti sur l'ensemble de l'espace intramuros.

Tableau 22. L'analyse fractale du corpus avant l'intervention coloniale. Source : Auteur

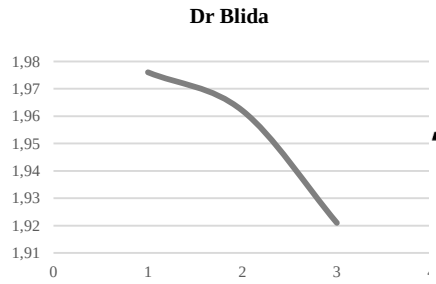
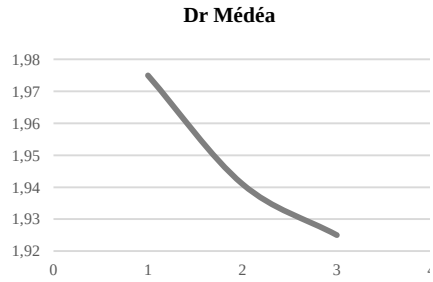
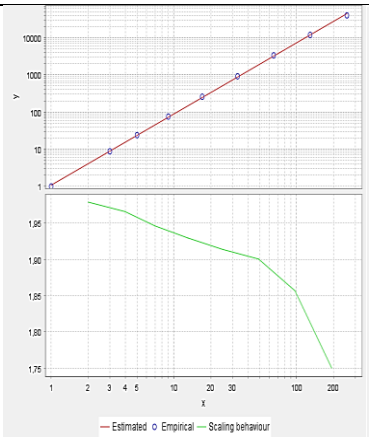
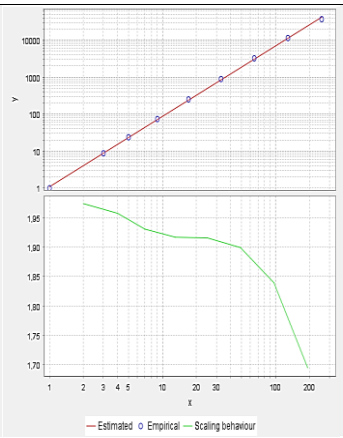
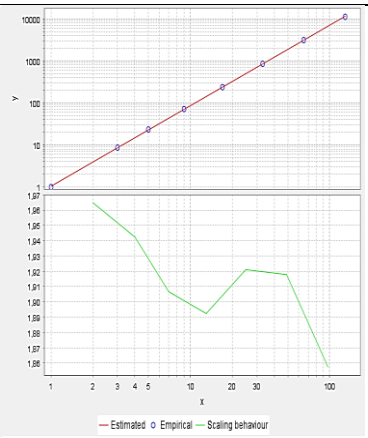
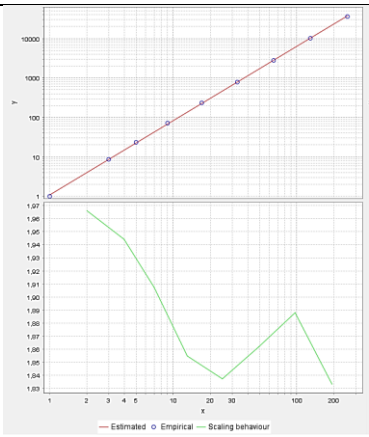
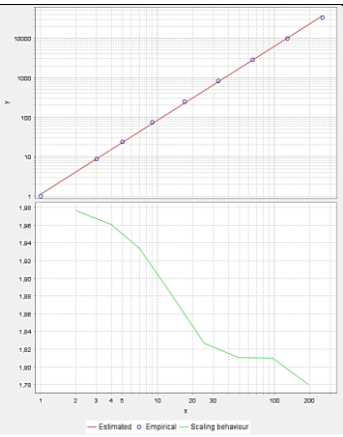
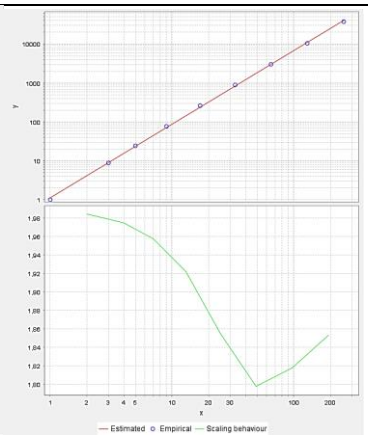
Plan hypothétique de la période précoloniale		D	Valeur	Ajustement
		Radial R1	1.976	0,999868
		Radial R2	1,962	0,999845
		Radial R3	1.921	0,998094
		Dilatation	1.880	0,998945
		Correlation	1.935	0,999787
		Radial R1	1,975	0,998137
		Radial R2	1,941	0,996862
		Radial R3	1.925	0,996774
		Dilatation	1.766	0,996918
		Correlation	1.901	0,999638
		Radial R1	1.935	0,999550
		Radial R2	1,938	0,999675
		Radial R3	1.907	0,999051
		Dilatation	1.851	0,999457
		Correlation	1.919	0,999942

Tableau 23. Comportement scalant relatif à l'analyse de corrélation du corpus d'étude de la période précoloniale et celle d'aujourd'hui. Source : Auteur

	Courbes du comportement scalant relatives à l'analyse de corrélation		
	Blida	**Médéa**	**Miliana**
Période précoloniale			
Etat des lieux			

Puisque les tissus du corpus affichent des résultats très convergeant, il serait intéressant d'évaluer également leur complexité à travers le préfacteur de forme, dont les valeurs sont présentées dans le tableau 24. Le noyau de Blida présente une dimension fractal Dc = 1,935 avec a =1,82 le plus élevé du corpus, par conséquent, on peut dire que c'est le tissu le plus complexe du corpus, suivi par Médéa avec Dc = 1.901 et a= 1.69, et Miliana avec Dc= 1.919 et a=1,23. Ceci n'exclue pas que les trois cas d'étude présentent des logiques morphologiques similaires.

Comme expliqué précédemment, la courbe de comportement scalant facilite la compréhension de la structure urbaine et permet d'évaluer l'homogénéité du tissu, permettant ainsi de différencier les types de tissus. Cette phase vise à déterminer si les comportements scalants des

tissus examinés suivent des tendances analogues ou présentent une variabilité. Le tableau 23 regroupe les courbes issues des analyses de corrélation des trois cas d'étude en deux temps : La période précoloniale en première ligne et l'état des lieux en deuxième ligne. D'après ces graphes, on remarque que les courbes de comportement scalant varient entre 1.7 et 2, avec des trajectoires presque similaires pour les deux périodes. Ces données témoignent d'une faible hiérarchie, compte tenue d'une fluctuation noté sur le comportement scalant des deux premiers spécimens ainsi que deux sur le cas de Miliana pour la période précoloniale et inversement pour l'état actuel, avec deux fluctuations pour Blida et Médéa et une seule pour Miliana. Ces fluctuations correspondent à des espaces non bâtis qui hiérarchisent le tissu.

Tableau 24. Evaluation de la complexité du corpus à l'époque précoloniale. Source : Auteur

	Corpus d'étude vu en plan			Cas d'étude	Dc	Facteur de forme a
	Blida	**Médéa**	**Miliana**			
Période précoloniale				**Blida**	**1.935**	**1,82**
				Médéa	**1.901**	**1,69**
				Miliana	**1.919**	**1,23**

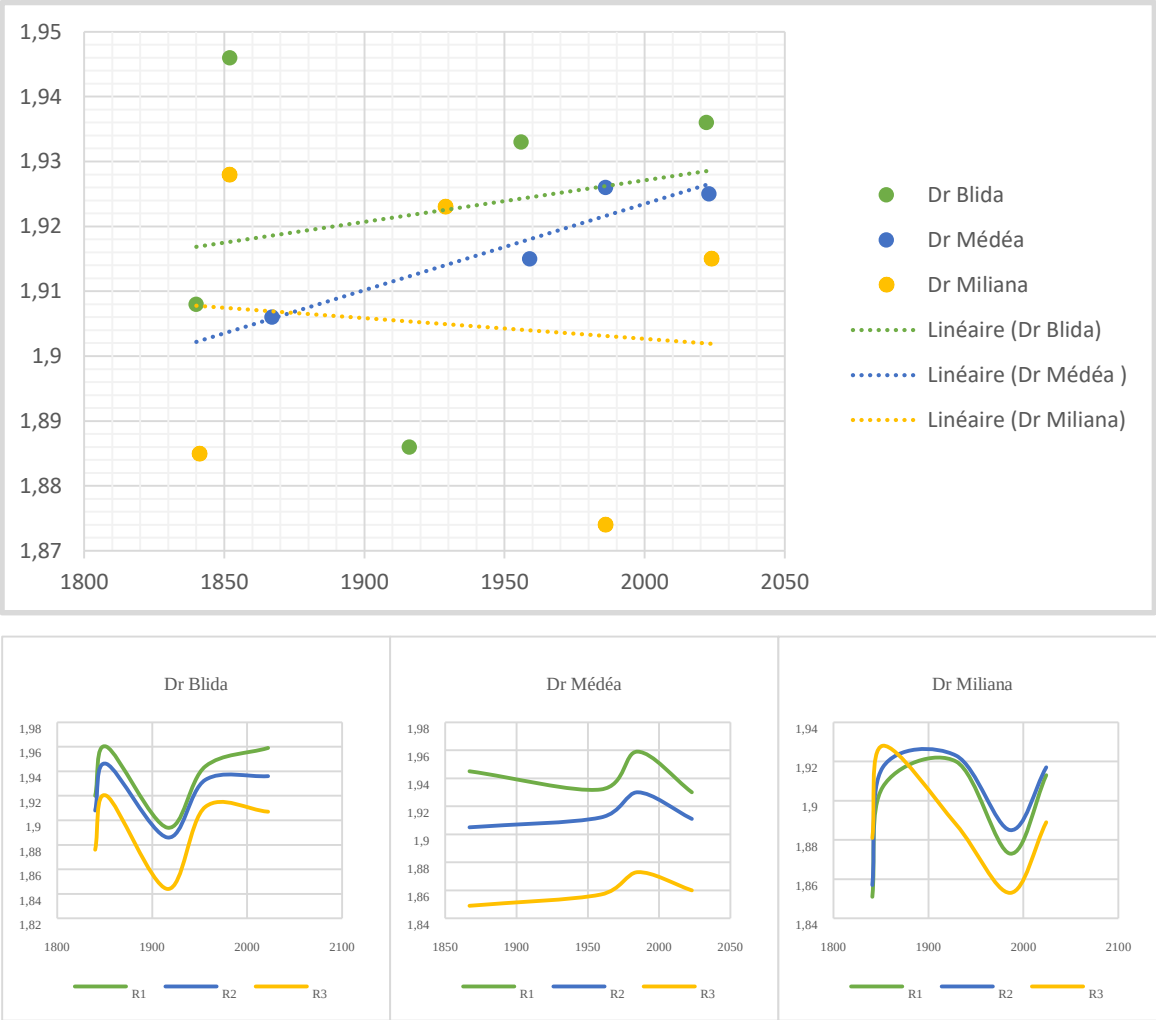
L'analyse de dilatation offre des valeurs de dimension fractale relativement élevées (tableau 22) ce qui témoigne d'une compacité moyennement importante. Ces résultats seront confrontés à ceux des autres périodes afin de déterminer si les noyaux urbains ont conservé leur compacité.

2.2. Une homogénéité et hiérarchie notables au fil du temps

Afin de statuer sur l'homogénéité ainsi que sur la hiérarchie des tissus de notre corpus, on a effectué d'abord une analyse radiale. C'est d'abord est une méthode d'analyse globale qui permet de segmenter le périmètre d'étude en zones en fonction de leur comportement fractal. Trois valeurs ε sont adoptées pour chaque cas d'étude en fonction de la taille du périmètre. Elles qui nous permettent de compter le nombre N de pixels occupés à l'intérieur de la fenêtre de calcul. On a calculé la dimension fractale relative à chaque étape, et suivi ses variations étape par étape, au fur et à mesure que ε grandit : la représentation des variations de D forme la courbe du comportement scalant. Ce processus est effectué sur deux échelles de lecture :

- Globale, qui concerne l'ensemble du périmètre de chaque cas d'étude.
- Locale, appliquée sur des portions de chaque cas d'étude.

Les résultats issus de l'analyse radiale des trois cas d'études sont présentés dans le graphique 9.



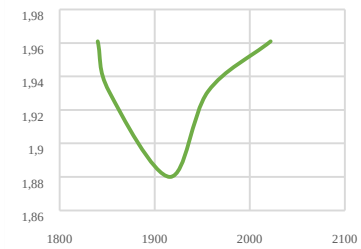
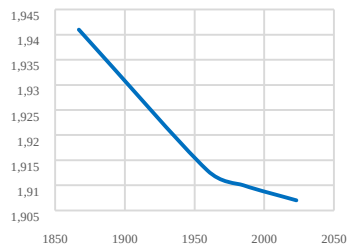
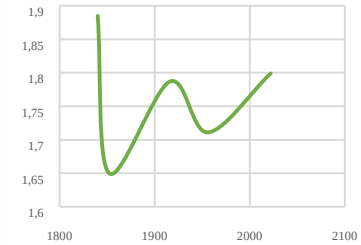
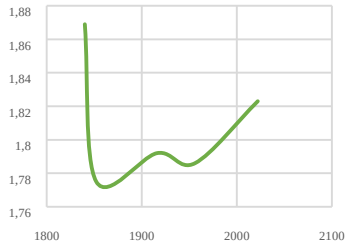
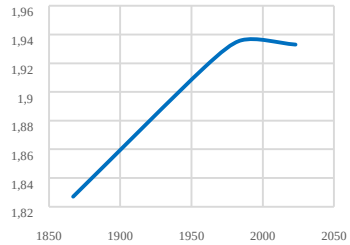
Graphique 9. Synthèse des résultats de l'analyse radiale du corpus : Blida, Médéa, Miliana. Source : Auteur

On note globalement une tendance croissante linéaire de la dimension fractale Dr pour Blida et Médéa, tandis qu'elle est légèrement décroissante pour le cas de Miliana. Pour un environnement bâti, qui peut être un quartier ou d'une zone métropolitaine, même lorsque la courbe est calibrée avec précision sur une ligne, des fluctuations localisées du gradient de cette ligne sont discernées (Frankhauser 1997, 1998, 2004 ; Tannier & Pumain 2005 ; Thomas, Frankhauser, Frenay, Verleysen 2010). En effet, des recherches fondamentales ont souligné que la dimension fractale n'est pas intrinsèquement constante dans l'observation empirique

(Goodchild 1980) ; elle est fréquemment invariante à certains intervalles d'échelle, mais présente une variabilité entre les intervalles d'échelle successifs (Lam & Quattrochi 1992 ; White & Engelen 1994). Par conséquent, les attributs d'invariance d'échelle et d'autosimilarité statistique relatifs aux configurations urbaines sont donc spécifiques au contexte, et concernent des plages d'échelles limitées. De ce fait, on a établi un graphe détaillé pour chaque cas d'étude pour mieux visualiser les valeurs de la dimension fractale à travers le temps.

En observant les résultats, on peut facilement comprendre qu'il s'agit d'importants noyaux urbains, avec des dilutions modérées dans certaines périodes. Les trois cas d'études présentent des courbes similaires par rayon d'analyse par cas, ce qui explique un mode d'urbanisation similaire sur les trois fenêtres d'analyse par cas, en meme temps, la valeur de la dimension fractale diminue progressivement, au fur et à mesure que le rayon de la fenêtre d'analyse augmente. Ces observations signifient que le barycentre de chaque cas d'étude est plus homogène et moins hiérarchique que les zones adjacentes aux limites du périmètre. Ce phénomène est dû d'abord à l'emplacement des places publiques, très rares à la période précoloniale, en périphérie de la ville intramuros. La place dans le tissu urbain est liée étroitement à ses fonctions. La place principale de la ville de Blida à titre d'exemple, se situait en périphérie du tissu, juxtaposant la mosquée principale, un hammam et des équipements communs tels qu'un four et un fondouk destinés aux visiteurs passagers, et c'est de cette place qu'on entre dans le souk et les rues commerçantes animées de la ville, il en est de meme pour Médéa, et inversement pour Miliana, qui possédait une place au centre, connectée aux deux portes d'accès par des artères commerçantes. Cette décision est probablement prise non seulement pour limiter l'afflux d'étrangers dans la partie résidentielle de ville, mais également pour des raisons de commodité et pour atténuer les perturbations liées à de telles activités commerciales. Lors de la colonisation des villes algériennes, le mode d'occupation militaire français consistait en la mise en possession des accès à la ville première lieu, ensuite la restructuration des zones proches des portes en adaptant la voirie aux besoins militaires, ainsi que l'aménagement de places, principalement la place d'arme. D'autres places prennent forme dans le tissu précoloniale comme exemple la place du marché européen et la place Lavigerie pour Blida, place de la république et place de l'église à proximité de la porte des jardins pour Médéa, et place de la porte Zaccar pour Miliana. Progressivement que le tissu urbain est adapté à l'européenne, les caractéristiques morphologiques fractals de la ville changent. Il en est de meme pour les autres périodes.

Tableau 25. Variations locales de la dimension radiale de Blida et Médéa. Source : Auteur

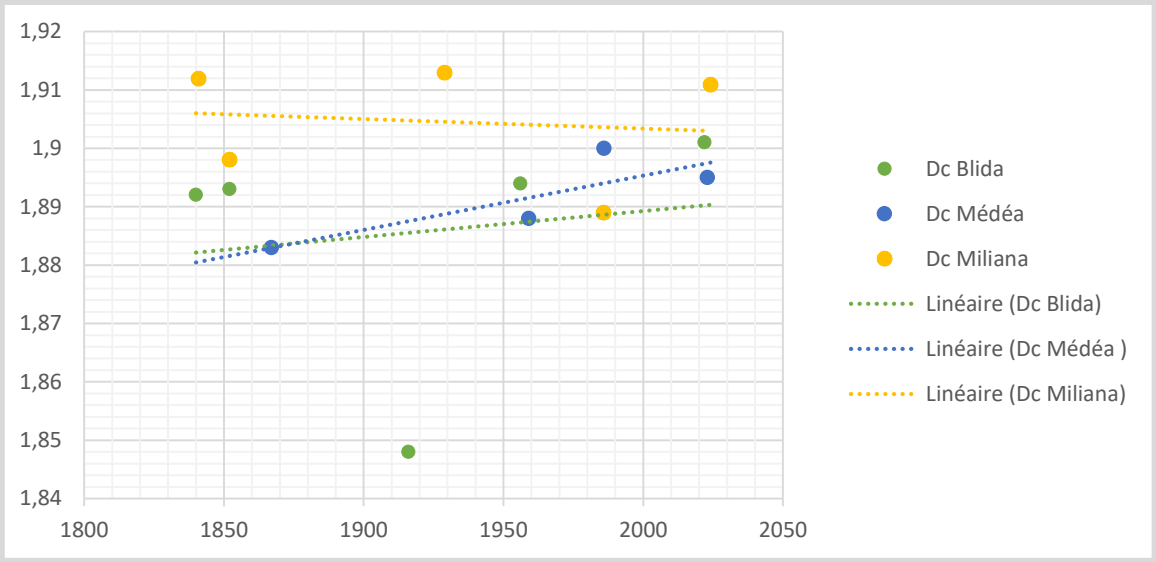
	Dr Blida		**Dr Médéa**
Zone (a)			
Zones (b) et (c)			

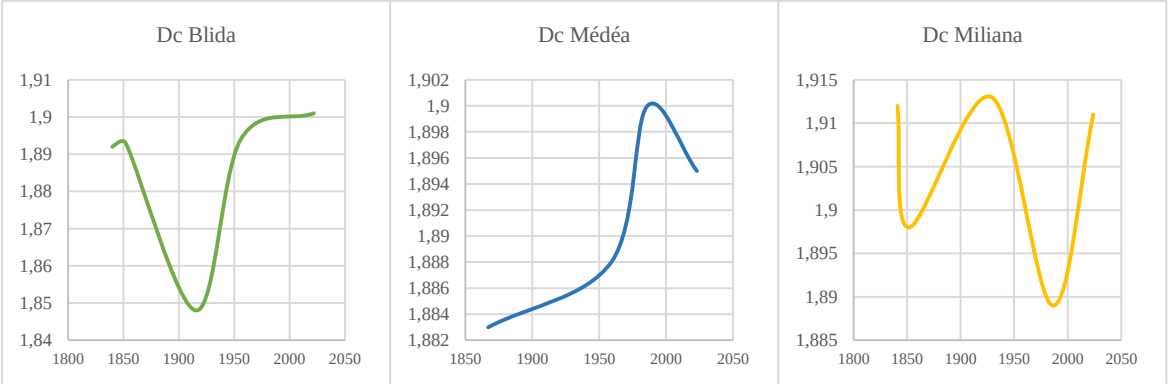
L'analyse radiale locale de la dimension fractale présentée dans le tableau 25 fournie des informations très différentes de l'analyse globale. En effet, les zones (a) peu restructurées de Blida et Médéa affichent une perte modérée d'homogénéité à travers le temps qui est partiellement rétablie dans le cas de Blida, à partir de 1956 jusqu'à 2022 passant de 1,88 en 1916 à 1,931 en 1956 et ensuite 1.961 en 2022, affichant ainsi une zone de moins en moins hiérarchisée. Quant à la zone (a) de Médéa, elle se caractérise par une perte progressive d'homogénéité et devient ainsi plus hiérarchisée, avec une variation de Dr comprise entre 1,941 en 1867 et 1,907 en 2023. Ceci est dû sans doute à la restructuration partielle du tracé parcellaire, avec réalignement de la voirie.

Les zones (b) et (c) du noyau de Blida affichent une perte subit d'homogénéité entre 1840 et 1852, qui descend de 1,885 à 1,65 pour la zone (b) et 1,865 à 1,775 pour la zone (c). Ceci revient aux premières opérations de restructurations lourdes effectuées dans ces deux zones nord et sud dont le tracé a complètement changé. Cette homogénéité est regagnée progressivement à partir de 1852 pour le cas de Blida, avec une tendance similaire pour Médéa à partir de 1867 ou les deux villes deviennent également moins hiérarchiques.

2.3. Des noyaux urbains très compacts

L'analyse de corrélation fournit également des informations sur les degrés d'hiérarchie et d'homogénéité des tissus urbains par l'évaluation de la dimension fractale ainsi que le comportement scalant. De plus, elle nous renseigne sur la complexité du tissu à travers le préfacteur de forme.





Graphique 10. Synthèse des résultats de l'analyse de corrélation du corpus : Blida, Médéa, Miliana. Source : Auteur

Comme le montre le graphique 10, la dimension fractale relative à l'analyse de corrélation calculée pour l'ensemble du corpus d'étude est particulièrement haute, avec tendance croissante pour Blida et Médéa au fil du temps, inversement à Miliana qui affiche un linéaire légèrement décroissant. La dimension fractale de Blida affiche une valeur de 1,893 en début de colonisation pour descendre à 1,848 en début du XXe siècle pour remonter progressivement jusqu'à atteindre la valeur de 1,901 en 2022. En ce qui concerne Médéa, la dimension Dc monte graduellement de 1,883 en 1867, pour atteindre sa valeur maximale en 1986 avec dc=1,90 pour

redescendre légèrement à 1,895 en 2023, ce qui indique une dilution légère, presque imperceptible des surfaces urbanisées. Miliana à son tour affiche deux oscillations de la valeur de la dimension fractale Dc au fil du temps mais qui restent très minimes : en 1852 ou Dc est égale à 1,898, et en 1986 ou Dc est de 1.889. Elle est calculée à 1,911 en 2024.Toutes ces valeurs, aussi bien basses que hautes, illustre un tissu très compact et peu hiérarchisé.

Étant donné que les tissus du corpus présentent des résultats très convergents, il serait pertinent d'évaluer également leur complexité à l'aide du préfacteur de forme, dont les valeurs correspondantes sont décrites dans le Tableau 26. Avant l'occupation coloniale de Blida, le noyau urbain possédait une dimension fractale de Dc = 1,935 avec a = 1,82. Progressivement, ce centre a perdu de sa compacité pour atteindre Dc = 1,901. Son facteur de forme a considérablement diminué, affichant une valeur de 1,45, ce qui traduit une perte considérable de complexité. Médéa quant à elle est passée de Dc= 1,901 en période précoloniale à Dc=1,911 ce qui exprime un gain en compacité et une diminution de la hiérarchie de la zone intramuros, son degré de complexité est passé de 1,69 à 1,75, ce qu'on peut considérer comme gain en complexité. En ce qui concerne Miliana, on observe une diminution légère de sa dimension fractale Dc, passant de 1,919 en période précoloniale à 1,911 aujourd'hui, contrairement à sa complexité qui a légèrement augmentée de 0,05. Cette observation n'exclut pas la possibilité que les trois études de cas partagent des principes morphologiques analogues.

Tableau 26. Evolution de la complexité du corpus de l'époque précoloniale jusqu'à aujourd'hui. Source : Auteur

	Période précoloniale			**Etat des lieux**		
	Blida	**Médéa**	**Miliana**	**Blida**	**Médéa**	**Miliana**
Corpus						
Dc	**1.935**	**1.901**	**1.919**	**1,901**	**1,895**	**1,911**
a	**1,82**	**1,69**	**1,23**	**1,45**	**1,75**	**1,28**

L'analyse de corrélation locale de la dimension fractale présentée dans le tableau 27 révèle des résultats différents. D'abord, on remarque une ressemblance entre les deux courbes relatives au périmètre globale et celle de la zone (a), elles affichent une évolution similaire dans le temps.

On en déduit que la valeur de la dimension fractale du tissu précoloniale peu restructuré influe considérablement sur la valeur de la dimension fractale globale. Cette attitude est également vérifiée à Médéa entre le périmètre global et la zone (b). Dans ce cas précisément, on peut dire que la valeur de la dimension fractale de la zone (b) profondément restructurée influe considérablement sur la valeur de la dimension fractale de corrélation globale. On peut dans ce sens emmètre l'hypothèse que le type de tissu dont la surface est plus importante a une influence sur la dimension fractale globale.

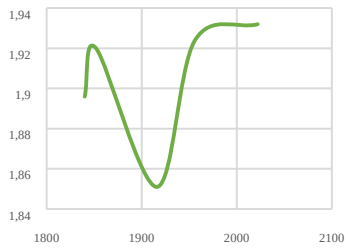
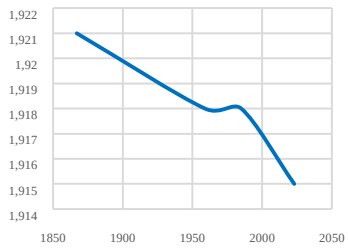
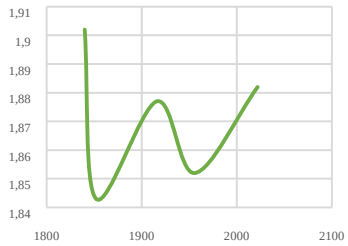
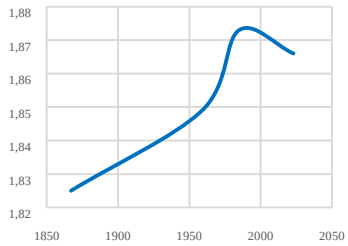
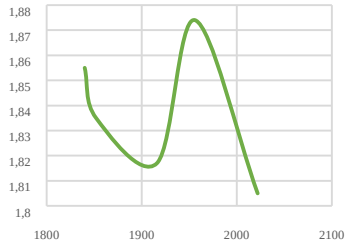
Parmi les points que nous devons soulever en ce qui concerne l'analyse de corrélation est l'évolution de la dimension fractale entre les tissus urbains locaux. Une divergence est notée entre les zones (a) de chaque cas d'étude ainsi qu'entre les zones (b). Malgré les fluctuations de la zone (a), elle affiche globalement une attitude croissante de la dimension fractale, ce qui signifie un gain en homogénéité et une perte progressive de la hiérarchie, à l'inverse de la zone (a) relative à Médéa, qui affiche des valeurs de Dc décroissantes à travers le temps, devenant ainsi plus hiérarchisée et moins homogène. Quant au tissu précolonial profondément restructuré, qu'on peut carrément qualifier de colonial, il affiche une tendance croissante globalement pour Blida et Médéa concernant les zones (b) qui s'y réfèrent, c qui traduit un gain en homogénéité progressif, à l'inverse de la zone (c), qui se caractérise par une hiérarchisation progressive dans le temps. Il s'agit des premiers efforts importants de restructuration entrepris dans ces deux secteurs, dont les configurations ont subi une transformation complète. En ce qui concerne Miliana, elle ne dispose pas d'un zoning proprement dit du fait de la restructuration presque totale du noyau urbain, néanmoins, les valeurs de Dc relatives aux deux ilots 1 et 2 analysés montrent une homogénéité remarquable des traces précoloniales.

Les noyaux urbains, objet de cette étude, présentent majoritairement une dimension fractale globale élevée, en les juxtaposant à des analyses menées sur d'autres agglomérations mono-centriques alternatives, traitées dans d'autres contextes : Milan, 1,85 (Frankhauser, 2003) et 1 ,804 (Caglioni et Giovanni, 2003) ; Stuttgart, 1,80 (Frankhauser, 2003) ; Sarrebruck, 1,65 (Badariotti, 2003).

En outre, la compacité relativement modeste des zones ou l'intervention française est importante, peut être attribuée aux zones non développées qui persistent au sein de l'agglomération, aux vides urbains incrustés dans le tissu comme les places publiques, ainsi qu'aux vestiges de défense historiques de la ville. Ainsi, on constate que la compacité globale

des noyaux urbains est relativement élevée, avec une légère hiérarchisation sur les zones profondément restructurées.

Tableau 27. Variations locales de la dimension fractale issue de l'analyse de corrélation de Blida, Médéa et Miliana. Source : Auteur

	Dc Blida	Dc Médéa	Dc Miliana
Zone (a)			**Ilot 1** **Dc= 1,936** **Ilot 2** **Dc= 1,927**
Zone (b)			
Zone (c)			

2.4. La dilatation, un indicateur de distinction

L'analyse de dilatation permet de renseigner la compacité du tissu urbain à travers le nombre d'itérations obtenu. Le degré de compacité est important quand le nombre des itérations est faible et vice versa. Afin d'effectuer une analyse de dilatation complète, nous avons utilisé une méthodologie de dilatation systématique et séquentielle qui implique la modification pixel par pixel des tissus choisis, dans le but d'éliminer progressivement les détails les plus infimes jusqu'à ce que la représentation visuelle résultante aboutisse à la formation d'un agrégat de masse solide. Le principe de base de cette procédure est relativement simple : à chaque étape de dilatation, l'étendue spatiale des pixels noirs est augmentée progressivement d'un mètre, facilitant ainsi la disparition progressive des espaces blancs intermédiaires qui existent entre les

pixels individuels. Après de nombreuses itérations de cette procédure d'expansion, les masses commencent à se matérialiser : ils grossissent progressivement pour fusionner ensemble et produire une masse compacte comme indiqué sur la figure 105.

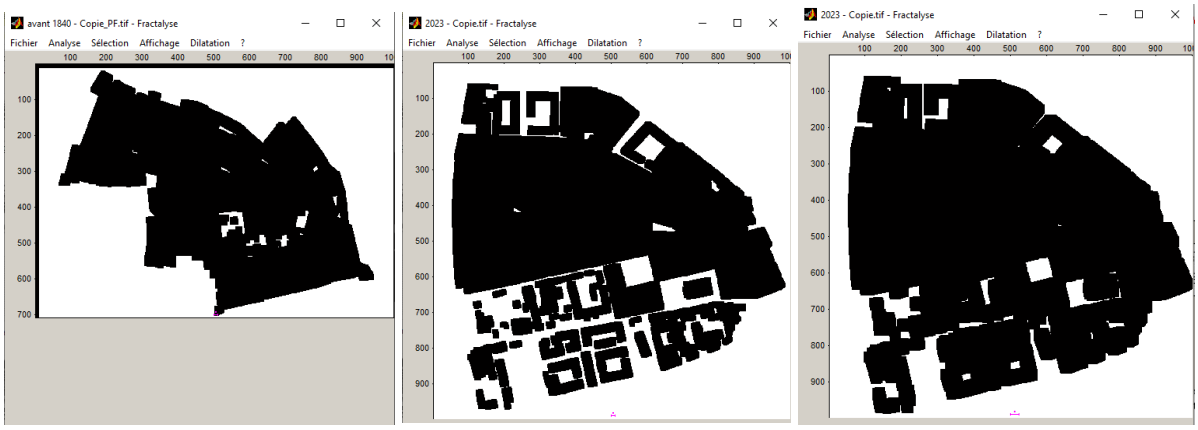


Figure 105. Analyse de dilatation de Blida présentant le plan d'avant 1840 avec 5 étapes d'itération, et l'état des lieux (2023) avec 5 puis 20 étapes d'itération. Source : Auteur

Le seuil à partir duquel masse initiale devient discernable dépend du cas d'étude, du type de tissu et de la période sur laquelle l'analyse de dilatation est appliquée. Pour les noyaux urbains à l'époque précoloniale et aujourd'hui, il est compris entre (45 - 50) pour le cas de Blida, (26 – 28) étapes pour Médéa, et (5 – 17) étapes pour Miliana (figures 106 et 107). Afin de comprendre ce processus dans ses détails, il est important d'analyser chaque tissu à part, pour bien préciser le nombre d'itération par chaque type de tissu. Les résultats sont présentés dans le tableau 28.

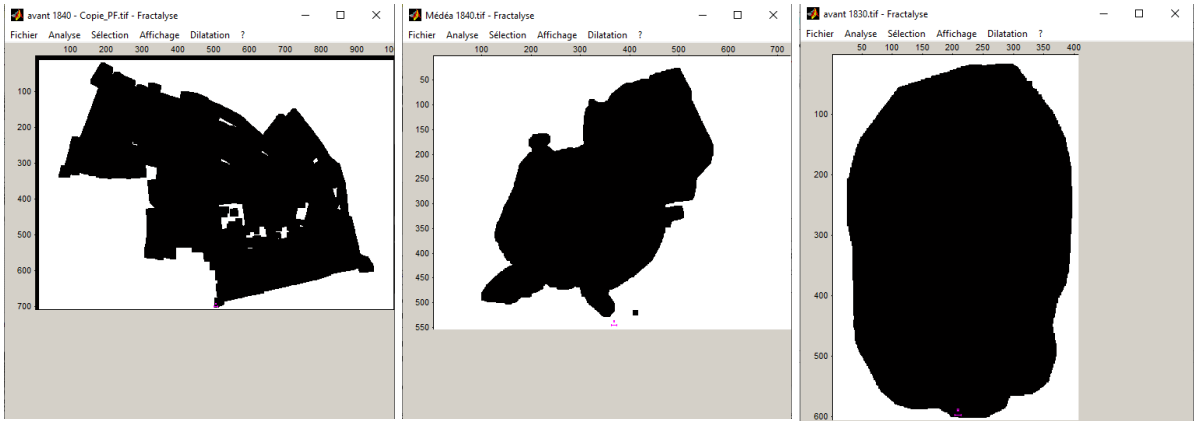


Figure 106. Analyse de dilatation des trois cas d'étude du corpus d'avant 1840 avec 5 étapes d'itération. De gauche vers la droite : Blida, Médéa, Miliana. Source : Auteur

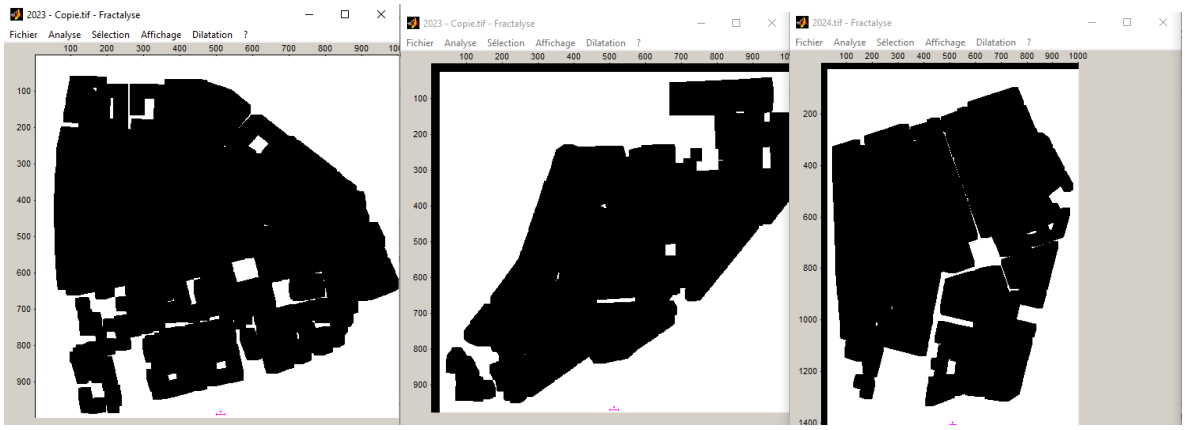


Figure 107. Analyse de dilatation des trois cas d'étude du corpus avec 12 étapes d'itération. Etat des lieux de gauche vers la droite : Blida 2022, Médéa 2023, Miliana 2024. Source : Auteur

À l'extrémité du tableau analytique 28, on peut observer les tissus les plus lâches ainsi que ceux les plus connexes de tout le corpus. La première chose que l'on remarque est que la dimension fractale globale ne reflète pas avec précision le nombre d'itération par tissu, car ce dernier dépend de l'aspect du tissu (compact ou épars). Dans ce sens, les résultats sur lesquels on se fiera davantage sont ceux propre à chaque type de tissu, c'est-à-dire, par zone. On observe que les tissus les plus connexes sont ceux de la zone (a) pour Blida et Médéa, ainsi que le périmètre d'étude de Miliana. La zone (a) de Blida présente une agrégation après un total de 7 itérations pour la période relative au début de la colonisation, et 13 étapes en 2022, ce qui signifie que le tracé urbain n'a pas beaucoup changé en termes de compacité, ce qui rejoint les résultats des étapes d'analyse précédentes. En ce qui concerne la zone (a) de Médéa, elle se présente comme une seule masse au bout de 5 étapes d'itération en début de la période coloniale et 11 étapes en 2023. En ce qui concerne Miliana, elle se constitue en une masse au bout de 5 itérations en début de la période coloniale et 17 étapes en 2024, avec deux étapes seulement pour les ilots 1 et 2. Ces résultats témoignent de tissus très compacts avec des caractéristiques similaires. À l'inverse, les tissus faiblement connectés comprennent des zones (b) et (c) de Blida ainsi que la zone (b) de Médéa. Ces tissus profondément restructurés comprennent des tissus haussmanniens, des casernes et des zones militaires, des grands ensembles et cités de logements collectifs, et des tissus à usage mixte, caractérisés par un maillage considérablement étendu en raison de leur emplacement excentré. Dans ce sens, on cite la zone (b) de Blida, qui présente une agrégation en 8 itérations en début de la colonisation, qui perd de compacité progressivement pour atteindre 48 étapes en 2022. Pour la zone (c), le nombre des étapes d'itération est de 45, qui augmentent à 50 en 2022. La zone (b) de Médéa varie entre 26 étapes en début de la période précoloniale, et atteint 28 étapes en 2023. Ces valeurs, bien que

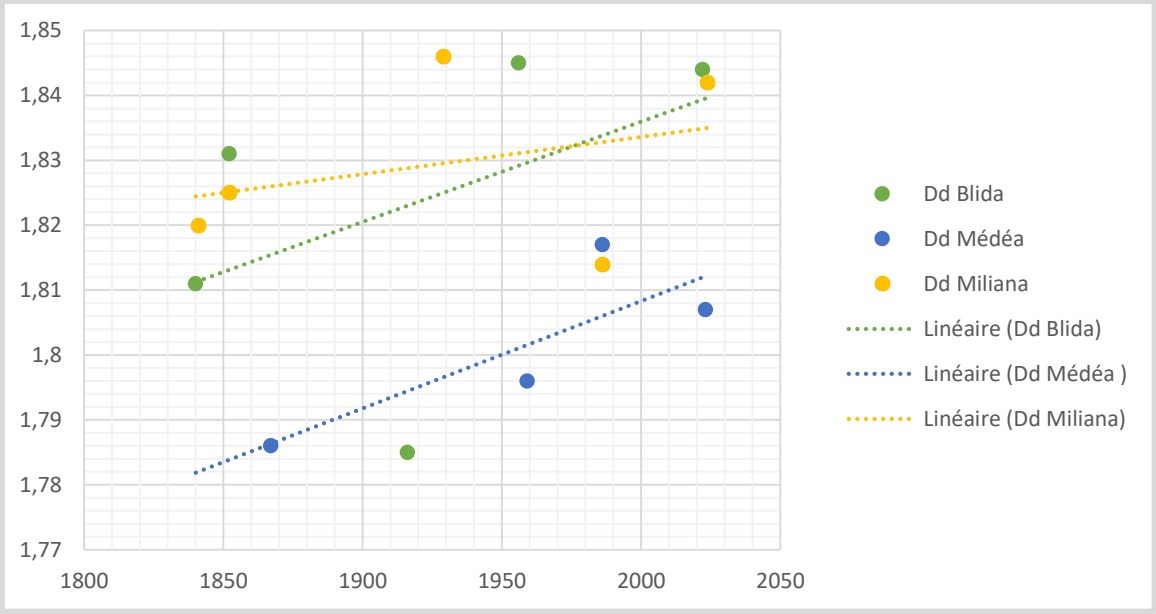
considérablement importantes, témoignent d'un mode d'occupation de sol totalement diffèrent entre le passé et le présent.

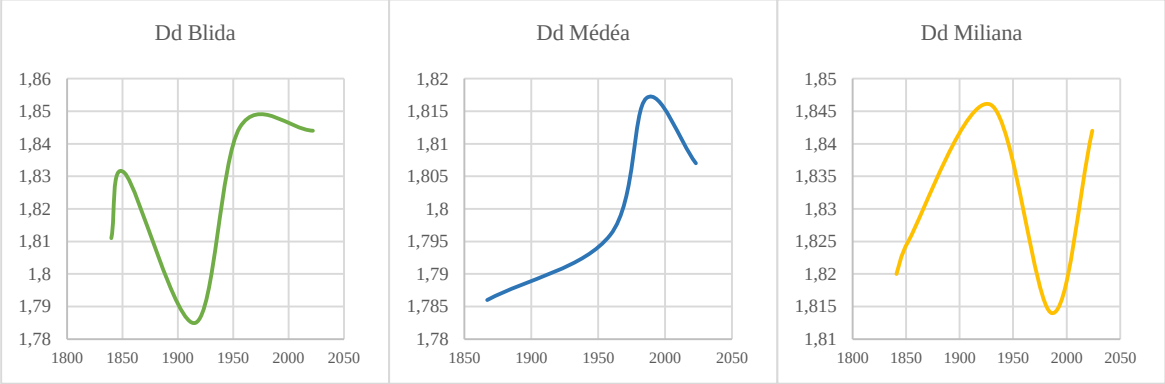
Tableau 28. Evolution de la compacité du corpus entre le début de la colonisation et aujourd'hui. Source : Auteur

Cas d'étude	Zone	D globale	D locale	Itérations
Blida		**1,811 – 1,844**		**45 - 50**
	Zone a		**1,800 – 1,882**	**7 - 13**
	Zone b		**1,767 – 1,768**	**8 - 48**
	Zone c		**1,768 – 1,711**	**45 - 50**
Médéa		**1,786 - 1,807**		**26 - 28**
	Zone a		**1,832 – 1,813**	**5 - 11**
	Zone b		**1,701 – 1,757**	**26 - 28**
Miliana		**1,820 – 1,842**		**5 - 17**
	Ilot 1		**1,814**	**2**
	Ilot 2		**1,788**	**2**

Le graphique 11 présente une synthèse de l'évolution de la dimension fractale, issue de l'analyse de dilatation, dans le temps. Dans l'ensemble, il existe une progression linéaire perceptible de la dimension fractale Dd pour les noyaux urbains de Blida, Médéa et Miliana. À l'examen des résultats, il apparaît que les trois centres urbains présentent des dilutions modérées pendant des intervalles temporels spécifiques. Les trois études de cas ne révèlent des courbes analogues. En ce qui concerne Blida, les valeurs de la dimension fractale montrent un gain en compacité en deux temps, intercalés par une période de dilution du tissu qui correspond au début du XXe siècle ou Dd= 1,785 pour se stabiliser entre 1,845 et 1,844 de 1956 et 2022. Médéa quant à elle évolue de 1,786 en 1867 pour atteindre le summum de sa compacité affichant 1,817 en 1986 pour se stabiliser à 1,807 en 2023, à l'inverse de Miliana, qui affiche comme valeur maximale 1,846 vers le début de XXe siècle, vers 1929. Le tissu deviens un peu plus lâche vers 1986 avec Dd= 1,814, qui est une valeur très proche de celle de Médéa à la meme date, ce qui signifie un meme état de compacité, probablement dû aux opérations de planification urbaine généralisées à l'époque. Miliana affiche une valeur Dd de 1,842 en 2024, très proche de celui de Blida en 2022, ce qui signifie que les villes atteignent le même niveau de saturation ou de compacité aujourd'hui. La compacité des tissus est distinctement liée aux

changements opérés sur chaque cas d'étude à une époque donnée. La typologie du bâti ainsi que celle des vides a une influence sur la dimension fractale relative à l'analyse de dilatation.





Graphique 11. Synthèse des résultats de l'analyse de dilatation du corpus : Blida, Médéa, Miliana. Source : Auteur

Un tissu pavillonnaire, des grands ensembles, un tissu traditionnel attribuent des degrés de compacité différents. En contrepartie, la largeur des rues, la présence d'espaces libres tels que les jardins et les places publiques, la démolition des espaces bâtis anciens sont des facteurs qui diminuent la compacité d'un tissu. La perte de compacité est prouvée dans le temps par les opérations de restructuration, d'élargissement de la voirie, des opérations de réalignement ainsi que la création des places publiques, comme on l'a bien vu dans la restitution historique urbaine de chaque cas d'étude. Parallèlement, une réédification de la ville à l'européenne a conduit progressivement vers des modifications de la compacité en fonction de la typologie bâtie édifiée par zone comme c'est détaillé dans le tableau 28.

3. Dimension fractale comme outil de caractérisation urbaine

3.1. Les fractals pour cerner les discontinuités

Conformément aux observations documentées lors de recherches antérieures, il est évident que les analyses fractales radiales mettent clairement en lumière les principales discontinuités structurales des périmètres d'étude. En effet, en examinant la courbe de comportement d'échelle pour l'ensemble des noyaux urbains étudiés avec un point de comptage positionné dans le barycentre, nous discernons des interruptions importantes dans le gradient de fractalité lorsque l'on se déplace du centre vers la périphérie. Ces interruptions correspondent aux transformations physiques importantes qui délimitent chaque type de tissu ou chaque zone. De plus, le déclin de la dimension fractale est observé universellement du centre vers la périphérie. Cette réduction signifie une détérioration de l'homogénéité du tissu urbain, indiquant par conséquent une augmentation du contraste, de l'irrégularité ou de la complexité à mesure que l'on progresse vers les limites urbaines. Contrairement au centre urbain, les espaces périphériques sont caractérisés par des tissus urbains qui peuvent présenter à la fois une continuité et une discontinuité, englobant des configurations de masse et des formes géométriques variées. Certaines unités sont minuscules, tandis que d'autres présentent une emprise beaucoup plus importante ; de même, les formes présentent une grande diversité, allant des graines de particules aux agrégats compacts aux contours variés : certains sont allongés, d'autres en forme radiale ou en cluster, voire circulaire.

3.2. La dimension fractale globale et la dimension fractale locale

Les recherches traitées dans la revue de littérature ont souvent montré une variation des mesures fractales qui dépendent étroitement de l'espace. En effet on observe une différenciation entre la dimension fractale d'une ville et celles des quartiers qui la composent (Thomas, Frankhauser, Badariotti 2012). Notre recherche a bien su démontrer cela pour les trois cas d'étude. En effet, on remarque une différence entre l'analyse globale de chaque cas d'étude, et celle des zones issues de leurs divisions, à savoir la zone (a), (b) et (c) pour le cas de Blida ; la zone (a) et (b) pour le cas de Médéa, ainsi que les deux ilots 1 et 2 analysés pour Miliana. Le tableau 29 montre les résultats de l'analyse de corrélation de tout le corpus à l'état actuel à titre indicatif. Cette observation est valables pour la dimension fractale issue des autres analyses, à savoir l'analyse radiale (globale, par zone, par rayon), ainsi que l'analyse de dilatation (globale, par zone), et ce, sur toutes les périodes étudiées.

Tableau 29. Comparaison entre la dimension fractale globale et la dimension fractale locale par zone par cas d'étude.
Source : Auteur

Cas d'étude	Zone	Dc globale	Dc locale
Blida		**1,901**	
	Zone a		**1,932**
	Zone b		**1,882**
	Zone c		**1,805**
Médéa		**1,895**	
	Zone a		**1,915**
	Zone b		**1,868**
Miliana		**1,911**	
	Ilot 1		**1,936**
	Ilot 2		**1,927**

On peut en déduire que les mesures de dimension fractale sont intéressantes car elles permettent la caractérisation des répartitions spatiales hétérogènes. « *La dimension fractale étant déterminée à partir des comptages effectués selon différents niveaux de résolution d'une distribution spatiale, ce calcul met en évidence des variations systématiques de la répartition d'un fait géographique donné à travers les échelles. Ces variations sont non proportionnelles, non linéaires, elles n'apparaîtraient pas si on se contentait de mesures plus simples des répartitions comme celle des densités, si souvent employée dans la géographie classique (...)* » (François, Frankhauser, Pumain 1995).

On note des valeurs rapprochées par échelle d'analyse ainsi que par type de tissu. En effet, sur le tableau 29, les valeurs de la dimension fractale globale des trois noyaux urbains se rapprochent, variant entre 1,901 pour Blida, 1,895 pour Médéa et 1,911 pour Miliana. Parallèlement, les valeurs de la dimension fractale relatives aux tissus peu restructurés et plus authentiques se rapprochent, affichant 1,932 pour la zone (a) de Blida, 1,915 pour la zone (a) de Médéa, 1,936 et 1,925 pour les ilots 1 et 2 respectivement de Miliana. Ces valeurs contraste légèrement avec les zones (b) profondément restructurées de Blida dont D= 1,882 et de Médéa avec une D=1,868. Ceci nous renvoie vers l'importance du facteur historique qui impacte de

manière directe la forme urbaine par un mode d'urbanisation propre à chaque régime. La ville précoloniale présente un tracé urbain particulier en termes de structure viaire. Les rues et ruelles sont moins larges, et donc des ilots plus rapprochés. Elles sont également moins rectilignes.

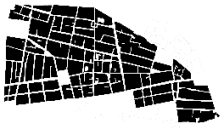
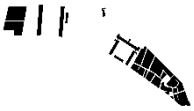
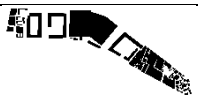
Figure 108. La dimension fractale globale vs la dimension fractale locale. Source : Auteur

3.3. Dimensions fractales caractéristiques pour chaque type de tissu

Lors des calculs effectués au cours de l'analyse du corpus, il apparaît immédiatement que les différents types de tissus urbains sont généralement bien distincts du point de vue de leurs dimensions fractales (tableau 30). Ces résultats illustrent sans équivoque que la dimension fractale ne transmet en aucune manière les mêmes informations que la densité. En réalité, l'indicateur fractal reflète davantage l'homogénéité urbaine que le degré d'occupation de l'espace : tant dans noyaux précoloniaux peu restructurés que dans les zones totalement restructurées, les formes rencontrées sont majoritairement homogènes, la plupart des plans présentant des dimensions comparables et leur disposition étant relativement systématique. Le concept d'homogénéité fait ici référence à une structure urbaine cohérente et uniformément distribuée, ou, en d'autres termes, de rugosité équivalente.

Tableau 30. Variations globale et locale de la dimension fractale ainsi que le préfacteur de forme à travers le temps.

Source : Auteur

	1852	1956	2022
Blida global	**Dc= 1,893 a=1,74**	**Dc=1,894 a= 1,44**	**Dc=1,901 a=1,45**
Blida Zone (a)	 **Dc=1,920 a=1,77**	**Dc=1,924 a=1,59**	**Dc=1,932 a=1,53**
Blida Zone (b)	 **Dc=1.843 a= 3.12**	**Dc=1,852 a= 3.17**	 **Dc=1,843 a=3.16**
Blida Zone (c)	**Dc= 1.835 a=1.95**	**Dc= 1.874 a=1.82**	**Dc= 1.805 a=2,07**
	1867	**1959**	**2023**
Médéa global	**Dc=1,883 a=4,49**	**Dc=1,888 a=2,24**	**Dc=1,895 a=1,75**
Médéa Zone (a)	**Dc=1,921 a=2.01**	**Dc=1,918 a=2.05**	**Dc=1,915 a= 2,10**
Médéa Zone (a)	**Dc=1,825**	**Dc=1,849**	**Dc=1,866**
	1852	**1929**	**2024**
Miliana global	**Dc=1,898 a=1.33**	**Dc=1,913 a= 1.30**	**Dc=1,911 a=1,28**

«*Les fractales promettent une nouvelle science, celle de la rugosité. […] j'ai trouvé dans les fractales l'objet fondamental de la rugosité, comme la sinusoïde est l'objet fondamental de la lumière et du son*» (Mandelbrot, 2004, p64)

La deuxième observation que nous constatons est que la valeur du préfacteur a est clairement définie et présente une cohérence notable en ce qui concerne les caractéristiques des tissus examinés. Outre son alignement avec les morphologies urbaines observées, a démontré également une cohérence sa co-variation avec D à mesure que la forme devient plus hétérogène et complexe, la valeur de augmente.

Les valeurs de D sont analogues, car la logique de couverture de chaque tissu repose sur une distribution de masses présentant des caractéristiques identiques, une homogénéité. Les valeurs de a divergent uniquement quand le tracé urbain est profondément différent. En effet, dans le cas de l'analyse locale par zones, la zone (a) de Blida et Médéa présente une homogénéité remarquable, tandis que pour les zones (b), (c) de Blida et (b) de Médéa, présentent un bâti et des vides de tailles et de formes très variables. L'étude approfondie de D et de a met en lumière le fait que a peut constituer une valeur différenciante pour des tissus urbains distincts qui, malgré leur diversité architecturale, conservent un niveau d'homogénéité similaire.

3.4. L'impact du facteur temps sur la variation fractale du tissu

Différents recherches se sont intéressées à l'évolution de la dimension fractale des villes au fil du temps. Bien qu'il soit impossible de réaliser une analyse comparative de ces études en raison des disparités dans les données et les méthodologies utilisées pour les calculs, les tendances identifiées restent identiques. La valeur de la dimension fractale a toujours affiché une tendance croissante. La dimension fractale de Berlin (Allemagne) à titre d'exemple a augmenté au cours du temps : 1,43 en 1875, 1,54 en 1920 et 1,69 en 1945 (Frankhauser, 1990). La dimension fractale de la ville de Baltimore (USA) affiche également une augmentation, de 1,015 en 1822 à 1,722 en 1992 (Chen, 2002). Un accroissement de la dimension fractale de la surface bâtie est également mis en évidence pour l'agglomération de Bâle (France, Allemagne, Suisse) entre 1882 et 1994 (Tannier & Pumain 2005) et pour l'agglomération de Lisbonne (Portugal) entre 1960 et 2004 (Encarnação et al. 2012).

La dimension fractale dans le cas de notre corpus prend une trajectoire très particulière entre la période précoloniale et la période coloniale. Le passage de la ville de type arabo-musulmane à la ville française a nettement diminué la dimension fractale relative aux trois analyses (radiale,

de dilatation, de corrélation). Si on prend comme exemple l'analyse de corrélation, la dimension fractale de Blida est passée de 1,935 avant la colonisation à 1,892 en 1840. En ce qui concerne Médéa, elle passe de 1,901 à 1,825 en 1867. Il en est de meme pour Miliana qui passe de 1,919 à 1,912 en 1841, puis 1,898 en 1856 quand la ville subit de profondes restructurations.

Cette tendance croissante est vérifiée également dans les deux premiers cas de notre corpus, lors de l'analyse radiale et l'analyse de corrélation des autres plans relatifs aux périodes coloniale et postcoloniale (figure 109), malgré les fluctuations minimes notées. En ce qui concerne l'analyse de dilatation, les trois cas d'étude affichent une position croissante pour les trois cas d'étude.

Corpus	Année	Dc
Blida	**1840**	**1,892**
	1852	**1,893**
	1916	**1,848**
	1956	**1,894**
	2022	**1,901**
Médéa	**1867**	**1,825**
	1959	**1,849**
	1985	**1,873**
	2023	**1,866**
Miliana	**1841**	**1,912**
	1856	**1,898**
	1929	**1,913**
	1986	**1,889**
	2024	**1,911**

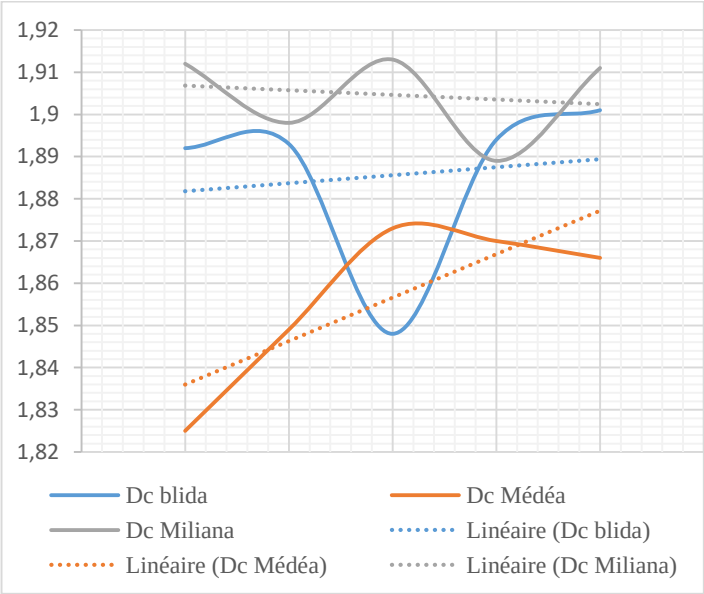
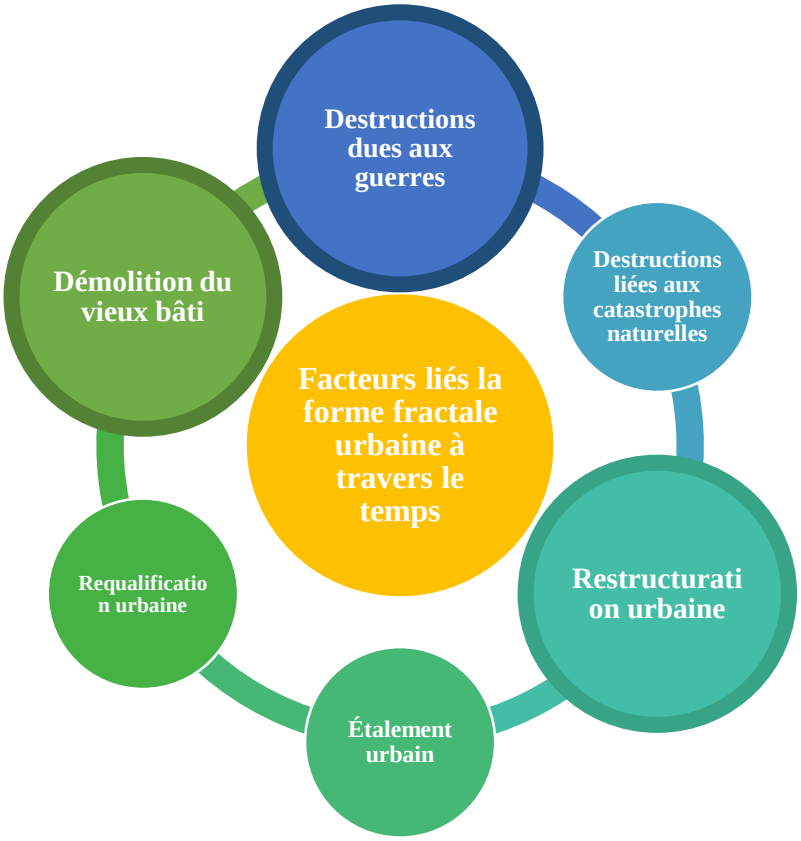


Figure 109. Impact du temps sur la variation de la dimension fractale. Source : Auteur

Ceci se justifie par le fait qu'une ville ne prend pas forme à travers les siècles selon un unique procédé de croissance fractal, qui se poursuit jusqu'à un stade finale de concrétisation de la forme urbaine. Plusieurs facteurs rentrent dans la formation fractale d'une ville, dont le mode de développements urbains qui change au cours du temps depuis la structure précoloniale, l'intervention coloniale militaire, la pacification par le passage de l'urbanisme militaire vers l'urbanisme civil, et enfin les politiques d'urbanisme post-indépendantes. Le tissu urbain des noyaux, à certains moments, est profondément modifié par destruction et reconstruction.

Outre le contexte d'une ville colonisée, et dans un contexte plus large, on cite comme exemple l'Haussmannisation de Paris ou le plan Cerdà (Barcelone) au XIXe siècle, les cités jardins d'Enwin sur Londres. La ville par l'épreuve du temps est aussi reconstruite sur elle-même après une destruction partielle lors des guerres et batailles, ou des catastrophes naturelles, ou encore

dans le cadre de destruction massive du bâti ancien au profit de larges immeubles ou de gratte-ciels, comme dans les grandes villes chinoises contemporaines. La croissance ex-nihilo à travers le processus d'étalement urbain finit également par l'intégration graduelle des zones bâties péri-urbaines souvent préexistantes dans la ville. Tous ces facteurs et bien d'autres sont des formes de régénération ou croissance fractale urbaine dont les finalités se diffèrent.



Graphique 12. L'impact du facteur temps sur la variation fractale du tissu avec mise en évidence des facteurs liés à notre cadre d'étude. Source: Auteur

3.5. La distribution spatiale et l'invariance d'échelle

Dans la recherche empirique, si nous postulons qu'une distribution spatiale présente une invariance d'échelle, ce qui implique qu'elle est statistiquement auto-similaire, et nous étudions les écarts par rapport à ce cadre théorique, des incohérences dans l'invariance d'échelle peuvent se manifester dans certaines plages d'échelle tout en restant absentes dans d'autres. De plus, ces incohérences peuvent présenter une variabilité spatiale, soulignant ainsi la différenciation spatiale. Selon P. Frankhauser (2004), ainsi que N. Salingaros et B. West (1999), l'interaction de deux types de processus d'urbanisation distincts est à l'origine de l'émergence de formes urbaines fractales : les processus bottom-up, qui concerne directement les actions individuelles, et les pressions collectives, et les processus top-down, à l'exemple des initiatives de

planification urbaine. La dynamique entre des actions contradictoires au niveau individuel, en particulier la recherche d'un lieu résidentiel qui minimise la distance par rapport au centre urbain et à la périphérie rurale, peut contribuer à la formation de tissus urbains fractals (F. Schweitzer et J. Steinbrink, 2002). Le concept d'auto-organisation est au cœur de ces diverses hypothèses. Dans un cadre auto-organisé, une structure macroscopique émerge d'interactions microscopiques, qui régissent l'évolution future du système, parfois par un facteur limitant, correspondant souvent à une taille maximale de ville inaccessible (Schweitzer & Steinbrink 2002) ou à un taux d'urbanisation maximal (Chen, 2015). F. Schweitzer et J. Steinbrink (2002) ont donc postulé que la distribution par rangs des agrégats bâtis dans les contextes urbains évolue progressivement vers une distribution de Pareto. Si cette hypothèse se confirme, on pourrait en déduire que l'exposant de Pareto sert d'indicateur du stade de développement d'un tissu urbain, les écarts entre une distribution par rangs des agrégats bâtis et une distribution parétienne indiquant des pistes potentielles de croissance future.

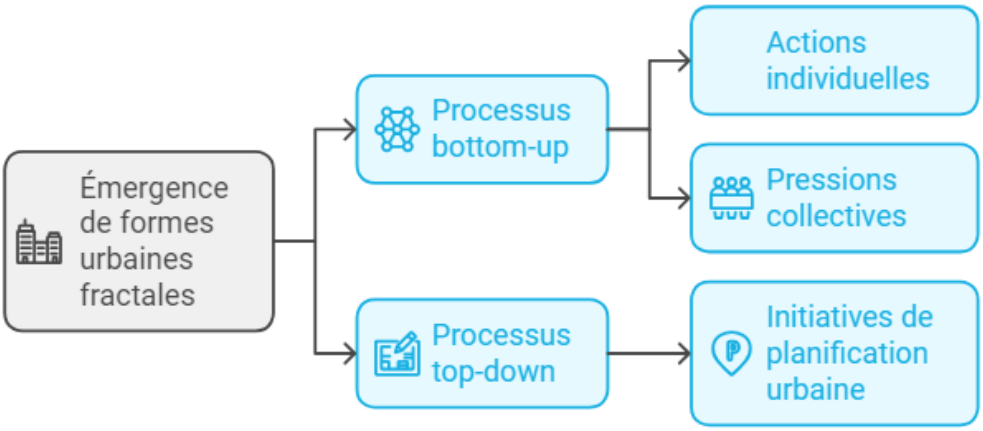


Figure 110. Processus contribuant à l'emergence d'une forme urbaine fractale. Source: Auteur

Cette dynamique contradictoire a toujours fait partie de la ville précoloniale, dans le sens ou les actions individuelles avaient un poids dans la formation de la ville par rapport au choix de s'implanter au centre, ou en périphérie, ou carrément ayant une maison qui fait partie de la muraille. La pression collective aussi régissait les limites de la ville, qui par moment avait atteint sa saturation maximale en intramuros, aussi à travers l'impact de la loi de succession (par héritage), qui est à l'origine du découpage parcellaire et donc influe directement sur la morphologie (Benhamouche, 2011). A l'inverse de la période coloniale, qui était régie par un urbanisme militaire planifié, en suite des opérations de transfert et installation de la population

européenne dans des infrastructures adéquates à leur mode de vie, la création des cités « indigènes », toutes ces actions et bien autres rentrent dans le processus top-down. La cohabitation de toutes ces actions des deux processus, à travers le temps, ont conduit selon cette hypothèse, à une configuration fractale des cas d'étude.

3.6. Forme fractale, forme optimale

Partant du principe qu'une configuration fractale peut se manifester au niveau macroscopique par le biais de mécanismes d'auto-organisation, la nature fractale des tissus urbains est parfois considérée comme un état d'équilibre optimal. (Tannier, 2018). Beaucoup d'auteurs s'attachent à l'idée selon laquelle l'urbanisme devrait aspirer au développement de formes fractales est fondée sur leur présence dans les environnements naturels, où elles se matérialisent spontanément et sont donc considérées comme possédant des qualités optimales. Par conséquent, les fractales sont considérées comme une norme esthétique universelle. (Tannier, 2018). Cette vision est soutenue principalement par des chercheurs organicistes. Chen et Wang (2013) considèrent que l'écart à une structure multi-fractale de l'agglomération de Pékin est le signe d'un déclin et d'une décadence du centre de la ville. En continuité à ses propos, Chen avance que *« Multifractality represents optimal structure of human geographical systems because a fractal object can occupy its space in the most efficient way. Using the ideas from multifractals to design or plan urban and rural terrain systems, we can make the best of human geographical space*» (Chen, 2015: p17). Il postule en outre que le processus d'urbanisation devrait idéalement aboutir à un moment où le taux d'urbanisation L est équivalent à 0,618, le ratio urbain-rural associé, qu'il désigne comme le « nombre d'or », étant égal à 1,618. Dans une vision opposée, comme le souligne GenreGranpierre (2017 : p 5) : « *Soit on considère que ces formes fractales auto-organisées sont satisfaisantes (voir optimales), alors l'aménagement devient « inutile » (et même gênant, puisque l'intervention humaine engendre des déviations à la fractalité*». En analysant notre corpus, on constate qu'une même valeur de dimension fractale peut non seulement caractériser des formes urbaines différentes comme c'est le cas pour valeurs très rapprochées relatives aux périodes précoloniale et postcoloniale, bien que les deux tissus urbains soient produits par deux processus quantitativement et qualitativement très divers. En réponse aux deux opinions avancées, et selon notre expérience scientifique, on considère que rien n'empêche d'adopter comme objectif une dimension fractale judicieuse pour le développement d'un tissu urbain, que ce soit par extension ou par densification, en justifiant le choix de cette dimension au regard des objectifs fixés, selon les particularités du tissu en question, et la nature des données qui le représentent.

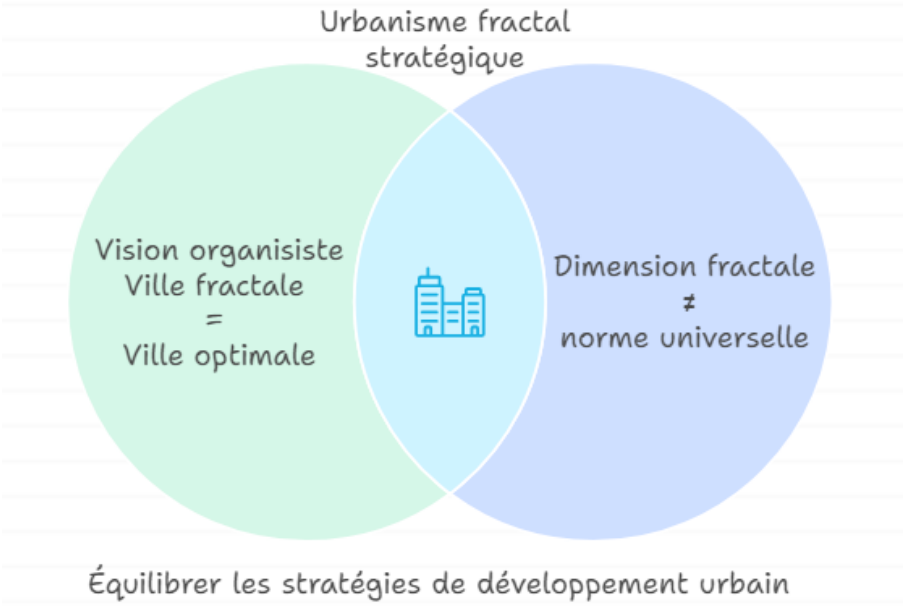


Figure 111.La forme fractale est-t-elle optimale ? Source : Auteur

3.7. Mesure fractale et mesures analogues

Les résultats obtenus dans cette recherche peuvent être comparés soit à des études analogues sur les tissus urbains similaires, soit à des mesures morphologiques et d'utilisation des sols, qui incluent des indices associés à la forme et à la densité, ainsi que des éléments géographiques urbains, comme la concentration de la population. Ces résultats peuvent également être comparés à des coefficients utilisés dans les réglementations d'urbanisme, tels que le coefficient d'utilisation des sols, fréquemment appelé COS (Badariotti, 2005). La comparaison de nos résultats avec des ceux des études similaires doit répondre à des méthodologies d'approche similaires, respectant le facteur temps, les strates historiques urbaines similaires, avec respect du découpage non pas en sections de taille uniforme, mais en fonction de la nature du tissu, qui favorise l'homogénéité des échantillons de tissus examinés. Il serait également intéressant d'effectuer des parallèles entre les résultats obtenus et les autres mesures obtenues à partir de l'analyse spatiale ou de la géographie urbaine, telles que les évaluations de la densité. Des recherches effectuées dans ce sens (Keersmaecker, 2003), (Frankhauser et Thomas, 2004) ont conclu à l'existence d'une forte corrélation entre la dimension fractale et de densité, en observant un coefficient de corrélation d'environ 0,7 entre la densité et la dimension fractale. En outre, ces recherches proposent que la dimension fractale constitue un indicateur plus précis que la densité seule, car elle fournit également des informations importantes sur la disposition géométrique du bâti.

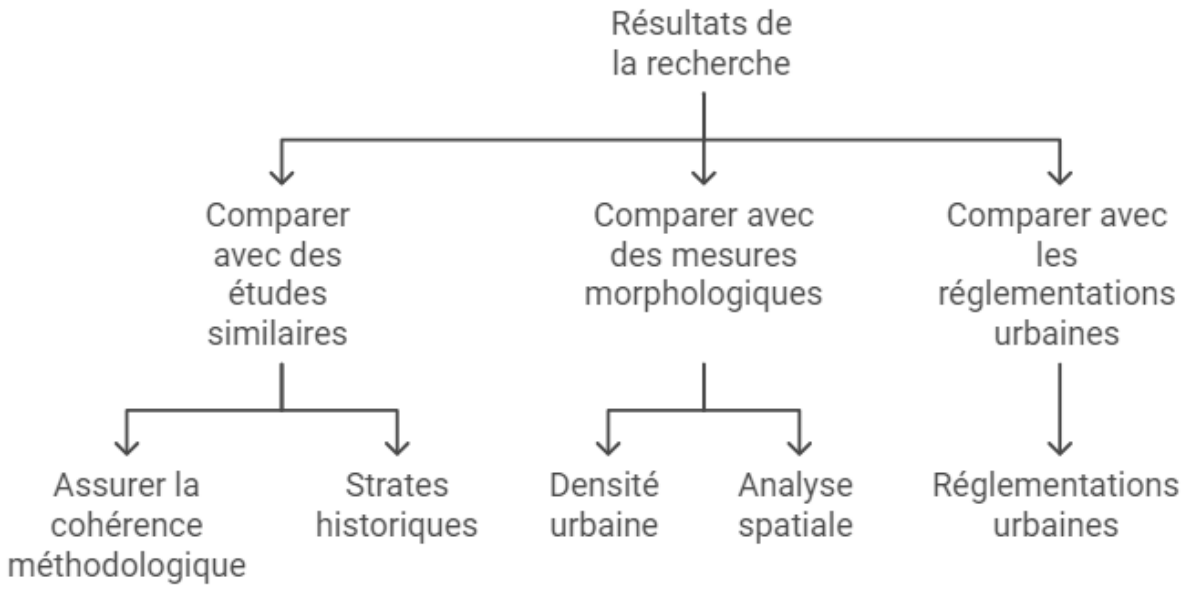


Figure 112. Mesures analogues complémentaires à notre recherche. Source : Auteur

3.8. Indice de couverture fractale

L'indice de couverture fractale est une métrique qui implique le calcul d'une valeur similaire à la masse fractale (Réseau international de néologie et de terminologie, 1994:90) pour un îlot urbain de 100 m de côté, qui est ensuite juxtaposée à la dimension euclidienne d'une île de taille similaire (Baradiotti, 2005). Cette métrique peut être comparée au coefficient d'utilisation des sols (COS) utilisé dans la planification urbaine pour évaluer le volume de surface de plancher construite par unité de terrain. C'est pour cette raison qu'on juge intéressant de l'appliquer sur notre recherche pour estimer la couverture fractale de notre corpus. Baradiotti (2005) le définit comme suit :

- l'île euclidienne, d'une longueur latérale de 100 m, couvre 100^2 m², soit 10 000 m², soit un hectare ;
- l'îlot fractal, d'un côté équivalent de 100 m, englobe 100D mD, soit X mD, représentant un hectare fractal.

La mesure de couverture fractale mérite un examen plus approfondi des résultats obtenus dans les phases précédentes, dans le sens ou, elle permet d'évaluer l'importance de la différence d'un dixième ou d'un centième de variation de la dimension fractale entre nos cas d'étude. Les valeurs qui s'y réfèrent sont présentées dans le tableau 31.

Si l'on considère la différence entre la valeur de la dimension fractale pour Blida Dc=1,935 et celle de Médéa Dc=1,901, qui entraîne une variation de 1,017% (0,034 pour 1,901), nous observons que cela se traduit par une différence de capacité d'environ 11 % (1075 pour 10 000), ce qui est une valeur notable.

Tableau 31. Couverture fractale des noyaux urbains de Blida, Médéa et Miliana, durant la période précoloniale et l'état des lieux. Source : Auteur

	Tissu	Dc	a	Couverture fractale (1ha)
Période	**Blida**	**1,935**	**1.82**	**7413**
	Médéa	**1,901**	**1,69**	**6338**
	Miliana	**1,919**	**1,23**	**6886**
Etat des	**Blida**	**1,901**	**1,45**	**6338**
	Médéa	**1,895**	**1,75**	**6166**
	Miliana	**1,911**	**1,28**	**6637**

On tient à mentionner également l'évolution de la couverture fractale d'un meme cas d'étude dans le temps. Par exemple, on observe que Blida présente baisse de couverture fractale de 14,4%, contrairement à Médéa et Miliana, dont la baisse est faible et est de 2,72% et 3.62% respectivement. On remarque également que les trois cas d'étude présentent des indices de couverture fractale très rapprochés à l'état des lieux. Cette mesure permet également d'évaluer la capacité de couverture d'un tissu particulier, comme c'est le cas pour les zones (a), (b) et (c), par rapport à la couverture euclidienne. Le tableau 32 présente les résultats d'analyse locale de la ville aujourd'hui. On observe que zone (a) présente le taux de couverture le plus élevé 73 % par rapport aux zone (b), dont le pourcentage est de 48 %, et la zone (c) qui est de 40%. Ces résultats méritent d'être confrontés à ceux des autres cas d'étude du corpus dans des recherches ultérieurs. Ainsi, la couverture fractale offre une perception mesurable alternative sur l'utilisation des sols en milieu urbain, ouvrant potentiellement la voie à des applications intéressantes en matière de planification urbaine

Tableau 32. Couverture fractale du noyau urbain de Blida (globale et locale) en 2022. Source : Auteur

	Tissu	Dc	a	Couverture fractale (1ha)
Etat des lieux	**Blida**	**1,901**	**1,45**	**6338**
	Zone (a)	**1,932**	**1,53**	**7311**
	Zone (b)	**1,843**	**2,07**	**4853**
	Zone (c)	**1,805**	**3.16**	**4074**

En plus de la différenciation des tissus, cette métrique fournit une évaluation quantifiable du potentiel de couverture de projets d'urbanisation spécifiques : une forme de COS calculée non pas au niveau de la parcelle, mais plutôt à l'échelle de l'îlot ou du nouveau quartier prêt à être développé. Selon le contexte géographique de la zone, elle peut servir de surface de référence pour le calcul de nouvelles densités urbaines : une telle application faciliterait l'ajustement du dénominateur dans le calcul de la densité dans des lieux aussi divers que les centres urbains. La représentation globale des fluctuations de ces densités urbaines émergentes, appelées densités fractales, constitue une avancée significative dans le domaine des études urbaines.

4. Conclusion

Les résultats obtenus indiquent que la dimension fractale a connu un degré de stabilité notable au fil des ans, restant relativement élevée, malgré les restructurations des villes qui s'est produite tout au long de leurs histoires. L'application de l'analyse fractale à cette recherche devient un outil méthodologique très prometteur pour articuler la morphologie des tissus des noyaux urbains, en plus de faciliter une étude approfondie de la genèse intra-urbaine et des processus de simulation. En effet, Nous souhaitons souligner l'originalité des résultats concernant la caractérisation diachronique par analyse fractale, qui illustre le potentiel d'un instrument prometteur pour l'examen de tissus.

À mesure que la diversité et les discontinuités des tissus augmentent, les dimensions fractales calculées divergent de plus en plus des valeurs euclidiennes. Nos résultats obtenus s'alignent sur les cadres théoriques établis. Nos résultats globalement présentent une cohérence significative en ce qui concerne dimension fractale D et le préfacteur de forme a. Les structures comparables, du point de vue de leur forme et de leur configuration urbaine, présentent des valeurs D et a relativement similaires à quelques exceptions pour Miliana. Cependant, il est impératif de reconnaître une certaine sensibilité aux tissus précoloniaux peu restructurés analysés dans cette étude, qui influent profondément les mesures fractale globale.

Les mesures fractales semblent également faciliter une caractérisation distinctive des tissus évalués à travers la dimension fractale. D'autres paramètres, tels que le préfacteur de forme a ou l'évaluation de la capacité de couverture fractale, contribuent considérablement à différencier ces tissus, aussi bien à l’échelle globale que locale. Le calcul de la couverture

fractale peut avoir des implications importantes dans l'analyse intra-urbaine et la planification urbaine. Il permet de définir une nouvelle approche du calcul des surfaces qui repose sur les différentes mesures de surface, ce qui peut entraîner une réévaluation de la capacité de couverture des zones analysées et de leurs implications pour la densité urbaine.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Cette conclusion résume de manière générale les résultats discutés dans les différents chapitres de la thèse. Nous n'avons pas la prétention de revenir en détail sur tous les aspects abordés au cours de cette recherche, mais nous proposons cependant de synthétiser certains résultats afin de faciliter leur compréhension et de mettre en évidence les points forts qui ressortent des deux parties de la thèse.

En guise de rappel, le point de départ de cette thèse était de **caractériser par le fractal les noyaux urbains des villes algériennes**. Autrement dit, il s'agit pour nous de ressortir les caractéristiques, les paramètres et les indicateurs fractals propre à chaque cas d'étude, à deux échelle : globale qui concerne l'espace intramuros, et locale en fonction des types de tissus composant ces noyaux urbains. L'étude s'est étalée sur trois phases historiques importantes relatives à l'édification des noyaux urbains algériens, à savoir les périodes : précoloniale, coloniale et postcoloniale. Trois niveaux d'analyse des données ont contribué à l'élucidation de cette problématique, il s'agit de l'analyse radiale, l'analyse de dilatation, et l'analyse des corrélations. L'objectif étant de comprendre le comportement fractal des noyaux urbains à travers le temps, et vérifier l'impact du facteur diachronique sur la morphologie urbaine.

Nous avons tenté de répondre à notre problématique en nous basant sur trois aspects considérés comme essentiels pour atteindre cet enjeu prioritaire :

1. La restitution historico-urbaine de notre corpus, afin de définir leur mode d'évolution ainsi que leurs similarités. Il s'agit de Blida, Médéa et Miliana, comme des villes de moyennes échelles qui partagent l'histoire, l'emplacement par rapport aux grandes villes, le statut administratif, etc. (aspect conforté par l'hypothèse H1).
2. L'analyse des modèles intra-urbains de chaque cas d'étude (intramuros) afin de statuer sur ses dimensions fractales, globale et locales, sur les périodes temporelles différentes : précoloniale, coloniale et postcoloniale (aspect conforté par l'hypothèse H2).
3. L'étude comparative des trois analyses qui sert de vérification de la logique morphologique fractale des tissus, tributaire de la logique et du mode d'urbanisation propre à chaque époque (aspect conforté par l'hypothèse H3).

En fonction des objectifs visés, nous avons fait appel à plusieurs techniques et outils de collecte de données. L'analyse des données ainsi que croisement des résultats nous ont permis de

comprendre le comportement fractale de chaque cas d'étude, selon les période historiques fixées, ainsi que l'échelle d'analyse, et de pouvoir ressortir ses **spécificités morphologiques**. Le relevé sur terrain des paramètres métriques de chaque site d'étude avait pour objectif de mieux cerner et confronter les résultats analytiques avec le terrain.

Pour relever les défis complexes liés à la définition fractale du tracé urbain des noyaux des villes, nous avons essayé de mettre en lumière l'importance du **facteur temps** ainsi que celui des **actions d'aménagement** (individuelle et collectives) Bottom-up, et de **planification urbaine** top-down, sur la **morphologie fractale** de la ville. Enfin, nous avons proposé des pistes de réflexion pour améliorer l'analyse et la caractérisation fractale des tissus urbains, plus précisément, ceux dont l'héritage historique est de taille, afin de garantir une gestion efficace du foncier des noyaux urbains dans le contexte spécifique à l'Algérie.

Retours sur les résultats de la recherche

Pour atteindre les objectifs définis en début de cette recherche et pour effectuer une évaluation empirique des hypothèses avancées dans le chapitre introductif, nous avons choisi de réaliser une analyse fractale diachronique des tissus urbains. Notre méthodologie est motivée par l'ambition d'analyser les centres urbains pour comprendre leur évolution et d'entreprendre une caractérisation fractale de ces tissus urbains spécifiques. Le choix des fractales comme outil méthodologique pour l'étude et la caractérisation de la morphologie urbaine provient de leur capacité à explorer les principes de distribution qui sous-tendent les environnements construits au sein des tissus urbains à différentes échelles, en utilisant des modèles de référence adaptés à l'orientation thématique et aux objectifs de notre enquête scientifique. En outre, en tant que mécanisme de modélisation, les fractales améliorent la classification des tissus urbains examinés en raison de leur capacité à générer des configurations géométriques qui respectent un principe de distribution prédéterminé.

Les noyaux urbains à l'époque précoloniale

L'analyse fractale menée sur les trois noyaux urbains précoloniaux révèle des résultats remarquablement analogues. Dans un premier temps, l'analyse radiale est exécutée à l'aide de trois fenêtres analytiques distinctes, comme expliqué en détail dans les chapitres respectifs relatifs à chaque étude de cas. Collectivement, l'analyse affiche des dimensions fractales très élevées, et indique une tendance à la baisse du centre vers la périphérie du noyau, avec des valeurs de (1,976, 1,962 et 1,880) pour Blida, (1,975, 1,941 et 1,925) pour Médéa et (1,935,

1,938 et 1,907) pour Miliana. L'analyse de corrélation donne également des valeurs significatives dans les trois études de cas, présentant des valeurs allant de 1,935 pour Blida, 1,901 pour Médéa et 1,851 pour Miliana.

Ces résultats soulignent l'homogénéité indéniable du noyau urbain précolonial. En effet, l'une des caractéristiques distinctives des établissements urbains influencés par l'urbanisme musulman est la distribution uniforme des structures dans l'ensemble de l'espace intra-muros. Étant donné que les tissus du corpus donnent des résultats très convergents, l'analyse est complétée par l'évaluation de leur degré de complexité à l'aide du préfacteur de forme (a). Le noyau urbain de Blida possède une dimension fractale de Dc = 1,935 et a = 1,82, représentant le tissu le plus complexe du corpus, suivi de Médéa avec Dc = 1,901 et a = 1,69, et de Miliana avec Dc = 1,919 et a = 1,23 ; mais ces observations n'excluent pas la probabilité que les trois études de cas présentent des logiques morphologiques analogues.

L'examen des courbes du comportement scalant révèle peu d'oscillations comprises entre 1,7 et 2, présentant des trajectoires presque identiques. Ces données indiquent une faible hiérarchie, compte tenu d'une fluctuation observée dans les comportements scalants des deux premiers spécimens, ainsi que de deux fluctuations dans le cas de Miliana. L'analyse de dilatation donne des valeurs de dimension fractale relativement élevées, ce qui signifie un niveau de compacité modérément important.

Lecture fractale comparative des noyaux urbains coloniaux et postcoloniaux

Les processus analytiques utilisés dans notre recherche examinent la zone d'étude sous deux angles distincts :

- L'analyse globale du noyau urbain, qui concerne le périmètre d'étude, inclus dans l'enceinte initiale (ville intramuros).
- L'analyse locale, qui aborde les divers tissus liés à l'évolution et à la transformation urbaine au fil du temps.

Conservation de l'homogénéité et de la hiérarchie

Pour évaluer l'homogénéité et la hiérarchie des tissus de notre corpus, nous avons d'abord effectué une analyse radiale. On observe dans l'ensemble, une trajectoire ascendante linéaire perceptible pour la dimension fractale Dr, à la fois pour Blida et Médéa, alors qu'une légère baisse est notée dans le cas de Miliana. Les trois études de cas présentent des courbes analogues, ce qui permet d'élucider un modèle d'urbanisation comparable dans les trois fenêtres analytiques

pour chaque cas. Parallèlement, la valeur de la dimension fractale diminue progressivement à mesure que le rayon de la fenêtre analytique s'étend. Ces résultats indiquent que le barycentre de chaque étude de cas est caractérisé par une plus grande homogénéité et une hiérarchie réduite par rapport aux régions adjacentes aux limites du périmètre. Le même phénomène est observable au cours d'autres périodes historiques.

L'analyse radiale locale de la dimension fractale révèle des données qui divergent nettement de l'analyse globale. En effet, les zones légèrement restructurée de Blida et Médéa présentent une baisse modérée de l'homogénéité au fil du temps, qui est partiellement rétablie dans le cas de Blida, de 1956 à 2022, avec une transition de 1,88 en 1916 à 1,931 en 1956, puis à 1,961 en 2022, indiquant ainsi une zone de moins en moins hiérarchisée. En revanche, la zone relative à Médéa se distingue par une baisse progressive de l'homogénéité, entraînant une hiérarchie accrue, comme en témoigne une variation du Dr de 1,941 en 1867 à 1,907 en 2023. Ce phénomène peut sans aucun doute être attribué à la restructuration partielle de conformation spatiale, accompagnée des opérations de réalignement des voies de circulation.

Les zones (b) et (c) du noyau de Blida ont connu un déclin rapide de leur homogénéité entre 1840 et 1852, les valeurs étant passées de 1,885 à 1,65 pour la zone (b) et de 1,865 à 1,775 pour la zone (c). Cette baisse marque les premières initiatives importantes de restructuration entreprises dans ces deux régions du nord et du sud, dont les aménagements ont subi une modification complète. Par la suite, cette homogénéité est progressivement rétablie après 1852 à Blida, avec une tendance comparable observée à Médéa à partir de 1867, où les deux villes ont connu une baisse de la hiérarchie.

Compacité importante des noyaux urbains

La dimension fractale associée à l'analyse de corrélation menée sur l'ensemble du corpus d'études est remarquablement élevée, montrant une trajectoire ascendante pour Blida et Médéa à travers le temps, tandis que Miliana présente une tendance linéaire légèrement à la baisse. La dimension fractale de Blida enregistre une valeur de 1,893 au début de la colonisation, puis diminue à 1,848 à l'aube du 20e siècle, avant d'augmenter progressivement pour atteindre une valeur de 1,901 en 2022. Par rapport à Médéa, la dimension Dc connaît une ascension

progressive, passant de 1,883 en 1867, pour atteindre son maximum à 1,90 en 1986, suivie d'une légère baisse à 1,895 en 2023, ce qui suggère une dilution négligeable mais perceptible des zones urbanisées. À l'inverse, Miliana montre deux fluctuations mineures de la dimension fractale Dc au fil du temps ; plus précisément, en 1852 où Dc est enregistré à 1,898, et en 1986 avec une valeur de 1,889. Le calcul pour 2024 indique une valeur de 1,911. Collectivement, ces valeurs, qu'elles soient faibles ou élevées, illustrent un tissu urbain remarquablement compact et mal organisé.

En ce qui concerne le degré de complexité, on note qu'avant l'incursion coloniale à Blida, le noyau urbain possédait une dimension fractale de Dc = 1,935 ainsi qu'un préfacteur de forme de a = 1,82. Au fil du temps, ce noyau urbain a connu une baisse de compacité, aboutissant à une dimension fractale de Dc = 1,901. Parallèlement, son facteur de forme a subi une réduction significative pour atteindre une valeur de 1,45, ce qui indique une atteinte importante de la complexité. En revanche, Médéa est passée de Dc= 1,901 à l'époque précoloniale à Dc=1,911, reflétant une amélioration de la compacité et une réduction de la structure hiérarchique de la zone intra-muros, son degré de complexité passant de 1,69 à 1,75, ce qui représente une augmentation notable de la complexité. En ce qui concerne Miliana, une légère diminution de sa dimension fractale Dc est observée, passant de 1,919 pendant la phase précoloniale à 1,911 à l'époque contemporaine, juxtaposée à une légère augmentation de complexité de 0,05. Cette constatation n'exclut pas la possibilité que les trois études de cas présentent des principes morphologiques analogues.

L'analyse de corrélation locale permet d'élucider des résultats contrastés. Dans un premier temps, il existe une similitude observable entre les deux courbes relatives au périmètre global et à celui des zones urbaines peu restructurée, qui présentent une évolution temporelle analogue. On peut en déduire que la valeur de sa dimension impacte significativement la valeur globale. Ce phénomène est confirmé inversement à Médéa, concernant les zones urbaines profondément restructurées (b), qui exerce une influence négative sur la valeur de dimension fractale globale. En conséquence, on constate que les types de tissus présentant une plus grande surface exercent une influence notable sur la valeur de la dimension fractale globale. De plus, la compacité relativement modeste des régions où l'intervention française est prononcée peut être attribuée aux zones sous-développées qui persistent au sein de l'agglomération, ainsi qu'aux vides urbains intégrés au tissu, tels que les places publiques, en plus des vestiges des défenses historiques de la ville. Il devient donc évident que la compacité globale des zones urbaines est relativement élevée, bien qu'une légère hiérarchie soit observée dans les zones profondément restructurées.

La dilatation pour différencier les tissus

L’analyse de dilatation du corpus montre que seuil à partir duquel la masse initiale devient perceptible dépend de de chaque cas d’étude, ainsi que du type de tissu et de la période pendant laquelle l'analyse de dilatation est réalisée. Pour les centres urbains de l'époque précoloniale et de la période contemporaine, ce seuil se situe entre (45 et 50) pour Blida, (26 à 28) pas pour Médéa et (5 à 17) pas pour Miliana. Ces résultats manque de précision, et pour bien comprendre ce processus dans ses détails complexes, une analyse locale est menée, afin de délimiter avec précision le nombre d'itérations pour chaque type de tissu.

Il est évident que les tissus les plus connexes sont ceux de la zone (a) pour Blida et Médéa, ainsi que dans les ilots bien conservés de Miliana. La zone (a) de Blida présente une agrégation au bout de 7 itérations correspondant à la période au début de la colonisation, et à 13 étapes en 2022, ce qui indique que la configuration urbaine n'a pas sensiblement changé. Il en est de même pour la zone (a) de Médéa, elle présente une masse singulière suivant 5 étapes d'itération au début de la période coloniale et 11 étapes en 2023. En ce qui concerne Miliana, elle forme une agrégation après 5 itérations au début de la période coloniale et 17 étapes en 2024, avec seulement deux étapes pour les îles 1 et 2 à titre indicatif. Ces résultats indiquent des tissus très compacts présentant des caractéristiques analogues. À l'inverse, les tissus faiblement connectés (lâches) englobent les zones (b) et (c) de Blida, ainsi que la zone (b) de Médéa. Ces tissus largement restructurés comprennent des tissus haussmanniens, des casernes et des zones militaires, de grands complexes résidentiels et des lotissements urbains.

Dans ce contexte, nous faisons référence à la zone (b) de Blida, qui présente une agrégation cumulée de 8 itérations au début de la colonisation, puis une baisse progressive de la compacité, culminant à 48 itérations d'ici 2022. Pour la région (c), le nombre d'étapes itératives est enregistré à 45, et passe à 50 d'ici 2022. La région de Médéa (b) présente une variation entre 26 itérations au début de l'époque précoloniale, pour finalement atteindre 28 itérations en 2023. Ces valeurs numériques, bien que très significatives, mettent en évidence un paradigme d'utilisation des sols fondamentalement divergent lorsqu'il s'agit de mettre en contraste des contextes historiques et contemporains.

En résumé, il existe une progression linéaire perceptible dans la dimension fractale Dd pour les centres urbains de Blida, Médéa et Miliana, avec des dilutions modérées et des trajectoires

différentes. La typologie de l'environnement bâti, associée à la configuration des vides, exerce une influence considérable sur la dimension fractale pertinente pour l'analyse de la dilatation.

Apports de la recherche

La présente recherche offre une multitude de contributions, sur le plan théorique, ainsi que méthodologique. Elle contribue à la connaissance urbaine à travers les points suivants :

- Cette recherche démontre que l'analyse fractale apporte une plus-value aux mesures urbaines classiques à l'instar de la densité, car elle permet de **distinguer la différence entre les zones urbaines dans une même région urbaine** de plus grande échelle.

- Elle confirme que la dimension fractale permet de **quantifier des attributs** relatifs à l'état des tissus urbains, comme c'est le cas pour la **complexité, la compacité, la hiérarchie, l'homogénéité**. Cette quantification donne plus de précision aux études urbaines, pour des fins comparatives, ou bien évaluatives, et ouvre ainsi des pistes de recherches plus larges comme pour l'évaluation de la durabilité, de la résilience, etc.

- Un des principaux apports de cette these concerne la **caractérisation objective des attributs morphologiques**, à travers l'analyse fractale des noyaux urbains des villes algériennes de seconde échelle de la région nord-centre.

Limites et difficultés de la recherche

Cette recherche comprend un certain nombre de limites, qui mériteraient d'être traités dans des recherches futures.

La première limite est liée aux difficultés rencontrées lors de la phase relevée sur site et collecte de la documentation. En effet, la période passée sur le terrain coïncidait avec la prépondérance de la pandémie de la COVID19, rendant l'accès aux administrations publiques ainsi qu'aux archives en quête de documentation relativement difficile. Dans ce sens, il serait intéressant de d'élargir le nombre des plans à analyser, afin de couvrir des périodes analogues entre les cas d'étude.

Il faut également à mentionner que la caractérisation morphologique réalisée dans le cadre de cette recherche n'est pas exhaustive : elle mériterait d'être complétée par d'autres mesures et indicateurs pourraient être inclus dans les livrables, ainsi que l'appliquer sur des contextes similaires.

Perspectives de recherches ultérieures

Au-delà des conclusions résultant de nos travaux de thèse, et de leurs limites, plusieurs pistes de recherche seraient à explorer pour poursuivre et approfondir les réflexions. On juge que nos résultats, bien que vérifiés et validés, restent préliminaires, car ils sont issus de l'analyse de trois cas d'étude. En effet, la robustesse de ces résultats devrait être appuyée en juxtaposant les mesures issues de notre corpus à celles d'autres noyaux urbains. Bien que la plupart des résultats soient cohérents, il serait encore plus intéressant de les soutenir par des enquêtes sérielles plus approfondies. Outre l'élargissement des mesures visant à renforcer ces observations, il est important d'approfondir la compréhension des processus morphogéniques, qui permettrait d'établir un lien plus cohérent entre les évaluations statiques des mesures fractales et la dynamique des environnements urbains.

Une autre piste de recherche se centrerait sur l'élargissement du corpus d'étude, par l'analyse d'autres noyaux urbains de seconde échelle afin de préciser et affiner davantage les résultats obtenue sur nos trois cas d'étude.

L'étude sérielle des villes dont le statut est similaire, mais qui sont une création purement coloniale serait très intéressantes, dans le sens ou, on pourrait évaluer l'empreinte fractale de la colonisation française sur les villes algériennes et comparer ces résultats avec ceux des villes d'origine précoloniale, à titre d'exemple la différence entre Miliana et Khmis-Miliana.

Cette étude nous a également poussés à réfléchir sur l'adéquation possible entre les mesures fractales, et l'élaboration des plans de sauvegarde des noyaux urbains, étant un outil qui a fait ses preuves sur la caractérisation morphologique distinctive des différences tissulaires.

Ne disposant pas suffisamment d'informations sur la période postcoloniale, il est nécessaire de déterminer dans des recherches ultérieurs si les plans de la ville (POS) ou les règles d'urbanisme, telles que les restrictions de hauteur (prospect), de masse (COS) et de recul par

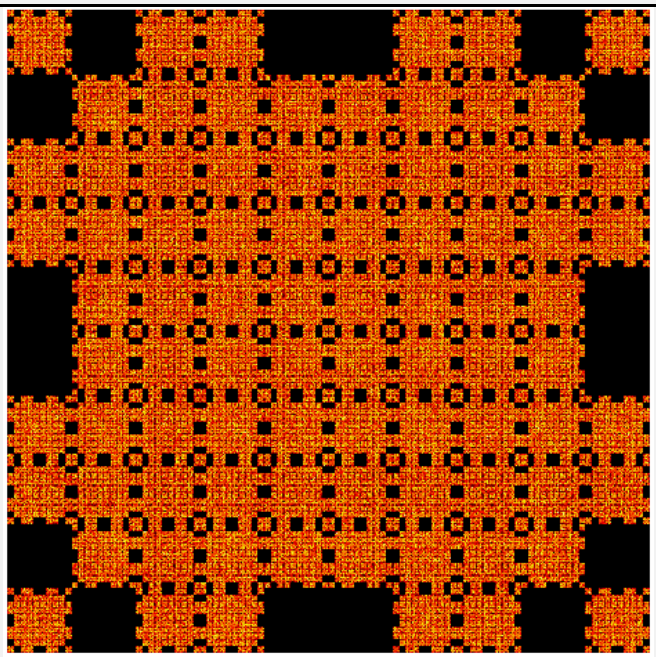
rapport à la voirie, ont eu un impact sur le développement fractal des villes. En outre, il est essentiel de déterminer si la forme urbaine a été influencée par ces facteurs déterminants.

Les livrables de la thèse

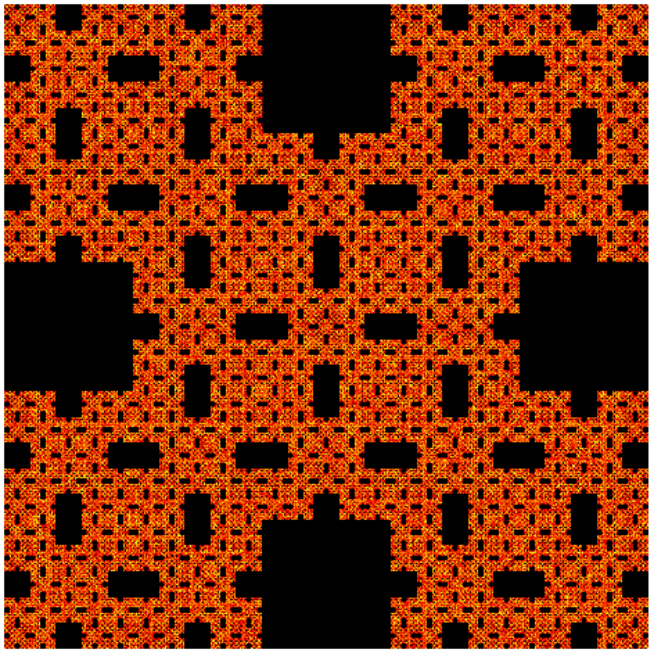
Ils représentent le résumé des résultats de la thèse, que nous avons structurés comme suit :

- Livrable 1 : Caractérisation fractale des noyaux urbains précoloniaux
- Livrable 2 : Caractérisation fractale des noyaux urbains dont l'origine est précoloniale
- Livrable 3 : Caractérisation des tissus urbains relativement conservés (peu restructurés) dont l'origine est précoloniale
- Livrable 4 : Article publié dans la revue Urban Morphology (A)
- Livrable 5 : Article publié dans la revue Arab World Geography (B)

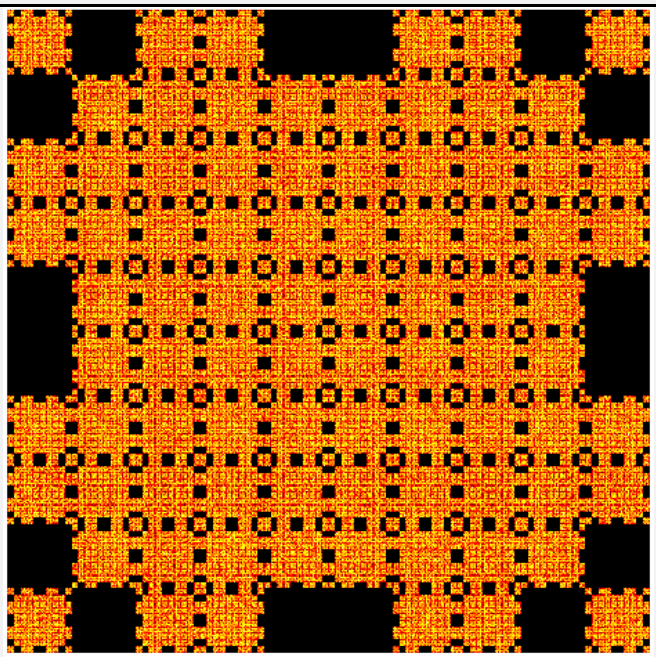
Livrable 1 : Caractérisation fractale des noyaux urbains précoloniaux

Critères	**Valeurs/Etats**
Nombre de strates minimum	1 < Strate Précoloniale
Surface du périmètre intramuros (ha)	17 ≤ S ≤ 50
Dimension fractale radiale	1,907 ≤ Dr ≤ 1,976
Nombre d'oscillation pour le comportement scalant maximum	2
Dimension fractale de corrélation	1,901 ≤ Dc ≤ 1,935
Préfacteur de forme	1,23 ≤ a ≤ 1,82
Dimension fractale de dilatation	1,766 ≤ Dd ≤ 1,880
Nombre d'étapes d'itération	5 ≤ N ≤ 8
Indice de couverture fractale	6338 ≤ Icf ≤ 7413
Degré d'homogénéité	+ + +
Degré d'hiérarchie	-
Degré de complexité	+ +
Degré de compacité	+ +
Modèle théorique Dc= 1,92	

Livrable 2 : Caractérisation fractale des noyaux urbains dont l'origine est précoloniale

Critères	**Valeurs/Etats**
Nombre de strates minimum	3 (Précoloniale, coloniale, postcoloniale)
Surface du périmètre intramuros (ha)	$17 \leq S \leq 50$
Dimension fractale radiale	$1,915 \leq Dr \leq 1,936$
Nombre d'oscillation pour le comportement scalant maximum	3
Dimension fractale de corrélation	$1,895 \leq Dc \leq 1,911$
Préfacteur de forme	$1,28 \leq a \leq 1,75$
Dimension fractale de dilatation	$1,786 \leq Dd \leq 1,844$
Nombre d'étapes d'itération	$17 \leq N \leq 50$
Indice de couverture fractale	$6166 \leq Icf \leq 6637$
Degré d'homogénéité	+ +
Degré d'hiérarchie	+ -
Degré de complexité	+ +
Degré de compacité	+ +
Modèle théorique Dc= 1,895	

Livrable 3 : Caractérisation des tissus urbains relativement conservés (peu restructurés) dont l'origine est précoloniale

Critères	**Valeurs/Etats**
Nombre de strates minimum	3 (Précoloniale, coloniale, postcoloniale)
Surface du périmètre intramuros (ha)	$6 \leq S \leq 23$
Dimension fractale radiale	$1{,}941 \leq Dr \leq 1{,}961$
Nombre d'oscillation pour le comportement scalant maximum	2
Dimension fractale de corrélation	$1{,}915 \leq Dc \leq 1{,}932$
Préfacteur de forme	$1{,}53 \leq a \leq 2{,}10$
Dimension fractale de dilatation	$1{,}788 \leq Dd \leq 1{,}882$
Nombre d'étapes d'itération	$2 \leq N \leq 13$
Indice de couverture fractale	$6760 \leq Icf \leq 7311$
Degré d'homogénéité	+ + +
Degré d'hiérarchie	-
Degré de complexité	+ +
Degré de compacité	+ +
Modèle théorique Dc= 1,92	

Livrable 4 : Article publié dans la revue Urban Morphology (A)

URBAN MORPHOLOGY
Journal of the International Seminar on Urban Form

Towards the authentication of urban pattern through fractal analysis: the case of Blida, Algeria

Amel Bellala
University of Blida 1
https://orcid.org/0009-0003-1536-4624

Krimo Dahmani
University of Blida 1
https://orcid.org/0009-0001-9421-360X

DOI: https://doi.org/10.51347/UM28.0003

Keywords: authentication, urban pattern, urban identification, fractal dimension, Blida, Algeria

ABSTRACT

This paper discusses the use of fractals to identify and analyze the historical values of an urban fabric. The proposed fractal analysis is a novel contribution to valorize a historical fabric as urban heritage. The research focuses on the historical core of Blida, Algeria, and concerns the development of its built fabric over three centuries. The aim is to compare morphological parameters, frequently used to evaluate the fractal dimension of built surfaces, to determine the fabric's authenticity based on the calculated spatial variations. The findings indicate that the fractal dimension effectively distinguishes Blida's historical core fabric. Fractal analysis is demonstrated to be a promising tool in this study for describing the form of historical fabrics as well as studying intra- urban genesis and simulation for use as an urban identification tool.

PDF

Livrable 5 : Article publié dans la revue Arab World Geographer (B)

THE ARAB WORLD GEOGRAPHER

Article Navigation

RESEARCH ARTICLE | OCTOBER 24 2024

The Use of Fractals in Morphological Characterization of Medea's Urban Core in Algeria

Amel Bellala; Krimo Dahmani

The Arab World Geographer (2024) 27 (3-4): 248–258.

https://doi.org/10.5555/1480-6800-27.3-4.248

Share Tools

This research paper deals with the spatiotemporal fractal analysis of the historic fabric of the city of Medea. This method follows previous research into the use of fractals in the analysis of urban fabrics, with a particular focus on the original core of the city, without taking into account the various extensions that have taken place over time. The work focuses on the historic core of the thousand-year-old city of Medea. The aim is to compare morphological parameters, often applied to assess the fractal dimension of built-up areas, to rule on the morphological characteristics of the fabric, based on the spatial variations calculated. The results show that the fractal dimension of Medea's core has remained relatively high over the years, despite the city's partial reconstruction on itself. Diachronic characterization of an old urban fabric through fractal analysis demonstrates the value of a promising tool for studying historic fabrics, which has relatively retained its fractal dimension over the years, constituting a potential issue for outstanding value. Fractal analysis in this research is proving to be a promising tool for describing the morphology of historic fabrics, as well as for studying intra-urban genesis and simulation.

This content is only available as a PDF.

© 2024 Geo Publishing, Toronto Canada

Bibliographie

ABDOU.Y, ALKAMA.D (2022). Study of the Spatial Growth Factors by the use of the Fractal Analysis Case Study City of Biskra. *International Journal of Innovative Studies in Sociology and Humanities*| Volume 7, Issue 2

ABED, BM. (2015). Les villes de l'Algérie antique Tome I: Au travers des sources arabes du Moyen Âge (Province de la Maurétanie Césarienne), Presses Académiques Francophones D'Hestre, 1930

AKKERMAN, A. (1992). Fuzzy targeting of population niches in urban planning and the fractal dimension of demographic change. *Urban Studies*, *29*(7), 1093-1113.

ALEXANDER, C. (2002). *The nature of order: The phenomenon of life*. Center for Environmental Structure.

ALEXANDER, C. (2004). *The nature of order*. Berkeley, CA, USA: Taylor & Francis.

ALLAIN, R. (2005). Ville et proximité. Le point de vue d'un géographe-urbaniste. *Mots. Les langages du politique*, (77), 129-136.

AMBRIERE, F. (1968). *Les Guides Bleus, Italie*. Paris : Libr. Hachette, p. 328-329, [éd. établie par Magdelaine Parisot].

ANDERSSON, C., LINDGREN, K., RASMUSSEN, S., & WHITE, R. (2002). Urban growth simulation from "first principles". *Physical review E*, *66*(2), 026204.

ANTONI, J. P. (2002). Urban sprawl modelling: a methodological approach. Cybergeo: European Journal of Geography. Bertrand, 1980

AOUISSI, B, K. KAOULA, D. (2023). La forme urbaine comme paramètre de réduction de l'épuisement des ressources abiotiques et de la demande cumulative d'énergie d'un quartier. Communication dans *Villes et territoires en devenir : défis, enjeux et outils d'une transition réussie*. VTED23.

ARLINGHAUS, S. (1985) 'Fractals take a central place', *Geografiska Annaler, Series B: Human Geography* 67, 83–8. https://doi.org/10.1080/04353684.1985.11879517

ARLINGHAUS, S. (1989) 'The fractal theory of central place geometry: a diophantine analysis of fractal generators for arbitrary Löschian numbers', *Geographical Analysis* 21, 103–21. https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1989.tb00882.x

ARLINGHAUS, S. AND NYSTUEN, J.D. (1990) 'Geometry of boundary exchanges', *Geographical Review* 80, 21–31. https://doi.org/10.2307/215895

ARROUF.A, KACHA.L ET MANSOURI.A, (2015). Mesures fractales de l'identité morphique pour des tissus urbains dans la ville algérienne de Batna. *Cybergeo: European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 752

AYMONINO C. (2000) [1975]. *Il significato delle città*, Venise, Marsilio

AYMONINO, C. ROSSI, A.(1970). *La città di Padova*, Roma, Officina.

BACON, E. (1965). *Design of cities*, Princeton.

BACON, F. (1965). On the nature of allosteric transitions: a plausible model. *J Mol Biol*, *12*(1), 88-118.

BADARIOTTI, D. (2005). Des fractales pour l'urbanisme ? : Quelques pistes de réflexion à partir de l'exemple de. Cahiers de Géographie du Québec. Volume 49, n° 137,pp. 133-156.

BADARIOTTI, D. et al. (2007). Conception d'un automate cellulaire non stationnaire à base de graphe pour modéliser la structure spatiale urbaine : le modèle Remus . *Cybergeo,* Article 403: http://cybergeo.revues.org/index10993.html.

BANNLIDIA, N ET AL. (2006). Utilisation de la morphologie mathématique pour l'analyse de l'ocupation de l'espace en zone urbaines et périurbaines présaharienne: cas de Laghoiuat (Algérie). Télédétection , vol. 6, n° 2, pp. 177-190

BARABASI, A. L., ALBERT, R., & JEONG, H. (1999). Mean-field theory for scale-free random networks. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, *272*(1-2), 173-187.Baradiotti, 2005

BARNSLEY, M. (1988) *Fractals everywhere*, Academic Press, San Diego. ISBN:978-0-12-079062-3

BARREDO, J. I., KASANKO, M., MCCORMICK, N., & LAVALLE, C. (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and urban planning*, *64*(3), 145-160.

BARROU, D. (2019). *Les établissements humains anciens face à la micro urbanisation: étude des cas de Menaa, Teniet El Abed et Arris dans les Aurès (Algérie)* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).Batty

BATTY, M. (2008). The size, scale, and shape of cities. *Science*, *319*(5864), 769-771.

BATTY, M. (2012). Smart cities, big data. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *39*(2), 191-193.Batty, Longley et Fotheringham 1989

BATTY, M. AND XIE, Y. (1997) 'Possible urban automata', *Environment and Planning B: Planning and Design* 24, 175–92. https://doi.org/10.1068/b240175

BATTY, M. LONGLEY, P. AND FORTHERINGHAM, S. (1989) 'Urban growth and form scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation'; *Environment and Planning A*, Volume 21, pp. 1447-71. https://doi.org/10.1068/a211447

BATTY, M. AND KIM, KS. (1992), ‘Form Follows Function: Reformulating Urban Population Density Functions’. *Urban studies*, Volume 29, Issue 7, pp. 1043-69. https://doi.org/10.1080/0042098922008104

BATTY, M., & LONGLEY, P. A. (1986). The fractal simulation of urban structure. *Environment and Planning a*, *18*(9), 1143-1179.

BATTY, M., & LONGLEY, P. A. (1987). Fractal-based description of urban form. *Environment and planning B: Planning and Design*, *14*(2), 123-134.

BATTY, M., & MILTON, R. (2021). A new framework for very large-scale urban modelling. *Urban Studies*, *58*(15), 3071-3094.

BATTY, M., & XIE, Y. (1996). Preliminary evidence for a theory of the fractal city. *Environment and Planning A*, *28*(10), 1745-1762.

BATTY, M., LONGLEY, P. AND FORTHERINGHAM, S. (1989) ‘Urban growth and form scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation’, *Environment and Planning A: Economy and Space* 21, 1447–71. https://doi.org/10.1068/a211447

BELLALA, A., & DAHMANI, K. (2024). The Use of Fractals in Morphological Characterization of Medea's Urban Core in Algeria. *The Arab World Geographer*, *27*(3-4), 248-258.

BELLALA, A., & DAHMANI, K. (2024). Towards the authentication of urban pattern through fractal analysis: the case of Blida, Algeria. *Urban Morphology*, *28*(1), 45-58.

BEN SACI, A. (2006). Identification des formes. *Conception d'architecture*. France: l'Harmattan.

BEN SACI, A., ZAABAR, R. (2010). Étude morphométrique des îlots de la Médina de Tunis: logiques de morphogenèse et valeurs sociales, Dans : Les formes du patrimoine architectural. Collection : La bibliothèque des formes : Economica.

BENABOU, R. (2000). Unequal societies: Income distribution and the social contract. *American Economic Review*, *91*(1), 96-129.

BENGUIGUI, L. CZAMANSKI, D. MARINOV, M. AND PORTUGALI,Y . (2000) ‘When and Where Is a City Fractal?’ *Environment and Planning B: Planning and Design* Volume 27, Issue 4, pp. 507-19. https://doi.org/10.1068/b2617

BEN-HAMOUCHE, M. (2011) Fractal Geometrry in Muslim Cities: How Succession Law Shaped Morphology. *Nexus Netw J* 13, 235–251

BENKOUIDER.F, ABDELKADER.A, HAMAMI.L, SERRADJ,A (2018). Analysis of urban morphology by remote sensing and fractal geometry: application to the agglomeration of Laghouat (Algeria). 7 th digital earth Summit, Digital earth for sustainable development in Africa, 17-18-19 April .El Jadida Morocco. Proceeding book of the 7th digital earth Summit, pp. 142-147

BERBRUGGER, A. (1858), ‘Les Romains dans le Sud de l'Algérie’ ; *Revue africaine, Bulletin de la société historique algérienne*, Volume 10, 276-84

BERBRUGGER, A. DE CAUSSADE, L. (1865). Miliana. *Revue Africaine*, n°9, OPU

BERGER, P. (2012). Orienter les morphogenèses urbaines. Essai de modélisation. *Morphogenèse et dynamiques urbaines,* Actes de séminaire, p 154-172

BERQUE, A. (2012). La puissance des formes. *Morphogenèse et dynamiques urbaines,* Actes de séminaire, p 74-81

BLUSSEAU, S., & PUYBAREAU, É. (2023). Morphologie Mathématique et traitement d'images. Informatique Mathématique Une photographie en 2023, Chapitre-3.

BOEING, G. (2018). Measuring the complexity of urban form and design. *Urban Design International*, *23*(4), 281-292.

BONNET, (1997), *L’élaboration des projets architecturaux et urbains en Europe*, Vol. I et II, Plan Conception et Architecture /CSTB, Paris

BOUDON, F. ; CHASTEL, A. ; COUZY, H. 1977. Système de l’architecture urbaine : le quartier des Halles à Paris, Paris, CNRS , *2*, 59-60.

BOUICHE, FZ. ALKAMA, D. BOUAMRANE,A (2020). The fractal analysis, an alternative to the renewal of urban land in the Bejaia city. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, Vol. 12 No. 3

BOUSSERAK Malika, (2000). *La nouvelle culture de l’intervention sur le patrimoine architectural et urbain : la récupération des lieux de mémoire de la ville précoloniale de Miliana*, mémoire de magister, EPAU, Alger

BURGEL, G (1993). La ville aujourd’hui, Hachette, coll. Pluriel, 220 pages

BUSSIERE, R., & STOVALL, T. (1981). Systèmes évolutif urbains et régionaux à l'état d'équilibre.

CAGLIONI, M. AND RABINO, G. (2004) ‘Contribution to the fractal analysis of cities: a study of the metropolitan area of Milan’, *Cybergeo: European Journal of Geography*. https://doi.org/10.4000/cybergeo.3634

CAGNAT, R. (1842). *L’armée romaine de l’Afrique et l’occupation militaire sous les empereurs,* Leroux Paris [1922]

CANIGGIA, G. ; MAFFEI, G.L. (1979). Composizione architettonica e typologia aedilizia, 1. Lettura dell’edilizia di base, Venezia, Marsilio Editore.

CANIGGIA. G. F.(1963), *Lettura di una città : Como*, C. S. S. U., Roma

CANTOR, G. (1884). De la puissance des ensembles parfaits de points : Extrait d’une lettre adressée à l’éditeur. *Acta Mathematica*, *4*(1), 381-392.

CARUSO, G., ROUNSEVELL, M., & COJOCARU, G. (2005). Exploring a spatio-dynamic neighbourhood-based model of residential behaviour in the Brussels periurban area. *International Journal of Geographical Information Science*, *19*(2), 103-123.

CASTEX, J. ; CELESTE, P ; PANERAI, P. 1980. Lecture d'une ville : Versailles, Paris, Le Moniteur.

CASTEX, J. PANERAI, PH. DEPAULE CH.(1977). *Formes urbaines : de l'ilot à la barre*, Paris, Dunod

CASTEX, J., CELESTE, P., & PANERAI, P. (1980). Lecture d'une ville : Versailles.

CATALDI. G.(1977), *Per una scienza del territorio*, Uniedit, Firenze

CERVELLATI P. L. (1977). *La nuova cultura delle città*, Milano, Mondadori

CHEN, Y. (2013). Fractal analytical approach of urban form based on spatial correlation function. *Chaos Solitons Fractals* 2013, *49*, 47–60

CHEN, Y.; WANG, J. (2013). Multifractal characterization of urban form and growth: The case of Beijing. *Environ. Plan. B Plan. Des.* 2013, *40*, 884–904

CHEN, Y. (2016). Defining urban and rural regions by multifractal spectrums of urbanization. *Fractals*, *24*(01), 1650004.

CHEVALIER, B.(1982). *Les bonnes villes de France du XIV au XVIe siècle*, Paris, Aubier.

CHOAY, F. (1983). Pensées sur la ville, arts de la ville , dans G. Duby, Histoire de la France urbaine, 4. La ville de l'âge industriel, Paris, Le Seuil.

CLAUSET, A., SHALIZI, C. R., & NEWMAN, M. E. (2009). Power-law distributions in empirical data. *SIAM review*, *51*(4), 661-703.

COCCIA, L. (2012). Topologie versus topographie : Etudes sur la ville continue adriatique. *Morphogenèse et dynamiques urbaines,* Actes de séminaire, p 126-130

COMTE VALEE, (1841). Lettre à Monseigneur Dupuch, éveque d'Alger 1840. *Annales de la propagation de la foi*. Tome 13

CONZEN, M.P. 2004. (Edited by), Thinking about Urban Form, New York, Peter Lang

CONZEN, M.R.G. 1960. Alnwick, Northumberland : a Study in Townplan Analysis, IBG Publication 27, London, George Philip.

CORTES, L. (1909), *'Monographie de la commune de Médéa',* Hachette BNF

COTE, M. (1991) 'Blida', in *Encyclopédie berbère* 10 (Centre for Open Electronic Publishing) 1536–39 (https://doi.org/10.4000/encyclopedieberbere.1767) accessed 13 September 2023

COUDROY DE LILLE, L. (1988). Forme urbaine et pratique sociale de C. Feltz et G. Ritchot. *Villes en Parallèle*, *12*(1), 328-333.

COULOMBE, C. (2020). Techniques d'amplification des données textuelles pour l'apprentissage profond (Doctoral dissertation, Télé-université).

CROOKS, A.; HEPPENSTALL, A.; MALLESON, N.; MANLEY, E. (2021). Agent-based modeling and the city: A gallery of applications. In *Urban Informatics*; Springer: Singapore; pp. 885–910

CULLEN, G. 1961. Townscape, Architectural press, Londres

DANGER, R. (1933). Cours d'urbanisme. Paris, Eyrolles

DAUDE, E. (2002). Modélisation de la diffusion d'innovations par la simulation multi-agents. L'exemple d'une innovation en milieu rural (Doctoral dissertation, Université d'Avignon).

DAUPHINE, A. (2011). Géographie fractale. Lavoisier.

DE KEERSMAECKER, M.-L. DE, FRANKHAUSER, P. AND THOMAS, I. (2003) 'Using fractal dimensions for characterizing intra-urban diversity: the exemple of Brussels'. *Geographical analysis*, vol. 35, n° 4, pp. 310-328. https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.2003.tb01117.x

DE KEERSMAECKER, M-L DE. FRANKHAUSER, P. AND THOMAS, I. (2004) 'Dimensions fractales et réalités périurbaines. L'exemple du Sud de Bruxelles', *L'Espace géographique* Volume 33, Issue 3, pp. 219-40. https://doi.org/10.3917/eg.333.0219

DECHAICHA, A. (2013). L'étalement urbain et les contraintes physiques et naturelles Cas d'étude: La ville de Bou Saâda.

DELUZ-LABRUYERE, J. (1988) *Urbanisation en Algérie: Bilda. Processus et formes* (MOM Éditions, Lyon) (www.persee.fr/doc/mom_0295-6950_1988_mon_3_1) accessed 13 September 2023

DERYCKE P.H., HURIOT J.M. ET PUMAIN D. (1996). *Penser la ville, théorie et modèle*. Anthropos-économica, coll. Villes.

DESMARAIS G, RITCHOT G. (1998). La modélisation dynamique en géographie humaine. Cahiers de Géographie du Québec u Volume 42, n° 117, pp. 329-332.

DESPOIS, J. RAYNAL, R. (1975). *Géographie de l'Afrique du nord-ouest*. Payot Paris.

DJILLALI, A. (1972). *Histoire des trois villes : Alger, Médéa, Miliana*, Trad source arabe.

DOUADY, S. COURTAT, T. DOUADY, C, N. BONNIN, P .(2012). Tentative de modélisation de la morphogenèse du réseau des rues. *Morphogenèse et dynamiques urbaines,* Actes de séminaire, p 176-195

DUBOIS-TAINE, G., CHALAS, Y. (1998) . *La ville émergente*. ed. de l'Aube, La Tour d'Aigues.

DUPUY, G. (2017), Villes, réseaux et transport. Le défi fractal.. *Economica*- 254 p

DURKHEIM, E. (1960). De la division du travail social, Paris, PUF.

EDGAR, G. A., & EDGAR, G. A. (2008). *Measure, topology, and fractal geometry* (Vol. 2). New York: Springer.

EL-BEKRI A., 1965, *Description de l'Afrique septentrionale,* trad. M. G. de Slane, Paris, A. Maisonneuve.

EL-IDRISSI. (1972). *La berbérie orientale sous les zirides* du Xe au XIIe siècle. Vol2. Ed Limoge

ENCARNAÇÃO, S., GAUDIANO, M., SANTOS, F. C., TENEDÓRIO, J. A., & PACHECO, J. M. (2012). Fractal cartography of urban areas. *Scientific Reports*, *2*(1), 527.

ENCARNAÇÃO, S., GAUDIANO, M., SANTOS, F. C., TENEDÓRIO, J. A., & PACHECO, J. M. (2012). Fractal cartography of urban areas. Scientific Reports, 2(1), 527.

ESCOLANO UTRILLA et al. (2009). Processus de fragmentation des structures spatiales du Grand Santiago (Chili). Consulté le Mai 17, 2010, sur Revue Géographique de l'Est [En ligne], vol. 45 / 3-4 | 2005: http://rge.revues.org/325.

ESCOURROU, G. (1991). Le climat et la ville, Paris, Nathan.

ESCOURROU, G.(1980). Climat et environnement, Paris, Masson

FABRIZIO, G. (2012). Continuités-discontinuités des genres architecturaux et de la forme urbaine : un modèle Pour les villes de la Vénétie au XXe siècle. *Morphogenèse et dynamiques urbaines*, Actes de séminaire, p 36-50

FALCONER, K. J. (1985). On the Hausdorff dimensions of distance sets. *Mathematika*, *32*(2), 206-212.

FEKKOUS. N, ALKAMA. D, FEKKOUS. K, (2023). "*Cartography and Analysis of the Urban Growth, Case Study: Inter-Communal Grouping of Batna, Algeria*," Quaestiones Geographicae, Sciendo, vol. 42(1), pages 123-139, March.

FERSITI, S., & MAHIEDDINE, F. Z. (2018). *Antennes à Plan de Masse Partielle de type Hilbert pour un fonctionnement Ultra Large Bande* (Doctoral dissertation).

FIALKOWSKI, M., & BITNER, A. (2008). Universal rules for fragmentation of land by humans. *Landscape Ecology*, *23*, 1013-1022.

FOUCHIER, V., & MERLIN, P. (1993). De fortes densités : une solution pour nos villes. Actes de séminaire international, Hong Kong.

FRANCESCHELLI S, MAURIZIO GRIBAUDI, HERVE LE BRAS. (2012). Morphogenèse et dynamiques urbaines, Les ateliers de morphologie EHESS-EnsAD, Cycle de séminaires organisé par le PUCA en partenariat avec l'EHESS, l'ENSAD et la FMSH – 2012

FRANCESCHELLI, S. (2012). Morphogenèse et paysages dnamiques. *Morphogenèse et dynamiques urbaines*, Actes de séminaire, p 218-230

FRANKHAUSER, P. (1990) ‘Aspects fractals des structures urbaines’, *L’Espace géographique* 19/20, 45–69. https://doi.org/10.3406/spgeo.1990.2943

FRANKHAUSER, P. (1990) ‘Aspects fractals des structures urbaines’. *L’Espace géographique* 19/20, Issue 1, pp. 45-69. https://doi.org/10.3406/spgeo.1990.2943

FRANKHAUSER, P. (1990). Aspects fractals des structures urbaines. *L'Espace géographique*, 45-69.

FRANKHAUSER, P. (1991). The Pareto-Zipf-distribution of urban systems as stochastic process. Models of Selforganization in Complex Systems, W. Ebeling, M. Peschel, and W. Weidlich, eds., Akademie Verlag, Berlin.

FRANKHAUSER, P. (1994) ‘Fractales, tissus urbains et réseaux de transport’, *Revue d’économie Politique* 104, 435–55.

FRANKHAUSER, P. (1994) ‘Fractales, Tissus Urbains et Réseaux de Transport / Fractals, Urban Patterns and Transportation Networks’, *Revue d’économie Politique* Volume 104, Issue 2/3, pp. 435–55. https://www.jstor.org/stable/24700494

FRANKHAUSER, P. (1997). L'approche fractale. Un nouvel outil de réflexion dans l'analyse spatiale des agglomérations urbaines. Population , pp. 1005-1040.

FRANKHAUSER, P. (1998). La formation fractale des tissus urbains. Cahiers de Géographie du Québec • Volume 42, n° 117 , pp. 379-398.

FRANKHAUSER, P. (2002). L’analyse fractale pour décrire la structure spatiale des villes. ThéMA - CNRS. Images de Franche-Comté n°26.

FRANKHAUSER, P. (2003). Morphologie des “Villes émergentes” en Europe à travers les analyses fractales. Rapport de recherche, PUCA (chef du projet : G. Dubois-Taine).

FRANKHAUSER, P. (2005) ‘La morphologie des tissus urbains et périurbains à travers une lecture fractale’, *Revue Géographique de l’Est* Volume 45, Issue 3-4, pp. 145-60. https://doi.org/10.4000/rge.268

FRANKHAUSER, P. (2005). L’approche fractale de la périurbanisation. 5e rencontre francophone de socio-économie des transports, Budapest.

FRANKHAUSER, P. (2015) ‘From Fractal Urban Pattern Analysis to Fractal Urban Planning Concepts’, *Computational Approaches for Urban Environments*. Geotechnologies and the Environment. Cham: Springer International Publishing, pp. 13-48. https://doi.org/10.1007/978-3-319-11469-9_2

FRANKHAUSER, P. (2017) ‘Between Self-Organization and Planning: Cities and the fractal ordering principle’, *The Virtual and the Real in Planning and Urban Design,* Chapter 6. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315270241

FRANKHAUSER, P. (2021) ‘Fractal geometry for analyzing and modeling urban patterns and planning sustainable cities’, in Portugali, J. (ed.) *Handbook on cities and complexity* (Edward Elgar, Cheltenham) 154–75.

FRANKHAUSER, P. AND TANNIER, C. (2005) ‘A multi-scale morphological approach for delimiting urban areas’, *working-paper presented at the Conference Computers in urban planning and urban management,* London.

Fromentin, E. (1859). *Une année dans le Sahel. Michel Levy frères, libraires-éditeurs.*

GAUBERT, C. (1841). *Notices sur Miliana, mémoire militaire.* Ministre de la guerre, SHAT archives de Vincennes

GENESTIER, P. (1988). Forme urbaine ! Formes urbaines?. *Villes en parallèle*, *12*(1), 8-17.

GENRE-GRANDPIERRE C. (2017). Commentaire sur le chapitre 1. In G. Dupuy (dir) Villes, réseaux et transport. Le défi fractal, Economica, Collection "Méthodes et approches", Paris, pp. 31-39. George et Verger, 1970

GENRE-GRANDPIERRE, C. ET AL. (1998). La géométrie fractale, un nouvel outil d’analyse et de réflexion pour l’investigation des réseaux de transport. Cahiers Scientifiques du Transport, n°33.

GIORGINI, B. (2012). Morphologie de la mobilité humaine. *Morphogenèse et dynamiques urbaines,* Actes de séminaire, p 234-240

GOODCHILD, M. F. (1980). Fractals and the accuracy of geographical measures. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, *12*, 85-98.

GOODCHILD, M.F. AND MARK, D.M. (1987) ‘The fractal nature of geographic phenomena’, *Annals of the American Association of Geographers* 77, 265–78. https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1987.tb00158.x

GRAFMEYER, Y. JOSEPH, I. 1984. (sous la dir. de), L’école de Chicago. Naissance de l’écologie urbaine, Paris, Aubier.

GRIBAUDI, M. (2012). Morphogenèse urbaine et Pratiques sociales - formes urbaines et modèles de démocratie sociale dans le Paris de la Première moitié du XIXe siècle. *Morphogenèse et dynamiques urbaines,* Actes de séminaire, p 138-148

GROSJEAN, B. (2012). La « ville diffuse » contre le Projet moderne ? Modes de formation de la nébuleuse urbaine belge. *Morphogenèse et dynamiques urbaines,* Actes de séminaire, p 106-118

GSELL, S. (1927). *Histoire ancienne de l’Afriue du Nord*. Paris, Hachette

GUILLEMETTE, P-A (2016). L'analyse fractale : un outil d'écologie industrielle. Mémoire de maîtrise électronique, Montréal, École de technologie supérieure.

GUYON, H (1998), ‘*Le département du Titteri: son passé, son histoire’,* EDIF 2000 - Alger (réédition)

HADJ SADOK, A. (1980). *Miliana et son patron Sid-Ahmed-Ben6Youcef* ; OPU Alger

HALBWACHS, M. 1928. La population et les tracés de voirie à Paris, Paris, Alcan

HALL, E.T. 1971. La dimension cachée, Paris, Le Seuil.

HANNING, G. (1977) *La trame foncière comme structure organisatrice du paysage*, Paris, IAURP/ CORDA, 1977.

HEROLD, M., SCEPAN, J., CLARKE, K. C. (2002). The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Environment and planning A*, *34*(8), 1443-1458.Hervé le Bras 2012

HILLIER, B. (1996). *Space is the Machine*, Cambridge, Cambridge University Press

HILLIER, B., & HANSON, J. (1984). *The Social Logic of Space*. Cambridge, New York: Cambridge University Press. http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511597237

HUMPERT, J. (1991). Eine römische Straße durch den südlichen Schwarzwald. *Archäologische nachrichten aus Baden*, *45*, 19-32.

IBN KHALDOUN. (1854). *L'histoire des berbères et dynasties musulmanes de l'Afrique septentrionale*, Tome 4

JACKSON, J.B. (2003). *A la découverte du paysage vernaculaire* (*Discovering the vernacular landscape*,

JACOBS, A. B. (1993). *Great streets* (No. qt3t62h1fv). University of California Transportation Center.

JAHANMIRI, F. (2015). Making sense of the fractal urban form and function: An agent-based modeling approach. In *Making Sense of the Fractal Urban Form and Function: An Agent-Based Modeling Approach*; University of Waterloo: Waterloo, ON, Canada

JAHANMIRI, F., & PARKER, D. C. (2022). An overview of fractal geometry applied to urban planning. *Land*, *11*(4), 475.

JIANG, B., CLARAMUNT, C., & BATTY, M. (1999). Geometric accessibility and geographic information: extending desktop GIS to space syntax. *Computers, Environment and Urban Systems*, *23*(2), 127-146.

JIN, Y.; WU, Y.; LI, H.; ZHAO, M.; PAN, J. (2017). Definition of fractal topography to essential understanding of scale-invariance. *Sci. Rep. 7*, 46672

JULIEN, P. A., LAMONDE, P., & LATOUCHE, D. (1975). La méthode des scénarios en prospective. *L'Actualité économique*, *51*(2), 253-281.

KACHA, L. (2010). Analyse morphologique des quartiers auto-construits spontanes «cas de la ville de batna». *Mémoire de magister*.

KACHA, L., ABDESSEMED, M. A. E., & MATSUMOTO, N. (2022). Fractal Features of Urban Fabrics and Urban Landscapes in Algiers, Tokyo and New York. *Cybergeo: European Journal of Geography*.

KACHEF, S., ABDOU, Y., SEKHRI, A., BOUZAHER, S., & ALKAMA, P. D. (2022). The Role of Sustainable Tourism in Integrating and Maintaining the Architectural Heritage in the Old Cores. Case Study: Architectural Heritage of the Ziban's Region Ksour.

KANZANDIAN, (1913). *Atlas de la géographie historique de l'Algérie. Le livre d'or du centenaire*, Paris.

KHOLLADI,MK (2004) "Fractal Structure of the Urban Objects", *The International Arab Journal of Information Technology (IAJIT)* ,Volume 01, Number 02, pp. 18 - 24,

KIM, J. S., GOH, K. I., KAHNG, B., & KIM, D. (2007). A box-covering algorithm for fractal scaling in scale-free networks. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, *17*(2).

LACOSTE, Y., NOUSCHI, A., & PRENANT, A. (1960). L'Algérie : passé et présent : le cadre et les étapes de la constitution de l'Algérie actuelle. *(No Title).*

LAGARIAS, A. AND PRASTACOS, P. (2021) 'Fractal dimension of European Cities: A comparison of the patterns of built-up areas in the urban core and the peri-urban ring'. *Cybergeo: European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 987. https://doi.org/10.4000/cybergeo.37243

LAGARIAS, A. PRASTACOS, P. (2021) 'Fractal dimension of European Cities: A comparison of the patterns of built-up areas in the urban core and the peri-urban ring'. *Cybergeo: European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 987. https://doi.org/10.4000/cybergeo.37243

LAGARIAS, J. C. (2006). The 3x+ 1 problem: An annotated bibliography, II (2000-2009). *arXiv preprint math/0608208*.

LAM, N. S. N., QUATTROCHI, D. A. (1992). On the issues of scale, resolution, and fractal analysis in the mapping sciences. *The Professional Geographer*, *44*(1), 88-98.

LAROUSSE, P. (1922). *Larousse universel : nouveau dictionnaire encyclopédique*. Larousse, vol1, vol2

LAVEDAN, P. (1926). *Histoire de l'urbanisme,* Tome I « Antiquité, Moyen Âge », Paris, Henri Laurens.

LAVEDAN, P. (1936). *Géographie des villes*, Paris Gallimard.

LAVEDAN, P. (1941). *Histoire de l'urbanisme,* Tome II « Renaissance et Temps modernes » Paris, Henri Laurens.

LAVEDAN, P. (1952). *Histoire de l'urbanisme,* Tome III « Époque contemporaine » Paris, Henri Laurens.

LE BRAS, H. (2000). Essai de géométrie sociale. Éditions Odile Jacob, Paris, 300 p.

LE BRAS, H. (2012). Morphologie des naissances et des décès. *Morphogenèse et dynamiques urbaines*, Actes de séminaire, p 242-248

LE CANNELIER, R. (1955). Regard sur Miliana, une ville dans la verdure. *Journal d'Alger.* 27 et 28 mars.

LE NECHET, F. (2011). Consommation d'énergie et mobilité quotidienne selon la configuration des densités dans 34 villes européennes. *Cybergeo: European Journal of Geography*.

LEDRUT, R. (1968). L'espace social de la ville, Paris, Anthropos.

LEDRUT, R. (1984). La forme et le sens dans la société, Paris, Librairie des Méridiens.

LEFEBVRE, H. (1968). Forme, fonction, structure dans Le Capital. *L'Homme et la société*, *7*(1), 69-81.Lefèvre, 2004

LEFEBVRE, H. (1968). *Le droit à la ville*, Paris, Anthropos

LEFEBVRE, H. (1970). La Révolution urbaine. Paris: Gallimard.

LEFÈVRE, B. (2009). Urban Transport Energy Consumption: Determinants and Strategies for its Reduction.. An analysis of the literature. SAPI EN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society, (2.3).

LEON L'AFRICAIN. (1898). *Description de l'Afrique.* E. Leroux. Paris.

LEPELLEY, C., BEAUJARD, B. (1977). Du nouveau sur les villes de l'Afrique romaine au temps de saint Augustin.

LEVI-STRAUSS. C. 1958, Anthropologie structurale, Paris, Plon

LÉVY, A. (1996). « Crise et dysfonctionnements de la ville de l'âge démocratique : l'urbanisme en question », dans J.P. Charrié (sous la dir. de), *Villes en projets*, Bordeaux, Maison des Sciences de l'Homme d'Aquitaine.

LÉVY, A. (1996). « La composition urbaine : un savoir-faire urbanistique en crise », dans P. Genestier (sous la dir. de), *Vers un nouvel urbanisme. Faire la ville, comment, pour qui ?* Paris, La Documentation Française.

LEVY, A. (1999). « Urban morphology and the problem of the modern urban fabric: some questions for research », *Urban Morphology*, 3 (2)

LEVY, A. (2005). Formes urbaines et significations : revisiter la morphologie urbaine. *Espaces et sociétés*, *122*(3), 25-48.

LIN, J.; HUANG, B.; CHEN, M.; HUANG, Z. (2014). Modeling urban vertical growth using cellular automata—Guangzhou as a case study. *Appl. Geogr*, *53*, 172–186

LIU, C.L.; DUAN, D.-Z. (2013). Spatial Growth of Urban-Rural Road Network in Wuhan Metropolitan Area Based on Fractal Theory. *J. Transp. Syst. Eng. Inf. Technol. 13*, 185–193.

LONGLEY, P. A., & BATTY, M. (1989). Fractal measurement and line generalization. *Computers & Geosciences*, *15*(2), 167-183.

LORETTE, A. (1999). Analyse de texture par méthodes markoviennes et par morphologie mathématique: application à l'analyse des zones urbaines sur des images satellitales (Doctoral dissertation, Nice).

LOWY, P. (1975). Les villes fermées d'Afrique du Nord: méthodes de recherche. L'Espace géographique, 31-43. MASSOT, M. H., & ORFEUIL, J. P. (2005). La mobilité au quotidien, entre choix individuel et production sociale. Cahiers internationaux de sociologie, (1), 81-100. Sieverts, 1997

LYNCH, K. (1960). The image of the city, Cambridge Mass, MIT Press

MA, Q.; WU, J.; HE, C.; HU, G. (2018). Spatial scaling of urban impervious surfaces across evolving landscapes: From cities to urban regions. *Landsc. Urban Plan*, *175*, 50–61.

MAGNAGHI, A. (2003). *Le projet local* (Vol. 44). Editions Mardaga.

MAGNAGHI, A. (2010). *Il progetto locale, verso la coscienza di luogo*, (édition française, *Le projet local*, Mardaga, Sprimont

MAGNAGHI, A. (2012). Morpho-typologies des Paysages historiques : une méthode multidisciplinaire pour le projet de territoire. . *Morphogenèse et dynamiques urbaines*, Actes de séminaire, p 88-101

MANDELBROT, B. (1982) *The fractal geometry of nature* (Freeman, San Francisco).

MANDELBROT, B. (1995). Measures of fractal lacunarity: Minkowski content and alternatives. In *Fractal geometry and stochastics* (pp. 15-42). Birkhäuser Basel.

MANDELBROT, B. B. (1975). Stochastic models for the Earth's relief, the shape and the fractal dimension of the coastlines, and the number-area rule for islands. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *72*(10), 3825-3828.

MANGIN, D. (2004). La ville franchisée. Formes et structures de la ville contemporaine, Paris, Éditions de la Villette.

MANGIN, D. ET PANERAI,P. (1999). *Projet urbain, Marseille*, Parenthèses.

MARETTO, P. (1960). *L'edilizia gotica veneziana*, Filippi Editore, Venezia

MATHERON, G., & SERRA, J. (2002, April). The birth of mathematical morphology. In *Proc. 6th Intl.*

MAUSS, M. (1905), *Essai sur les variations saisonnières de la société eskimo*, Paris, PUF

MCINTOSH, A.J. AND PRENTICE, R.C. (1999) 'Affirming authenticity: consuming cultural heritage', *Annals of Tourism Research*, 26, 589–612. https://doi.org/10.1016/S0160-7383(99)00010-9

MERCIER, E. (1880). *L'Algérie en 1880*. Challamel.

MERLIN, P. 1988. (sous la dir. de), *Morphologie urbaine et parcellaire*, Saint-Denis, Presses Universitaires de Vincennes.

MERLIN, P. CHOAY, F. AND D'ALFONSO, E. (eds) (1988) *Morphologie urbaine et parcellaire: colloque d'Arc-et Senans, 28 et 29 octobre 1985* (Presses Universitaires de Vincennes, Paris)

MESNAGE, J. (1913). *Romanisation de l'Afrique: Tunisie, Algérie, Maroc*. B. Beauchesne.

MIKITEN,NA. TERRY,M. (1995). Intuition-based Computing: A New Kind of 'Virtual Reality'. *Mathematics and Computers in Simulation, Volume* 40, pp. 141-47. http://homepage.mac.com/mikiten/intuition.html

MING-HONG, T. A. N., & CUN-HUI, F. A. N. (2004). Relationship between Zipf dimension and fractal dimension of city-size distribution. Geographical Research, 23(2), 243-248.

MOLDER, M, F. (2012). Habiter : un secret manifeste. *Morphogenèse et dynamiques urbaines,* Actes de séminaire, p 62-69

MORIN, E. « Eloge de la métamorphose », *Le Monde* du 10 janvier 2010

MORINI, M. (1963). Atlante di storia dell'urbanistica. Milano: U. Hoepli

MOUDON, A. V. (1997). Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. *Urban morphology, 1*(1), 3-10.Moudon, A. V. (1997). Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. *Urban morphology, 1*(1), 3-10.

MURATORI. S.(1959). *Studi per un operante storia di venezia*, I. P. S. U. Venezia; *Studi per un operante storia di Roma,* C.S.S.U., Roma, 1963 ; Maretto. P.1960, *L'edilizia gotica veneziana*, Filippi Editore, Venezia

NEWMAN, P. G., & KENWORTHY, J. R. (1989). *Cities and automobile dependence: An international sourcebook.*

PADUA, R. N., BARABAT, E. O., BORRES, M. S., & SALAZAR, R. K. (2013). Some Results on Multifractal Spectral Analysis. *Recoletos Multidisciplinary Research Journal, 1*(2).

PANERAI, P. (2009). *Paris métropole: formes et échelles du Grand-Paris*. Editions de la Villette..

PANERAI, P. ; LANGÉ, J. 2001. *Formes urbaines, tissus urbains. Essai de bibliographie raisonnée*, MELT-DGUHC, Centre de Documentation de l'Urbanisme

PANERAI, P., CASTEX, J., & DEPAULE, J. C. (1997). *Formes urbaines: de l'îlot à la barre*. Editions Parentheses.

PANERAI, P., DEMORGON, M., & DEPAULE, J. C. (1999). *Analyse urbaine*. Marseille: Parenthèses.

PARKER, D.C.; MERETSKY, V. (2004). Measuring pattern outcomes in an agent-based model of edge-effect externalities using spatial metrics. *Agric. Ecosyst. Environ. 101*, 233–250

PECHOT, L. (1914). *Histoire de l'Afrique du Nord avant 1830: précédée de la géographie physique et politique de la Tunisie, de l'Algérie et du Maroc* (Vol. 3). Gojosso.

PHELIX, R. (1865). *Le voyage de Monseigneur Napoléon III en Algérie.*

PHILIPPOTEAUX F (1840). Bulletin du Musée Condé. Chantilly, décembre 1995, n°49 ; P.2-8, Numéro d'inventaire : NA 748-F22-1

PIESSE, J. (2016) (1885). *British settler emigration in print, 1832-1877*. Oxford University Press.

PINON, P. (1994). *Composition urbaine, I, II*, Paris, DAU/STU.

PORTUGALI, J., MEYER, H., STOLK, E., & TAN, E. (2012). Springer: Berlin. *Heidelberg, Germany*.

POUZZOUL. (1942). *Mémoire militaire sur la place de Miliana.* Ministre de la guerre, SHAT archives de Vincennes

PRENANT, A. (1971). Le rapport ville-compagne dans l'histoire du Maghreb. *Le Féodalisme*, CERM, Editions sociales.

PROST, R. (2003). *Projets architecturaux et urbains. Mutation des savoirs dans la phase amont*, PUCA

PUMAIN, D. (1981). Peut-on modéliser la répartition de la croissance urbaine?. *Informatique et Sciences humaines*, (50), 61-81.

QUENTIN, P. (1846). *Guide du voyageur en Algérie.*

RAYNAUD, M. M., HUBERT, M., & LEWIS, P. *(2014). Les grands projets urbains : territoires, acteurs et stratégies. Les Presses de l'Université de Montréal.*

RITCHOT, G. (1986). La géomorphologie dans l'oeuvre de Blanchard au Québec. La part de l'utopie. *Cahiers de géographie du Québec*, *30*(80), 161-173.

RONCAYOLO, M. (2002) . Lectures de ville, Formes et temps, Paris, Parenthèses

ROSSI, A. (1966). *L'architettura della città*, Marsilio, Padova

ROULEAU, B.(1965). Le tracé des rues de Paris. Formation, typologies, fonctions, Paris, CNRS.

ROZET, C. A. (1833). *Voyage dans la régence d'Alger, ou Description du pays occupé par l'armée française en Afrique* (Vol. 3). Arthus Bertrand.

ROZET, G ET CARETTE, E. (1980). *Algérie, Etat Tripolitain.* Ed Bouslama-Tunis.

RYBSKI, D., LI, Y., BORN, S., & KROPP, J. P. (2021). Modeling urban morphology by unifying diffusion-limited aggregation and stochastic gravitation. *Findings*.

SAHITYA, K.S.; PRASAD, C. (2020). Fractal modelling of an urban road network using Geographical Information Systems (GIS). *World Rev. Intermodal Transp. Res, 9,* 376–392

SALINGAROS, N. A. (2003) 'Connecting the Fractal City', Keynote speech *presented at the 5th Biennial of towns and town planners in Europe, Barcelona.*

SALINGAROS, N. A. (2001) "Fractals in the New Architecture", *Archimagazine*, Traduzione in italiano: "I Frattali Nella Nuova Architettura", *Archimagazine*, circa 6 pagine.

SALINGAROS, N. A. (2005). Towards a new urban philosophy. *Shifting sense—Looing back to the future in spatial planning*, 265-280.

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.

SANDER, L.M. (2000). Diffusion-limited aggregation: A kinetic critical phenomenon? *Contemp. Phys*, *41*, 203–218

SCHMITT, M., & MATTIOLI, J. (1994). Strong and weak convex hulls in non-Euclidean metric: theory and application. *Pattern recognition letters*, *15*(9), 943-947.

SCHWEITZER, F. AND JENS, S. (1998) 'Estimation of megacity growth', *Applied Geography* 18, 69–81. https://doi.org/10.1016/S0143-6228(97)00047-

SCOTT, A. J., CARTER, C., REED, M. R., LARKHAM, P., ADAMS, D., MORTON, N., ... & COLES, R. (2013). Disintegrated development at the rural–urban fringe: Re-connecting spatial planning theory and practice. *Progress in planning*, *83*, 1-52.

SELKA, S., & BENAMAR, A. (2001). Analyse radiale du tissue urbain d'Oran.

SHEN, G. (2002) 'Fractal dimension and fractal growth of urbanized areas', *International Journal of Geographical Information Science*, Volume 16, Issue 5, pp. 419-37. https://doi.org/10.1080/13658810210137013

SHI, W.; GOODCHILD, M.F.; BATTY, M.; KWAN, M.-P.; ZHANG, A. (2021). *Urban Informatics*; Springer: Singapore

SITTE, C (1889), *L'urbanisme et ses fondements artistiques*, Paris, Vincent, 1979.

SPIGAI, V. (1995). *L'architettura della non città, ridisengnare le periferie*.Milano: Città. Studi

TANNIER, C. (2009). Formes de villes optimales, formes de villes durables. Réflexions à partir de l'étude de la ville fractale. *Espaces et sociétés*, 138, 153-171. https://doi.org/10.3917/esp.138.0153

TANNIER, C. (2018). A propos des modèles fractals en géographie urbaine et en aménagement: réfutation de l'esthétique et de la norme universelle.

TANNIER, C., VUIDEL, G., & FRANKHAUSER, P. (2007). Délimitation d'ensembles morphologiques par une approche multi-échelle. In *Huitièmes Rencontres de Théo Quant, ThéMA, CNRS-Université de Franche-Comté* (p. 14).

TANNIER. C, PUMAIN.D (2005), 'Fractals in urban geography: a theoretical outline and an empirical example', *Cybergeo: European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 307. https://doi.org/10.4000/cybergeo.3275

THIBAULT, S., & MARCHAND, A. (1987). Réseaux et topologie. *Villeurbanne, France: In Institut National Des Sciences Appliquees de Lyon*.

THOMAS, I., FRANKHAUSER, P., & BADARIOTTI, D. (2012). Comparing the fractality of European urban neighbourhoods: do national contexts matter?. *Journal of Geographical Systems*, *14*, 189-208.

THOMAS, I., FRANKHAUSER, P., FRENAY, B., & VERLEYSEN, M. (2010). Clustering patterns of urban built-up areas with curves of fractal scaling behaviour. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *37*(5), 942-954.

THOMAS, ISABELLE. FRANKHAUSER, PIERRE. BIERNACKI, CHRISTOPHE. (2008), 'The morphology of built-up landscapes in Wallonia (Belgium): A classification using fractal indices', *Landscape and Urban Planning*, 84. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.07.002

Trotta-Brambilla, G. Novarina, G. (2018). La typo-morphologie en France et en Italie. Élaboration, appropriation et diffusion d'un modèle urbanistique. *Revue Internationale d'Urbanisme*,

TRUMELET, C. (1887) *Bou-Farik: une page de l'histoire de la colonisation algérienne* (2nd edition) (Jourdan, Alger) (https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5740421b) accessed 13 September 2023.

UMEMOTO, D.; ITO, N. (2021). Power-law distribution found in city-scale traffic flow simulation. *J. Phys. Conf. Ser*, *2122*, 012006.

UNWIN, R. (1981). L'étude pratique des plans de ville : introduction à l'art de dessiner les plans d'aménagement et d'extension, Paris, L'Équerre, [1909].

VAN VLIET, J., HURKENS, J., WHITE, R., & VAN DELDEN, H. (2012). An activity-based cellular automaton model to simulate land-use dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *39*(2), 198-212.

VAN VLIET, J., WHITE, R., & DRAGICEVIC, S. (2009). Modeling urban growth using a variable grid cellular automaton. *Computers, Environment and Urban Systems*, *33*(1), 35-43.

VIGANO, L. (2013). *Labelled non-classical logics*. Springer Science & Business Media

VOIRON-CANICCIO, C. (1995). Morphologie d'un semis de villes européennes. *Mappemonde*, *40*(4), 17-21.Schweitzer F., Steinbrick J. (2002), 'Analysis and computer simulations of urban cluster distribution', in : *Humpert et al. (eds) Fundamental Principles of Urban Growth*, Wuppertal : Müller und Busmann, pp.142-57

VOIRON-CANICIO, C. (2006). L'espace dans la modélisation des interactions nature-société. In *Interactions Nature-Société, analyse et modèles*.

WADDINGTON, C, H. (1957). *The Strategy of the Genes*. George Allen and Unwin, London

WANG, H.; LUO, S.; LUO, T. (2017). Fractal characteristics of urban surface transit and road networks: Case study of Strasbourg, France. *Adv. Mech. Eng*, *9*, 1687814017692289

WEIL, M. (1999). *La transition urbaine ou le passage de la ville pédestre à la ville motorisée*, Liège, Mardaga.

WEIL, M. (2004). *Ville et mobilité*, Paris, Aube

Weng, Y.-C.; Chang, N.-B.; Lee, T. (2008). Nonlinear time series analysis of ground-level ozone dynamics in Southern Taiwan. *J. Environ. Manag, 87*, 405–414

WHITE, R. AND ENGELEN, G. (1993) 'Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns', *Environment and Planning A: Economy and Space* 25, 1175–99. http://dx.doi.org/10.1068/a251175

WHITEHAND, J. (2001). « British urban morphology: the conzenian tradition », Urban Morphology 2

WHITEHAND, J. W. R. (1977). The basis for an historico-geographical theory of urban form. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 400-416.

WHITEHAND, J. W. R. (1979). The study of variations in the building fabric of town centres: procedural problems and preliminary findings in southern Scotland. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 559-575.

WHITEHAND, J. W. R. (1981). Fluctuations in the Land-Use Composition of Urban Development during the Industrial Era (Schwankungen im Anteil verschiedener Landnutzungskategorien bei der Stadtentwicklung während des Industriezeitalters). *Erdkunde*, 129-140.

WITTGENSTEIN, L. (1968). *Philosophische Untersuchungen/Philosophical Investigations*, traduction G. E. M. Anscombe, Basil Blackwell, Oxford

YEDID, A. (1981). Centres historiques. Méthodes d'analyse. Paris: Éditions du Service Technique de l'Urbanisme

YEH, A.G.-O.; LI, X. (2001). A Constrained CA Model for the Simulation and Planning of Sustainable Urban Forms by Using GIS. *Environ. Plan. B Plan. Des.28*, 733–753

YOUNES, C. (2012). Métamorphoses. *Morphogenèse et dynamiques urbaines*, Actes de séminaire, p 54-60

YU, X.; ZHAO, Z. (2021). Fractal Characteristic Evolution of Coastal Settlement Land Use: A Case of Xiamen, China. *Land, 11*, 50

ZANNIER, I. (2007). Paolo Monti et le projet de Bologne. *Strates*, 2007/ 13

Fonds archivistiques

Fond du Musée communal El Amir Abdelkader de Miliana

Fond privé de Setdart Auction House

Fond privé Dr Abbassa

Fond Ph. de Rouvre, le capitaine d'Etat-major1846. Musée Condé. Numéro d'inventaire : DE 685

Actes de séminaires et colloques

« *Morphogenèse et dynamiques urbaines »,* Actes du séminaire organisé par le PUCA en partenariat avec l'EHESS, l'ENSAD et la FMSH – 2012

« Formes urbaines du futur et mobilité non motorisée », Actes du séminaire du 17 décembre 1999, Paris, Recherches Stratégiques du Predit

« Espaces et Sociétés », n° 105-106, Projet urbain, maîtrise d'ouvrage, commande, L'Harmattan, 2001

«Mathematical Morphology», Actes du 6eme International Symposium: ISMM 2002.

Webographie

Communes.com

cnrtl.fr/lexicographie

Delcampe.net

Gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France

Inventaire.iledefrance.fr

Journals.openedition.org

Kalibos,commonswiki

Lesechos.fr

Mapuce.orbisgis.org

Meisterdrucke.fr

Plateforme Problemata

Techno-science.net

Vdouine.net

Villemin.gerard.free.fr/nombdico/index.htm

Textes règlementaires

Décret exécutif n° 18-314 du 2 Rabie Ethani 1440 correspondant au 10 décembre 2018 portant sur création et délimitation du secteur sauvegardé de la vieille ville de Médéa.

Décret exécutif n° 23-150 du 9 avril 2023 portant sur création et délimitation du secteur sauvegardé de la vieille ville de Miliana

Annexes

Annexe 1 : Décret exécutif n° 18-314 du 2 Rabie Ethani 1440 correspondant au 10 décembre 2018 portant sur création et délimitation du secteur sauvegardé de la vieille ville de Médéa.

4 JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 75 8 Rabie Ethani 1440 16 décembre 2018

DECRETS

Décret exécutif n° 18-314 du 2 Rabie Ethani 1440 correspondant au 10 décembre 2018 portant création et délimitation du secteur sauvegardé de la vieille ville de Médéa.

— — — —

Le Premier ministre,

Sur le rapport conjoint du ministre de la culture, du ministre de l'intérieur, des collectivités locales et de l'aménagement du territoire, de la ministre de l'environnement et des énergies renouvelables, du ministre de l'habitat, de l'urbanisme et de la ville,

Vu la Constitution, notamment ses articles 99-4° et 143 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 90-25 du 18 novembre 1990, modifiée et complétée, portant orientation foncière ;

Vu la loi n° 90-29 du 1er décembre 1990, modifiée et complétée, relative à l'aménagement et à l'urbanisme ;

Vu la loi n° 90-30 du 1er décembre 1990, modifiée et complétée, portant loi domaniale ;

Vu la loi n° 98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel, notamment son article 42 ;

Vu la loi n° 99-07 du 19 Dhou El Hidja 1419 correspondant au 5 avril 1999 relative au moudjahid et au chahid ;

Vu la loi n° 0l-20 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 11-02 du 14 Rabie El Aouel 1432 correspondant au 17 février 2011 relative aux aires protégées dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 11-10 du 20 Rajab 1432 correspondant au 22 juin 2011 relative à la commune ;

Vu la loi n° l2-07 du 28 Rabie El Aouel 1433 correspondant au 21 février 2012 relative à la wilaya ;

Vu le décret présidentiel n° 17-242 du 23 Dhou El Kaâda 1438 correspondant au 15 août 2017 portant nomination du Premier ministre ;

Vu le décret présidentiel n° 17-243 du 25 Dhou El Kaâda 1438 correspondant au 17 août 2017, modifié, portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 01-104 du 29 Moharram 1422 correspondant au 23 avril 2001, modifié et complété, portant composition, organisation et fonctionnement de la commission nationale et la commission de wilaya des biens culturels ;

Vu le décret exécutif n° 03-322 du 9 Chaâbane 1424 correspondant au 5 octobre 2003 portant maîtrise d'œuvre relative aux biens culturels immobiliers protégés ;

Vu le décret exécutif n° 03-324 du 9 Chaâbane 1424 correspondant au 5 octobre 2003, modifié et complété, portant modalités d'établissement du plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur des secteurs sauvegardés ;

Vu le décret exécutif n° 11-02 du 30 Moharram 1432 correspondant au 5 janvier 2011 portant création de l'agence nationale des secteurs sauvegardés et fixant son organisation et son fonctionnement ;

Vu le décret exécutif n° 12-427 du 2 Safar 1434 correspondant au 16 décembre 2012 fixant les conditions et modalités d'administration et de gestion des biens du domaine public et du domaine privé de l'Etat ;

Après avis de la commission nationale des biens culturels lors de sa réunion tenue le 30 juin 2016 ;

Décrète :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 42 de la loi n° 98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel, il est créé un secteur sauvegardé de la vieille ville de Médéa, dans la wilaya de Médéa, dénommé « La vieille ville de Médéa ».

Art. 2. — La vieille ville de Médéa, capitale du Beylik du « Titteri » durant la période ottomane, renferme un riche patrimoine culturel témoignant des différentes périodes historiques qu' a connues la ville.

Outre, l'aqueduc de Bab Laquouas qui remonte à l'époque antique, la citadelle mérinide témoignant de la période médiévale, Dar El Bey dénommée « Dar El Emir Abdelkader » qui date de l'époque ottomane et l'ex-hôtel communal construit pendant la période coloniale française, la consistance des biens culturels immobiliers compris dans le secteur sauvegardé, objet du présent décret, est fixée par l'inventaire établi à l'issue de la mise en œuvre de son plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur, conformément aux dispositions du décret exécutif n° 03-324 du 9 Chaâbane 1424 correspondant au 5 octobre 2003, susvisé.

Art. 3. — Le secteur sauvegardé de « La vieille ville de Médéa », d'une superficie de trente-cinq hectares, trente-neuf ares et soixante-quatre centiares (35 ha 39 a et 64 ca) est délimité, conformément au plan annexé à l'original du présent décret comme suit :

— **au Nord :** Rue des frères Dakhli et rue Rahal Smail et Mustapha ;

— **au Sud :** Rue Ben Daly Braham et rue El Ouarsnis ;

— **à l'Est :** Rue Segdi Ahmed, rue des frères Zoubir, boulevard du 19 mars 1962 et rue des frères Belagoun ;

— **à l'Ouest :** Rue de la liberté, station 1er mai et rue du 15 décembre.

Art. 4. — La nature juridique des biens culturels immobiliers protégés compris dans le secteur sauvegardé de « La vieille ville de Médéa » est précisée conformément à la liste annexée au présent décret.

Art. 5. — Les coordonnées géographiques du secteur sauvegardé de « La vieille ville de Médéa » sont fixées conformément au tableau suivant :

Points	Coordonnées (X)	Coordonnées (Y)
1	477558.46	4013501.05
2	477768.70	4013445.78
3	477940.09	4013531.25
4	478033.65	4013429.92
5	479767.20	4013279.08
6	477970.64	4013161.04
7	477922.21	4013091.48
8	477806.00	4012965.89
9	477709.36	4012879.05
10	477523.23	4012801.12
11	477369.34	4012775.52
12	477270.36	4012789.71
13	477189.27	4012865.93
14	477483.09	4013290.56
15	477556.04	4013278.88
16	477585.88	4013356.62

Art. 6. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 2 Rabie Ethani 1440 correspondant au 10 décembre 2018.

Ahmed OUYAHIA.

———————

ANNEXE

Liste précisant la nature juridique des biens culturels immobiliers protégés compris dans le secteur sauvegardé de « La vieille ville de Médéa »

Bien culturel	Nature juridique	Identité des propriétaires/affectataires
Dar El Bey dénommée « Dar El Emir Abdelkader »	bien domanial (bien public de l'Etat)	ministère de la culture
Aqueduc romain	bien domanial (bien public de l'Etat)	ministère de la défense nationale
Minaret de Djamaa El Ahmar	bien public wakf	ministère des affaires religieuses et des wakfs
Minaret de Djamaa El Atik	bien public wakf	ministère des affaires religieuses et des wakfs
Rempart de la ville de la période coloniale	bien domanial (bien public de l'Etat)	ministère de la défense nationale
Restes du rempart de la période Ottomane	bien domanial (bien public de l'Etat)	ministère de la défense nationale
Dar El Emir Khaled	bien privé	héritiers Ben Khaoua
Synagogue	bien public wakf	ministère des affaires religieuses et des wakfs
Ecole primaire « veuve kadik »	bien domanial (bien privé communal)	commune de Médéa
Lycée Ben Cheneb	bien domanial (bien privé de l'Etat)	ministère de l'éducation nationale
Place du 1er Novembre	bien domanial (bien public communal)	commune de Médéa
Ex-siège de la poste	bien domanial (bien privé de l'Etat)	ministère des moudjahidine
Ancien marché communal	bien domanial (bien privé communal)	commune de Médéa
Caserne militaire + siège de la sûreté nationale	bien domanial (bien public de l'Etat + bien privé de l'Etat)	ministère de la défense nationale et ministère de l'intérieur, des collectivités locales et de l'aménagement du territoire
Ex-hôtel de la ville	bien domanial (bien privé communal)	commune de Médéa

Annexe 2 : Décret exécutif n° 23-150 du 9 avril 2023 portant sur création et délimitation du secteur sauvegardé de la vieille ville de Miliana

Décret exécutif n° 23-150 du 18 Ramadhan 1444 correspondant au 9 avril 2023 portant création et délimitation du secteur sauvegardé de la vieille ville de Miliana.

— — — —

Le Premier ministre,

Sur le rapport conjoint du ministre de l'intérieur, des collectivités locales et de l'aménagement du territoire, de la ministre de la culture et des arts, du ministre de l'habitat, de l'urbanisme et de la ville et de la ministre de l'environnement et des énergies renouvelables,

Vu la Constitution, notamment ses articles 112-5° et 141 (alinéa 2) ;

Vu la loi n° 90-25 du 18 novembre 1990, modifiée et complétée, portant orientation foncière ;

Vu la loi n° 90-29 du 1er décembre 1990, modifiée et complétée, relative à l'aménagement et à l'urbanisme ;

Vu la loi n° 90-30 du 1er décembre 1990, modifiée et complétée, portant loi domaniale ;

Vu la loi n° 98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel, notamment son article 42 ;

Vu la loi n° 99-07 du 19 Dhou El Hidja 1419 correspondant au 5 avril 1999 relative au moudjahid et au chahid ;

Vu la loi n° 01-20 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à l'aménagement et au développement durable du territoire ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003, modifiée, relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 06-06 du 21 Moharram 1427 correspondant au 20 février 2006 portant loi d'orientation de la ville ;

Vu la loi n° 07-06 du 25 Rabie Ethani 1428 correspondant au 13 mai 2007 relative à la gestion, à la protection et au développement des espaces verts ;

Vu la loi n° 11-02 du 14 Rabie El Aouel 1432 correspondant au 17 février 2011 relative aux aires protégées dans le cadre du développement durable ;

Vu la loi n° 11-10 du 20 Rajab 1432 correspondant au 22 juin 2011, modifiée et complétée, relative à la commune ;

Vu la loi n° 12-07 du 28 Rabie El Aouel 1433 correspondant au 21 février 2012 relative à la wilaya ;

Vu le décret présidentiel n° 21-275 du 19 Dhou El Kaâda 1442 correspondant au 30 juin 2021 portant nomination du Premier ministre ;

Vu le décret présidentiel n° 23-119 du 23 Chaâbane 1444 correspondant au 16 mars 2023 portant nomination des membres du Gouvernement ;

Vu le décret exécutif n° 91-175 du 28 mai 1991 définissant les règles générales d'aménagement d'urbanisme et de construction ;

Vu le décret exécutif n° 01-104 du 29 Moharram 1422 correspondant au 23 avril 2001, modifié et complété, portant composition, organisation et fonctionnement de la commission nationale et de la commission de wilaya des biens culturels ;

Vu le décret exécutif n° 03-322 du 9 Chaâbane 1424 correspondant au 5 octobre 2003 portant maîtrise d'œuvre relative aux biens culturels immobiliers protégés ;

Vu le décret exécutif n° 03-324 du 9 Chaâbane 1424 correspondant au 5 octobre 2003, modifié et complété, portant modalités d'établissement du plan permanent de sauvegarde et de mise en valeur des secteurs sauvegardés (PPSMVSS) ;

Vu le décret exécutif n° 11-02 du 30 Moharram 1432 correspondant au 5 janvier 2011 portant création de l'agence nationale des secteurs sauvegardés et fixant son organisation et son fonctionnement ;

Vu le décret exécutif n° 12-427 du 2 Safar 1434 correspondant au 16 décembre 2012 fixant les conditions et modalités d'administration et de gestion des biens du domaine public et du domaine privé de l'Etat ;

Après avis de la commission nationale des biens culturels lors de sa réunion tenue le 27 décembre 2020 ;

Décrète :

Article 1er. — En application des dispositions de l'article 42 de la loi n° 98-04 du 20 Safar 1419 correspondant au 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel, il est créé un secteur sauvegardé de la vieille ville de Miliana, dans la wilaya de Aïn Defla, dénommé : « vieille ville de Miliana ».

Art. 2. — La vieille ville de Miliana se caractérise par un patrimoine culturel d'une importance historique, architecturale, artistique et traditionnelle témoignant des différentes périodes qu'a connues cette ville à savoir : antique, médiévale, ottomane, moderne et contemporaine, dont les témoins matériels de ces différentes périodes historiques subsistent encore tels que : la muraille romaine défensive, le complexe religieux et culturel « Sidi Ahmed Ben Youcef », les maisons à patios et à fontaines, les bains ottomans, les placettes publiques, les fontaines, ainsi que Dar El Emir Abdelkader et la manufacture d'armes.

Outre ces valeurs architecturales et patrimoniales, la vieille ville de Miliana recèle une richesse naturelle qu'est le jardin public, considéré comme l'un des premiers jardins publics en Algérie.

Art. 3. — Le secteur sauvegardé de la « vieille ville de Miliana » d'une superficie de quatre-vingts hectares et sept ares (80 ha et 07 a) est délimité conformément au plan annexé à l'original du présent décret, comme suit :

— Au Nord : rue de la République, rue de la Palestine, les limites Nord et Ouest du jardin public, les limites Sud de la mosquée Essalem et l'école coranique, le centre culturel « Mohamed Bouras », la polyclinique, le siège de l'inspection de l'éducation nationale, la route Korkah, la route qui relie la route Korkah et les escaliers menant vers la route Zrawa jusqu'au chemin de la wilaya n° 03 ;

— Au Sud : la route nationale n° B 04 ;

— Au Sud-Ouest : la voie qui relie la route nationale n° B 04 et le chemin de wilaya n° 165 ;

— A l'Est : oued El Annasseur, oued Sidi Bouizar, belle source, le virage « Tournaverou » ;

— A l'Ouest : l'intersection entre le chemin de wilaya n° 03 et le chemin de wilaya n° 165.

Art. 4. — Les coordonnées géographiques du secteur sauvegardé de « la vielle ville de Miliana » sont fixées par le système « WGS 1984 UTM », conformément au tableau ci-après :

Points	coordonnées (X)	coordonnées (Y)
1	430720.19	4018390.22
2	430736.52	4018325.64
3	430704.77	4018299.44
4	430716.15	4018255.79
5	430734.67	4018207.90
6	430835.05	4018090.61
7	430809.24	4018052.82
8	430771.19	4017903.76
9	430711.44	4017796.31
10	430574.52	4017677.44
11	430549.50	4017688.81
12	430417.77	4017602.47
13	430313.37	4017578.34
14	430167.18	4017579.63
15	430088.88	4017599.06
16	430028.01	4017592.23
17	430009.04	4017610.81
18	429993.27	4017595.60
19	429971.84	4017602.25
20	429897.89	4017635.59
21	429884.98	4017795.04
22	429880.76	4017813.34
23	429801.87	4017854.38
24	429767.10	4017892.76
25	429692.91	4017912.13
26	429861.46	4017929.06
27	429842.38	4017954.58
28	429869.37	4017964.37
29	429899.53	4018019.67
30	429902.44	4018058.56
31	429907.20	4018087.93
32	429941.23	4018088.75
33	429955.51	4018085.58
34	429965.59	4018108.76
35	430000.44	4018121.29
36	430038.76	4018087.33
37	430074.15	4018073.34
38	430142.01	4018122.62
39	430193.15	4018144.40
40	430188.26	4018157.20
41	430262.03	4018194.45
42	430276.40	4018162.77

Art. 5. — Le présent décret sera publié au *Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 18 Ramadhan 1444 correspondant au 9 avril 2023.

Aïmene BENABDERRAHMANE.