

UNIVERSITÉ BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ
ÉCOLE DOCTORALE « SOCIÉTÉS, ESPACES, PRATIQUES, TEMPS »

Thèse en vue de l'obtention du titre de docteur en
Géographie et Aménagement des Territoires

Approches théoriques pour une optimisation
géométrique des formes urbaines.
Vers un aménagement fractal de la ville.

Présentée et soutenue publiquement par

Mehdi IRAQI

le 29 novembre 2017

Membres du Jury :

Gabriel Dupuy, Professeur émérite à l'Université Paris I (*rapporteur*)

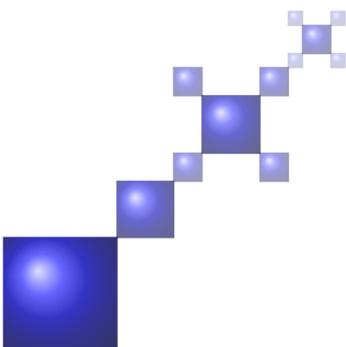
Geoffrey Caruso, Professeur à l'Université du Luxembourg (*rapporteur*)

Dominique Mignot, Directeur scientifique de l'IFSTTAR (*examineur*)

Dominique Peeters, Professeur émérite à l'Université de Louvain-la-Neuve (*examineur*)

Igor Agbossou, Maître de conférences à l'Université de Franche-Comté (*examineur*)

Pierre Frankhauser, Professeur à l'Université de Franche-Comté (*directeur de thèse*)



UNIVERSITÉ BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ
ÉCOLE DOCTORALE « SOCIÉTÉS, ESPACES, PRATIQUES, TEMPS »

Approches théoriques pour une optimisation
géométrique des formes urbaines.
Vers un aménagement fractal de la ville.

Mehdi Iraqi

Sous la direction de Pierre Frankhauser.

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier spécialement mon directeur de thèse, Pierre Frankhauser pour ses qualités, humaines et intellectuelles ainsi que pour sa confiance et ses conseils tout au long du travail de recherche. Un grand merci également à Igor Agbosou pour son aide finale, car sans lui, la fin de la thèse ne serait encore qu'un vague point lointain à l'horizon. Je vous en suis très reconnaissant et vous remercie très sincèrement.

Je remercie particulièrement Messieurs Dupuy, Caruso, Mignot et Peeters d'avoir accepté de composer le jury de cette thèse.

Au sein du laboratoire TheMA, je remercie les collègues doctorants et chercheurs pour leur sympathie et leur aide (Merci à la Mad pour cette veille de soutenance). Un merci tout particulier pour Fred et Kawtar.

Je tiens également à remercier les copains. Des copains sans qui les journées seraient beaucoup moins drôles. Alors un grand merci à mes amis Polo, Abdel, Miguel, Yassir, Perrine et Viviane avec qui les heures de discussions passées sont toujours un privilège. Un clin d'œil à Sylvain, Thibault, Nico, Olivier pour ces heures de prépa galères passées ensemble.

Un remerciement indispensable aussi à mon violon qui m'a permis de m'échapper de l'effet oppressant de la thèse. Un grand merci à mes profs Bubu et Jeff ainsi qu'à Hélène, Robin, Ben et tous les autres.

Merci à Salah, à qui on doit créer une catégorie spéciale tellement sa gentillesse est grande.

Mais cette page de remerciements serait bien inutile si je ne remerciais pas avec beaucoup d'émotion et de gratitude mes parents. Merci de m'avoir forcé à faire mes devoirs et pour tout ce que vous m'avez apporté et appris. Des valeurs bien plus importantes qu'une thèse. Je n'oublie pas non plus mes trois sœurs Sarah, Rita et Hanna. Vous êtes cinglées mais je vous aime. Merci d'avoir supporté, aidé et encouragé votre frère encore plus cinglé que vous.

Si la vie réelle est un chaos, en revanche, une terrible logique gouverne l'imagination.
(Oscar Wilde : Le portrait de Dorian Gray)

Sommaire

Remerciements	iii
Sommaire	vii
Introduction générale	1
I La ville dans tous ses états	7
1 Aux origines des villes	11
2 Quand les villes se modernisent	23
3 Quels modèles pour nos villes ?	57
II Conceptions de villes théoriques	83
4 Elaboration du modèle	87
5 Premiers modèles de villes	105
6 La ville multifractale, l'équilibre de la compensation	125
7 La ville fractale, du rêve à la réalité : applications possibles aux espaces	165
Conclusion générale	187
A Les fonctions d'utilités	191
B Enveloppe d'une ville polycentrique rectangulaire	205
Bibliographie	209

Introduction générale

Contexte

La croissance urbaine sans précédent depuis le XIX^{ème} siècle a fait l'objet de multiples réflexions qui ont engendré de nombreuses et conséquentes modifications sur le développement des espaces de vie des habitants. Les phénomènes permettant d'expliquer les raisons de tels changements sont à la fois nombreux et complexes. Nous pouvons notamment penser à l'industrialisation, aux progrès technologiques, tels que le chemin de fer ou plus tard la voiture, mode de transport prédominant aujourd'hui. Ceux-ci, en offrant des moyens de déplacements plus rapides permettant de réduire les temps de parcours des longs trajets, ont favorisé l'extension des villes et l'étalement urbain. À cet exemple s'ajoutent toutes sortes de facteurs provoqués par les évolutions économiques, politiques, sociétales ou encore historiques, qui sont souvent à l'origine des transformations perpétuelles dont les villes font l'objet au cours de leurs évolutions. Nous pouvons d'ailleurs qualifier ces dernières de constructions dynamiques en raison de leur constante transformation.

De plus, il est important de nous interroger sur les causes autres que les progrès technologiques pour expliquer les raisons des différents changements et évolutions des villes. Plus que ces facteurs extérieurs, certes importants, dans les modifications morphologiques des cités, la présence des habitants, caractérisée par leurs préférences, leurs pratiques spatiales, ne joue-t-elle pas également un rôle crucial dans les raisons de toutes ces transformations ? Ne serait-ce pas le véritable pouvoir présidant au changement des formes urbaines observées au cours des périodes de l'histoire ? En effet, il est fort à parier que ce sont d'abord les volontés des personnes qui sont en mesure de détenir les clés des transformations apportées dans leurs lieux de vie. Leur choix et leur décision en lien avec les progrès technologiques successifs sont les vecteurs premiers et principaux des modifications apportées aux villes au cours des décennies.

Les évolutions d'une ville sont donc indissociables des divers comportements que peuvent avoir ses résidents. De fait, il semble alors tout à fait naturel, et certainement à la fois essentiel et capital, d'observer ou d'envisager les nouvelles formes urbaines possibles que les villes pourront être capables de prendre, en tenant compte des préférences souhaitées par ses populations. Bien évidemment, la relation entre les habitants

et leur ville doit aussi être en adéquation avec les diverses exigences économiques et politiques que suscitent les obligations et les attentes d'une vision plus globale. Cependant, l'optimisation de cette relation s'avère fondamentale pour une conception que nous cherchons et que nous voulons à la fois vivable et durable pour la ville.

Il convient alors de penser la ville déjà existante ou future, comme une entité qui soit le reflet des personnes qui l'utilisent et la côtoient au quotidien. Penser la ville dans son organisation à travers sa forme pour répondre aux besoins de sa population paraît être une façon certainement judicieuse de recherche car elle nous offre la capacité de concilier l'ensemble de toutes les relations qui peuvent se conjuguer autour, dans et pour les villes.

Les formes urbaines se traduiront simplement dans l'ensemble de nos recherches comme les plans urbains de nos modèles de villes. Nous pourrions presque derrière ces plans utiliser le terme de géométrie urbaine afin de qualifier ces structures morphologiques. Mais pourquoi l'emploi de cette appellation de géométrie ? Car une des clés majeures dans la conception des villes, suivant les contraintes à prendre compte, comme celles évoquées en exemples précédemment, tient à la notion des distances auxquelles font allusion ces géométries. L'approche fondamentale utilisée dans notre travail de recherche, qui a pour objectif de réfléchir à une conception optimisée de la ville, s'appuie sur le concept de distance.

Le phénomène illustrant le mieux les conséquences des longs déplacements urbains est certainement celui de l'étalement urbain. Il est très en vogue depuis la deuxième moitié du XX^{ème} siècle. Pendant la période d'une motorisation croissante, cet allongement des distances parcourues a été négligé en favorisant l'étendue des villes pour répondre aux croissances de plus en plus nombreuses des populations amenées par les exodes ruraux.

Cet important bouleversement urbain s'explique en grande partie par les choix des ménages : les migrations en faveur des zones périurbaines sont motivées par l'accès à la propriété individuelle et à un environnement verdoyant et calme. Cependant, cette multiplication des déplacements imposée par la nécessité d'accessibilité entraîne une consommation d'énergie et engendre une pollution importante (NEWMAN & KENWORTHY, 1989a) (NEWMAN & KENWORTHY, 1992) sans oublier une consommation d'espace considérable (TOURNEUX, 2006) (CHARMES, 2013).

Une première approche, souvent mise en avant pour contrer cette évolution est le retour à la ville compacte qui est censée réduire les déplacements par le fait de limiter l'étalement urbain. Cette morphologie compacte s'accompagne donc d'une densification importante, ce qui va à l'encontre des modes de vie recherchés par certains ménages. Cependant, des enquêtes et sondages récents (GAULT & BEDEAU, 2007) ont démontré l'attractivité d'un grand nombre de ménages pour des aménités vertes et une relative tranquillité autour d'une maison individuelle, ce qui favorise naturellement l'étalement urbain (WIEL, 2002). Ces ménages sont donc opposés à un mode de vie urbain caractérisé par une densification de leur environnement résidentiel (FOUCHIER, 1995) (BREHENY, 1997) (POUYANNE, 2004). Par ailleurs, la compacité ne permet pas de minimiser les déplacements des centres denses aux périphéries. En effet, ceux-ci sont augmentés notamment par la multiplication et la diversification des loisirs qui sont localisés à l'extérieur des centres. En outre, une densification excessive est source de congestions (POUYANNE, 2004) (VANCO, 2011).

Enfin, la densification allant contre les préférences de bon nombre de ménages, il y a un risque à moyen terme, d'après Schwanen et al. (SCHWANEN, DIJST & DIELEMAN, 2004) de voir une réinstallation des ménages dans des zones moins denses et donc d'assister à un étalement urbain que la ville compacte avait pour objectif de limiter.

Ainsi, il apparaît fondamental de réorienter les politiques d'aménagement en intégrant à la fois les inconvénients de l'étalement urbain et les aménités auxquelles aspirent les ménages (BEAUCIRE, ROSALES-MONTANO, DUFLOS & TURCHETTI, 1999).

En somme, mener des réflexions sur les morphologies urbaines semble toujours approprié à l'égard des enjeux que suscitent l'organisation des villes et ces changements toujours en modifications.

Cette thèse a pour but de mettre en évidence et de valoriser l'apport d'une nouvelle approche conceptuelle d'aménagement fondée sur la géométrie fractale. Aussi nous emploierons-nous à justifier et prouver la faisabilité et l'aspect opérationnel des aménagements fractals.

Enjeu, objectifs et problématique de la thèse

L'objectif de ce travail de thèse est donc d'explorer explicitement le lien entre différents types de programme d'activités des ménages et la structure particulière du modèle spatial choisi dans le cadre des aménagements proposés, ainsi que d'évaluer leur impact en matière de déplacement.

Pour répondre aux critères de satisfaction des ménages en termes de choix résidentiels et de déplacements, tout en tenant compte de l'impact écologique qui en résulte, il est donc impératif d'établir des relations entre morphologie urbaine et réseaux de déplacements. Plus concrètement, il s'agit de trouver des configurations spatiales qui permettent d'assurer une bonne articulation entre zones résidentielles, zones d'activités commerciales et zones récréatives vertes avec pour objectif principal de réduire les distances de déplacement à parcourir par les individus. Un défi majeur consiste à établir, dans l'optique d'un développement urbain durable, la meilleure adéquation entre forme spatiale et pratiques spatiales des résidents, celles-ci étant caractérisées, entre autres, par les systèmes de transports.

Un axe de travail de notre recherche consiste à établir analytiquement les relations entre la morphologie des villes et les réseaux de transport couplée avec le comportement des individus dans le but de minimiser les déplacements au sein de l'espace urbain pour une réduction de la pollution.

La problématique de recherche s'articule alors autour de deux entrées : l'organisation spatiale des tissus urbains et des réseaux d'une part, et le programme d'activités des ménages d'autre part.

Pour évaluer l'impact de l'organisation spatiale, nous ferons le benchmarking de différents modèles-types de tissus urbains :

- l'agglomération compacte, monocentrique. Elle correspond au modèle classique de la ville européenne souvent mis en avant dans le débat sur l'étalement urbain ;

- l'agglomération polycentrique, composée de plusieurs villes de taille comparable, mais sans hiérarchie fonctionnelle apparente ;
- L'agglomération diffuse et étalée dans laquelle les zones résidentielles sont réparties de façon relativement uniforme dans l'espace et où certaines aménités urbaines sont localisées dans certaines zones commerciales ;
- L'agglomération multi-échelles hiérarchisée s'inspirant d'une logique fractale d'emboîtement d'échelles proposant des centres de services et commerces de différents niveaux localisés dans des nœuds d'un réseau de transport.

Le choix des modèles énumérés ci-dessus repose sur le débat scientifique controversé de l'impact de la forme urbaine sur les déplacements. Ceci est essentiellement le cas pour la comparaison des deux premiers modèles. En effet, par rapport au modèle monocentrique, le modèle polycentrique réduit les distances aux aménités vertes pour les citadins mais prend peu en compte la fréquence du recours aux autres aménités (MIGNOT, AGUILERA & MADRE, 2005). Le troisième modèle correspond plutôt au modèle américain des villes et favorise l'utilisation de la voiture personnelle.

Le quatrième modèle s'appuie sur des observations faites à l'échelle internationale par de nombreux chercheurs qui ont montré que la surface bâtie est répartie dans beaucoup de grandes agglomérations selon une loi fractale (WHITE & ENGELEN, 1994) (SHEN, 2002) (FRANKHAUSER, 2005) (DAUPHINÉ, 2011). Cette loi fait preuve d'une hiérarchisation intrinsèque de la répartition du bâti. Elle est particulièrement présente là où les transports en commun ont joué un rôle prépondérant dans l'urbanisation.

La pertinence des différents modèles est évaluée en fonction des types de programmes d'activités des ménages. Dans ce but et dans le cadre de nos réflexions théoriques sur les recherches relatives aux formes urbaines en adéquation avec les besoins des habitants, le comportement des résidents est introduit en s'appuyant sur des modèles économiques probabilistes contraints par une fonction d'utilité. Celle-ci prend en compte les préférences pour une typologie d'aménités qui inclue différentes catégories d'offres urbaines (commerces, services) ainsi que des aménités vertes. Elle caractérise ainsi la satisfaction des résidents.

L'objectif, autrement formulé, est d'identifier quels types de villes correspondent le mieux à certains types de comportement avec comme critère d'évaluation un impact énergétique et environnemental minimal, se traduisant dans notre travail par l'optimisation des distances à parcourir et les fréquentations pour se rendre aux diverses aménités. Dans cette thèse, la ville fractale sera particulièrement approfondie afin de mesurer à quel point elle peut répondre favorablement, ou non, aux critères énergétiques requis, comparativement aux autres formes urbaines habituelles.

Méthodologie envisagée

La démarche suivie se déroule en suivant un plan en deux parties. Dans la première, nous tâcherons de présenter une revue de la littérature scientifique relative à notre problématique de recherche. Après avoir esquissé la genèse des différents processus sous-jacents aux transformations des formes urbaines, nous approfondirons en suivant autant que possible un fil rouge historique, les liens entre ménages, économie et choix urbains.

Cette première partie n'est pas une liste exhaustive de la description de tous les modèles urbains pouvant exister. Elle servira tout simplement à justifier l'intérêt de notre

problématique de recherche et permet de poser le cadrage général et les hypothèses nécessaires à nos travaux.

La seconde partie s'inscrit dans la continuité de la précédente. Grâce aux principes fondamentaux que nous avons dégagés, nous mettrons en avant des réflexions théoriques sur les modèles de ville. Nous développerons et proposerons des morphologies urbaines répondant à différents comportements de la population. Utilisant un modèle micro-économique, nous élaborerons des villes théoriques en suivant l'implantation successive des ménages sur le territoire. Nous considérerons d'abord les cas « binaires » où la population n'est intéressée que par une ou l'autre des aménités et montrerons les morphologies urbaines évidentes répondant à ces situations. Puis en variant ces choix de préférences, nous proposerons une argumentation justifiant l'élaboration d'une ville fractale comme une réponse optimale aux attentes et besoins de la population.

Nous continuerons ensuite par observer les conséquences, en soulignant avantages et inconvénients, des modifications que nous essaierons sur la structure fractale adoptée comme modèle de base. Nous poursuivrons ensuite en proposant une approche concrète des modèles théoriques exposés, que nous appliquerons pour l'étude du réaménagement d'une ville existante. Enfin, nous terminerons en proposant les meilleurs espaces propices à l'application de nos recherches et verrons qu'il existe bon nombre de territoires permettant de franchir la passerelle liant nos travaux et propositions théoriques aux problématiques liées à l'aménagement du territoire.

Première partie

La ville dans tous ses états

Introduction à la première partie

La ville change ! Une simple expression derrière laquelle se cache la possibilité d'exprimer différentes notions : la ville se transforme, s'agrandit, voire s'étale, se peuple, se dépeuple, se diversifie... Toutes ces variations sur la ville engendrent bien sûr des conséquences sur son plan spatial. Les morphologies urbaines suivent elles aussi des modifications pour répondre aux exigences induites par les nombreux facteurs à l'origine de ces remaniements. Différentes formes de plans ont été pensées et développées tout au long de l'histoire de la ville, de sa genèse jusqu'à aujourd'hui encore, et le seront certainement encore pour les décennies à venir.

Beaucoup de facteurs semblent graviter autour de ces changements. Mais au final, nous utilisons toujours le même terme pour définir cet environnement spatial, à savoir « ville ».

Comprendre et penser la ville nécessite donc une quête d'approfondissement de celle-ci. Nous chercherons d'abord à répondre à la question de ce qu'est, ou de ce que représente, la désignation d'une ville. Nous nous focaliserons sur différentes définitions pour faire ressortir les éléments charnières la caractérisant. Nous tâcherons aussi de comprendre la ville par une autre approche, différente de la simple approche physique, en visionnant celle-ci à travers d'autres angles de vue qui peuvent la caractériser et servir à la fois d'une définition.

Ensuite, nous nous intéresserons aux formes urbaines que peuvent prendre les villes pour agencer leurs dispositifs de fonctionnement. Bien que ce soit la forme fractale qui recueillera notre principale attention, il est intéressant de se pencher sur les formes déjà existantes. Il s'agira donc de faire un état des lieux des principales morphologies proposées par les aménageurs pour organiser la ville. En suivant une sorte de fil rouge historique, nous nous attacherons à faire ressortir à la fois les caractéristiques morphologiques importantes dans l'histoire des villes mais aussi de comprendre pourquoi celles-ci ont été proposées et choisies. Nous prendrons le soin de faire ressortir les phénomènes donnant lieu à ces changements de formes, dans le but de saisir les variables importantes à prendre en considération pour toutes explications sur les mécanismes engendrant les modifications urbaines.

Au XX^{ème} siècle, nombreux sont les modèles qui tentent d'expliquer et de générer des villes. Nous continuerons alors en faisant ressortir les principaux modèles de cette période riche pour le développement des villes. Nous verrons un intérêt de faire communiquer économie et aménagement urbain afin de répondre aux questions centrales sur la forme urbaine nécessaire dans la bonne organisation d'une ville. Les modèles abordés peuvent être considérés comme des modèles fondateurs et utilisent des outils économiques dont nous présenterons les caractéristiques utiles pour envisager nos recherches de morphologies urbaines à l'aide de cette approche extérieure.

Enfin, nous terminerons par la présentation et l'explication du concept de fractalité. Nous décrirons les fondamentaux de cette géométrie particulière. Puis nous porterons un intérêt sur le lien existant entre ville et structure morphologique fractale.

Aux origines des villes

Il pourrait être empiriquement très fécond de demander aux gens : « Qu'est-ce qu'une ville ? », et d'analyser leur réponse.

Spontanément, cette interrogation leur apparaîtrait simple et ils penseraient pouvoir y répondre sans réelles difficultés. Mais il est fort à parier qu'ils se trouveraient dans une situation embarrassante devant la complexité et la diversité de cette question. En effet, la ville, endroit ou lieu, ou quelle que soit la manière dont nous voulons l'identifier nous semble entité connue du fait de sa place dans notre société et faire partie intégrante des connaissances que l'on acquiert.

Or la ville, si nous essayons de la définir à la volée s'avère en réalité être très rapidement un exercice d'une forte complexité (MORICONI-EBRARD, 2010) (LOUISET, 2011). De nombreuses interrogations sur les caractéristiques à choisir pour l'identifier formellement se dressent devant notre tentative de réponse. De la superficie, en passant par le nombre d'habitants, son importance dans le cadre territorial, politique, économique, nombreux sont les arguments qui semblent entrer en jeu dans une définition possible de la ville.

Ainsi, la volonté de ce premier chapitre est d'éclaircir, pour nos occupations futures, la question fondamentale de savoir comment définir une ville. Nous nous rendons compte que cette définition peut éventuellement être sans limite mais nous aurons pour objectif d'en cerner les facteurs importants.

Nous commencerons donc par une analyse stricte de la définition du mot et des attributs qui lui sont souvent associés en abordant une recherche simple de la définition tout en essayant de comprendre les prémices de celle-ci. Nous continuerons dans l'approfondissement des explications obtenues. Différentes approches seront analysées pour mieux saisir la ville. Enfin, nous porterons notre attention sur la ville pensée comme un organe économique. Cela nous permettra ainsi d'établir un premier point entre l'aménagement urbain et l'économie qui sera, plus tard, un outil dans le choix de nos recherches sur les formes urbaines.

1.1 Qu'est-ce qu'une ville ?

Nous nous interrogeons et serons amenés à réfléchir continuellement sur plusieurs et différentes caractéristiques liées au phénomène urbain. Plutôt que de plonger la tête la première dans un sujet d'urbanisation à proprement parler, il nous paraît primordial de se questionner sur ce pour quoi ou pour qui est consacré l'urbanisme, à savoir la construction de la ville. Comment peut-on saisir les concepts inhérents à la ville ? Peut-on ne saisir qu'une ou plusieurs approches ?

Nous avons donc choisi de procéder à une mise en œuvre de définitions de la ville. Ce travail, s'il semble au premier abord anecdotique, est en réalité fondamental dans l'établissement des bases nécessaires pour les travaux menés plus tard sur la conception de villes. Cette étude initiale permet de mieux saisir les enjeux et les principes d'urbanisme ayant trait à notre sujet pour une avancée juste dans nos choix de recherches.

1.1.1 Une première définition

Comment alors répondre à cette question de la ville ?

La première idée qui nous vient, et qui se présente souvent comme le premier réflexe de toute personne quand elle souhaite l'explication littéraire d'un mot, est celle consistant à effectuer une recherche dans un dictionnaire de la langue française afin d'en obtenir une première définition.

Ainsi, une lecture dans un dictionnaire (*Le Petit Larousse illustré 2013, 2012*), nous permet d'obtenir la définition suivante pour le mot ville.

VILLE n.f. (lat. *villa*, maison de campagne).

1. Agglomération relativement importante et dont les habitants ont des activités professionnelles diversifiées, notamm. dans le domaine tertiaire. *À la ville* : dans une ville (par oppos. à *à la campagne* ; dans la vie quotidienne, dans la vie privée. - *En ville*.
 - (a) Dans une ville. *Vivre en ville*.
 - (b) Dans la partie commerçante de l'agglomération. *Faire ses courses en ville*.
 - (c) Hors de chez soi. *Souper en ville*. - *Ville nouvelle*, créée à proximité d'une métropole ancienne dont on souhaite limiter la croissance, et où est prévu le développement simultané des fonctions économiques et de résidence. - *Ville ouverte* → **ouvert**. - IMPRIM. *Travaux de ville* : bibloquet.
2. Population, ensemble des habitants d'une ville. *Toute la ville en parle*.
3. Vie que l'on mène en ville. *Préférer la campagne à la ville*.

Cette définition n'est certes, rappelons-le, que sommaire et ne nous donne une fonction qu'explicative et descriptive du terme recherché. Mais ici, la volonté est de se plonger dans une situation d'ignorance faisant abstraction des éventuelles connaissances que tout à chacun possède. Dans cette optique, l'idée choisie est celle d'analyser cette définition comme quelqu'un qui découvre la ville et qui souhaite obtenir des informations, au fur et à mesure, plus précises sur ce terme de ville. Nous voulons adopter

une approche innocente, sans idée préconçue, pour comprendre de manière simple ce que pourrait être une ville.

Dans cette lecture, bien que nous n'obtenions qu'une définition descriptive de ce terme, nous pouvons tout de même dès à présent relever différentes notions ainsi que plusieurs caractéristiques intéressantes qui permettent déjà d'obtenir un contour plus large quant à l'utilisation du mot ville pour nos futurs objectifs de recherche.

1.1.2 Une ville campagne ?

Une première indication, l'origine latine du mot, nous interpelle immédiatement à la lecture de cette définition par la signification de maison de campagne. Celle-ci nous permet de penser que le mot ville est un terme ancien et que sa désignation a été modifiée au cours du temps, ce qui suggère un changement sur sa description au cours du temps. Ce sentiment d'ancienneté nous a conforté dans la description donnée pour l'appellation *Ville nouvelle*. La ville serait alors un concept qui se serait construit et développé sur la base de celui d'une ville déjà existante, plus ancienne et plus petite. Elle-même se trouve être un grossissement d'une ville antérieurement plus petite encore qui, elle-même, se serait construite sur un lieu de vie encore lui-même plus petit et de fil en aiguille, nous pouvons ainsi remonter avec le même raisonnement jusqu'à l'origine de ce qui peut sembler être d'après le dictionnaire, et notre intuition personnelle basée sur cette lecture, la première ville initiale ; c'est à dire une villa, soit la maison de campagne.

Pour nos travaux, ceci est une première preuve que la ville est une entité qui se mue, se transforme et ce, dès son origine antique.

Cette définition nous permet aussi de remarquer qu'est opposé à la ville ce qui n'est pas la ville. Et pour cette opposition, le terme de campagne est utilisé. De fait, il est tout à fait intéressant et opportun de remarquer qu'il semble exister une façon de vivre en ville différente de celle de vivre à l'extérieur. Par cette description proposée, la ville se trouve donc être dans la capacité d'offrir des ingrédients qu'elle seule est en mesure de proposer pour les différentes personnes y vivant. Ces éléments sont impossibles à retrouver à la campagne.

Un autre terme sur lequel nous arrêtons notre attention figure dans cette définition. Il s'agit du mot *préférer*. Cette notion de préférence entre la campagne et la ville se révélera être plus tard une notion importante dans les théories que nous développerons. Si nous effectuons une toute première analyse, l'expression proposée en exemple dans la définition (*Préférer la campagne à la ville*) nous laisse entendre qu'une personne choisit son lieu d'habitation en fonction de ses envies. La vie à la campagne semble être bien différente de celle à la ville. Vivre au sein de l'une ou de l'autre suggère que les habitants prennent en considération leurs différentes caractéristiques afin de choisir leur lieu de vie. Nous pouvons dès à présent imaginer que tels ou tels types de comportement chez les personnes influenceront sur leur localisation d'habitation. Certains pourront également rechercher un espace de vie qui soit en mesure de regrouper les deux à la fois les deux à la fois ou encore une partie avec l'autre. Toutes ces hypothèses sont dès lors des projections sur de futures questions que nous développerons tout au long de ce travail. Voilà autant d'interrogations sur lesquelles nous réfléchissons afin de fournir quelques réponses.

De plus, l'utilisation du qualificatif *campagne* doit aussi dès maintenant nous alerter sur la relation entre nature et urbain. Les deux formats, bien que diamétralement opposés, ne sont peut-être pas complètement indissociables dans l'élaboration de villes nouvelles à dimension spatiale beaucoup plus importante.

1.1.3 La ville, synonyme de vie

D'après les considérations précédentes, il apparaît donc évident que les individus tiennent un rôle majeur dans l'existence et la conception de leur ville. En effet, nous retrouvons leur présence plusieurs fois dans l'ensemble de la définition et dans les différents exemples qui nous sont proposés. La ville est ainsi définie comme un endroit où existe une population : des personnes, les habitants, y vivent et lui appartiennent. Cette appartenance semble être également réciproque. Nous pouvons ainsi affirmer que la ville et ses occupants sont intimement liés.

La présence d'une population au sein de la ville permet l'existence d'activités professionnelles à l'intérieur de la ville. Elles apparaissent dans la définition comme diversifiées et appartenant majoritairement au domaine tertiaire (*Agglomération relativement importante et dont les habitants ont des activités professionnelles diversifiées, notamment dans le domaine tertiaire.*). Ce sont des activités de production, de commerces ou encore artisanales, tandis que la présence d'agriculture est plutôt faible, voire inexistante. Cela permet à la ville de créer et de mettre à disposition différents attraits générés à la fois par et pour ses occupants. Il y a donc fort à penser qu'un aspect économique résulte de l'existence et du développement de la ville au cours du temps. L'exemple proposé (*Faire ses courses en ville.*) nous incite également à penser que nombres des activités proposées à l'intérieur de la ville ne peuvent être produites ou exister qu'au sein même d'une ville. De plus, même si cela n'est pas explicite dans la définition, la notion d'agglomération sous-entend qu'un nombre minimum d'habitants est nécessaire pour désigner une ville comme telle. Cela nous démontre le poids considérable que tiennent les habitants et leurs activités dans la définition d'une ville et que leur présence fait partie entière de l'existence de celle-ci. Nous pouvons dès lors déduire qu'une ville est ses habitants. Nous tiendrons donc compte dans nos travaux de l'importance du rôle des individus au sein de la ville. Il est juste de dire qu'on ne peut réfléchir au développement et à l'agencement d'une ville sans prendre en considération les actions des personnes qui y vivent.

1.1.4 La ville, simplement un espace

La définition du Petit Larousse (*agglomération relativement importante*) induit un autre concept fondamental : celui d'espace accordé à la ville. Cette dernière se conçoit dès lors comme une surface étendue qui se doit d'être suffisamment grande pour être caractérisée comme telle.

La mention « limiter la croissance » accentue l'importance de l'étendue spatiale urbaine que nous étudierons plus loin en nous arrêtant sur les aménagements urbains. Nous les traiterons sous forme d'étude géométrique de la ville. Effectivement la géométrie étant une science mathématique liant les relations entre les points, droites, courbes, surfaces et volumes de l'espace, il est donc concevable que, si la ville peut se traduire entre autre par une dimension surfacique, alors on puisse établir un travail portant sur une recherche géométrique des formes urbaines que nous pourrions par exemple

qualifier simplement de géométrie urbaine.

Ainsi, cette première approche de la ville, par sa définition qui se veut d'une vulgarisation analytique, nous permet d'en retenir plusieurs aspects notables.

1.2 Une définition pas si simple

Toutefois, le caractère simpliste de cette définition apparaît rapidement et les informations que nous avons pu extraire, voire que nous avons interprétées intuitivement, méritent une plus profonde exploration. Il nous semble aussi évident que d'autres critères, non mentionnés dans le Petit Larousse, peuvent être utilisés pour exprimer la cette notion de ville suivant l'utilisation ou les recherches menées sur le sujet.

1.2.1 Le phénomène urbain

L'étude de la ville nous amène à nous interroger plus précisément sur tout ce qui se trouve associé à ce qu'on qualifie de phénomène urbain.

Nous voulons ici exposer les critères et/ou les caractéristiques permettant ainsi d'en exprimer une définition suffisamment stricte pour les développements présentés plus loin dans ce travail.

Trouver une définition à la fois claire, concise et précise, comme celle dégagée par un dictionnaire de langues n'est pas chose si aisée au regard de ce que l'on peut trouver dans la littérature.

En effet, la littérature étudiée traitant du sujet semble nous offrir en réalité une multitude de divers critères permettant une caractérisation du phénomène urbain. Nous pouvons à l'instar de Bairoch (BAIROCH, 1985) dans son ouvrage, citer Thomlison (THOMLISON, 1971). Ce dernier retient déjà une quinzaine de critères différents. Bairoch, quant à lui, estime qu'on pourrait retenir au minimum 25 à 30 éléments pouvant définir le phénomène urbain si l'on considère les critères pris en compte par tous les auteurs qui se sont interrogés sur ce thème.

Comme le remarque Frankhauser (FRANKHAUSER, 1994), Bairoch donne lui-même une définition relativement probante du phénomène urbain en posant comme conditions d'existence les cinq critères suivants :

- « l'existence d'un artisanat à plein temps qui est ainsi l'indice d'une spécialisation des tâches ;
- l'existence de fortifications, d'enceintes, par opposition au village qui reste ouvert ;
- la taille et surtout la densité du peuplement ;
- la structure urbaine de l'habitat : maisons en dur, rues, etc. ;
- la durabilité de l'agglomération par opposition au campement. »

Mais les deux auteurs alertent le lecteur sur le fait « qu'aucun de ces critères ne saurait être en lui-même absolu et suffisant ».

Prenons par exemple, la taille de la ville, souvent utilisée dans le langage courant comme de définition, bien que cela soit réducteur (SIMARD, 2012). Les sélections varient suivant les pays et continents (cf. Table 1.1 et 1.2).

Pays	Critère	Unité 1	Unité 2	Unité 3
Canada ¹	Appellation	Urbain	Agglomération de recensement (AR)	Région métropolitaine de recensement (RMR)
	Seuil de population ou d'emplois	1 000 h. et +	10 000 à 99 999 h.	100 000 h. et +
	Densité appliquée à une surface	400 h./km ²	-	-
	Délimitation de l'aire catégorisée	Limites municipales	Municipalités où 50% et + de pop. active fait la navette vers le centre	Municipalités où 50% et + de pop. active fait la navette vers le centre
États-Unis ²	Appellation	Urbain	Région micropolitaine (<i>Micropolitan Stat. Area</i>)	Région métropolitaine (<i>Metropolitan Stat. Area</i>)
	Seuil de population ou d'emplois	2 500 h. et +	10 000 à 49 999 h.	50 000 h. et +
	Densité appliquée à une surface	500 h./mile ²	-	-
	Délimitation de l'aire catégorisée	Limites municipales	Municipalités où 50% et + de pop. active fait la navette vers le centre	Municipalités où 50% et + de pop. active fait la navette vers le centre
Grande-Bretagne ³ (Angleterre et Pays de Galles)	Appellation	Ville	Centre Urbain Important (<i>Large Urban</i>)	Centre Urbain majeur (<i>Major Urban</i>)
	Seuil de population ou d'emplois	10 000 h. et +	50 000 à 99 999 h.	100 000 h. et +
	Densité appliqué à une surface	-	-	-
	Délimitation de l'aire catégorisée	Rupture de 200 m et + dans la zone bâtie	Municipalités avec 50% et + de pop. en bâti contigu avec le noyau	Municipalités avec 50% et + de pop. active en bâti contigu
France ⁴	Appellation	Unité urbaine	Aire urbaine	Espace urbain
	Seuil de population ou d'emplois	2 000 h. et +	500 emplois et + dans la zone centre	5 000 emplois et + dans la zone centre
	Densité appliqué à une surface	-	-	-
	Délimitation de l'aire catégorisée	Rupture de 200 m et + dans la zone bâtie	Communes où 40% et + de pop. active fait la navette vers le centre	Ensemble formé de plusieurs aires et unités urbaines contiguës

TABLE 1.1: Taille des villes

1. Source ; Statistique Canada (<http://www.statcan.gc.ca/subjects-sujets/standard-norme/sgc-cgt/urban-urbain-fra.htm>)

2. Source : US Census Bureau (<http://www.census.gov/geo/www/ua/urbanruralclass.html>).

3. Source : Office for National Statistics (<http://www.ons.gov.uk/ons/guide-method/geography/products/area-classifications/rural-urban-definition-and-la/rural-urban-definition-england-and-wales-/index.html>)

4. Source : INSEE - Institut national de la statistique et des études économiques (<http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/unite-urbaine.htm>)

Pays	Critère	Unité 1	Unité 2	Unité 3
Belgique ⁵	Appellation	Urbain	Agglomérations opérationnelles	Régions urbaines
	Seuil de population ou d'emplois	7 000 h. et +	-	-
	Densité appliquée à une surface	-	-	-
	Délimitation de l'aire catégorisée	Rupture de 50 ou 100 m. et + dans la zone bâtie	Communes avec 50% et + de la pop. en bâti contigu avec le noyau (250 m.)	Communes où 25% et + de pop. active fait la navette vers le centre
Suisse ⁶	Appellation	Ville	Agglomération	Aire métropolitaine
	Seuil de population ou d'emplois	10 000 h. et +	20 000 h.	5 grandes agglomérations fixées par décision politique
	Densité appliquée à une surface	-	2 000 emplois et + dans la zone centre	2 000 et + dans la zone centre
	Délimitation de l'aire catégorisée	Limites communales	Communes où 1/6 et + de pop. active fait la navette vers le centre	Communes où 1/12 et + de pop. active fait la navette vers l'agglomération

TABLE 1.2: Taille des villes

Des choix arbitraires doivent être opérés, comme le fait la banque de donnée Géopolis, qui cartographie les villes du monde sur une population de 10 000 habitants (MORICONI-EBRARD, 1994).

L'existence d'artisanat dans la ville tient une importance primordiale et est l'essence même de l'origine du développement urbain. Il permet également une différenciation sociale entre les individus de la ville. Frankhauser (FRANKHAUSER, 1994) met en exergue l'organisation spatiale comme la conséquence du résultat de conditions socio-économiques.

Dans la continuité, Sanders (SANDERS, 1992) propose une autre définition, complémentaire de ce que vu jusqu'ici, pour exprimer les caractéristiques d'une ville. Elle conçoit simplement celle-ci comme « une entité spatiale ». Celle-ci est alors par suite définie suivant trois critères que sont « sa taille, sa localisation et ses caractéristiques économiques ».

1.2.2 Un sens à la ville

Nous pouvons également étudier une autre description de la ville que donnent Pumain, Sanders et Saint Julien (PUMAIN, SANDERS & SAINT-JULIEN, 1989). Ici les auteurs prennent le choix d'utiliser l'expression « sens » de la ville pour caractériser celle-ci.

Dans leurs travaux, Pumain *et al.* précisent que la ville doit être considérée comme un « rassemblement d'activités et de populations concentrées ». Elles affirment que les éléments qui permettent une signification de la ville peuvent être définis par deux cri-

5. Source : Institut national de la statistique (http://stat-bel.fgov.be/fr/modules/publications/statistiques/population/monographies_1991urbanisation.jsp).

6. Source : Schuler *et al.* (2005).

tères de compréhensibilité correspondant pour chacun à « deux échelons géographiques hiérarchisés ».

Un sens intra-urbain

Le premier échelon décrit la ville comme un espace où les interactions sont favorisées et les proximités mises en valeur. Celles-ci ont différentes formes. La connexion première, et sans doute la plus simpliste, consiste en la proximité humaine. Nécessairement, et comme en faisait état la définition, la ville réunit dans le même espace des personnes qui entretiennent des relations sous forme de liens physiques, d'échanges économiques et/ou professionnels de partages culturels, sportifs ou bien même encore à travers d'autres loisirs. En cela, la ville est assurément et certainement l'endroit le plus à même de favoriser et maximiser les interactions sociales (CLAVAL, 1981).

Cette explication de proximité inter-individus dans le monde urbain dégage alors une importance dans la façon d'occuper l'espace par les individus. Cela peut être traduit par ce que décrit Bairoch dans sa définition comme la densité de peuplement. Effectivement, l'aire d'occupation d'une ville est théoriquement limitée par la définition proposée. Il en résulte alors une nécessité de s'interroger sur la façon dont l'espace peut être occupé par la population (REYMOND, 1980). Si la ville, de par sa capacité à rapprocher des individus, crée des liens entre ceux-ci, elle se doit aussi de répondre par sa forme physique, et donc par son agencement, à une demande correspondante et satisfaisante aux volontés de ses habitants.

Pumain, Sanders et Saint-Julien soulignent le fait qu'on observe une réduction de l'espace au fur et à mesure que le nombre d'interactions entre les individus augmentent. Ces contraintes sont alors génératrices de règles communes à l'ensemble des villes (PUMAIN, SANDERS & SAINT-JULIEN, 1989). Nous observons alors des configurations spatiales similaires entre de nombreuses villes. Chez une grande majorité, nous avons pu également remarquer une mise place de certains coûts, notamment en ce qui concerne le prix de la rente foncière. Celui-ci se retrouve alors fonction de la distance qui le sépare du centre. Plus la distance au centre ville est proche, plus le prix de la rente foncière est élevé.

Nous étudierons au chapitre 3 les considérations relatives à la rente foncière et plus particulièrement les justifications de variations du foncier en fonction du lieu de positionnement dans la ville.

Un sens inter-urbain

C'est le deuxième échelon qui caractérise le sens de la ville dans la définition de Pumain *et al.*. Leur explication met en évidence le rôle fondamental d'appartenance à un système de réseaux ayant trait aux échanges commerciaux, sociaux et territoriaux. Bien que ce ne soit pas les objectifs fondamentaux sur lesquels portent nos recherches, nous choisissons de mettre ici en exergue le rôle hiérarchique des villes entre elles.

La caractéristique de la hiérarchie d'une ville est sans aucun doute premièrement liée à sa dimension spatiale. Nous pouvons naturellement affirmer que plus la taille de la ville considérée sera grande et plus son réseau sera important. Sa force est alors plus conséquente. Les offres dont disposent et proposent la ville seront aussi plus importantes et elle contiendra généralement en son sein un nombre d'habitants plus élevé qui lui-même servira à maintenir l'ampleur de la ville au stade hiérarchique auquel elle

appartient.

De même, la hiérarchie d'une ville peut également s'apparenter au réseau d'accessibilité qui lui est accordé. En effet, dans un système hiérarchisé, une ville d'une certaine importance aura une accessibilité plus conséquente qu'une ville d'importance plus faible. Cela sous-entend que les distances à parcourir pour se rendre à telle ou telle agglomération seront différentes suivant le rayonnement d'influence que possède le centre considéré.

1.2.3 La ville, mélange d'organisation spatiale et humaine

Questionnons nous à présent sur le rôle de l'organisation spatiale et plus précisément, sur comment la conception de l'espace au sein d'une ville peut se révéler comme un facteur jouant un rôle déterminant dans le système de hiérarchie des villes. Nous nous intéresserons ici au rapport que peuvent avoir les individus présents au sein de cet espace. L'estimation de l'espace qu'ils occupent peut certainement avoir aussi une influence non négligeable sur la dynamique de leur ville.

Cette approche nous amène à présenter la conception générale que Glaeser (GLAESER, 2011) met en avant afin de décrire la ville : pour lui, il est nécessaire et capital de la comprendre dans ses rapports à sa population pour en saisir son essence.

Le lien entre la ville et son habitant pourrait se traduire par un type de corrélation ultra-dominatrice dans ce qui se veut refléter à la fois au mieux l'intérêt et la valeur d'une ville.

Dans son analyse, Glaeser décrit la ville comme étant « l'absence d'espace physique entre les gens et les entreprises ». Il souligne l'importance de la densité et de la proximité et, comme Pumain *et al.*, met en avant les multiples interactions que peuvent avoir les habitants entre eux. Selon lui, la qualité de ces interactions sont en causes dans la valeur qui est faite de la ville habitée.

« *Les villes sont la plus grande invention de l'espèce humaine* ». Voilà comment Glaeser décrit la ville. En effet, il est incontestable d'assurer que de nos jours les espaces de villes sont présents dans nos vies et ont accompagné les hommes depuis de nombreux siècles (CHILDE, 1950). Concentration de rêves, pouvoirs, histoire, culture, sociétés⁷ (RACINE, 1993) (LYNCH, 1981), elles sont un facteur indéniable en même temps qu'essentiel dans la vie de tous leurs habitants, majoritairement urbain (BLOOM, CANNING, FINK, KHANNA & SALYER, 2010).

Ces villes n'ont pas cessé d'évoluer et de se transformer au cours du temps. Elles sont donc primordiales et leurs études, encore à l'heure actuelle, semblent être un élément de recherche fondamentale. Nous pouvons en quelque sorte évoquer la relation qui noue l'homme et sa ville comme un prolongement de l'un avec l'autre et vice-versa pour résumer l'importance qu'établit l'auteur à propos de la ville

7. Tribillon (TRIBILLON, 2002) propose aussi une définition de la ville ; ces idées rejoignent ainsi les auteurs cités dans ce paragraphe. « *La ville est un lieu étroit et unique, capable de concentrer une quantité impressionnante de richesse, de force de travail, d'intelligence, d'imagination, de conflit, de pouvoir, de savoir, de jouissance, d'exploitation, d'oppression et de libération.* »

Glaeser souligne également que de nos jours, les villes que, dans un souci de simplification, nous qualifierons de « villes en en voie de développement », se trouvent faire face à leur tour à des problèmes concernant leurs organisations spatiales. Problèmes auxquels ont été confrontées dans un passé plus ou moins récent les villes modernes importantes actuelles ; cela tout au long de leurs propres évolutions durant les siècles passés. Mais ces dernières se retrouvent elles-aussi à nouveau devant d'autres problèmes ou défis, pouvant être générés par exemple par la progression scientifique ou culturelle qui vont alors faire évoluer notre espace de vie. Ces différents challenges sont aussi et surtout les conséquences obtenues par des changements de volontés des populations existantes ou arrivantes, installées dans ces différentes villes.

1.3 La ville comme une version d'économie

Nous proposons de faire appel à des outils issus du domaine de l'économie pour appuyer ces réflexions d'élaboration de formes urbaines. Il est donc dès à présent opportun dans nos recherches sur la compréhension d'une ville d'observer si celle-ci peut être abordée sous un aspect lié à une telle approche. Nous verrons ici la ville dans une vision plus large et peut-être dans un sens un peu moins concret mais néanmoins très constructeur pour la suite de nos travaux car la finalité est d'élaborer des structures valides pour une modélisation.

1.3.1 Une approche plus large

Nous nous appuyerons par la suite sur des principes relatifs à l'économie. Il nous donc a semblé fort intéressant d'étudier la représentation de la ville par un économiste urbain. Nous faisons référence à l'introduction du livre de Camagni (CAMAGNI, 1992). Si nous pouvons considérer que la perception de la ville par Glaeser, correspond plutôt à une approche « philosophique », celle de Camagni se présente quant à elle, plutôt comme la meilleure version pragmatique.

Dans un premier temps, Camagni nous interpelle sur la proposition que Braudel (BRAUDEL, 1979) fait de la ville⁸. En effet celui-ci conçoit de généraliser le principe de *la ville* du fait de son existence historique et géographique. Camagni veut au cours de son ouvrage défendre la ville comme une « totalité signifiante et la théoriser comme une entité socio-économique autonome ».

Nous avons vu avec ce qui précède que la ville pouvait être approchée comme entité sociale ; mais Camagni déplore le fait que malgré la volonté de nombreux sociologues, la théorisation ne soit pas acceptée par ceux qu'il dénonce comme étant les mordus de spécificité.

De même, il regrette que la ville ne soit pas reconnue comme une catégorie économique en tant que telle et surtout autonome. Elle est très ou trop souvent considérée par les économistes comme une *économie de la ville*. Il met en avant l'apport de l'économiste dans l'organigramme interne de la ville par sa capacité à théoriser à un niveau d'abstraction plus élevé que celui dans lequel navigue le géographe traditionnel.

Ces deux aspects, Camagni veut les considérer comme un seul, et par là, donner une

8. « [Les villes] parlent toutes obligatoirement un même langage fondamental » : Braudel, 1979, p. 548

nouvelle vision de la ville, plus appropriée à sa véritable identité.

Nous n'entrerons pas dans tous les détails qu'aborde Camagni au sujet de la ville dans son introduction. Notamment parce qu'il y opère et présente une analyse évolutive et historique de la ville en observant divers points d'approches effectués par d'autres disciplines.

1.3.2 La ville vue comme principe

L'auteur nous invite à concevoir la ville non plus dans sa conception physique mais comme l'objet d'une représentation. On retrouve cette vision d'image chez Fourquet et Murard (FOURQUET & MURARD, 1973) ainsi qu'avec Braudel.

On parle ici d'une image de ville envisagée sous une perspective économique relayant production et répartition du revenu. Toutefois Camagni préfère et trouve plus à même d'utiliser l'expression « de ville comme lieu d'échange » pour imaginer la ville dans sa conception économique.

Il insiste explicitement sur l'importance considérable de l'organisation spatiale de la ville. Il pointe du doigt les recherches théoriques faites sur la morphologie urbaine et souligne la portée de tenir compte de la ville comme d'un système autonome qui peut par conséquent être géré de façon interne avec ses propres lois.

Cela sous-entend le poids considérable, essentiel, des personnes installées au sein de cet organisme urbain.

Au final, nous allons pouvoir retenir de toutes ces approches de la ville explorées par Camagni, les cinq principes énumérés ci-après qu'il développe par la suite dans la première partie de son livre. Ses propositions permettent une description servant principalement à diriger les lignes directrices des recherches relatives aux organisations territoriales. Ses cinq principes se distinguent comme suit :

1. principe d'interaction spatiale ;
2. principe d'accessibilité ;
3. principe de hiérarchie ;
4. principe de compétitivité ;
5. principe d'agglomération.

Toutes ces approches sur la définition de la ville nous ont permis d'obtenir un premier volet d'explications relativement concrètes de ce qu'est une ville et de tous ce qu'elle peut générer en son sein et autour d'elle. De plus, celles-ci nous indiquent aussi que la ville ne correspond certainement pas à un espace fermé et statique qui n'évolue pas.

Nous pouvons suggérer la proposition suivante qui dit que la ville pourrait être parfois plus grande que la ville elle-même. En réalité, avec cette formulation nous voulons exprimer le fait que certaines grandes villes sont conçues comme une annexion de plusieurs autres espaces urbains qui forment la banlieue. Ces espaces urbains offrent à la ville des aires d'attractions ou « aires de chalandises » La réunion de ces aires constitue ce que nous nommons parfois agglomération pour désigner une ville.

1.3.3 Jusqu'à l'agglomération

Les descriptions et informations que nous avons développées jusqu'ici dans notre approche de la ville concernent essentiellement les quatre premiers principes proposés

par Camagni. Pour ce qui concerne le dernier nous n'avons utilisé le terme « agglomération » qu'en citation du Petit Larousse ou en tant que synonyme du mot ville. Il nous semble important de l'expliquer dès à présent.

Si Camagni se penche sur une analyse inmanquablement très économique de l'agglomération, du fait de l'objectif de son travail, en s'intéressant à l'ensemble des liens existants entre agglomération et économie urbaine, il relève toutefois d'entrée l'importance essentielle de l'agglomération en nous décrivant celle-ci comme étant le « générateur » ainsi que « la caractéristique fondamentale » correspondante à n'importe quelle explication que l'on décide d'octroyer pour définir la ville.

Une description plus pragmatique est sans doute celle établie dans la définition de Pumain (D.PUMAIN, 2004). En effet, cette définition insiste sur l'importance de la taille des villes qu'il est alors possible de qualifier d'agglomération urbaine. La taille des villes signifie qu'il y réside une population supérieure à un certain seuil et suggère, par conséquent, que la surface spatiale occupée est relativement conséquente. Il y est d'ailleurs stipulé qu'un regroupement de communes peut également faire office d'agglomération.

Ainsi, l'agglomération, avec une vue simple et pragmatique, indique la présence d'une structure urbaine initiale et autour de laquelle vont se joindre au fil du temps plusieurs autres éléments afin de former une nouvelle structure d'envergure plus importante. Et il est par conséquent fort à parier que cette expansion est la conséquence de l'afflux de personnes sur le site initial. La cause étant l'attractivité du lieu. Ces nouveaux arrivants seront, par la suite, eux-mêmes la raison de l'extension de la structure initiale urbaine.

Finalement, il apparaît qu'il faut retenir le principe d'agglomération : entité qui régit des comportements de connexions au sein de l'espace urbain, connexions qui s'observent à l'échelle des individus et des activités existantes entre l'ensemble des différents pôles urbains présent dans la ville.

Quand les villes se modernisent

Tout au long des siècles précédents, les villes se sont transformées : celles du Moyen-Âge ne ressemblent en rien à celles du début du siècle dernier et encore moins à celles d'aujourd'hui. Nous sommes aussi conscients que, même au cours d'une période identique, les villes ne sont pas toutes similaires. Elles peuvent cependant présenter quelques similitudes en aménagement, politiques, économiques, sociales et autres auxquelles elles sont confrontées.

Ce chapitre aura pour intention de suivre autant que se peut un fil rouge historique de l'évolution des villes au cours de leurs transformations. Bien sûr, il ne s'agit pas d'établir une liste exhaustive des multiples - si ce n'est infinie - structures morphologiques ayant été conçues ou existantes. Pour notre part, nous nous intéresserons de façon considérable aux formes urbaines développées au cours du temps. À travers ces formes, nous essaierons de comprendre les raisons ayant entraîné tel ou tel plan urbain. Autant de variables et de facteurs que nous garderons par suite en mémoire pour l'élaboration de nos propres réflexions sur le sujet.

Nous commencerons par observer les prémices de l'élaboration d'une ville et de la forme régulière de son tracé urbain. Une forme urbaine simple qui semble, d'un premier abord, la solution la plus évidente. Cela concernera les villes au début de leurs existences en tant que telles et qui peut trouver son parallèle dans l'élaboration d'une ville théorique initialement vierge.

Puis nous terminerons en nous penchant sur les morphologies urbaines à partir de l'époque de la révolution industrielle. C'est un événement phare et bouleversant dans l'histoire des villes du siècle dernier. Nous verrons comment les villes se sont considérablement modifiées et nous ferons ressortir deux grands mouvements de villes ; la ville étendue, et son pendant, la ville compacte. Encore aujourd'hui, ces deux formes divisent les aménageurs sur leurs avantages et leurs effets néfastes sur la ville. *Bien qu'a priori* considérées par tous comme n'étant plus les solutions viables pour les villes, elles continuent par leur présence à s'inscrire dans les domaines de réflexions urbaines.

2.1 La ville européenne comme modèle d'étude

2.1.1 Les racines de l'émergence urbaine, avant la période industrielle

Pour commencer notre étude, nous avons choisi de nous intéresser aux villes européennes. L'Europe, désignée parfois par l'expression « vieux continent », est certainement la première à avoir été si sujette aux développements et variations imposés par les populations. Les colonisations et les découvertes de nouvelles terres ont certainement favorisé sa prédominance et ont influé sur de nombreuses/plusieurs/diverses structures morphologiques urbaines : soit en utilisant les villes européennes comme modèles, soit à l'inverse, en modifiant leur structure de base, pour des raisons géographiques et culturelles ou encore pour éviter les problèmes rencontrés dans l'organisation structurelle.

Au Moyen-Âge, l'évolution spatiale des villes s'est trouvée freinée, voire stoppée par les limites des productions agricoles, et ce malgré le développement de l'artisanat. D'après Bairoch, une production agricole suffisante est la condition nécessaire au passage d'un site villageois vers une ville.

Son essor engendre (inévitablement) un effet de sédentarisation de la population sur celui-ci. En effet, si les individus possèdent suffisamment de nourriture, ils n'ont alors plus aucun intérêt, tout du moins vital, à se déplacer pour assurer leurs alimentations et par conséquent leur survie. Sans cette autonomie agricole, la densité de population au sein d'une ville reste faible : *Une population vivant sur un territoire possédant et permettant de quoi se satisfaire de manière autonome en agriculture, va alors par la suite indéniablement et automatiquement croître.* Une agriculture suffisante permet donc sédentarisation puis croissance urbaine, spatiale et humaine. Ces deux types de croissance étant liés, les densités de population restent globalement stables. Mais c'est cette augmentation territoriale qui permet la dénomination de « ville », et non plus de « village », et ce indépendamment de l'époque historique.

L'importance capitale de l'agriculture a donc fortement conditionné l'emplacement des villes. Les premières villes se sont donc logiquement établies à des endroits bénéficiant de terres exploitables et où l'Homme développera les édifications pour l'émergence de sa future ville.

Dans ce contexte, un grand nombre de territoires géographiques sont susceptibles de correspondre à un lieu où une activité agricole est possible et développable. Et suivant cette condition, nous aurions dû normalement observer l'émergence des villes en tout lieu de manière plus ou moins aléatoire mais répondant à des variables plus ou moins objectives des personnes implantées sur les différents territoires.

Or, au Moyen-Âge, les très grandes villes, c'est-à-dire comprenant environ 200 000 habitants, sont, pour une très grande majorité, des villes proches de voies navigables.

Pour la plupart, ces villes existent encore aujourd'hui. Elles se sont développées suivant deux directions/logiques : soit le long d'un littoral - c'est le cas par exemple de Venise et d'Amsterdam, villes capitales et d'importance continentale de part leurs puissances obtenues et/ou renforcées grâce à leurs positionnements géographiques -, soit sur un grand fleuve, comme c'est le cas de Paris, Cologne, Strasbourg ou encore Vienne, pour ne citer que quelques villes.

L'accessibilité à la ville, qui permet l'acheminement de la nourriture, apparaît donc comme condition essentielle à son développement.

Une exception est cependant à présenter et celle-ci concerne Rome : place forte et ville de première importance dans au temps de l'Antiquité avec presque un million d'habitants. Mais comme pour les autres villes citées en exemple, les raisons de l'essor de Rome, du seul point de vue géographique qui nous intéresse, sont les conséquences des deux raisons suivantes, somme toute similaires à celles justifiées dans les deux autres positionnement des villes. Ces deux raisons sont d'une part la présence de la ville au bord du bassin méditerranéen, qui servait à nourrir la ville et qui en quelque sorte jouait le rôle de l'activité agricole. D'autre part, la position même de Rome au bord de la mer était en soi une position stratégique pour son développement de par les nombreux passages et transports qu'il pouvait s'y effectuer.

2.1.2 La distance, enjeu fondamental des villes

Une variable essentielle ressort, dans la construction et le développement des sites urbains : la distance. En effet, celle-ci détermine l'accessibilité d'une part entre les villes, et d'autre part aux denrées nécessaires aux populations.

Une contrainte nécessaire et inévitable

Bairoch insiste sur le fait que, plus qu'une production agricole suffisante pour la population, il est nécessaire d'avoir une surproduction agricole afin de conserver un véritable centre urbain. Cette surproduction est capitale car la production non consommée est alors utilisée comme entre les villes ou les populations, d'où cette notion primordiale de distance, que Bairoch qualifie ainsi : « *tyrannie de la distance* ».

Une production agricole en surplus attire donc de la population. Mais une croissance démographique importante ne la rend plus suffisante. Il est alors possible d'étendre la superficie de production mais cela obligerait alors à concevoir un espace exclusivement agricole et non plus une ville.

Alors, à mesure des nouvelles arrivées, les habitants se retrouvent éloignés des lieux de production agricole situés à la campagne. Il faut alors être en mesure de transporter toutes les denrées agricoles vers ces nouvelles populations. Entre alors en jeu le problème, inévitable, de la distance à parcourir pour pallier à ces obligations.

La distance, une cause de progrès

L'augmentation des distances a participé à l'essor d'infrastructures de déplacement plus adaptées, conjointement liées à des mode de transport plus performants.

Au Néolithique, les individus, comme les bêtes, se déplaçaient à pied, peu importe l'itinéraire à parcourir. L'arrivée des nouveaux modes de transport liés à l'émergence des nouvelles technologies nécessite un parcours adapté que l'on ne peut pas créer sur tout le site topographique. On crée alors des voies de transport : les routes. Si les hommes parcouraient jusqu'alors la ville à travers des chemins à la longue, ceux-ci ont dû être aménagés et adaptés aux moyens de déplacement utilisés.

Les modes de transports ont donc, eux aussi, évolué, passant du transport à dos d'homme à l'utilisation des animaux, de l'emploi de la « roue » aux voitures, tramways, métro et autres. Glaeser souligne que chacune de ces nouveautés et donc avancées en termes de déplacement suivent la plupart du temps trois étapes. On distingue d'une part l'avancée technologique qui nécessite, pour émerger, l'évolution des compétences

humaines. La deuxième étape consiste à créer un réseau qui permet d'utiliser ces nouveaux modes de déplacement afin de favoriser le transport des individus en desservant de multiples lieux. La troisième étape, enclenchée par la combinaison des deux précédentes qui modifient l'utilisation de l'espace géographique, montre l'évolution de la structure morphologique de la ville.

La distance, un coût de déplacement

Quels que soient l'époque et le moyen de transport, il y a toujours un coût pour les utilisateurs.

À la période médiévale, déjà, les distances à parcourir se traduisaient par un coût du transport des marchandises/denrées alimentaires selon les besoins en nourriture du conducteur. À notre époque, on retrouve ces frais de déplacements dans le prix de la consommation d'essence, le prix d'un ticket de métro etc.

Il existe deux façons de participer à ce coût :

- le coût direct qui fait payer l'utilisateur consommateur – c'est le cas de l'autoroute française que seul paye celui qui l'emprunte
- le coût indirect qui consiste à taxer toute la population afin d'avoir les financements nécessaires au fonctionnement des voies de transport. C'est le principe de l'autoroute allemande où chaque individu paye un impôt pour l'entretien des routes, qu'il utilise ou non ce service.

Quelle que soit la méthode envisagée, les coûts engendrés par l'aménagement du territoire en termes de voiries sont à prendre en compte dans l'urbanisation et le développement des zones urbaines pour ses habitants.

En effet, même si nous verrons que cela n'a pas ou n'est peut-être pas toujours uniquement la seule raison, les coûts consacrés aux constructions des voies de déplacement ont joué et jouent encore actuellement un rôle influant sur la conception et le développement organisationnel des villes. La caractéristique première qui en ressort est qu'il n'est évidemment pas possible de bâtir une infinité de tracés pour les déplacements puisque chaque nouveau tracé engendrera des frais présents et futurs et que bien entendu, les ressources ne sont pas non plus infinies.

La distance, source d'allongement et première interrogation

La notion de distance est donc étroitement liée à la technologie des transports. Le principal changement qu'ont entraîné ces successives modernisations a été l'étalement de la superficie des villes (GLAESER, 2011) qui devient donc de plus en plus grande. Ce phénomène est encore présent de nos jours. Dans sa thèse, Iragaël Joly (JOLY, 2005) met en évidence l'importance de la rapidité des transports, ce qui permet aux individus, non pas de passer moins de temps dans leurs transports individuels ou en communs, mais de pouvoir accroître les distances parcourues. Les personnes circulent alors sur une zone élargie et leur lieu d'habitation ainsi que leurs loisirs peuvent être éloignés.

Mais si l'étalement urbain a permis plus de possibilités pour les individus, il n'en n'est pas moins qu'on assiste à une forme d'*envahissement* de la ville sur le territoire. Et

cette conquête surfacique n'a pas toujours été, au cours notamment récente de l'histoire de la ville, une situation acceptable, favorable, ni même un développement durable.

Le mélange distance/transport pour une accessibilité des villes

Dès 1841, Kohl (KOHL, 1841), dans une des premières approches modernes du sujet, évoque les transports et avec les axes de déplacement créés pour les effectuer qui, selon lui, déterminent « la localisation des villes ».

À la fin du XIX^{ème} siècle, le géographe allemand Ratzel (RATZEL, 1912) et l'américain Coley énumèrent les trois conditions suivantes qui permettent l'existence et/ou le développement d'une ville pour n'importe quelle époque d'étude, en précisant le fait qu'une seule des trois est suffisante pour observer ce phénomène :

1. « La fin d'une voie de transport.
2. La jonction de deux voies de transport d'un même type.
3. Le point de jonction de deux types de voies différents ».

Chacune de ces trois assertions met en évidence le concept de distance et implicitement l'importance de la notion d'accessibilité.

En effet, la domination de la distance par l'être humain est en soi la clé de la réussite pour le développement des villes. Dompter ces distances nécessite donc des moyens de transport et des voies de déplacement adaptées. Plus qu'un simple trajet permettant un parcours, le réseau de ces voies de transport crée le système de connexions des villes et permet les échanges entre les individus. L'ensemble rend accessible les centres d'intérêts des villes, ce qui permet le déplacement de personnes et l'existence d'activités. Cela est finalement la condition capitale pour qu'un système urbain existe et fonctionne.

2.2 Les raisons d'évoluer

Les changements n'ont pas lieu sans raison. Un état initial existe, peut-être par fruit du hasard, qui est ensuite susceptible de se modifier. Il est alors intéressant de retracer la chronologie des premières métamorphoses subies par les villes.

2.2.1 Aux origines, une situation évidente

Il est impossible de donner une date de naissance exacte de la ville. Pendant longtemps, les historiens ont présenté Jericho, située au Moyen-Orient, dans la Cisjordanie actuelle, comme étant la première ville conçue, à l'époque néolithique. Or, des recherches ont permis de trouver à d'autres endroits des vestiges plus anciens qui remettent en question cette affirmation (BAIROCH, 1985).

Alors par où débiter ? Suite à notre analyse de la définition du terme « ville », il est apparu qu'elles auraient une origine rurale. Elles s'apparenteraient alors simplement à sa géolocalisation. C'est-à-dire une forme assez sommaire où son intérieure ne nécessite aucun aménagement de par sa petite taille. Nous pourrions utiliser la qualification d'un *tout-en-un* pour décrire ces villes à l'origine.

2.2.2 Des sources multiples pour des changements différents

Nous avons montré qu'une des nécessités maîtresses au développement d'un espace géographique en une ville réside dans sa capacité à y trouver des activités permettant un dynamisme sur le territoire. Nous avons aussi mis en exergue les échanges qui s'opèrent à l'intérieur des villes comme étant un facteur primordial dans l'existence et la durabilité des villes.

Comme nous l'avons démontré, pour se développer et être pérenne, une ville doit favoriser son dynamisme territorial.

De même que l'on peut affirmer qu'un enfant n'est pas un adulte, bien qu'il présente un nombre significatif de caractéristiques similaires, un village n'est pas une ville même si tous deux se ressemblent dans leur conception de l'espace. Quels sont donc les « organes vitaux » qui vont permettre l'évolution de chaque organisme ?

Le cœur, organe vital chez l'être humain, pourrait se traduire, en termes urbains, par l'artisanat et le commerce. Ces deux activités engendrent indéniablement et proportionnellement dynamisme et attractivité. Elles deviennent attrayantes pour leurs habitants, et attirantes pour les résidents alentours, créant ainsi une sorte de réseau qui va s'auto-alimenter et se développer. C'est ainsi qu'un village croît en ville.

Tous ces villages initiaux, devenus villes au cours des siècles, n'ont évidemment pas tous connu les mêmes transformations et ont abouti à des villes différentes notamment dans leur structure morphologique. En effet, de nombreuses variables rentrent en jeu dans l'agencement des villes durant leur processus de développement. Celles-ci sont certainement liées à la taille de la ville en devenir mais aussi à l'époque elle a vu son accroissement s'opérer. A chaque grande période historique - Moyen-Âge, Renaissance, révolution industrielle et post industrielle, etc. -, les sites urbains ont eu besoin d'évoluer et, sous l'influence de diverses dynamiques : accessibilité, proximité de certaines ressources naturelles (charbon, minerais, etc.),..., leur espace a changé.

Toutes ces transformations sont régies, à chaque époque, par des réglementations d'installation. Une grande majorité des décisions prises sur la structure des villes est décidée par les habitants eux-mêmes, ou par leurs représentants, dans le but de créer un espace de vie qui leur corresponde au mieux (CHALAS, 2003) (CARREL, 2013). Toutefois, les pouvoirs politiques, ou économique, jouent en réalité souvent un rôle crucial dans les décisions d'aménagement.

2.3 La régularité comme principe de base

La régularité a pour caractéristique d'être simple et peut être assez intuitive comme choix de décision. Les structures de villes ont aussi suivi quelque peu ce principe dans leur organisation. Nous allons donc observer les différentes formes régulières connues des villes, les raisons ayant entraîné ces choix et enfin les limites de la faisabilité dans la conception de ces formes urbaines, tout en constatant que la facilité qu'induit la pensée du terme de régularité ne s'accorde pas nécessairement avec une réalité simple.

2.3.1 Une géométrie simple mais non évidente

Une structure favorable au début des villes

Nous allons à présent attarder notre curiosité à propos de la deuxième des cinq caractéristiques mis en lumière par Bairoch dans sa définition de la ville¹. Nous savons historiquement et grâce aux vestiges architecturaux, que cette spécificité se trouvait être majoritaire dans un grand nombre de villes médiévales. La ville croate de Dubrovnik, avec sa forteresse en est un exemple.

Ces enceintes et fortifications encerclaient les villes, les protégeant ainsi d'éventuels envahisseurs, et permettaient de stocker et de conserver les biens agricoles, considérable richesse médiévale. Pour Bairoch, cette caractéristique est une des principales différences observées avec un village.

La ville médiévale étant délimitée dans un espace clos par les fortifications, elle ne peut que peu se développer : compacte. Tous les équipements urbains ne peuvent converger et être confinés qu'en son intérieur.

Il convient ici d'analyser la manière dont ces villes ont organisé leurs infrastructures, nécessairement internes.

Relativement petites, surtout par rapport aux agglomérations actuelles, leur développement/croissance et organisation structurelle se sont caractérisé(e)s par une géométrie régulière (MANN, 1988), disposant les habitats de manière successives en respectant l'équidistance entre bâtis. Confinée entre ses remparts, la population n'avait d'autre choix que de compacter ses habitations vers le centre, laissant les espaces verts, conséquents, à l'extérieur. Ce resserrement urbain présente deux avantages : une accessibilité aisée pour tous les habitants au sein de la ville et, par la densité de population, une différenciation certaine avec les ruralités, ce qui permet de distinguer ces deux modes de vie.

Durant cette époque médiévale, les historiens sont tous unanimes pour dire qu'il est préférable pour un individu de vivre au sein de l'espace urbain car en plus de la sécurité initiale contre une attaque ennemie extérieure, il offre une meilleure qualité de vie pour ses habitants. Cette différence entre ruralité et urbanisme existe toujours aujourd'hui mais pour d'autres raisons : la ville est souvent un espace plus valorisé, concentrant les dynamismes politiques, économiques et culturelles et où la valeur foncière est plus élevée (DESMARIS & RITCHOT, 2000) (GAGNON, p.d.). Par contre si les populations actuelles accordent un intérêt certain pour les espaces verts, ce n'était pas le cas au Moyen-Âge.

La régularité aujourd'hui

Si la régularité semble donc appropriée aux préoccupations des habitants de cette époque – se nourrir et se protéger -qu'en est-il pour les structures morphologiques des villes plus récentes ?

Observons les constructions qui s'opèrent dans les zones d'habitations de nos jours, particulièrement en France. Nous retrouvons une disposition régulière des résidences individuelles dans les zones pavillonnaires, les lotissements, ou encore dans les petites extensions que subissent les villages par les constructions des nouveaux habitants. Tous

1. l'existence de fortifications, d'enceintes, par opposition au village qui reste en général ouvert.

ces espaces de résidences sont de petites tailles, qu'on peut faire correspondre à la taille d'un quartier d'une ville importante. On remarque alors que les habitats sont disposés de manière successive, les uns à côté des autres. Toutes ces constructions sont de taille similaire et leurs espaces verts, ou jardins, si existants encerclent chacune des habitations. Un réseau de routes ou chemins respectant un quadrillage fait de tracés perpendiculaires et parallèles les relie.

Quelles sont les raisons qui poussent alors encore parfois à ce type de planification ? La morphologie régulière de ces zones a pour but premier d'optimiser l'espace occupé et les déplacements en son sein.

Ces installations sont possibles non pas le long d'un réseau de voiries préexistant mais sur un espace planifié. Les caractéristiques des individus influent également sur sa construction.

En effet, une des raisons visuelles qui permet d'observer l'émergence de cette géométrie régulière provient du fait de la similarité des habitats créés par ses résidents sur ces nouveaux territoires d'occupation.

Et cette similarité entre toutes les habitations est une conséquence d'une similitude dans les revenus des individus qui s'implantent sur cet espace et qui bâtissent ces habitations. Cette similitude entre les personnes peut se caractériser simplement par exemple par leurs revenus qui sont d'un même ordre de grandeur. Cela permet ainsi respectivement à tels ou tels types d'individus de pouvoir venir s'installer respectivement à tels ou tels types d'endroits. Au final, chacun de ces différents lieux trouve alors une correspondance avec les différents moyens dont est capable de dépenser un individu pour construire son habitat. Chaque personne constitutive de la population d'un même espace de résidence possède ainsi les mêmes dispositions financières et choisit d'utiliser ses revenus pour optimiser son habitat et, plus précisément, sa superficie. Par conséquent, en toute logique, les habitations sont semblables et d'une superficie équivalente.

Nuançons néanmoins quelque peu l'impact des décisions individuelles sur leur structure urbaine et architecturale régulière et similaire. Derrière ce résultat se trouve souvent la stratégie des lotisseurs, qui en érigeant les plus ou moins mêmes habitats, maximisent leurs bénéfices. En effet, lorsque ceux-ci ne dirigent pas l'émergence d'un quartier, on assiste toujours, dans une organisation régulière, à une plus grande diversité des habitats, comme c'est le cas aux Etats-Unis par exemple. Ce qui tend à faire perdre cette identique impression visuelle.

2.3.2 La régularité est-elle automatique ?

Une simplicité qui pourtant ne s'impose pas

Bien que cela semble être la construction la plus simple, la plus évidente et répondant de surcroît aux contraintes quasi uniques des déplacements de l'époque médiévale, la géométrie régulière comme organisation structurelle à l'intérieur des villes n'est pas étonnamment celle qui s'est imposée et installée majoritairement tout au long de ses nombreux développements.

La première opposition à ce type de développement vient de la nature géographique de l'espace occupé par la population (FRANKHAUSER, 1994). En effet, un endroit dont l'espace naturel n'est ni totalement homogène, ni facile de construction ne peut pas élaborer une disposition régulière, à la fois pour ce qui concerne son périmètre d'occu-

pation - une enceinte circulaire ou rectangulaire -, et pour l'organisation structurelle au sein même de ces enceintes.

Les bastides, villes neuves fortifiées du sud ouest de la France, ne se sont pas développées comme les autres villes médiévales (MANN, 1988), c'est-à-dire régulièrement, tant dans leurs enceintes que dans les réseaux de déplacements internes.

De plus, la ville régulière s'avère ne pas être une solution suffisante et ne satisfait finalement pas entièrement les populations qui ont une vision plus complexe de leurs lieux de vie qu'un simple quadrillage.

En effet, nous pouvons constater qu'à l'intérieur de nombreuses villes, et ce dès la période médiévale, se développent des architectures morphologiques qui ne suivent pas cette régularité, sans que pour autant les conditions de l'espace géographique où se développe la ville n'empêchent cette forme de structure en son sein.

Encore une fois, derrière cet écart à la morphologie régulière, intervient le rôle des agents dans le choix de l'aménagement des villes. On assiste à une volonté humaine de valoriser les lieux de vie quotidien. Cette valorisation va se traduire logiquement à travers une mise en valeur de l'espace des rues. Nous observons alors l'apparition de décors mettant en valeur le territoire habité. Nous pouvons souligner comme principaux ornements les nombreuses constructions de fontaines dans les rues. En effet, elles permettent en plus d'une utilité nécessaire à l'époque, de bénéficier d'un visuel plus beau du centre urbain.

De même, certaines architectures particulières, comme des tours, amènent aussi à déformer cette régularité dans le tracé urbain. D'ailleurs, il y a toujours eu une volonté pour les villes de présenter leurs richesses. La symbolique des lieux prend dans ce sens toute sa place. La Tour Eiffel en est un bon exemple.

Les individus développent également arbitrairement au sein de leurs villes des voies de déplacement qui ne suivent pas simplement une ligne droite, et cela même si le site urbain ne l'oblige pas. Nous constatons par exemple la création multiple de brisures de rues. Cet agencement caractéristique entraîne alors directement des formes de rues incurvées. Dans le même ordre d'idée, nous pouvons penser aux « pattes d'oies » ou aux culs de sacs, rendent la géométrie des villes plus mouvante que celles agencées avec un tracé quadrillé et régulier. Au Moyen-Âge, c'était vraisemblablement un concept d'aménagement. Ces morphologies irrégulières, qui semblent aléatoire au moins visuellement, entraînent alors avec elles une certaine forme de vivacité au sein de l'espace urbain, ce que les morphologies régulières ont plutôt tendance à faire disparaître.

Des raisons moins pragmatiques liées à ce refus

Ainsi, déjà au cours du Moyen-Age, le développement urbain, au départ régulier, s'est orienté vers d'autres conceptions morphologiques. Il convient ici d'expliquer les raisons de ce changement.

La première provient directement de la croissance de la ville et du temps imparti nécessaire à son extension. Effectivement, à cette époque, à partir d'une certaine taille, il était très difficile pour une ville de croître régulièrement. Elle s'est alors étendue en développant chacun des quartiers qui délimitaient la partie de la ville bâtie. Ces différentes petites parties, chacune sous la direction de ses planificateurs, se sont développées suivant les besoins et les souhaits des populations.

Une autre raison est relative au temps que nécessite l'agrandissement d'une ville, en lien avec les attentes et les besoins de ses habitants, qui évoluent différemment au cours des époques. La théorie des besoins suit l'évolution des valeurs de la société et des avancées technologiques, des opportunités offertes aux individus. Ainsi, l'accroissement qui continue doit alors respecter les nouvelles règles des populations qui souhaitent s'y installer.

Ces changements induisent la fin de la ville à la croissance régulière dans sa totalité. De nouvelles géométries sont suivies pour les nouvelles zones urbaines en création.

2.3.3 Les formes géométriques régulières adaptées aux villes

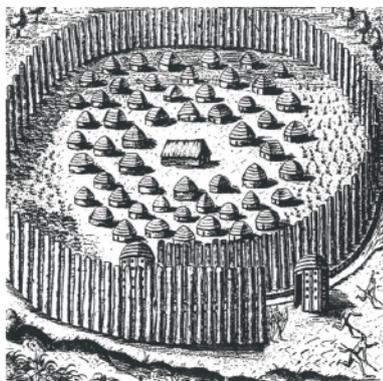
Nous allons ici décrire les principaux agencements urbains respectant cette singularité de planification.

L'importance de l'enceinte comme barrière de défense pour la ville tend à réduire la taille de la ville car elle devient un espace fermé. Pour minimiser les frais, le temps et l'entretien de la construction, les décideurs choisissent une construction de la ville souvent à l'intérieur d'un cercle (FRANKHAUSER, 1994). Cette forme géométrique est mathématiquement celle qui permet le plus petit périmètre comme enceinte.

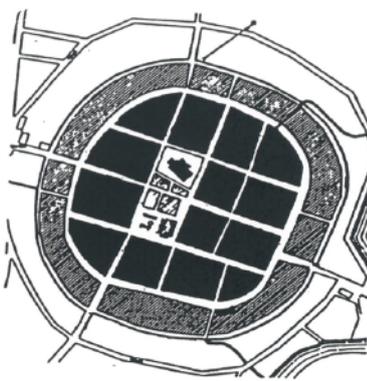
Si on considère le diamètre d d'une ville reliant les deux extrémités du territoire urbain, le périmètre de l'encerclément de la ville par une enceinte respectant un cercle est alors d'une distance de $2 \times \pi \times \frac{d}{2} \simeq 3,14 d$.

Si, *a contrario*, on défend en bâtissant une enceinte carrée, on obtient alors un périmètre de défense de $4 \times d$ donc supérieur.

De plus, Mann souligne la présence du phénomène urbain circulaire [Fig. 2.1(a)] bien avant la période médiévale, à l'ère néolithique, représentant un habitat autochtone. Ce phénomène apparaît également en Europe de l'Est au Moyen-âge [Fig. 2.1(b)] et on le retrouve aussi aux XI^{ème} et XII^{ème} siècles durant le développement des villes nouvelles.



(a) Habitat indien en Floride



(b) Plan de Friedeberg/Neumark (Allemagne)

FIGURE 2.1: Plans circulaires

Une forme géométrique basée sur cette structure circulaire se retrouve aussi plus

tard avec la morphologie étoilée apparue aux XVI^{ème} et XVII^{ème} siècles, dont Palma Nova en est l'exemple [Fig. 2.2]. Située au nord-est de l'Italie, la forteresse suit une forme d'étoile composée de neuf branches; des bastions situés entre les pointes de l'étoile permettent à chacune d'elles de défendre ses voisines. Un fossé l'entoure et trois portes contrôlent les entrées.

Une « ceinture verte », à l'intérieur du bâti, traduit déjà un intérêt, précoce, pour les aménités environnementales. La Renaissance découvre la nature alors qu'elle était perçue comme uniquement hostile au Moyen-Âge. Ces aménités sont toujours d'actualité et feront partie intégrante de nos réflexions sur les modèles urbains à partir de notre deuxième partie.



FIGURE 2.2: Plan de Palma Nova.
Modèle de villes à plan-étoilé

Si cette géométrie circulaire semble adaptée à la défense de la ville, et donc convenant aux cités militaires, elle n'a pas pour autant été majoritaire au temps de sa plus grande utilité.

En réalité, bien qu'avantageuse pour contrer une invasion extérieure, elle est inadaptée à un réseau quadrillé des déplacements.

Ainsi, de nombreuses villes en construction adoptent ce schéma de quadrillage des rues et se développent sous la forme la plus appropriée à ce système : un quadrilatère, c'est-à-dire un carré ou un rectangle.

Il existe de nombreux exemples mettant en évidence ces dispositions. Et cela semble commun à toutes les villes dans le monde. C'est le cas très tôt dans l'histoire de la ville en Chine, aux Indes ou encore en Irak avec l'exemple de Korshabad. Nous retrouvons aussi cette notion dans l'utilisation du terme de quartier (HOFMEISTER, 1980).

Toutefois, bien que le système des quadrillages des voies de transport s'apprête théoriquement avec une forme quadrilatère, les villes n'ont pas pour autant adopté ce contour. Preuve en est faite avec les villes américaines connues pour leurs constructions et leurs étalements en damier.

2.4 Chassé croisé : étalement vs compacité

La fin du XIX^{ème} siècle et tout le XX^{ème} siècle sont la période d'âge d'or de l'essor des villes. La révolution industrielle faisant passer exponentiellement les villes dans une toute autre dimension, les morphologies urbaines s'en sont trouvées complètement bouleversées. Nous mettrons ici en lumière les tenants et aboutissants de deux formes spatiales alternatives : la ville compacte et la ville étalée.

2.4.1 A l'ère industrielle, des nouveaux modèles de villes

La ville prend un premier véritable essor au Moyen-Âge dû, entre autres, à la sédentarisation des hommes, au développement de l'agriculture associée à l'expansion des déplacements et donc des distances. Il nous faut attendre ensuite la période industrielle du milieu du XIX^{ème} siècle pour observer des métamorphoses considérables des villes.

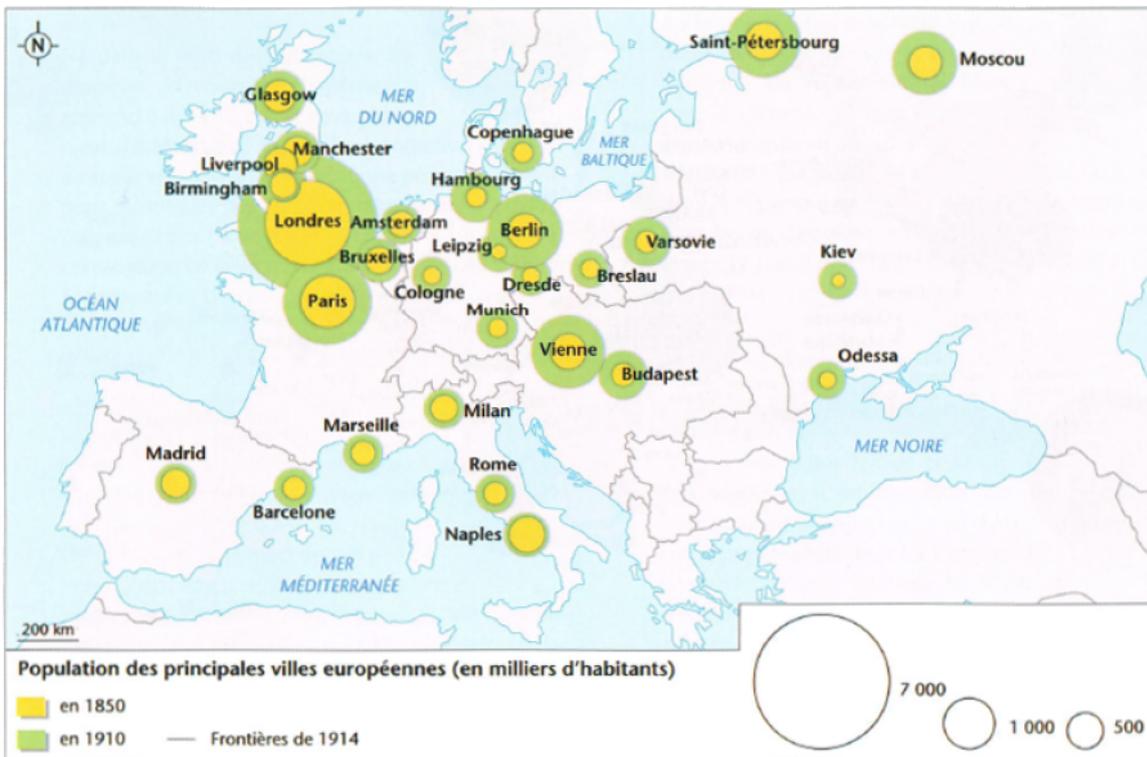


FIGURE 2.3: La population urbaine avant et après la révolution industrielle

L'essor de l'industrie et les progrès technologiques ont permis, essentiellement aux pays de l'Europe de l'Ouest, de produire en quantité beaucoup plus importante. Les quantités produites, les ouvriers nécessaires à ces productions, les transports, etc. ont augmenté de façon exponentielle. En conséquence, les échanges entre les villes se sont multipliés, et les distances se sont allongées.

Nous pouvons qualifier cette période, si révolutionnaire pour les industries, de « révolution urbaine » tant elle a été faste dans l'évolution et la modification des villes.

En effet, le rôle de l'industrie s'est substitué à celui de l'agriculture, à une échelle et une puissance beaucoup plus importantes, ce qui a attiré beaucoup de populations. Avec l'implantation des usines au centre des villes et les productions sans cesse croissantes,

les sites urbains sont devenus de véritables pôles d'attraction, puisque nécessitant une main d'œuvre conséquente. A la recherche d'emplois et de biens de consommation, les individus ont migré vers eux, délaissant alors l'agriculture, c'est l'exode rural [Fig. 2.3].

2.4.2 Vers une première forme de compacité

Cet afflux considérable et très rapide d'individus a eu un fort impact sur le système des villes existant, dans la mesure où il a été nécessaire de concilier la nouvelle population avec son lieu de vie.

L'organisation spatiale de la ville en Europe est donc modifiée par l'exode rural massive et très rapide qu'a provoquée cette révolution industrielle.

La modification de cette organisation n'est pas sujette uniquement à cette augmentation du nombre de personnes venant résider en ville. En effet, on pourrait tout à fait concevoir une augmentation de la densité urbaine afin de loger les nouveaux arrivants. Réduire la taille des logements et permettre ainsi à tout le monde de résider dans les constructions existantes. Cet élan industriel entraîne avec lui l'apparition de nombreuses usines qui viennent s'implanter sur les sites urbains déjà présents. Elles peuvent optimiser leurs déplacements de biens produits en bénéficiant des axes de transports existants sur lesquels les villes se sont localisées durant les siècles passés. Or, ces sites urbains, qui correspondent aujourd'hui aux centres urbains historiques des villes européennes (pour ceux n'ayant pas été détruits pendant la seconde guerre mondiale), ne disposent pas d'un espace suffisant pour héberger ces nouvelles entreprises. Ainsi, d'une certaine façon, les villes se trouvent dans l'obligation d'étendre leurs surfaces d'occupations pour suivre l'évolution économique de cette époque. Les exploitations, jusqu'à présent artisanales et commerçantes, pouvaient remplir leurs fonctions dans les architectures édifiées jusque là. Mais elles ne peuvent plus répondre au besoin des grosses entreprises. De même, l'agencement du réseau routier, étroit à l'intérieur des vieilles villes, ne s'accommode plus avec les besoins qu'engendrent les transports bien plus nombreux et plus volumineux imposées par les productions des grosses usines.

Pour répondre à ces nouvelles contraintes, se développe alors en Angleterre un exemple d'agencement de ville dont l'idée fondamentale est de construire les habitations à proximité des sites industriels afin de loger au plus proche les nouveaux travailleurs. Si l'Angleterre est souvent montrée en exemple comme le pays d'Europe à avoir poussé à l'extrême ces villes industrielles, ce fut aussi souvent le cas ailleurs en Europe et dans le monde, notamment aux Etats-Unis. Ainsi, s'élabore une architecture d'immeubles identiques dans ces nouveaux quartiers. On parle de « back-to-back houses », littéralement les maisons dos à dos [Fig. 2.4] : deux maisons sont rassemblées en une seule bâtisse. Ainsi, pour l'habitant, seules les chambres donnant sur la rue sont munies de fenêtres. Cette particularité permet de maximiser le nombre d'habitats sur une surface la plus faible possible. Les nouveaux quartiers conçus présentent donc une densité urbaine très élevée.

Ces espaces de vie ne répondent au final qu'à la volonté des dirigeants d'entreprise de réduire la distance séparant domicile et travail. En y répondant par une concentration excessive des habitations, différentes contraintes vont alors apparaître.

En effet, les rues sont très peu terminées et celles-ci ne disposent ni du tout-à-l'égout, ni d'aires de loisirs. Pour les résidents, seul leur logement leur permet de trouver

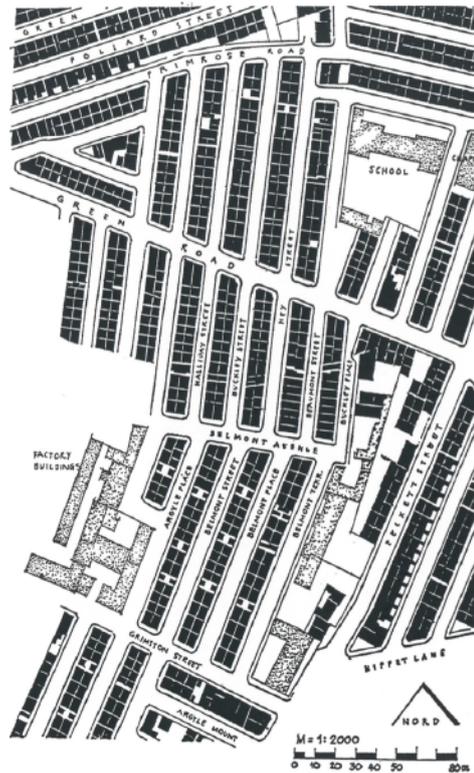


FIGURE 2.4: Plan d'un quartier back-to-back houses à Leeds (HARTOG, 1962)

un endroit où se divertir, d'autant que les zones vertes se trouvent très éloignées, généralement près de sites défavorables comme le site de production et les voies ferrées.

Ces nouvelles zones urbaines ne respectent aucune logique précise de tissus urbains. Les quartiers construits se contentent de suivre les voies de déplacement existantes (HARTOG, 1962). En effet, les rues sont très peu terminées et celles-ci ne disposent ni du tout-à-l'égout, ni d'aires de loisirs. Pour les résidents, seul leur logement leur permet de trouver un endroit où se divertir, d'autant que les zones vertes se trouvent très éloignées, généralement près de sites défavorables comme le site de production et les voies ferrées.

Jusqu'à la révolution industrielle, l'absence d'espaces verts dans la ville n'est pas un enjeu majeur pour les habitants. En effet, la taille des villes, relativement petite, plaçait les individus à une distance proche de la nature. Cela change avec le passage à l'industrie et l'étalement des villes. L'espace vert, pourtant considéré comme un atout de luxe et de plaisir pour l'homme - les familles aisées avaient souvent un jardin privé au sein de leurs demeures - et les souverains en faisaient construire de nombreux et somptueux au sein de leur palais - n'a pas sa place dans la ville industrielle qui concentre maisons et usines sans autres aménités. Les conditions difficiles du début du siècle dernier font que ces villes deviennent rapidement des zones insalubres où la qualité de vie n'est pas bonne.

Les effets néfastes dus à ce manque d'espace vert ont forcé les urbanistes à proposer pour la suite des villes plus aérées

2.4.3 Aérer les villes, un besoin vital

L'utopie urbaine des cités-jardins

Rapidement, les conditions de vie de ces villes industrielles deviennent intolérables pour les habitants. S'impose alors pour eux un besoin vital d'espace vide pour sortir de cette haute densification, à la fois urbaine et humaine.

On assiste en réponse à l'avènement des utopies urbaines. La cité-jardin d'Ebenezer Howard [Fig. 2.5] qui se veut d'un fonctionnement autonome, comprenant en son sein services urbains et campagne - ce que de nombreuses villes européennes rechercheront dans les années 1920 - illustre ce phénomène.

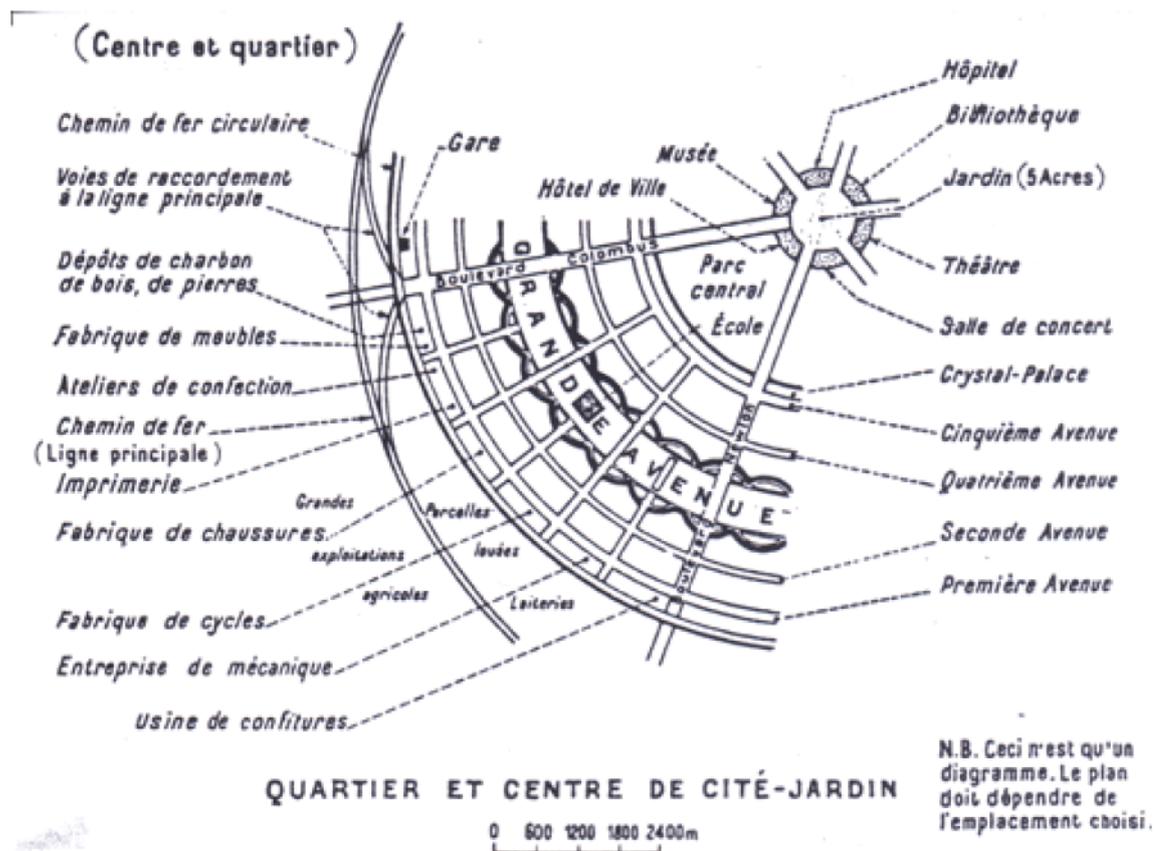


FIGURE 2.5: Plan théorique d'une Cité-Jardin.

La cité-jardin idéale, imaginée par Ebenezer Howard à la fin du XIXe

Paris, une ville référence

Georges Eugène Haussmann, haut-fonctionnaire employé sous Napoléon, est à l'origine des nombreux travaux parisiens qui ont « aéré la ville », améliorant ainsi les conditions de vie des citadins et facilitant le transport des individus et des marchandises dans un but premier d'efficacité économique. Il mena la campagne « Paris embellie, Paris agrandie, Paris assainie » (POUTISSOU, 2008) en s'attachant à la qualité de l'air et de l'eau, selon les souhaits hygiénistes de l'époque. Pour cela, il aménage parcs et jardins et crée un square pour chacun des quatre-vingt quartiers de Paris. Les bois de Vincennes et de Boulogne deviennent alors des lieux fréquentés pour les promenades.

Concrètement, ces nouveaux agencements se sont traduits chez Haussmann par le « culte de l'axe ». Pour mettre en valeur les monuments et ainsi embellir Paris, il met en scène de vastes perspectives sous forme de larges avenues et boulevards ou de grandes places, telle que la place de l'Étoile quitte à détruire nombre de bâtiments. Des normes strictes réglementant la taille et l'ordonnancement des maisons apparaissent à cette époque, et l'immeuble de rapport et l'hôtel particulier sont favorisés. On penche vers une esthétique dans laquelle les immeubles se ressemblent tous. Deux nouvelles gares sont construites, indispensables pour favoriser et faciliter les déplacements et les connexions de la ville à l'extérieur et symbole du progrès. Une des autres grandes avancées haussmaniennes est la création de circuits d'adduction d'eau et d'un réseau moderne d'égouts.

Parmi tous ces changements, Haussmann décide également d'étendre la ville. Onze communes limitrophes de Paris sont en grande partie ou totalement absorbées par l'extension de la capitale².

On estime la modification de Paris par les travaux engendrés sous les commandes du baron Haussmann de 60% ; ce qui constitue sans aucun doute un bouleversement évident de la ville et qui semble totalement impossible dans les villes historiques actuelles.

Bien sûr, des critiques sont formulées par les opposants aux projets, notamment au sujet des coûts faramineux engendrés par la démolition de nombreux bâtiments. C'est aussi le commencement de la hausse des prix de l'immobilier dans la capitale (GIRARD, 1986). On constate un coût plus fort de la rente immobilière à l'intérieur de la ville, qui dispose d'avantages plus nombreux que son extérieur. Ce dernier point est aussi beaucoup critiqué, même si les raisons de cette augmentation pourraient être réfléchies comme étant un rempart à la population migrant de la campagne vers la ville.

L'Urbanisation haussmanienne va pourtant se développer dans plusieurs villes en France comme Rouen, Dijon, Angers, Lille, Toulouse, Avignon, Montpellier, Toulon, Lyon, Nîmes et Marseille ainsi qu'à Alger, alors colonie française. A l'étranger de nombreuses villes vont également vouloir imiter Paris et suivre ces nouvelles règles d'urbanisation. Ce fut le cas notamment en Europe de Bruxelles, Rome, Barcelone, Madrid, Berlin et Stockholm, et même plus loin, dans des villes comme Istanbul et Le Caire.

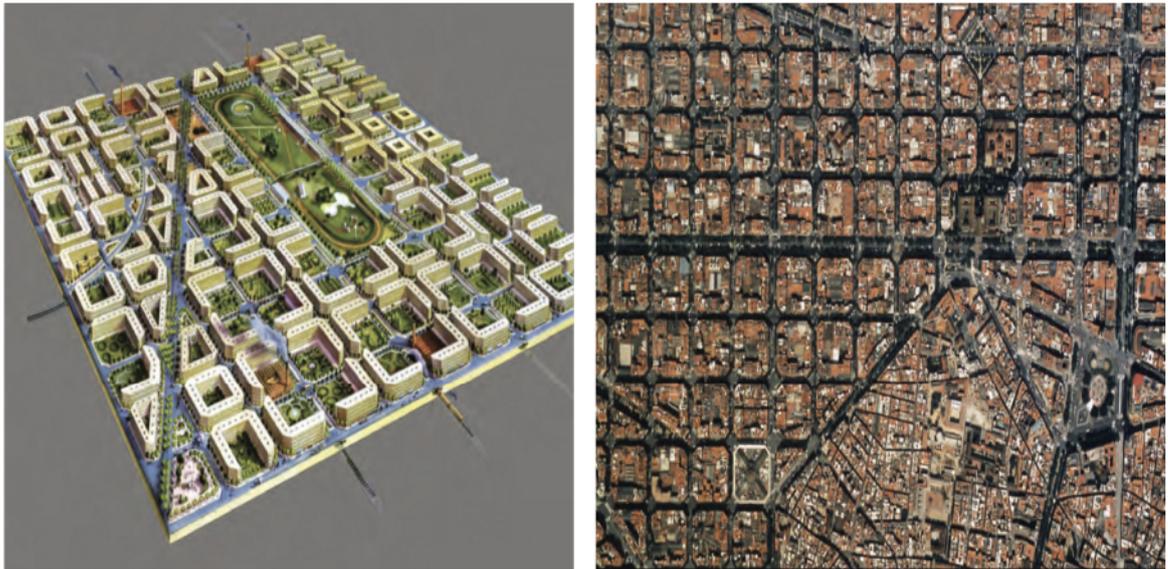
Un exemple formateur : Barcelone

Ainsi, Barcelone s'est inspiré des nouveaux aménagements parisiens, de la recherche de vitalité et d'espaces verts. Cerdà choisit une urbanisation modelée sur des carrefours à pans coupés. C'est un plan hippodamien avec une structure quadrangulaire, régulière et ouverte dont les maîtres-mots sont habitabilité et viabilité. Après avoir mené une étude statistique mettant en évidence l'inadaptation de la ville industrialisée avec les aspects sociaux, économiques et alimentaires, l'ingénieur espagnol souhaite dépasser le cadre de la ville « utopiste », « culturelle », « monumentale » ou « rationaliste » et imaginer une ville permettant de respecter les besoins contradictoires d'une agglomération complexe (MONTANER, 1978). Dans son plan de ville, il propose une nouvelle classifi-

2. Loi sur l'extension des limites de Paris (du 16 juin 1859), dans le Bulletin des lois de l'Empire français, t. XIV, XI^e série, n^o 738, 3 novembre 1859, p. 747-751

cation du réseau en différenciant voies et entrevoies qui séparent l'espace public de l'espace privé (SOKOLOFF, 1999) et prône un équilibre entre les valeurs rurales et urbaines : « Ruralisons ce qui est urbain, urbanisons ce qui est rural » (UNESCO, 1999). Pour lui, le fait urbain tend à compacter la ville et les logements, et fait perdre un confort de vie important pour les habitants.

Contrairement à Haussmann pour Paris, l'urbaniste espagnol disposait d'un terrain vierge pour exploiter son plan de morphologie. Celui-ci, intitulé l'Exiample, était basé sur une géométrie portée sur l'infini sans centre hiérarchique - infini dans le sens où Cerdà imaginait une extension illimitée. Il a proposé un plan en damiers, séparé par des voies assez larges. Chaque damier est de structure carrée, ce qui est une conception novatrice pour une ville européenne, et contient dix îlots urbains. Dans chaque îlots, caractéristique de l'aménagement dessiné par Cerdà, on trouve l'ensemble des services utiles au mode de vie des individus et la superficie nécessaire aux espaces verts, [Fig. 2.6], ce que n'offrait pas la compacité de la vieille ville. Chaque îlot est construit avec une réflexion sur le nombre d'habitants qu'il peut accueillir, permettant ainsi de contrôler la densité humaine. La morphologie de Barcelone a donc été pensée sur une régularité géométrique répétitive afin de respecter une égalité pour tous les individus, quels que soient leur classe sociale et leurs déplacements vers leurs différentes commodités (PERMANYER, 2008).



(a) Le projet de 1863, version remaniée du projet de réaménagement et d'agrandissement de Barcelone de 1859 (b) Vue aérienne de la partie de l'Eixample jouxtant la Vieille Ville

FIGURE 2.6: Le projet Cerdà : la ville damier de Barcelone

Les routes, toutes perpendiculaires et parallèles, placent les croisements à égales distances pour tous. Chaque habitat a ainsi la même valeur de localisation, ce qui justifie l'égalité de la rente foncière dans chaque damier.

Le plan de Cerdà innove aussi avec son système de réseau de déplacements (NÙRIA, 2009).

Il réfléchit à des voies de circulation de largeurs pensées pour la future motorisation des modes de déplacements.

Il pense son plan autour d'une avenue principale servant d'axe directeur. Il compose des districts de 10×10 îlots dont les intersections constituent les principales intersections de la ville. Et toutes les 5 rues, il crée une rue plus large. Cela permet ainsi à chacun de disposer de voies communicatives respectant une certaine hiérarchie de déplacements. Pour simplifier, la volonté est d'accorder les grandes voies aux grandes communications sur toute la ville, et les plus petites à l'utilisation par les individus pour se déplacer entre les îlots ou à l'intérieur de ceux-ci.

Si les intentions semblent louables dans la mesure où cette géométrie régulière est dans un but d'offrir une égalité des services de la ville pour tous, il n'en est pas moins que cette morphologie a présenté certaines défaillances.

D'un point de vue structurel, l'extension illimitée ne tient pas compte de l'intégration du réseau urbain des villes périphériques à Barcelone. Ainsi, il n'y a pas de liens avec les noyaux urbains de ces zones périphériques. Certains axes en diagonal ont du être conçus pour palier le manque de facilité de communication et d'accessibilité à la ville des villages alentours.

D'autres désaccords ont émergé pour critiquer le caractère trop autoritaire, égalitaire, anti-hiérarchique et rationaliste du plan, les opposants lui préférant comme référence les organisations proposées par Paris.

De plus, l'histoire montre qu'une spéculation sur la rente immobilière a été mise en place en augmentant la capacité d'accueil des îlots (par rapport à ce que Cerdà envisageait pour une densité humaine favorable). L'ingénieur ayant d'ailleurs lui-même pris part à cette spéculation...

Le plan de l'Eixample n'a donc pas eu l'essor escompté par Cerdà même si d'autres villes européennes et dans le monde ont, au cours de leur histoire, adopté cette morphologie structurelle pour développer leur territoire. C'est le cas en France, à Strasbourg, par exemple, ou Lyon avec son extension à l'est du Rhône ou encore dans certaines villes reconstruites après la seconde guerre mondiale telles Le Havre et Brest. Au nord de l'Europe, ce plan hippodamien a été choisi pour les villes d'Alta, de Rovaniemi et de La Chaux-de-Fonds ; en Amérique, les États-Unis et le Canada ont construit certaines de leurs villes (New-York, Montréal, etc.) selon ce quadrillage. Enfin, nous le retrouvons dans certaines villes chinoises comme Pékin, à Bogota en Amérique du Sud, on en trouve encore en Inde, à l'instar de New Delhi et Kinshasa (construites durant l'époque de colonisation).

2.4.4 En réponse, l'étalement des villes : une solution inévitable ?

La période post deuxième guerre mondiale marque un nouveau tournant dans l'urbanisme des villes européennes dans la mesure où beaucoup de villes, bombardées et détruites, doivent se reconstruire.

Les années qui suivirent, surnommées les « Trente glorieuses », avec la démocratisation de l'automobile et les avancées technologiques ont incité les citoyens à s'étendre et à occuper de plus en plus d'espaces sur le territoire.

Durant cette période, nombreux sont les urbanistes qui ont porté à son florilège les avantages de cet étalement urbain, accentuant les bienfaits des espaces verts qu'il génère (MILLS, 1981) (MIESZKOWSKI & MILLS, 1993) (BRUECKNER, 2000b) (NECHYBA

& RANDALL, 2004).

A partir de la fin des années 70, certains modèles défendent le fait que l'étalement n'est pas le résultat d'un comportement « manique tulipe » (FUJITA, p.d.), mais au contraire, un processus adapté au développement urbain en cours, notamment en argumentant la durabilité du logement (MIYAO, 1987) (BRUECKNER, 2000a).

Beaucoup s'accordent à dire que la première caractéristique pour définir une ville étalée est sa capacité à créer un espace à faible densité d'occupation (BURCHELL, 1998) (BLACK, 1996) (POPENOE, 1979) (ORFIELD, 1997). On peut voir aussi la ville comme un critère continu (HARVEY & CLARCK, 1974), avec des anneaux urbains autour des axes de transports desservant le centre ville initial (ALTSHULER & GOMEZ-IBANEZ, 1993). D'autres, *a contrario*, définissent la ville étalée comme un saut discontinu du développement urbain (CLAWSON, 1962).

En réalité, la ville étalée se définit selon plusieurs critères, parmi lesquels Russ, Lopez et Hynes choisissent :

- Développement à faible densité ;
- Séparation des utilisations des terres ;
- Leapfrog développement ;
- Développement du commerce de détail ;
- Développement dépendant de l'automobile ;
- Développement à la périphérie d'une zone urbaine au détriment de son noyau ;
- Décentralisation de l'emploi ;
- Perte de l'agriculture périurbaine, rurale et des espaces libres ;
- Fragmentation de la responsabilité et de la surveillance gouvernementales (JOHNSON, 2001).

Le panel proposé est assez large et s'étend beaucoup plus loin que les phénomènes géographiques d'aménagement urbain ou d'économie. Nous nous pencherons ci-après sur les causes de cet étalement urbain.

Les causes de cet étalement

La société post-seconde guerre mondiale offre le plein emploi aux individus et amène pour tous une augmentation du niveau de vie, contribuant à un essor économique important pour la France (pour ne citer qu'elle).

Ainsi, l'urbanisation doit faire face aux évolutions démographiques, économiques et sociales dans la reconstruction des pays d'après guerre.

En 1943, dans la Charte d'Athènes au Congrès International d'Architecture Moderne (CIAM) (*La Charte d'Athènes*, 1933), Le Corbusier dévoile une urbanisation nouvelle, moderne, dictée par une architecture innovante, adaptée aux méthodes industrielles de rationalisation, standardisation et mécanisation de l'époque. La ville doit, selon lui, être pensée comme une entreprise et chaque espace ne doit contenir qu'une seule fonction. Cette nouvelle stratégie crée des parties de ville réservées aux loisirs, d'autres au travail, d'autres encore aux logements. Toutes sont dissociées les unes des autres, créant des villes sectorisées dans lesquelles le bâti se trouve très dilué.

On met en avant la proposition de villes-bandes s'étendant sur le long d'un seul axe. La suppression des vieux centre-villes est également suggérée (FRANKHAUSER, 1994). Cette période est également marquée par l'essor de matériaux clés, tels que le béton, le

verre et l'acier. Utilisés alors sans concession, ils ne satisferont plus les sociétés vivant quelques décennies plus tard.

L'évolution de la morphologie urbaine dépend donc des époques, de leur organisation industrielle et du contexte économique. C'est par exemple l'essor de logements construits à l'identique, à grande échelle, proposés par Le Corbusier afin de permettre à chaque individu de bénéficier d'un logement privé.

Les besoins de cet étalement

Deux phénomènes essentiels en résultent ;

- Les citadins, qui souhaitent plus vivre dans les conditions hygiénistes subies jusqu'alors, recherchent un certain confort dans leurs logements, ce que leur permet la hausse des salaires ; et la ville doit trouver le moyen d'y répondre.
- Ils recherchent également au sein de la ville certaines caractéristiques rurales : de l'espace, une densification humaine moindre, surtout aux centres-villes, et de la verdure (PEGUY, 2000) (BARCELO, 1999) (BIESSY-PIETRY, 2000) (JEANNIC, 1997a). On assiste ainsi progressivement depuis le milieu du siècle dernier à une dissolution des différences entre les habitudes du vivre en ville et de la campagne (FORTIN, 1971).

Les trois facteurs principaux de l'étalement

La seule réponse possible pour satisfaire ces besoins réside dans l'étalement des villes. Trois raisons l'expliquent :

- la généralisation d'une voiture personnelle facilitant les déplacements, peu importe la distance à parcourir.
- le désir d'associer confort des campagnes et proximité de la ville.
- le coût des taxes foncières.

L'étalement urbain nécessite d'augmenter les distances de déplacements entre les zones urbaines existantes et celles en construction pour permettre l'accès à tous ces sites, créant donc, dès le début du XX^{ème} siècle, plusieurs villes trolley.

Le plein essor économique et industriel va très rapidement permettre l'extension de la ville grâce à la construction de nouvelles voies de liaisons qui établissent un vaste réseau d'infrastructures routières. Des années 1960 aux années 1970, on assiste à une amélioration des liaisons historiques, puis des contournements sont aménagés pour offrir une première réponse au désengagement des centres-villes et rendre accessibles les zones périurbaines créées. Enfin vient le tour des autoroutes, des rocade et des grands échangeurs qui font émerger les banlieues et faubourgs divers. Ces voies de circulation de plus en plus nombreuses et longues, auront une forte influence sur les formes de la croissance urbaine (MANGIN, 2004).

La généralisation de l'automobile dans presque tous les ménages facilite les déplacements. En effet, chacun, grâce à son véhicule personnel, peut désormais rapidement se mouvoir sur les routes existantes, peu importe la distance, ce que ne permettaient pas les anciens modes de transports [Fig. 2.7]. C'est ce qui place la voiture en tête des

planificateurs urbains (MERLIN, 2001).

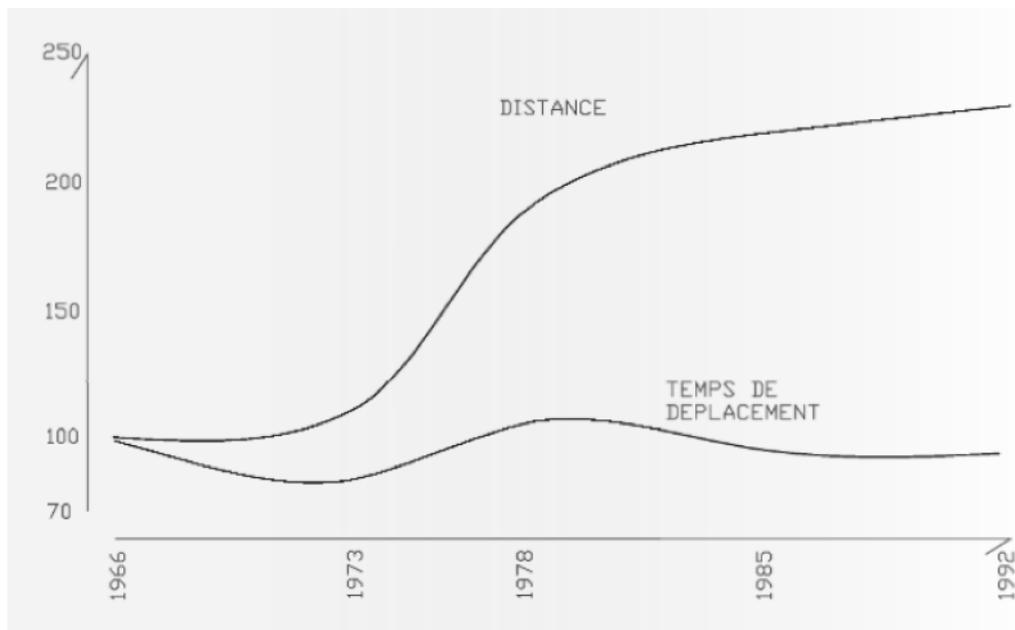


FIGURE 2.7: *Graphique du temps de déplacement et de la distance parcourue par personne et par jours à Grenoble*

L'industrie automobile n'a pas séduit que les Français : les Etats-Unis, par l'étendue de leurs villes, favorisent l'utilisation de la voiture individuelle, qui elle-même rend ces étalements possibles (DUPUY, 1999). Ce nouveau moyen de transport change les comportements de la population qui se sédentarise (BEAUCHARD, 1999) : nostalgique du "vivre à la campagne", elle peut alors allier ce désir de ruralité avec la ville, ce qui diminue fortement la densité de population (GLAESER & KAHN, 2004).

C'est le deuxième facteur de l'étalement urbain. Glaeser, qui se caractérise comme un homme de la ville explique pourquoi, comme bon nombre, il a choisi l'exode urbain : désireux de plus « d'espace de vie, des pelouses moelleuses, des trajets quotidiens courts » grâce aux autoroutes, les raisons familiales ont été le moteur son changement de cadre de vie. Concilier enfants et une maison individuelle avec jardin est souvent la volonté des personnes (PROGNOS, 1976) (FRIEDRICH, 1983). La qualité de vie s'exprime par une satisfaction résidentielle (KWEON, ELLIS, LEIVA & ROGERS, 2010) et la présence d'espaces verts influe grandement cet objectif (KAPLAN, 1985). Pour Cavailhès, l'accès à la campagne et aux paysages s'y référant (champs cultivés) avec un accès à l'espace ouvert sont des caractéristiques paysagères qui plaisent aux Français (CAVAILHÈS et al., 2007).

Ceci est envisageable seulement si l'espace entre les individus est suffisamment conséquent, ce qui signifie une faible densité de population et donc l'étalement urbain.

Celui-ci résulte d'un dernier facteur : le coût du foncier. Deux principaux arguments de Glaeser dans son choix de quitter la ville d'Harvard, sont liés, comme il les appelle, aux phénomènes anti-urbains des politiques publiques que sont l'autoroute du Massachusetts et la déduction des intérêts des crédits immobiliers.

En effet, le coût de la rente immobilière, plus faible en périphérie, permet aux individus d'acquérir des parcelles plus grandes et de privilégier l'habitat individuel.

En Europe, cela se traduit par l'acquisition de logements pavillonnaires : les populations n'hésitent plus à parcourir des distances plus importantes de transports en contrepartie d'un habitat plus à leurs convenances, souvent une petite maison individuelle et accompagnée de son petit jardin (HAUMONT, 2001) (HOFFMAN & FELKNER, 2002). Le pouvoir public qui s'est désisté face à la reconstruction de logements a, par ailleurs, favorisé ce « pavillonnisme ». Les entreprises privées ont alors répondu à la demande sociale.

Les individus, possédant une automobile ou ayant facilement accès aux transports en commun n'hésitent alors plus à éloigner leur lieu de résidence des centres villes (DUPUY, 1995)), bien que cela accroisse leur temps de trajet (GORDON & RICHARDSON, 1997). De plus, une pente plus faible du terrain est obligatoire, sans quoi l'individu ne s'éloignerait pas du centre urbain. En effet si les conditions restaient les mêmes, on ne ferait qu'assister à une reproduction des centres urbains existants trop densément peuplés. Toutefois, si l'individu dépense moins pour son bien immobilier, des frais plus conséquents sont consacrés à ses déplacements vers son lieu de travail ou ses autres besoins, majoritairement implantés au centre ville (ALONSO, 1964). Des études cherchent à inclure le prix d'une accessibilité aux espaces verts dans les dépenses allouées à l'achat ou la location d'un logement (SANDER, GHOSH, ROPER & MANSON, 2010) (CHO, POUDYAL & ROBERTS, 2008).

Dans les années 1960, les politiques ont décidé de dédensifier les centres urbains pour améliorer leur attractivité.

Cunha résume ainsi les raisons de l'étalement urbain : « La croissance démographique et économique, le changement des structures familiales et des standards de confort induisent une augmentation de la demande de surfaces qui se traduit en partie par l'extension de la ville. Elle est liée aussi à la solvabilité en matière d'accès à la propriété d'une partie de la population urbaine et à une certaine individualisation du social qui s'exprime sous forme de choix spatiaux d'habitat axés sur la valorisation du logement individuel » (CUNHA, 2005).

L'étalement, une si bonne solution ?

Les grandes avancées technologiques, le désir d'espace associé au souhait du logement individuel justifient donc l'étalement des villes existantes. Mais leur organisation spatiale s'en est aussi trouvée modifiée.

Les villes qui fonctionnaient jusqu'à présent autour d'un mouvement centripète, concentrant toutes leurs activités en leur centre, se muent alors en un mouvement centrifuge. Les habitants s'éloignant des centres, une multitude de nouveaux quartiers se crée dans ce vaste espace en construction.

Déjà au cours de la période de l'expansion urbaine, des sentiments négatifs apparaissent :

- Le vert demandé est décrié comme une apparition éclatée de la campagne dans le centre urbain, et n'est assurément pas la solution envisageable (GOTTMAN, 1961) (PEARSON, 1957) (HARVEY & CLARCK, 1974).
- La ville se transforme en une vaste étendue composée de noyaux urbains reliés par les voies de communications mais fermés sur eux mêmes.

- Ses limites ne sont plus définies et se confondent avec les nouvelles agglomérations. On parle alors d'un territoire vaste, urbanisé mais dilué, totalement déstructuré par sa construction consécutive au « tout automobile » qu'on peut également nommer « ville diffuse » ou ville « éclatée ». On assiste à des « sauts », laissant place à l'appellation « villes en sauts de moutons » : des discontinuités apparaissent et l'agencement est réfléchi par l'accès à la voiture et non plus par la proximité (SECCHI, 2002). L'utilisation régulière et individuelle de la voiture a favorisé amplement la dispersion urbaine, définie comme « un manque de continuité dans l'expansion » (PEISER, 1989) (MILLS & LUBUELLE, 1997).

Un exemple est donné par le géographe F. Beaucire au sujet de la ville de Nantes [Fig. 2.8] (BEAUCIRE, 2000).

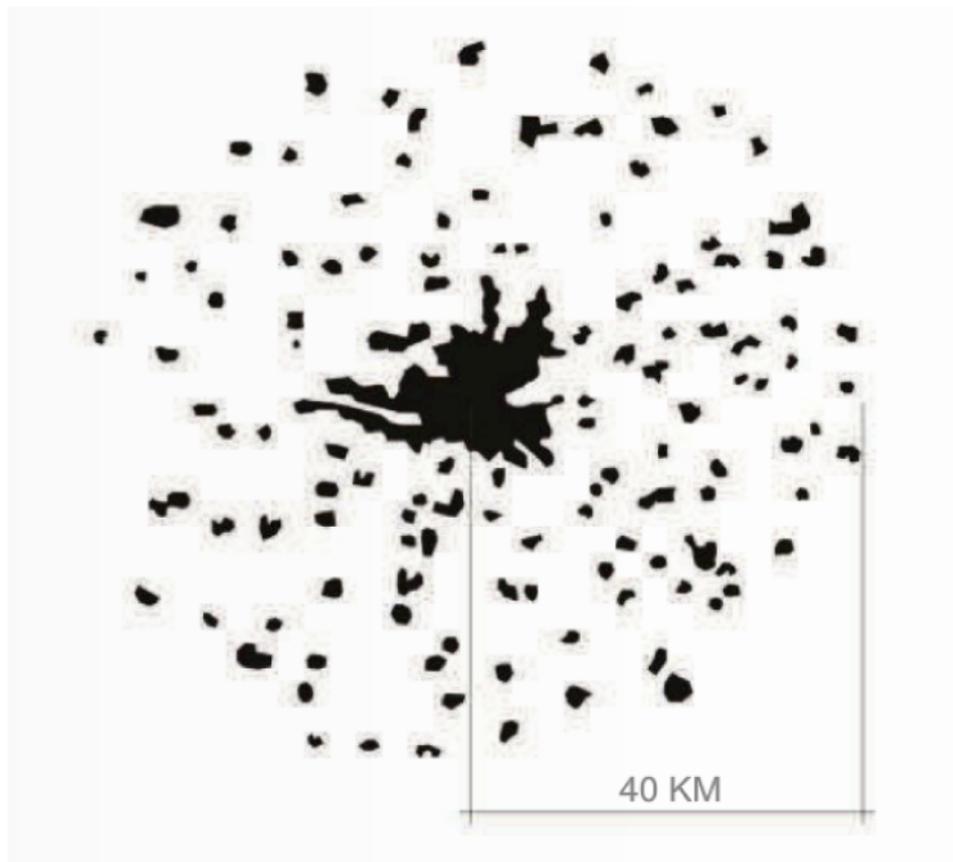


FIGURE 2.8: Plan urbain schématique représentant l'agglomération de la ville de Nantes et les zones urbaines alentours

De plus, alors qu'on doit s'attendre à une organisation et une morphologie circulaire des agglomérations responsables de la croissance urbaine, cette évolution ne tient qu'en partie (FRANKHAUSER, 1994).

On trouve également des points négatifs de la ville étalée se trouvent également dans l'aspect social. La politique, qui voulait sectoriser les espaces du territoire en rapport avec leurs fonctionnalités, fait émerger des espaces monofonctionnels spécialisés et séparés les uns des autres. La conséquence première de cette sectorisation est la séparation entre les espaces d'activités et ceux de l'habitat, entraînant les premières ségrégations résidentielles. L'exemple marquant et qui atteindra ses limites à la fin du

siècle dernier est celui des constructions de Le Corbusier : des banlieues constituées de grands immeubles comportant des centaines d'appartements, censés répondre à une demande de logement décent pour les populations les moins riches (ou les plus pauvres, c'est selon) mais qui a entraîné des fractures sociales importantes pour les générations y vivant. Comme on parle de quartiers monofonctionnels, on peut alors aussi parler de quartiers monosociaux.

Le centre-ville ancien tend alors à n'occuper plus que des emplois administratifs représentant symboliquement la ville, laissant la ville ancienne vers une sorte d'abandon (TORTEL, 2003).

L'étalement urbain a pour première conséquence de consommer énormément d'espaces, urbains ou autrefois ruraux. Les voies de transport sont chères, à la fois en infrastructures et en entretien. La voiture, tant louée pendant des décennies, se révèle être un problème majeur pour les villes actuelles actuelles qui cherchent à limiter leur pollution (SAUVY, 1968) (ILLICH, 1974). La dimension écologique prend une envergure quasi identique à celle économique et sociale et l'on voit apparaître une prise de conscience globale avec la notion de développement de villes durables, défi majeur conséquent de cet étalement urbain (LEVY, 2010). Selon Glaeser, si l'étalement se poursuit, même les larges voies de transports, à leur tour, de plus en plus congestionnées. Il recommande ainsi de diminuer l'étendue urbaine, voire de l'arrêter, car elle a « autant de coûts que de bienfaits : [...] les banlieues en cours d'étalement doivent résoudre des problèmes d'eau, d'hygiène publique, et d'embouteillages ». Globalement, nous nous retrouvons confrontés aux mêmes problèmes qui avaient engendré l'étalement des villes.

2.4.5 Un retour préconisée à la ville compacte : avantages et inconvénients

À la fin des années 1980, les pouvoirs publics ont cherché à ralentir et arrêter l'étalement urbain jusqu'alors favorisé, et, en réponse à ses effets néfastes (HART, 2002), ont privilégié son opposée : une ville compacte (EWING, 1997) (FOUCHIER, 1995) (NEWMAN & KENWORTHY, 1989b) (*Livre vert sur l'environnement urbain*, 1990).

Les raisons et l'apologie de la ville compacte

Celle-ci se caractérise comme un espace fermé où se concentrent les services urbains (THEYS & EMELIANOFF, 1999) (BREHENY, 1995). Présentée comme une alternative à la ville étalée, elle concentre l'urbanisation sur une surface limitée (SPECTOR & THEYS, 1999), ce qui rend ses densités humaine, d'emplois, ou de logements élevées.

La démocratisation de l'automobile a été, comme nous l'avons vu la principale source de dispersion urbaine. Pour limiter les déplacements urbains, sources de dégradation principale de l'environnement, les aménageurs urbains ont favorisé l'essor de cette compacité afin de répondre aux besoins d'accessibilité (NEUMAN, 2005). La ville compacte minimise les distances au sein de l'espace urbain pour favoriser l'accès à tous les services pour la population (BRAMLEY & POWER, 2009).

Elle raisonne dans une logique d'accessibilité maximum, c'est-à-dire qu'une aménité s'implantera là où un maximum de personnes sont présentes et non, comme c'est le cas

pour la ville étalée, à la sortie d'une desserte automobile.

Ainsi, c'est « une politique menée [...] pour enrayer les effets négatifs du desserrement de la population et des activités au cours de la génération précédente » (MERLIN & CHOAY, 1996), qui utilise « mieux et d'avantage les espaces urbains existants. [...] C'est donner plus de destinations, plus d'occasions de croisements, plus de possibilités d'activités, plus de monde » (FOUCHIER, 2010).

En résumé, ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- une densité élevée (NEWMAN & KENWORTHY, 1998),
- une urbanisation maintenue dans un espace limité, le plus souvent de forme circulaire et d'un seul tenant (BERTEAUD & MALPEZZI, 2003),
- une forte mixité d'usage de l'espace (proximité de l'ensemble des aménités urbaines) (ANGEL, JASON & CIVCO, 2010)(NEUMAN, 2005)(DIELEMAN & WEGENER, 2004) organisée autour d'un centre unique.

Dans le cas de la ville étalée ou diffuse, les implantations d'aménités suivaient une logique d'accessibilité souvent automobile en se localisant à la sortie d'une desserte automobile. La ville compacte raisonne plutôt dans une logique d'accessibilité maximum, c'est à dire qu'une aménité s'implantera là où un maximum de personnes sont présentes.

Pour ses défenseurs, elle permet aussi de créer une mixité sociale puisque'elle s'oppose à l'effet zonage, favorisant les discriminations spatiales en regroupant les classes pauvres dans des grands ensembles.

En soi, la ville compacte doit être perçue comme un tout où aménités et individus sont mélangés.

Son essor peut se confondre avec la dimension écologique exprimée par une nouvelle volonté des politiques qui valorisent la ville durable.

. Ceux-ci ont pris conscience de l'excès des villes étalées et ont cherché à redensifier les espaces déjà occupés afin de préserver les sols non urbanisés et de réduire les dépenses énergétiques liées aux déplacements.

On peut observer cette argumentation à travers la courbe de Newman et Kenworthy [Fig. 2.9] qui montre que les villes denses, en majorité asiatiques, ont une consommation annuelle en carburant beaucoup plus faible que les *sprawls* américaines, où la faible densité associée à un grand étalement urbain entraîne irrémédiablement une dépense plus élevée des énergies.

Dans la même optique, Naess observe dans une centaine de ville du Nord de l'Europe que plus l'espace entre les habitants s'accroît, plus la consommation d'énergie augmente (NAESS, 1996).

Il est évident que la compacité n'est pas la solution magique pour enrayer l'utilisation de la voiture - cette dernière restant très appréciée par les individus -, mais elle favorise l'utilisation des transports en commun et la marche à pied, en réduisant les distances à parcourir (NEWMAN & KENWORTHY, 1998) (WIEL, 2001) (CERVERO, 1998) (LEVY, 1998). En effet, les individus ont tendance à privilégier ces types de transports, dits modes « doux » (BURTON, 2000) pour parcourir de faibles distances.

Différentes études ont d'ailleurs montré une hausse de l'utilisation des transports en

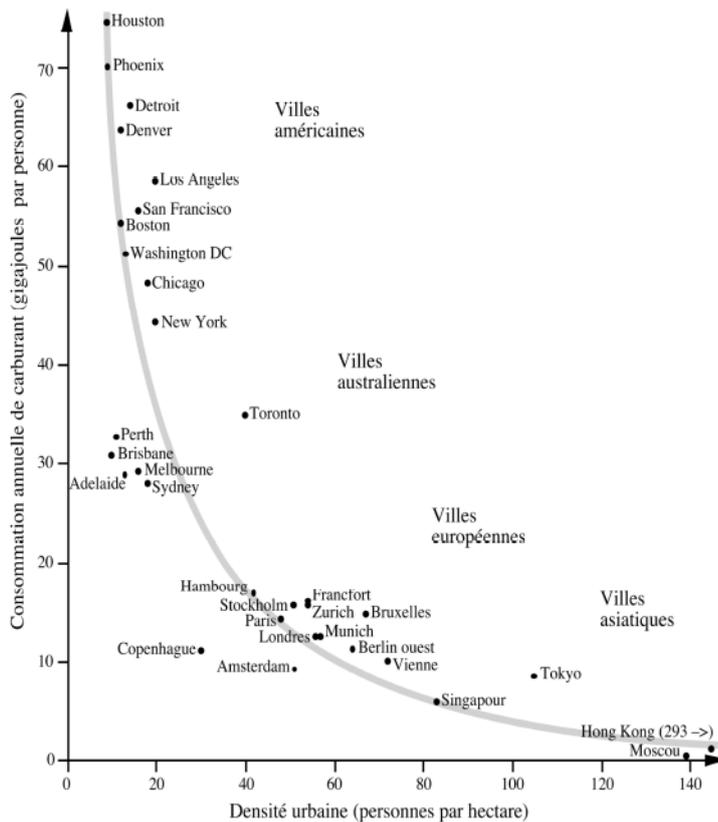


FIGURE 2.9: Courbe de la densité urbaine (personnes par hectare) de Newman et Kenworthy (HÉRAN, 2001)

commun lorsque les densités sont plus fortes, comme dans le cas des villes compactes (EMANGARD, 1994) (KENWORTHY & LAUBE, 1999).

Dans certaines métropoles, et surtout dans leur centre historique, la ville compacte apparaît aujourd’hui comme le retour à la ville pédestre, précédant l’expansion des modes de déplacement rapides (WIEL, 1999). Elle joue pour cela sur le modèle historique de la ville, que les villes européennes refusent d’abandonner.

Cependant l’organisation spatiale de la ville compacte n’est pas en faveur d’une centralité : elle veut, au contraire, promouvoir une polarité en encourageant l’essor d’une multitudes de centralités dans un système réticulaire où tout le panel d’aménités urbaines est réparti dans l’ensemble de la ville. Cette stratégie structurelle est pensée pour favoriser son rayonnement économique. On ne peut pas décrire la structure spatiale de la ville compacte par une forme géométrique. C’est plutôt une planification urbaine qui s’adapte aux morphologies des villes déjà existantes.

Pendant une longue période, la ville compacte s’érige ainsi comme un exemple de planification urbaine, prônant à la fois une économie des territoires non urbanisés, des déplacements et des coûts liés aux constructions urbaines.

On parle alors de ville écologique. Considérée comme le modèle de la ville durable, elle est présentée comme un idéal à suivre, ce que confortent des textes officiels tels que la loi SRU de 2000 (Solidarité et Renouvellement Urbain).

Nombreux sont donc les plans politiques en faveur de la ville durable compacte, no-

tamment en Europe et aux Etats-Unis où les villes ont le plus souffert de l'étalement urbain. Dans l'Etat de Floride, des lois sont même acceptées pour empêcher l'étalement des villes (C.N.U.)³. Les arguments sur l'impact positif de la densification ont donc largement contribué à cette solution (HOTZCLAW, 2000) (LALIBERTE, 2002), avec par exemple la PPG13 en Angleterre (*Planning Policy Guidance*)⁴ ou la politique de l'« ABC »⁵ aux Pays-Bas, où les noeuds d'accessibilité sont les lieux de densification (WELKERS, 1997).

Toutefois, la ville compacte montre ses limites face aux besoins et aux attentes des individus.

La saturation de la ville compacte

En effet, ceux-ci préfèrent résider dans une maison individuelle accompagnée de son jardin (GAULT & BEDEAU, 2007) et, peu enclins à la mitoyenneté, préfèrent maintenir une certaine distance avec leurs voisins. Alors que la ville compacte se caractérise par sa densification humaine et du bâti, les mentalités de ses habitants tendent vers l'étalement urbain.

Par ailleurs, la ville compacte ne répond pas aux attentes écologiques qu'elle devait susciter (NICOT, 1996) (FULFORD, 1996)), à savoir la ventilation des villes, la création d'espaces verts et de nouvelles habitudes en termes de transport :

- par sa trop forte densification, elle ne favorise pas/guère la ventilation des villes (BANISTER, 1992) (OWENS, 1992),
- alors que la grande majorité des habitants souhaite l'accès à des aménités vertes (ANDERSON & WEST, 2006), elle a tendance à les minimiser pour "économiser" ces espaces,
- même si les distances entre deux points se sont réduites, les individus n'ont pas changé leurs habitudes de transports et l'automobile est autant utilisée.

Contrairement à ce qui était espéré, les déplacements au sein de la ville continuent de se multiplier sur un espace fermé, entraînant ainsi plus de congestions en son l'intérieur (ZHAHVI & RYAN, 1980) (PURVIS, 1994) (LEVINSON & KUMAR, 1994). De plus, les gens désireux d'accéder aux espaces verts pour le loisir se retrouvent dans l'obligation de parcourir de longues distances pour s'y rendre. Tous ces déplacements constituent donc une augmentation non négligeable de pollution qui ne répond plus aux espérances envisagées.

Fujita et Turnbull ont tous deux argumenté qu'un développement des villes pouvait être réalisé simultanément à différentes distances du centre urbain si les propriétaires anticipent le développement urbain d'une densité de population élevée (FUJITA, 1982) (TURNBULL, 1988).

Pour les opposants à la ville compacte, concentrer l'ensemble des aménités au centre ville est discriminatoire, car la rente foncière tend à suivre un prix décroissant à mesure

3. C.N.U (Congress for the New Urbanism) (2001) Charter of the New Urbanism. <http://www.cnu.org>.

4. Note d'orientation pour la planification, publiée par le gouvernement.

5. la politique de « l'ABC » repose sur le slogan « the right business at the right place » ; une approche typologique permet d'attribuer une note (de A à C) à chaque activité.

que l'on s'éloigne du centre urbain et, en cas de compacité, le prix des loyers dans les centre-villes risque de devenir trop élevé beaucoup, ce qui aura pour effet d'entraîner leur désertification. On assiste indéniablement à une gentrification depuis une trentaine d'années (BRADWAY-LASKA & SPAIN, 1980) (SMYTH, 1996). Le prix élevé de la rente foncière se répercute naturellement par suite sur le coût du vivre en ville. En effet, suite à la hausse des prix de l'habitat, le propriétaire d'un local de commerce va, à son tour, hausser ses tarifs afin de pouvoir subvenir à la location de son fond de commerce, etc. Toute cette chaîne cyclique entraîne un cercle vicieux qui, à moyen terme, voit transformer les centres urbains historiques, majoritaires dans les villes européennes, en simple musées.

Ainsi, au cours du siècle dernier, les villes ont connu deux transformations morphologiques majeures : l'étalement urbain et la compacité, dont nous avons étudié, pour chacune, bienfaits et inconvénients. Si ces réponses ne semblent aujourd'hui plus appropriées, les raisons ayant mené à ces choix d'aménagement sont toutefois très intéressantes puisque les questions auxquelles elles devaient répondre sont toujours des problématiques actuelles. Par exemple, depuis maintenant plus d'une décennie, les problèmes de qualité environnementale liés aux déplacements automobiles (NEWMAN & KENWORTHY, 2000) sont toujours présents à part entière.

Au final, nous associons à la conclusion portée par Frankhauser et Genre-Grandpierre : la ville compacte et la ville étalée, bien que diamétralement, morphologiquement et idéologiquement opposées, présentent certaines similitudes. Chacune répond aux inconvénients de l'autre par des solutions qui ramènent aux problèmes de chacune. Nous nous trouvons alors confronté à une opposition entre nécessité écologique et besoins d'aménités urbaines (FRANKHAUSER & GENRE-GRANDPIERRE, 1998). Ces auteurs mettent en avant l'importance de la structure hiérarchisée en affirmant que l'optimalité de l'aménagement urbain consiste à minimiser la consommation d'espace et la longueur des déplacements, et respecter la qualité paysagère.

2.4.6 La ville multicritère : un compromis plausible ?

Les populations souhaitent vivre en ville pour bénéficier de l'accessibilité aux aménités urbaines (commerces, services, réseaux de transport etc.) (WITTEN, HISCOCK, PEARCE & BLAKELY, 2008) (BRAMLEY & POWER, 2009) (TANNIER, FRANKHAUSER, HOUOT & VUIDEL, 2006). Elles sont aussi demandeuses d'aménités vertes leur permettant de profiter, aussi au sein de la ville, des avantages existants à la campagne. En effet, de nombreuses études et sondages récents indiquent une forte volonté d'accessibilité au vert de la part des individus, très présente ces deux dernières décennies et qui perdure encore de nos jours (BAR-ILAN & WILLIAM, 1996) (CAPOZZA & HELSLEY, 1990) (IRWIN & BOCKTEAL, 2006) (CINYABUGUMA & MCCONNELL, 2013) (CHOUMERT & TRAVERS, 2010). Le vert en ville devient donc une préoccupation pour la communauté des aménageurs urbains (LEE & FUJITA, 1992) (WU & PLANTINGA, 2003) (WU & PLANTINGA, 2003) et la fin du XX^{ème} siècle voit l'environnement prendre importance considérable, notamment avec le phénomène du développement durable (HART, 2002).

De nombreuses villes en France et en Europe mettent en exergue des politiques favorisant les bienfaits de la nature et portant une attention particulière vers le développement de divertissements ou d'occupations autour d'elle. Les ménages français

désirent un cadre de vie plus calme, à l'opposé de l'effervescence de la ville, avec des habitats plus spacieux pourvus de jardins mais tout en continuant à bénéficier des emplois existants en ville (JEANNIC, 1997b).

Depuis quelques décennies, les villes s'inscrivent dans un virage politique depuis quelques décennies qui est celui des villes durables, dont nous retenons deux caractéristiques majeures :

- l'impact écologique, notamment à travers l'importance de zones vertes implantées au sein de la ville.
- l'emploi du terme « durable » : on veut ici défendre une ville qui peut perdurer dans le temps en réponse aux attentes de ses populations.

Les politiques des villes durables, en accord avec les préférences des individus, font donc concentrer les recherches actuelles vers des modèles où l'espace vert est incorporé dans les objectifs des aménageurs urbains (TURNER, 2005) (CARUSO, PEETERS, CAVALHÈS & ROUNSEVELL, 2007).

Nous allons maintenant étudier trois exemples de villes ayant choisi cette politique : Berlin, Copenhague et les villes anglo-saxonnes avec Londres.

La roue berlinoise

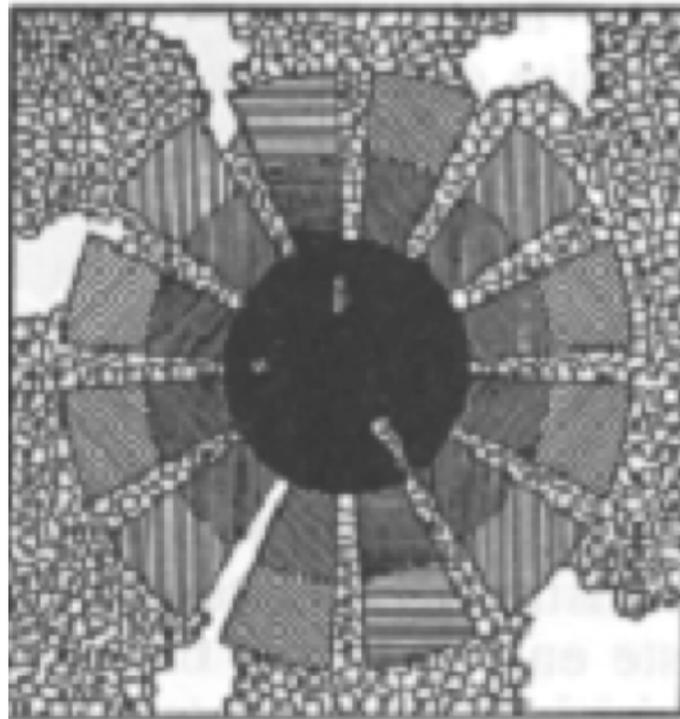


FIGURE 2.10: Schéma Berlin - 1910 -
proposé par Eberstadt, Möhring, Petersen
(EBERSTAD, MÖHRING & PETERSEN, 1910)

Observons la ville de Berlin pour l'agencement des espaces verts qu'elle développa au début du siècle dernier. Si Paris est un exemple pour les villes européennes avec ses

élargissements de voiries lui procurant un système d'aération, les planificateurs berlinois optent, quant à eux, pour un plan de ville circulaire comprenant des diamètres de bordures vertes [Fig. 2.10].

Berlin est donc construite de façon radiale, autour de branches vertes partant du coeur de la ville et se dirigeant vers son extérieur. Cette organisation a pour but de donner un accès au vert au sein du bâti, et ce de manière à ce que l'accessibilité soit identique depuis n'importe quelle position dans la ville.

On peut s'aventurer à dire, avec toutes les réserves nécessaires, que la ville de Berlin a sensiblement bien réussi son implantation d'espaces verts sur son territoire. Comme en témoigne le schéma plus actuel de la ville [Fig. 2.11], elle a gardé ce désir et cette part importante de verdure au sein de son organisation structurelle (« Berlin, métropole naturelle. Le Naturpark Schöneberg Südgelände », 2012).

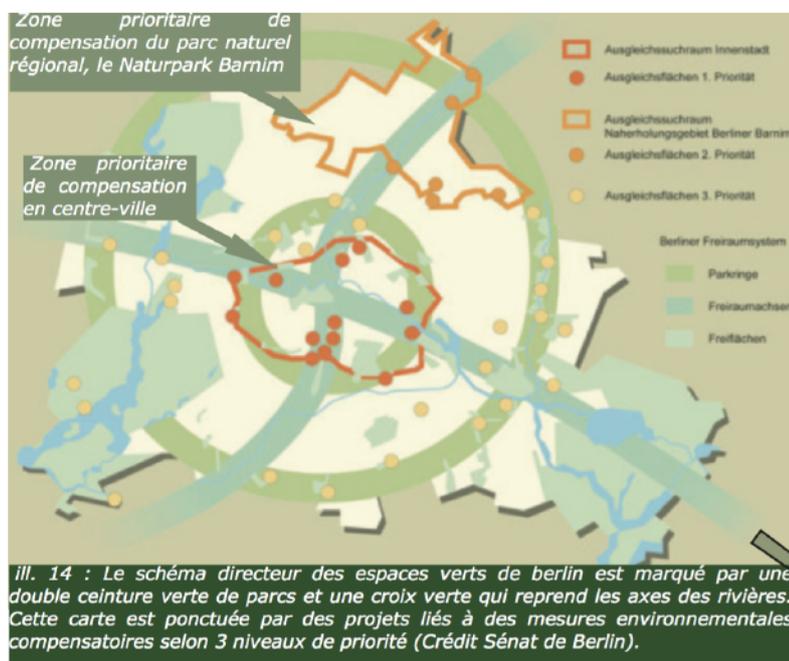


FIGURE 2.11: Schéma Berlin - 2012

La main verte de Copenhague

Un autre référence internationale bien connue des géographes est la disposition morphologique de la ville de Copenhague, caractérisée par son plan en forme de main datant de 1947.

Le réseau urbain existant, ressemblant à une paume de main, a été développé le long de cinq doigts centrés sur des lignes ferroviaires de banlieue. On parle de « corridors d'urbanisation » (BAVOUX, BEAUCIRE, CHAPELON & ZEMBRI, 2005). Entre chaque doigt, l'espace est consacré à des zones vertes et boisées, à la fois agricoles et récréatives pour la population et dont l'accès est aisé pour les habitants des « doigts » [Fig. 2.12]. Ce plan concentre également les zones d'emploi et des activités économiques à proximité des gares.

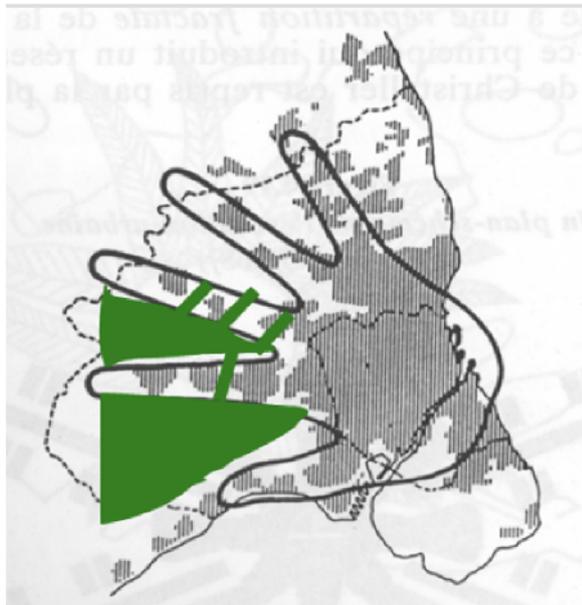


FIGURE 2.12: le doigt de gants de Copenhague

Cette structure, bien que particulière, entre néanmoins dans la catégorie des villes monocentriques. Il est même possible de la classer dans les structures des villes compactes, la démographie à l'intérieur de la paume de la main étant bien plus élevée que celle installées le long des doigts (NÉCHET, 2015).

Cependant, sans rentrer dans les détails, à partir des années 1970, le schéma directeur s'est trouvé quelque peu bouleversé : il a été nécessaire de désengorger le centre historique et il est difficile de faire respecter aux collectivités l'implantation des emplois à proximité des gares. Les doigts se sont alors élargis davantage que ce qui avait été envisagé par les aménageurs urbains ; cela entraînant à terme une hausse de l'utilisation de l'automobile (NIELSEN, 1995).

Toutefois, la ville de Copenhague est un exemple de ville où il fait bon vivre en Europe. Elle le doit certainement à l'éducation de sa population, portée vers le bien de l'espace vert et de l'écologie. En effet, contrairement à de nombreux peuples européens, pour se déplacer en centre-ville, les Danois utilisent les transports en commun et les modes doux, comme le vélo, au lieu de la voiture.

Le modèle anglo-saxon des ceintures vertes

Au milieu du XIX^{ème} siècle, les villes anglo-saxonnes défendent une politique de green-belts visant à contenir l'expansion des villes par des ceintures vertes et offrant, par la même occasion, des espaces verts et une aération de l'espace urbain existant. En Grande-Bretagne, cette politique s'est poursuivie au XX^{ème} siècle avec la mise en œuvre depuis 1945 d'une ceinture verte [Fig. 2.13], efficacement protégée avec pour objectif de bloquer la croissance périphérique londonienne (LACAZE, 2005).

Ce modèle, largement développé dans les cités anglaises, s'est par la suite répandu à Toronto et dans certaines villes de la région côtière du nord-ouest des États-Unis.

Bien sûr, ce ne sont pas les seuls aménagements réfléchis par les planificateurs pour

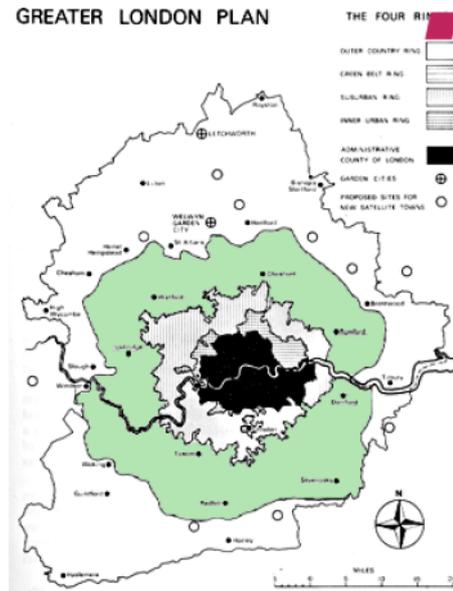


FIGURE 2.13: La ceinture verte de Londres - 1945

amener la campagne à la ville, et ceux-ci sont trop nombreux pour en faire ici une liste exhaustive. On peut cependant citer comme exemples les cités jardins : aux États-Unis, les urbanistes ont fait construire des parcs au sein de villes extrêmement denses, New-York avec Central Park en étant l'illustration la plus connue. On peut aussi citer comme autres exemples, la ville hauteur réalisée par Le Corbusier ou l'apogée de l'Amérique verticale dans les années 1920, avec pour perspective d'offrir plus de verdure aux citoyens en consommant moins d'espaces.

Cependant, ces différentes stratégies urbaines ne sont pas devenues les modèles dominants pour mélanger ville et campagne. Si aujourd'hui Londres garde son principe de ceinture verte [Fig. 2.14], la déconcentration n'est plus chose défendue car elle ne s'inscrit pas dans une perspective de développement durable (APPERT, 2009).

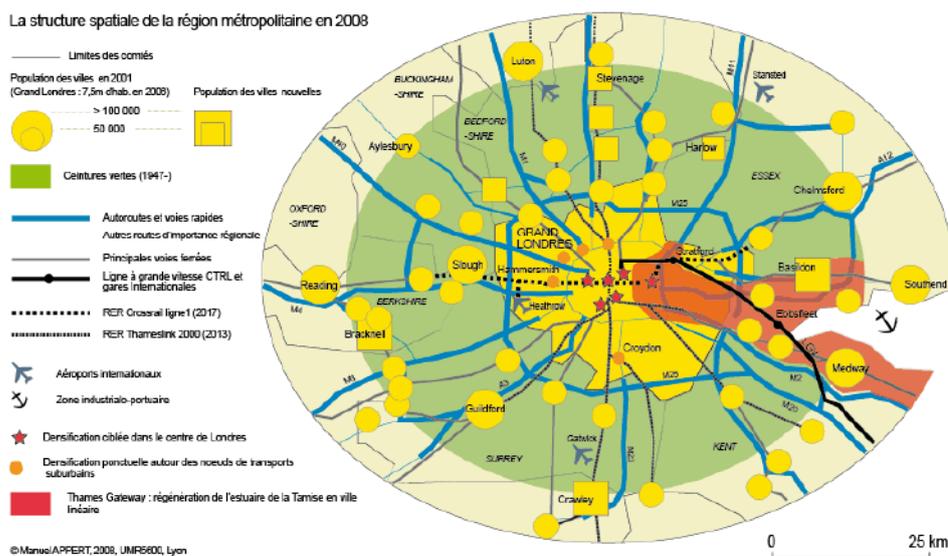


FIGURE 2.14: Plan schématique de Londres - 2008

Les gens fuient la ville pour la campagne, augmentent les distances entre les zones

vertes et les centres urbains., ce qui entraîne, logiquement, des excès de consommation de carbone, d'essence et nuit ainsi à la qualité écologique des espaces occupés par la ville.

On peut alors penser que le pire ennemi de la nature est la ville. Mais ne serait-ce pas en réalité la nature elle-même ? En effet, cette nécessité de verdure et de campagne dans la ville a poussé indéniablement les hommes à venir s'y installer et à détruire les zones naturelles pour satisfaire ce besoin.

Ce qui nous arrête dans toutes ces propositions d'aménagement pour concilier vert et urbain est l'importance considérable des distances que les habitants doivent parcourir au sein de leurs espaces de vie. C'est sur cette base que seront élaborées les réflexions sur les modèles de villes que nous proposerons. Il faut concevoir les villes en mettant la notion de distance au cœur des contraintes : réfléchir à une ville équitable pour tous où la distance est minimisée pour bénéficier des services préférentiels qui importent à chacun.

Enfin, nous verrons que l'organisation spatiale hiérarchisée est une solution présentant des avantages majeurs dans l'organisation urbaine de la ville, notamment dans l'utilisation de l'espace et des déplacements des individus.

A l'inverse, une véritable structure hiérarchique hiérarchisée des espaces verts en ville n'est pas pensée jusque là à travers ces modèles et ne permet ainsi pas une optimisation compensatoire des déplacements entre vert et urbain.

Nous verrons également l'importance de cette hiérarchisation du vert qui peut être la réponse à la généralisation inachevée que cite Glaeser dans son livre : « l'Amérique semblait sur la voie d'une généralisation du mode de vie de Walden dans lequel chacun pouvait être entouré de verdure [...] mais quelque chose s'est dérégulée sur le plan environnemental. »

Quels modèles pour nos villes ?

La ville est donc une entité complexe. Dans un objectif de modélisation de morphologies urbaines, nous avons donc pu faire ressortir une définition relativement élargie de la ville. Celle-ci, avec pour preuves les transformations qu'elle a connues, réagit à plusieurs variables, économiques, comportementales et spatiales. Les décisions sont-elles seulement subies ? Ou bien existe-t-il des méthodes, des théories régissant et permettant d'analyser, de généraliser les nombreux paramètres et variables influant sur ces modifications urbaines ?

Cette complexité a été, en vérité, source d'études et d'analyses, autant en géographie urbaine qu'en d'autres disciplines, à l'aide de modèles. Ceux-ci offrent un moyen de généraliser cette complexité en créant souvent une passerelle entre l'étude quantitative et qualitative.

Ce troisième chapitre présente deux axes d'études : le premier aborde les différents modèles théoriques qui ont marqué l'organisation urbaine et dont on retrouve encore actuellement les effets et résultats au sein du comportement des villes. Les hypothèses sous-jacentes à ces modèles seront des arguments de poids dans les mesures prises plus loin lors de nos propres réflexions sur les formes urbaines.

Le second volet de ce chapitre présente les caractéristiques de la géométrie fractale comme plan de morphologie urbaine. Celle-ci sera l'objectif de nos recherches en modélisation urbaine. Nous allons donc décrire ici les besoins théoriques fondamentaux dont nous aurons besoin pour la modélisation de nos structures urbaines.

3.1 L'organisation spatiale monocentrique

3.1.1 Un principe simple

Le nom seul de cette organisation permet une compréhension intuitive du schéma structurel des villes suivant cet agencement. Ce modèle s'appliquait aux villes essentiellement jusqu'à la période de la révolution industrielle.

L'organisation monocentrique d'une ville est prépondérante lorsque celle-ci possède autour de son centre, une périphérie qui ne contient aucune offre urbaine. Von Thünen, Alonso, Muth, Fujita, Solow et Mills (ALONSO, 1964) (MUTH, 1969) (OGAWA & FUJITA, 1980) (MILLS, 1967), ont porté leurs travaux sur le rapport de la puissance du pôle central sur le territoire rural à son extérieur.

Pour une ville, ce modèle consiste à regrouper l'ensemble de ses différentes offres en son centre. Ces offres se caractérisent à la fois par les espaces dédiés à l'exercice du pouvoir politique, aux pratiques culturelles, religieuses et aux activités commerciales (MUMFORD, 2011).

Ainsi, dans les modèles de ville précédant la révolution industrielle, le centre-ville était considéré comme la place forte de la ville. Très peu d'échanges étaient effectués avec les zones périphériques, puisque le centre urbain les polarisait quasiment toutes.

Les activités se nourrissent ainsi entre elles, en profitant de l'attraction qu'elles s'échangent, et se renforcent donc dans cet espace fermé.

Le système monocentrique est caractérisé par une organisation aréolaire où l'on retrouve, dans chaque aréole, une spécificité fonctionnelle (BURGESS, 1925).

La forme urbaine radio-concentrique est, par conséquent, la forme adaptée que l'on voit émerger dans un système d'organisation monocentrique. Elle constitue pour les villes de l'époque « un outil économique ayant émergé dans l'histoire pour résoudre les problèmes posés par le coût et la lenteur des transports en agglomérant les industries et les emplois dans et autour d'un centre et le long des voies radiales de pénétration et de transport » (COSINSCHI & RACINE, 1998).

3.1.2 La ville vue comme modèle

Modèle de Von Thünen

Si l'on considère le territoire uniquement selon une approche économique sans prendre en compte ses autres atouts géographiques, on peut alors l'appréhender comme un espace homogène et continu. Dans cette perspective, le centre-ville peut être alors perçu comme le lieu névralgique empêchant toute anarchie ou chaos urbain. Il devient le cœur régulateur des dynamiques de la ville monocentrique.

Ainsi, le modèle de Von Thünen, représenté par un schéma de cercles, est le premier modèle élaboré au XIX^{ème} siècle, correspondant à la stratégie économique reflétée par la ville monocentrique. Il traduit la répartition des lieux de productions agricoles dans une plaine isotrope en fonction de la distance au centre-ville.

La ville est organisée selon des cercles concentriques autour de la ville-marché [Fig. 3.1]. Chacun d'eux contient des activités réparties de manière à optimiser les revenus des producteurs en fonction des distances à parcourir jusqu'au centre.

L'optimisation des distances se fait par rapport à la fréquence d'importation au marché agricole. Plus les produits sont consommés, plus ils sont cultivés à proximité du centre, l'endroit où s'échangent les biens.

Intéressons-nous à présent sur la valeur de la rente foncière dans ce modèle. Les propriétaires terriens souhaitent évidemment maximiser leurs profits quant à la location ou la vente de leurs terres (GUIGOU, 1982). Ainsi, plus on s'approche du centre,

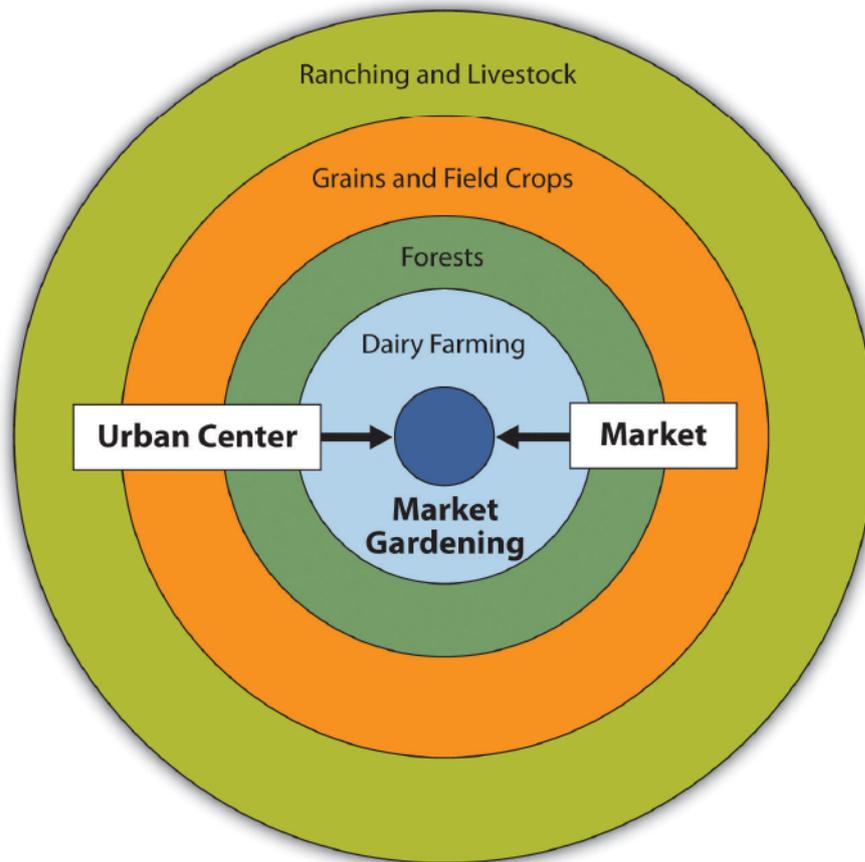


FIGURE 3.1: Schéma des cercles de Von Thünen

plus les prix sont élevés car la distance au marché diminue et les coûts de transports sont moindres. La rente foncière devient donc une rente de localisation et non plus une rente de fertilité (BAROND, 1993).

Claude Ponsard explique que « par le jeu des variations de la rente foncière, le paysage des campagnes devient intelligible économiquement » (PONSARD, 1995).

Un résumé du modèle de Von Thünen se fait comme suit :

Le modèle de départ est un modèle d'« état isolé » respectant les conditions suivantes :

- Une ville unique est située au centre d'un « État isolé » et constitue l'unique marché (ponctiforme) pour les produits agricoles. L'emploi d'état isolé caractérise le fait qu'il n'y a pas de commerces extérieurs ;
- L'État est une plaine uniforme au point de vue physique (sol, climat, topographie, fertilité etc.). C'est ce qu'on a présenté comme espace homogène et continu ;
- Il n'y a pas de routes et les conditions de transport sont identiques dans toutes les directions ;
- Les prix sont fixes ;
- Les producteurs souhaitent maximiser leur profit.

Soit on note, pour chaque produit i :

- R_i : rente foncière ;
- p_i : prix du marché du produit i par unité de surface ;
- c_i : coût de production de i par unité de surface ;
- T_i : coût du transport de i , par unité de distance pour le produit d'une unité de surface ;
- d : distance à la ville (centre).

Ainsi, la rente foncière (profit) pour un produit i , à une distance d du centre est définie par l'équation (3.1) :

$$R_i = (p_i - c_i) - T_i \times d \quad (3.1)$$

Pour chaque produit i par unité de surface, la rente, fonction de la distance, est représentée par une droite décroissante de pente $-T_i$ et dont l'ordonnée à l'origine est égale à $p_i - c_i$. On obtient donc un gradient de rente décroissant avec la distance au centre d . La surface est dédiée à la culture du produit qui offre la rente la plus élevée aux propriétaires fonciers. La configuration des différentes cultures suit alors la forme de cercles concentriques [Fig. 3.1].

Actuellement, en raison des hypothèses relatives à l'uniformité théorique du territoire considéré, il est légitime de s'interroger aujourd'hui sur la capacité du modèle de Von Thünen à représenter les villes actuelles (BAILLY, BEGUIN & SCARIATI, 2016). Celles-ci ont suivi la révolution des transports et la mondialisation, sources d'une hétérogénéité de l'espace (BAROND, 1993). Néanmoins, on constate la véracité de son modèle sur des territoires opérationnelles. L'espace agricole uruguayen (GRIFFIN, 1973), les répartitions des productions agricoles autour de Buenos Aires dans la Pampa argentine (MOINDROT, 1994) et les principales cultures dans le Bassin parisien en auréoles spécialisées, plus ou moins déformées tout autour de Paris (BRUNET, 1980), illustrent bien le caractère opérationnel de ce modèle.

Les écrits de Von Thünen, et plus particulièrement son ouvrage de 1826 *Der isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie*, le caractérisent souvent comme l'inventeur de l'économie spatiale (BAROND, 2004). Il est en effet le précurseur d'autres travaux traitant des mêmes concepts.

Nous allons maintenant étudier d'autres modèles basés sur l'approche économique dont l'objectif est de formaliser l'organisation spatiale des individus dans la ville.

Modèles de Solow-Mills et d'Alonso-Muth-Fujita

Les modèles de Thünen, Solow-Mills, Alonso-Muth sont des modèles à espace continu basés sur le principe d'accessibilité et de proximité (CAMAGNI, 1992) qui permettent de décrire les principaux phénomènes urbains.

Ces modèles sont développés à partir d'hypothèses de maximisation des profits et de l'utilité individuelle. En simplifiant les hypothèses de la structure de la ville, trop complexes pour être modélisées, on définit les préférences de localisation des activités productives et résidentielles.

Nous allons porter notre attention sur ces préférences résidentielles.

Ces deux modèles (modèle de Solow-Mills puis modèle d'Alonso-Fujita-Muth) consistent à maximiser la fonction d'utilité de l'individu quant au choix résidentiel. Ce choix se fait en fonction du lieu et de la taille du logement.

- Les hypothèses qui président à la formalisation de ces modèles sont les suivantes :
- Le centre-ville ou encore le Centre des Affaires (*CBD* : Central Business District) rassemble toutes les activités relatives au travail. Les résidences des ménages qui vont y travailler forment autour de lui une couronne spatiale homogène (d'un point de vue économique comme physique).
 - Les individus ne possèdent que deux types de biens. Le premier, la résidence à laquelle est assimilée le foncier, est noté A . Le deuxième réunit tous les biens autres que le foncier. Il est noté B .
On note r le prix de la rente foncière et p_b celui des autres biens. p_b est constant tandis que le prix de la rente varie en fonction de la distance au *CBD*.

Modèle de Solow-Mills

Ici, Solow et Mills, économistes américains ont recours à la fonction d'utilité pour caractériser l'individu. Succinctement, la fonction d'utilité représente ce que ressent le consommateur lorsqu'il utilise x quantités d'un bien X et y unités du bien Y .

Dans leur modèle, l'individu cherche à maximiser sa fonction d'utilité U par rapport à la disponibilité des deux types de biens A et B , en quantités, sous un revenu Y maximum.

$$\text{Max : } U = U(A_\delta, B) \quad (3.2)$$

$$\text{avec : } Y^* = Y - \tau\delta = r(\delta)A_\delta + p_b B \quad (3.3)$$

L'équation (3.3) est dite « équation bilan ». Elle permet de traduire comment le revenu net Y^* , correspondant au revenu Y privé des coûts de transport¹ $\tau\delta^2$, se dépense en biens A et B .

La résolution de ce système d'équation s'obtient mathématiquement en construisant le Lagrangien de (3.2) - (3.3). Elle détermine les conditions de l'équilibre de l'individu qui souhaite être sur la courbe d'utilité la plus haute pour chaque distance au centre δ^* ³, par rapport à ses possibilités économiques exprimées par (3.3). On obtient l'emplacement de résidence optimal de l'individu, noté A^* [Fig. 3.2], caractérisé par⁴ :

1. Le coût de transport est défini dans ce modèle aussi bien par les coûts réels que par la dépense due au temps de transport.

2. δ représente la distance parcourue et τ le coût unitaire à cette distance.

3. $r(\delta^*)$ est le coût de la rente foncière en fonction de la distance au CBD, δ^* , déterminé au départ et de manière endogène.

4. preuve :

$$\mathcal{L} = U(A, B) - \lambda(r_\delta A + p_b B - \tau\delta - Y) \quad (3.2bis)$$

On pose les deux premières dérivées partielles égales à 0. On a alors :

$$-\frac{r}{p_b} = \frac{U'_A}{U'_B} = \frac{dB}{dA} \tag{3.4}$$

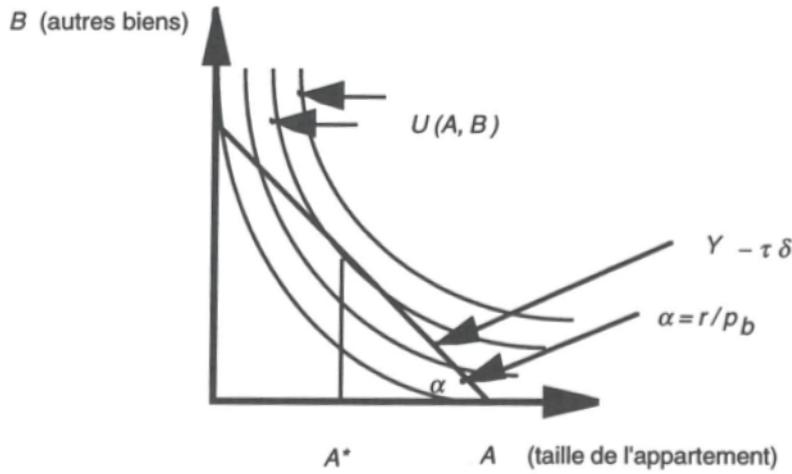


FIGURE 3.2: Equilibre du consommateur (CAMAGNI, 1992)

Développons ici deux précisions du modèle et de sa construction, sur lesquelles nous nous appuyerons dans la construction de nos propres modèles de villes.

La première porte sur l'emplacement optimal attribué à l'individu. En réalité, peu importe de connaître la position de l'individu sur le territoire ; c'est la valeur des prix de la rente foncière qui permet d'arriver à une situation d'équilibre satisfaisant à chaque individu. La deuxième suppose, sachant que le modèle est un modèle d'équilibre général^{5 6}, des revenus et des fonctions d'utilités égaux pour chaque individu.

On peut porter une conclusion globale de ce modèle ; à l'équilibre, l'individu gagne un coût de rente en s'éloignant du centre égal aux coûts d'accessibilité au *CBD*. Ainsi, plus l'individu se rapproche du centre, plus il réduit sa consommation en d'autres biens (un appartement plus petit) lui permettant de consommer d'autres avantages de sa proximité au centre et réciproquement.

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial A} = U'_A - \lambda r \delta = 0 \quad U'_A = \lambda r \delta \tag{3.3bis}$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial B} = U'_B - \lambda p_b = 0 \quad U'_B = \lambda p_b \tag{3.3ter}$$

La définition de courbes d'indifférence nous donne $U'_A \cdot dA = -U'_B \cdot dB$ et en divisant membre à membre, on retrouve l'équation 3.4.

5. Le mot « équilibre » désigne la satisfaction de chacun, c'est-à-dire qu'il ne cherche plus à « évoluer » (à faire de nouveaux échanges). L'adjonction de l'adjectif « général » s'explique par le fait que l'ensemble des échanges de l'économie, qui concerne tous ses biens, sont pris en compte en ne tenant pas compte des interactions de ses échanges avec ceux qui portent sur les autres biens.

6. La méthode du modèle économique général repose sur deux principes : une modélisation des agents économiques au niveau microéconomique (ménages, entreprises, État) et une utilisation des données passées pour calibrer un modèle

Modèle d'Alonso-Fujita

L'approche de Solow-Mills et la solution du modèle relève de la théorie d'économie pure avec la maximisation de la fonction d'utilité indirecte⁷.

Le modèle proposé par Alonso-Fujita mène à la même conclusion mais le résultat est obtenu avec une approche résultant de l'économie territoriale (ALONSO, 1964) (FUJITA, 1989).

Ce modèle illustre le cas du propriétaire qui vend sa terre au plus offrant. Les individus proposent alors le niveau de rente maximum compatible avec leur équilibre d'utilité. Ils cherchent donc à maximiser $r(\delta)$, leur rente en fonction de la distance au CBD, sous la contrainte de leur équilibre d'utilité U^* . Dit autrement, l'individu cherche à s'offrir la meilleure terre, donc la plus proche des aménités situées au CBD. Puisque la rente foncière décroît à mesure qu'on s'éloigne du centre, cela correspond pour l'individu à maximiser ses dépenses pour r .

Ainsi, de (3.3), le modèle consiste à maximiser pour l'individu :

$$r(\delta) = \frac{Y - p_b B - \tau \delta}{A_\delta} \quad (3.5)$$

et (3.2) devient la contrainte en ajoutant maintenant dans les variables d'utilité la distance au centre δ :

$$U^* = U(A, B, \delta) \quad (3.6)$$

Concrètement, l'individu souhaite atteindre un niveau d'équilibre et d'utilité maximum. Il choisit la valeur maximale de la rente foncière, qu'il peut ainsi payer avec ce niveau d'utilité et, par suite, la taille maximale de son terrain résidentiel (*bid-max lot size*).

Deux cas de figures sont ainsi à considérer :

- Si on se trouve en ville, la rente effective est une courbe d'offres de rente, car sinon chaque individu améliore sa position en imitant le choix de localisation d'un autre. Elle correspond à l'utilité maximale accessible sur la base de l'optimisation du problème de Solow (CAMAGNI, 1992).
- L'autre intérêt de ce modèle se trouve dès lors que les individus circulent librement sur le territoire et peuvent s'installer en ville ou à l'extérieur. Ici, la population n'est pas connue à l'avance et le choix des implantations détermine la frontière de la ville et, par suite, la population de la ville. Maintenant, en déplaçant la localisation d'un individu pour accroître son utilité, on diminue obligatoirement celle d'un autre individu.

Ainsi, dans ce modèle, les individus ne sont plus tous égaux. Le terrain est disposé suivant ce que chacun est susceptible de proposer comme offre maximale.

On retrouve alors le système radio-concentriques élaboré par Von Thünen, dans lequel les différentes classes sociales résident dans les différentes couronnes.

Toutefois, on peut estimer cette différence comme un choix volontaire de résider proche ou plus loin du centre-ville suivant les aménités préférées par l'individu. Les individus souhaitant bénéficier de l'attraction du centre s'installent à sa proximité mais à des

7. La fonction d'utilité indirecte fournit la satisfaction retirée en termes de revenu et de prix.

prix plus élevés. En contrepartie, ils n'ont pas les frais de déplacements pour parcourir une distance plus éloignée pour s'y rendre.

3.2 Une organisation pas si centrée

3.2.1 Organisation hiérarchisée des villes

Dans cette section, les modèles et organisations qui nous intéressent sont des phénomènes observés entre différentes cités urbaines. Cette approche est qu'elle explique la taille et le nombre des villes, en prenant en compte leur position dans un territoire. Ces théories concernent également leur organisation intérieure, surtout pour une zone métropolitaine. Les quartiers ou arrondissements remplacent alors les différentes villes. Nous nous intéresserons ici à une vision économique de ces modèles hiérarchisés.

Cette organisation hiérarchique des villes, dénommée la théorie des lieux centraux, est fondée sur la distinction entre les centres, qui sont le siège d'une offre de biens et de services, et des périphéries (région complémentaire du centre) où réside la demande, c'est-à-dire la population utilisatrice (PUMAIN, 2004).

Les différentes villes créées au cours du temps vont connaître des différences d'accroissement et de rayonnement. S'installe alors, entre les villes, une différence de hiérarchies.

Celles-ci se mesurent par la variété des services octroyé à la population. Les villes proposant les mêmes biens dans leurs panels d'offres sont donc situées sur le même échelon hiérarchique, tandis que celles qui rassemblent, en plus, des services spécialisées ou plus rares bénéficient d'une aire d'influence plus importante.

Prenons comme exemple l'orchestre de Berlin, souvent considéré comme le meilleur orchestre du monde. Par son excellence, il constitue une offre rare qui ne peut être reproduite dans chaque ville. L'orchestre rayonne alors non seulement pour Berlin mais également pour ses alentours. Musicalement, Berlin a une hiérarchie plus importante (elle est même numéro une) que toutes ses voisines.

Nous retrouvons cet exemple se retrouve pour d'autres aménités tels que l'ensemble des services administratifs, écoles, santé transports et activités économiques, car on ne peut pas créer une préfecture, une université, etc. dans chaque ville.

Le système hiérarchisé contient un centre principal qui propose la totalité des services, rares comme fréquents. A l'échelon hiérarchique inférieur, on trouve un certain nombre de centres comprenant tous les services à l'exception de ceux très rares qu'on ne trouve que dans un centre plus important. Puis à un échelon encore inférieur, on va trouver des centres qui ne contiennent qu'une partie des services présents dans les centres de degrés supérieurs et ainsi de suite. On assiste donc à une sorte d'emboîtement d'échelles des centres en fonction de leurs hiérarchies, jusqu'aux centres les plus petits qui n'offrent plus que des services destinés à leur population locale.

Logiquement, plus le niveau de hiérarchie diminue, plus le nombre de villes augmente.

Les précurseurs de cette théorie des lieux centraux sont Christaller et Lösch qui, à travers leurs modèles d'organisations spatiales, ont fondé les bases de cette organisation

polycentrique hiérarchisée. Il convient ici d'étudier l'organisation structurelle induite par ces modèles.

La structure Christallérienne

Walter Christaller, géographe allemand, élabore en 1933 (CHRISTALLER, 1933) un modèle mettant en scène le résultat d'emboîtement d'échelles des villes classées suivant leur aire d'influence : « Cette analyse hiérarchique reste elle aussi attachée à la conception classique de la centralité. A l'échelle spatiale de la plus grande aire de marché, il existe un et un seul centre de niveau supérieur et toute cette région dépend de lui. C'est une conception très « territoriale » de la centralité. On est toujours dans une variation sur le thème centre-périphérie, où différents niveaux de centralité s'emboîtent les uns dans les autres » (BOURDEAU-LEPAGE, 2009).

Christaller se focalise dans son modèle sur deux aspects : l'un concerne la disposition des villes sur le territoire. L'autre s'intéresse à la surface occupée par la ville (FRANKHAUSER, 1994). Il observe comment une hiérarchie urbaine s'installe en fonction de biens et services urbains inégaux.

Comme pour le modèle de Von Thünen, on émet l'hypothèse que l'espace est homogène. La densité de population est uniforme et les habitants ont tous un revenu identique. Les caractéristiques physiques et infrastructurelles sont également réparties de manière homogène. Seuls les coûts des transports dépendent de la distance au centre. Autre hypothèse importante, que nous utiliserons plus tard dans nos modèles, l'individu agit de manière rationnelle et cherche à consommer ses biens en dépensant le minimum, ce qui suggère ici de parcourir la plus faible distance.

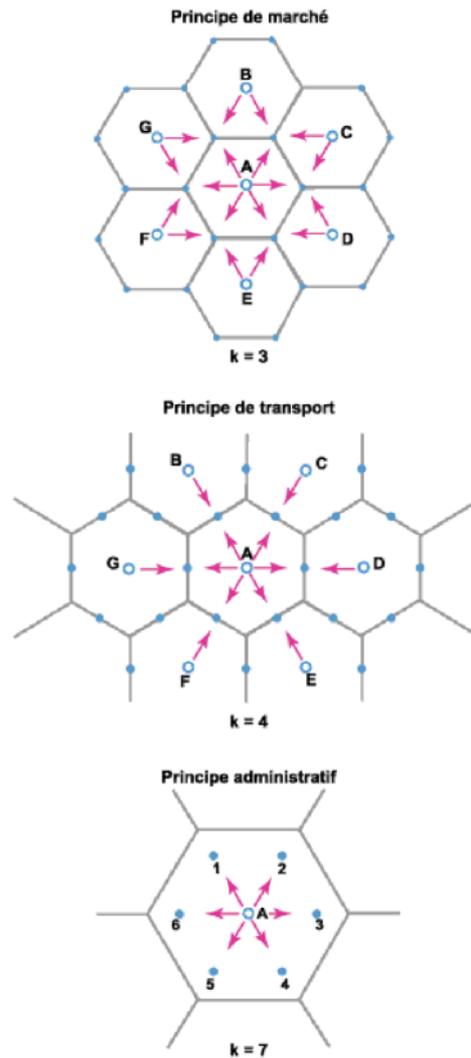
L'organisation spatiale optimale qui permet de desservir toute la population, recouvrant ainsi tout l'espace sous forme d'un pavage du territoire, se présente de trois manières différentes suivant que l'on favorise le principe du marché, du transport ou l'administratif [Fig. 3.3].

Le principe de marché optimise la position des villes si l'on veut maximiser le nombre de lieux centraux, en assurant une équité entre les centres de même hiérarchies. Ainsi, au sommet d'un triangle équilatéral, on dispose les villes d'un même niveau hiérarchique. La limite de son attractivité est stoppée au milieu de chaque côté du triangle. L'espace étant homogène, l'optimisation de la répartition des villes se fait par leur localisation aux centres et aux sommets de figures hexagonales régulières. De fait, chaque lieu central situé au centre d'un hexagone dessert, en plus de lui-même, six lieux centraux positionnés à ses sommets sommets qui appartiennent également, chacun, à deux autres hexagones adjacents.

Dans cette organisation, on multiplie par 3 le nombre de villes et d'aires de marché lorsqu'on passe d'un niveau hiérarchique supérieur à un niveau inférieur.

Le rapport k se calcule tel que : $k = \left(6 \times \frac{1}{3}\right) + 1 = 3$ qui correspond à trois aires mineures pour une aire majeure.

Les trois principes d'organisation des lieux centraux selon W. Christaller



Dans la structure de forme aréale du principe de marché, le nombre de centres de niveau inférieur, desservis par un centre supérieur est de 3 ($k = 3$, c'est à dire : le centre principal complété par six fois un tiers d'hexagone) Dans le cas du principe de transport, les centres de consommation sont situés le long d'axes de transport, au centre d'une limite d'attraction entre deux centres principaux. Dans ce cas, le principe multiplicateur est de 4 ($k = 4$). Dans le principe administratif, il n'y a pas partage d'attraction, les 6 centres inférieurs sont sous le contrôle d'un seul centre supérieurs. Le coefficient multiplicateur est donc de 7)

FIGURE 3.3: Schéma des trois principes de Christaller

Le principe du transport s'intéresse quant à lui à l'économie dans les déplacements entre les lieux centraux de même grade. Ici, l'objectif est de minimiser les frais de transports.

Si l'on considère un réseau de transport reliant les centres de forte importance, Christaller établit que les lieux centraux d'importance secondaire se positionnent non plus entre chaque triade comme dans le principe de marché, mais au milieu des segments formés par les hexagones initiaux. Ainsi chaque lieu central, positionné au centre de l'hexagone dessert 6 lieux secondaires positionnés sur les côtés de l'hexagone et qui l'encerclent. De manière réciproque, chaque lieu secondaire est desservi par deux lieux centraux de hiérarchie supérieure.

Ainsi dans ce principe du transport, on réitère le rangement des villes de tailles différentes le long d'un axe suivant une disposition en boucle comme par exemple : ville

village, petite ville, village, ville, etc...

Dans un hexagone complet, le rapport entre deux échelons s'explique par une unité pour le lieu central (au centre de l'hexagone) et 6 fois un demi pour chaque lieu central positionné sur les milieux des arêtes de l'hexagone. Et donc, on obtient $k = \left(6 \times \frac{1}{2}\right) + 1 = 4$.

Enfin Christaller propose une autre logique appelée principe d'organisation administrative. Ici, la ville est représentée seulement par ses fonctions d'encadrements politiques et administratives. A l'évidence, il n'existe pas de concurrence de territoire sur ces caractéristiques.

On se retrouve donc avec un système d'organisation pyramidale où les fonctions des centres secondaires sont internes (en terme d'aires de marché) aux lieux centraux de niveau supérieur. Ainsi Christaller dispose les 6 villes secondaires à équidistances du centre supérieur, soit aux sommets de l'hexagone encadrant le centre principal. Ce dernier exerce donc son pouvoir administratif sur les 6 pôles secondaires. Ainsi un centre principal au centre d'un hexagone domine 6 centres d'un niveau secondaire et l'aire de sa zone d'influence est sept fois celle d'un centre de niveau inférieur.

Le coefficient numérique se trouve donc par : $k = (6 \times 1) + 1 = 7$.

Avantages du modèle de Christaller

Bien que le raisonnement de Christaller soit fait essentiellement de façon qualitative, il n'en reste pas moins que son modèle est tout à fait acceptable. Les postulats suivants proposés par Camagni dans son ouvrage (CAMAGNI, 1992) et réfléchis par Beguin (BEGUIN, 1988) permettent de le justifier :

- Le comportement d'optimisation des consommateurs : en effet les aires de marché sont séparées et ne se superposent pas.
- l'espace économique homogène, où pourtant les agglomérations surgissent pour des raisons économiques ;
- un coût de transport proportionnel à la distance ;
- la présence d'économies d'échelles, implicites dans le concept de seuil minimal de production ;
- l'existence d'économies d'agglomérations implicites dans l'affirmation que le nombre de centres doit être minimisé, et par conséquent dans la présence de toutes les productions d'ordre inférieur dans les centres d'ordre supérieur
- la couverture complète de l'ensemble du territoire, de façon à ce que tous les consommateurs aient accès à l'ensemble des biens disponibles (critères d'équité).

La théorie des lieux centraux est capitale dans l'analyse spatiale en géographie. Bien que certains principes de Christaller aient été réfutés, comme nous le verrons par la suite, cette disposition hiérarchique ou tout du moins ces principes de hiérarchie resteront utiles à nos travaux.

Les imprécisions de Christaller et le modèle de Lösch

On associe souvent les modèles de Christaller et de Lösch par la similitude spatiale hiérarchisée de leurs organisations.

Si Christaller était géographe, August Lösch était économiste allemand. Il fonde sa théorie sur le principe de hiérarchie en s'appuyant sur des caractéristiques économiques et formalise beaucoup plus son principe de hiérarchie.

Lösch ne généralise pas Christaller, mais le réfute. En effet, une erreur de ce dernier réside dans la modélisation géométrique de ses hexagones : concrètement, les surfaces de rayonnement des aires de marché qu'il propose respectent une aire circulaire mais ne correspondent pas exactement à la répartition hexagonale des villes telles que construites dans son modèle.

Lösch ne conçoit pas un modèle possible sans que la base géométrique, et donc mathématique, ne soit vérifiée. Contrairement à Christaller qui choisit une forme empirique pour élaborer son modèle, il défend une formulation mathématique basée sur des principes d'économie.

Il conserve les hypothèses utilisées par Christaller et Von Thünen et détermine son modèle spatial en s'appuyant sur des demandes individuelles et des coûts exogènes. Il tient compte également d'un équilibre économique-spatial stable (CAMAGNI, 1992). On observe alors la même répartition spatiale hexagonale mais avec une répartition homogène des centres.

Alors que Christaller cherchait comment les espaces urbains se structuraient, Lösch s'est plutôt intéressé à la forme des espaces économiques par la théorie des aires de marché afin de répondre à la question suivante : la localisation des entreprises étant connue, comment les limites de leur aire de marché, les prix et les parts de marché vont-ils se fixer ?

Le schéma suivant [Fig. 3.4] traduit le cas général de la théorie des aires de marchés :

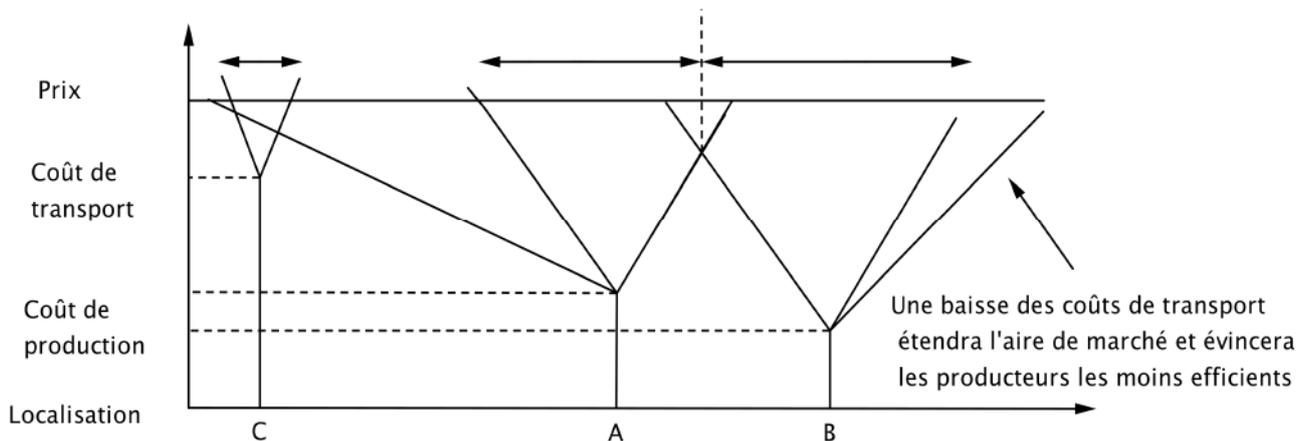


FIGURE 3.4: Lösch : théorie des aires de marché, Cas général

une baisse des coûts de transport étendra l'aire de marché et évincera les producteurs les moins efficaces.

Dans le cas où la part de marché d'une entreprise X croît, on décrit l'effet par le schéma suivant [Fig. 3.5] :

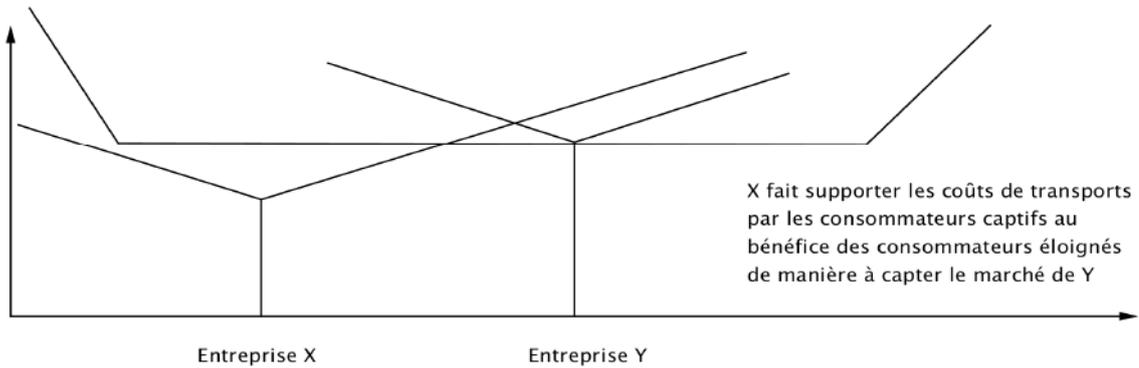


FIGURE 3.5: Lösch : Politique d'accroissement de part de marché de X

X fait supporter les coûts de transports par les consommateurs captifs au bénéfice des consommateurs éloignés de manière à capter le marché de Y.

La problématique de Lösch est alors la suivante : comment se déroule le processus d'optimisation entre choix de localisation et répartition de la production ?

Les hypothèses nécessaires à son modèle sont :

- plaine homogène ;
- coûts de transport payés par les individus ;
- entreprises bénéficiant d'économies d'échelle

L'aire de marché d'une entreprise dépend à la fois des coûts de production et des coûts de transport [Fig. 3.6].

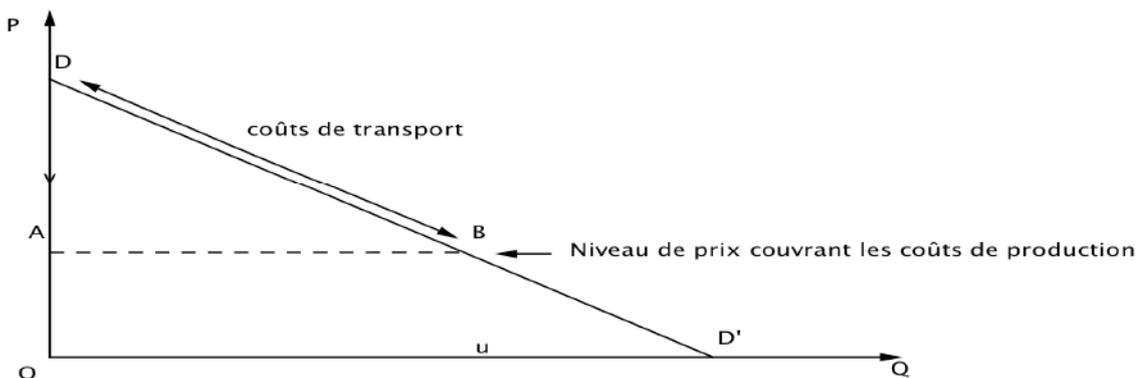


FIGURE 3.6: Lösch : coûts des productions et transports

L'aire de marché sera finalement proportionnelle au segment total $[AD]$.

Ainsi, une extension de l'aire aura pour double conséquence :

- un accroissement des coûts de transport ;
- une hausse des économies d'échelle.

L'aire de marché du secteur peut finalement se concevoir géométriquement de telle sorte : [Fig. 3.7].

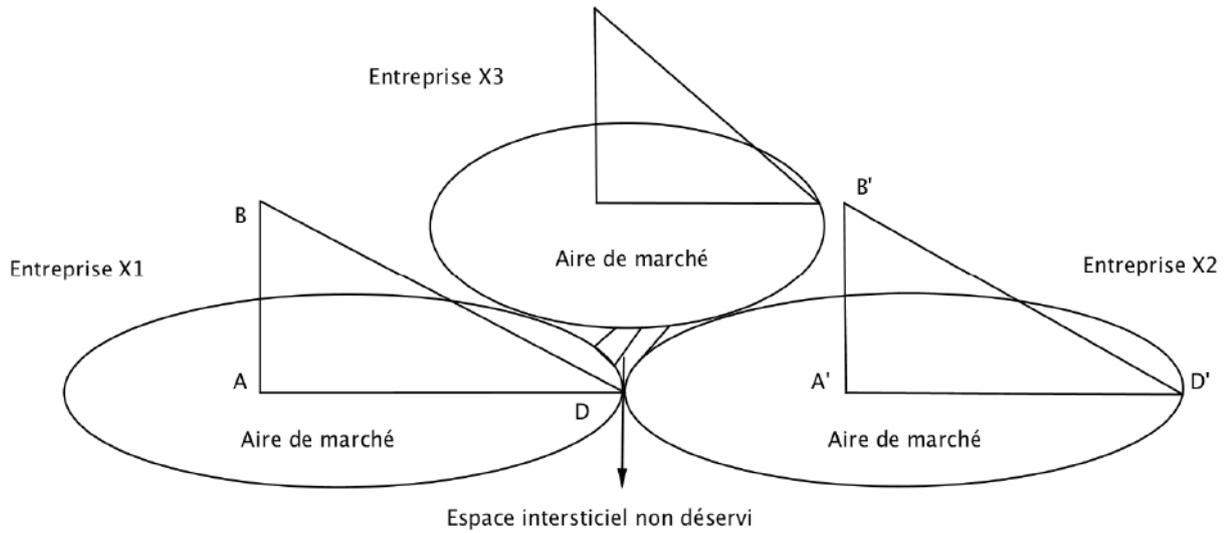


FIGURE 3.7: Lösch : Aire de marché du secteur

Ainsi, l'hexagone est la surface géométrique s'approchant le plus du cercle, ou s'éloignant le moins. On a alors un système en structures hexagonales pour une branche d'activité [Fig. 3.8].

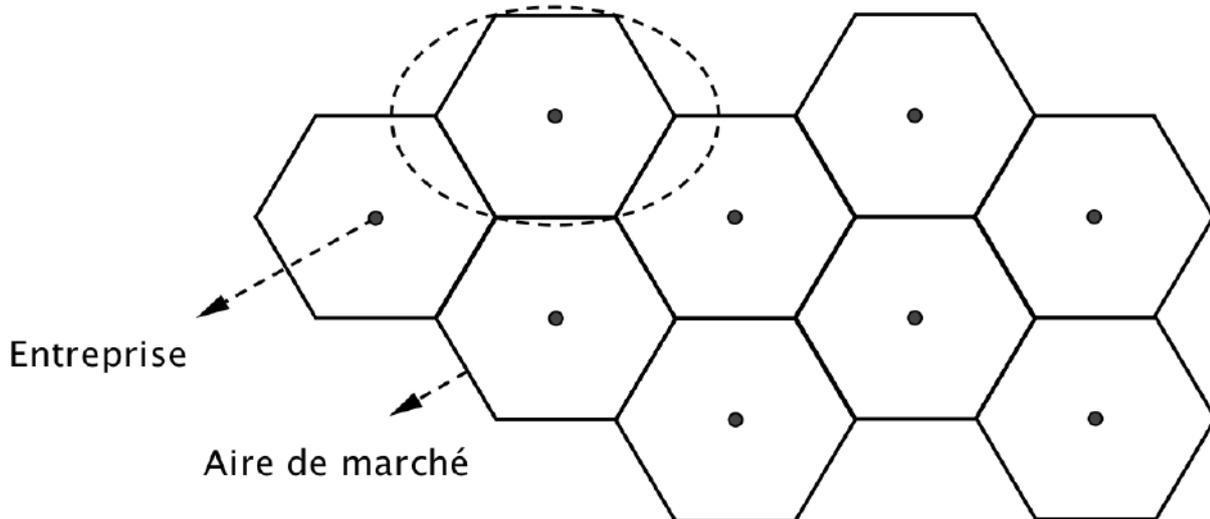


FIGURE 3.8: Lösch : Schéma structurel

Lösch a ainsi défini des niveaux de hiérarchisation plus nombreux, dans un système plus complexe que celui de Christaller, mais qui génère au final une forme comparable. Toutefois, l'auteur nous met en garde sur l'omniprésence de la rationalité du marché dans son modèle, et reconnaît que, dans la réalité, les choses ne sont pas si simples.

Intérêt des deux modèles

La force de la théorie des lieux centraux réside en ce qu'elle construit un espace hétérogène et un paysage urbain cohérent, ordonné hiérarchiquement (CAMAGNI, 1992).

Il s'agit d'un raisonnement heuristique qu'emploient les deux auteurs. Leurs études sont construites à partir d'hypothèses et de choix existants, mais leurs propositions de modèles sont des réflexions « personnelles » répondant aux contraintes établies. Ce n'est que par la suite qu'intervient une vérification des propositions théoriques dans la réalité. Evidemment, l'égalité entre théorie et réalité n'est ni une exactitude parfaite, ni toujours vérifiée. Cependant, ils décrivent l'organisation d'un grand nombre de villes.

Les hypothèses utilisées par Christaller et Lösch dans leur modèle sont aussi des hypothèses sur lesquelles nous nous appuyerons lors de la conception des modèles théoriques présentés dans notre deuxième partie.

3.2.2 Organisation polycentrique

Concept et nouveautés

Par opposition aux villes monocentriques, l'organisation polycentrique conçoit l'espace comme une organisation répartie sur différents pôles où se partagent les diverses attractivités de la ville.

Dans une ville polycentrique, la multiplication des centres de même importance peut s'expliquer par une répartition « uniforme » des pôles économiques au sein de la cité. Si la ville monocentrique concentrait, au sein de son centre hiérarchique, les principales offres, et, dans ses centres secondaires, les activités de moindre importance, la ville polycentrique répartit ces commodités de même poids au sein de différents espaces sur tout son territoire.

Le polycentrisme est une réorganisation de l'espace intra-urbain qui s'est opérée dans certaines villes, et est le résultat conjugué de l'essor de l'automobile (CLAVAL, 1981), et de l'étalement urbain (AYDALOT, 1985).

On parle aussi de ville polynucléaire ou de ville intra-agglomérations. Ce système d'organisation spatiale suggère un réseau entre différents sites de la ville possédant chacun ses spécialisations variées qui est articulé autour d'un réseau de noeuds de communications (GASCHET & LACOUR, 2002). Pour Da Cunha (CUNHA & MATTHEY, 2007), une ville polynucléaire en réseau est une ville composant des degrés de compacité variables et des foyers d'intensités relationnelles différenciés.

La particularité du polycentrisme intervient dans la répartition hiérarchique des centres urbains. Si les différences entre le centre principal et les centres secondaires proposées par Christaller n'ont pas disparues, la hiérarchie les comparant tend toutefois à diminuer.

Si plusieurs pôles économiques apparaissent et constituent chacun une centralité sur l'espace occupé, ils ne prennent pas l'ampleur ou la complexité du centre urbain premier. Celui-ci demeure, dans la structure urbaine, un centre ville autour duquel émergent des multipôles (BOURDEAU-LEPAGE & HURIOT, 2005).

La première répartition des niveaux de centres suivait une logique aréolaire tandis que la ville polycentrique suit une logique réticulaire (DUPUY, 1991).

La première consiste à avoir un centre principal puis, à mesure qu'on s'éloigne de lui, des centres de plus en plus secondaires. La logique réticulaire, quant à elle, multiplie

les centres principaux, qu'ils se situent au sein de la ville ou à son extrémité.

Nous pouvons faire le même constat au sein d'une métropole que celui décrit pour le système urbain entre les villes d'Europe et parler d'une disposition des pôles urbains comme une distribution en grappes de raisins (KUNZMANN & WEGENER, 1991).

La morphologie structurelle de la ville peut alors être perçue comme une structure régulière, bien que sa disposition ne suive pas forcément une géométrie régulière. Chaque centre ne contient pas toutes les commodités urbaines et dépend des autres centres : l'ensemble réunit tous les services, administratifs comme économiques nécessaires à la population .

Aux Etats-Unis, le système polycentrique est à son émergence souvent associé aux études entre lieux de résidences et lieux de travail, notamment pour formaliser les modèles décrivant les déséquilibres entre ces deux espaces (LEINBERGER & LOCKWOOD, 1986) (CERVERO, 1989).

Fujita et Ogawa s'intéressent, pour leur part, à l'impact des nouveaux centres sur l'organisation des lieux résidentiels ainsi que sur leurs rentes foncières et leur valeurs immobilière (FUJITA & OGAWA, 1982).

Les partisans du polycentrisme mettent en avant les processus qui orientent les villes vers ce système : la déconcentration des emplois et le passage à une économie de services supérieurs (HALL & PAIN, 2006).

Selon eux, ce système concentrerait les déplacements domicile-travail et équilibrerait mieux la répartition emplois-logements sur tout l'espace urbain. Les structures polycentriques présentent alors certains avantages par rapport aux structures monocentriques en termes de capacité à créer l'équilibre entre les centres, et une complémentarité des fonctions urbaines, tout en évitant les inconvénients de la congestion (MEIJERS & ROMEIN, 2003).

La division est-elle sans reste ?

La ville polycentrique est assurément la ville contemporaine comme nous la connaissons et la vivons de nos jours. Elle semble être la meilleure alternative aux concepts de la ville compacte et étalée, prédominants quelques décennies auparavant dans la mesure où elle cherche à préserver la centralité et la valeur du centre urbain historique en acceptant une répartition, nécessaire, sur d'autres pôles urbains. Elle prône également un étalement contrôlé afin d'offrir plus d'espaces verts aux populations de plus en plus désireuses de campagne en ville.

Ce bilan nous amène néanmoins à nous demander si cette structure, en dépit d'une congestion éventuellement susceptible d'être diminuée, ne favorise pas, à effet inverse, une multiplication des déplacements des individus au sein de la cité urbaine. En effet, puisque toutes les aménités ne sont plus concentrées dans un même endroit, les individus sont obligés de se déplacer partout dans la ville pour bénéficier des services recherchés.

La ville polycentrique a permis d'éliminer le monopole de la centralité existante dans les systèmes urbains précédents (LEFEBVRE, 1968). L'arrivée des modes de transport, plus rapides, et des voies de déplacement pour relier les différents pôles a permis

d'atténuer sensiblement la centralité sur les nouvelles villes contemporaines (WEBBER, 1964).

Le polycentrisme urbain permet à chacun d'être au plus proche du territoire dans son ensemble en « conciliant efficacité, justice spatiale et urbanité » (ALLAIN, 2005).

Cette dernière vision est-elle sans faille ?

L'exemple de Los Angeles

Los Angeles est la ville polycentrique de référence (BONNET, 1994). Elle est totalement dépourvue de centre et sa conception est à l'opposé total de la ville centralisée [Fig. 3.9].



FIGURE 3.9: *Vue aérienne de Los Angeles*

Elle représente parfaitement la ville américaine qui n'accorde que peu d'intérêts aux centres-villes. Los Angeles représente peut-être l'archétype de ce rejet puisqu'elle est conçue pour éviter les désagréments des villes présentant un système de centralité. Cette métropole se base sur ces trois fondements : la maison individuelle, la voiture et le réseau routier et autoroutier.

Ainsi, dans une ville polycentrique comme Los Angeles, chaque pôle génère des déplacements aléatoires, et donc plus longs, à l'intérieur de la zone urbaine (LEFEVRE & GIRAUD, 2007). Ce polycentrisme, pénalisant par sa dispersion les transports en commun et les modes doux de déplacement (BERTEAUD & MALPEZZI, 2003), favorise nettement l'automobile. À Los Angeles, deux tiers de la superficie de l'espace urbain d'agglomération est consacré à celle-ci. Il paraît alors évident que ce système engendre des problèmes environnementaux.

Le système polycentrique doit répartir l'ensemble des emplois de façon relativement égale entre l'ensemble des pôles (BAUMONT & LE-GALLO, 1999). Or, on assiste plutôt à leur dispersion (WALLAS & SHUKLA, 1993) : à Los Angeles, 5 centres écono-

miques sur les 32 existants concentrent 50 % de l'emploi (GULIANO & SMALL, 1991).

La ville polycentrique répond à une logique économique mais n'est en adéquation ni avec le principe de la ville durable, ni avec les souhaits des habitants pour leur lieu de vie. Elle est plus une entreprise qu'un espace de vie, et on pourrait la parodier comme une grosse usine où circule un nombre important de voitures. La population, mécontente de son architecture, a tendance à rejeter ce type d'urbanisme (CLIFF, 2002) (KALISKI, 1996) (HUXTABLE, 1997).

Ces effets négatifs ont ouvert la voie, dans les années 1980, au retour à la ville compacte à l'europpéenne (ROGERS, 1999) même si celle-ci ne semble pas non plus être une solution à la ville durable de demain.

3.3 Une alternative à cet affrontement, compact contre éclaté, la ville fractale

La géométrie fractale, branche caractéristique complexe des mathématiques au cœur des réflexions, permet de diriger la ville vers de nouveaux modèles spatiaux qui abandonnent l'homogénéité de l'espace des modèles jusqu'ici présentés (MANDELBROT, 1983) (FRANKHAUSER, 1994).

Nous présenterons cette notion le plus concrètement possible, puis nous nous intéresserons à deux concepts de structures urbaines qui s'appuient sur cette géométrie : la ville dite monofractale et celle appelée multifractale.

3.3.1 La notion de fractale

L'histoire

Le mot « fractale » vient du latin « fractus », qui signifie « brisé ». Ainsi, une fractale est un objet géométrique « infiniment morcelé » dont des détails sont observables à une échelle arbitrairement choisie.

La géométrie traditionnelle euclidienne caractérise les objets par des droites, des rectangles, des cylindres, des cubes... Mais, devant la complexité de certains phénomènes naturels, elle touche à ses limites et n'est plus en adéquation avec les réalités mathématiques et géométriques. Nous devons alors faire appel à la géométrie fractale. C'est pourquoi certains considèrent que celle-ci se trouve partout, même dans les phénomènes naturels tels que des arbres, des nuages, une côte rocheuse, des poumons...

Historiquement, c'est le mathématicien Benoît Mandelbrot qui a découvert les fractales au milieu du siècle dernier, en mesurant la côte de Bretagne. Il s'est aperçu que la longueur de la côte était différente suivant l'échelle utilisée (MANDELBROT, 1967). Grâce à la dimension de Hausdorff, il a prouvé que cette mesure n'était plus un nombre entier mais une dimension dont la valeur est située entre 1 et 2.

Comment voir une chose invisible ?

Cette dimension à valeurs rationnelles, dite « dimension fractale », est le point culminant de cette théorie. Comment, avec un objet visible par l'individu, c'est-à-dire en 2D ou 3D, peut-on se retrouver avec une dimension normalement imperceptible par

l'oeil humain ?

Il est nécessaire d'expliquer cette notion de dimension pour saisir la particularité finale des fractales.

Notion de dimension :

On définit la dimension d'un espace comme le nombre de coordonnées nécessaires pour repérer un point de cet espace. Celui-ci est donc intuitivement un nombre entier.

Dans le cas d'une dimension égale à 1 [Fig. 3.10], la longueur est mesurable par une homothétie de rapport ℓ . La mesure d'un objet, sa longueur, est obtenue en multipliant par ce rapport d'homothétie $\ell = \ell$. L'objet vaut alors ℓ^1 fois la mesure initiale. C'est pourquoi la dimension d'un segment est égale 1.



FIGURE 3.10: *Objet de dimension 1*

Dans le cas d'une dimension 2 [Fig. 3.11], on détermine la surface d'un objet par une homothétie de rapport ℓ en mesurant l'aire de celui-ci par ℓ^2 . La dimension d'un carré est donc égale à 2.

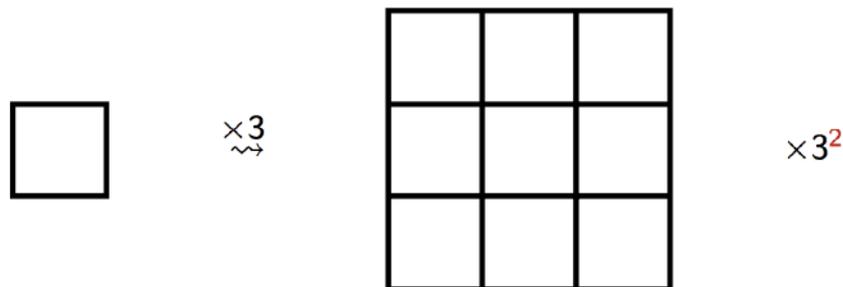


FIGURE 3.11: *Objet de dimension 2*

Dans le cas de la dimension 3 [Fig. 3.12], on cherche le volume d'un objet. Cette fois, avec une homothétie de rapport ℓ on obtient la mesure du volume par ℓ^3 . On a alors la dimension 3 pour le volume d'un cube.

De manière générale, un objet de dimension d est obtenu en multipliant une homothétie de rapport ℓ par ℓ^d .

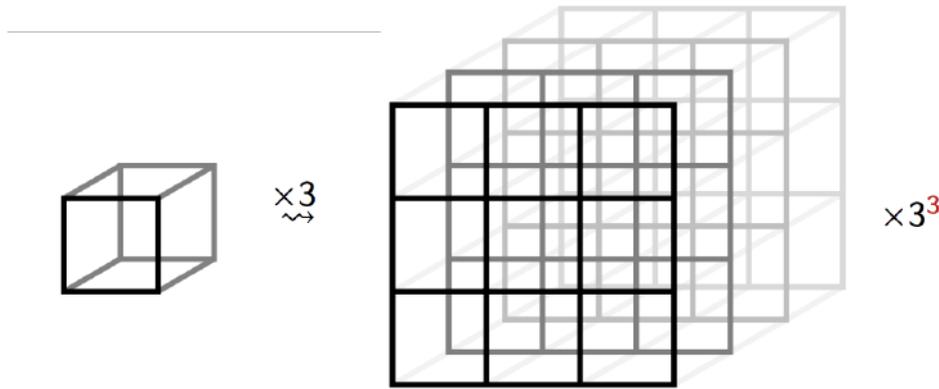


FIGURE 3.12: *Objet de dimension 3*

La dimension fractale dans le cas de la courbe triadique de Von Koch

Prenons le cas de la courbe du flocon de Von Koch, communément appelée « flocon de neige » pour illustrer nos propos [Fig. 3.13].

De façon générale, une structure fractale utilise un processus de construction récurrent. Il est alors nécessaire, pour en créer une, de disposer d'un initiateur, qui correspond à l'état initial de l'objet, et d'un générateur qui est utilisé pour l'opération de récurrence. Une fractale est ensuite une figure que l'on réitère à l'infini.

Soit on considère un segment de longueur ℓ . Celui-ci correspond à l'état initial de notre figure. C'est l'étape 0 de construction.

On brise alors ce segment en 4 segments de longueur $\ell_1 = \frac{\ell}{3}$. Avec cette transformation, on crée le générateur, figure qui sera donc répétée au fur et à mesure de la construction du flocon. C'est l'étape 1 de construction.

On fait par suite débiter le schéma récursif en opérant sur chaque segment du générateur cette décomposition en 4 segments égaux. Chaque nouveau segment a alors une longueur équivalente à $\ell_2 = \frac{\ell}{9}$. Ce qui correspond à l'étape 2.

On réitère à nouveau le même procédé de construction sur les nouveaux segments pour créer la nouvelle étape de construction. A l'étape 3 nous avons donc chaque segment qui a une longueur égale à $\ell_3 = \frac{\ell}{27}$.

Ainsi à l'étape $n, n \in \mathbb{N}$, La longueur de chaque segment est égale à $\ell_n = \frac{\ell}{3^n}$.

Donc, par une homothétie de rapport 3, nous avons, à chaque passage à l'étape suivante, une figure de même nature qui contient 4 figures de la même taille qu'à l'étape précédente. La nouvelle figure est alors 4 fois plus grande. On a donc :

$$3^d = 4 \Rightarrow d = \frac{\ln 4}{\ln 3} \tag{3.7}$$

Ainsi à chaque étape itérative, la longueur de la figure est multipliée par $\frac{4}{3}$. Si on choisit le segment initial comme unité, à la n -ième itération, la longueur de la courbe

vaut $\left(\frac{4}{3}\right)^n$.

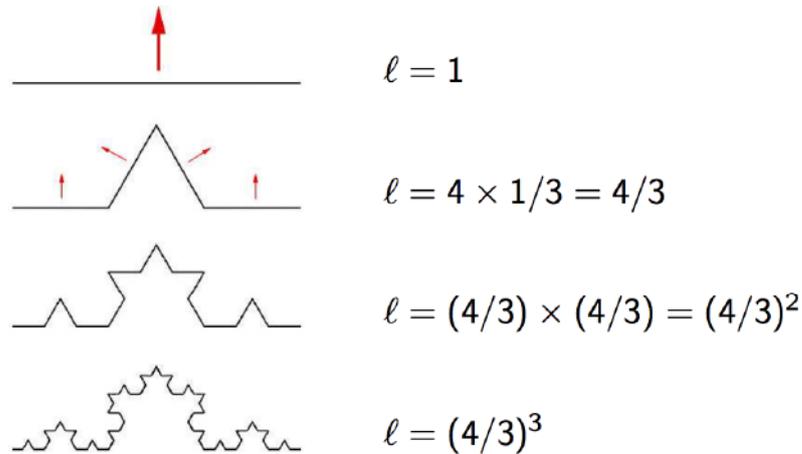


FIGURE 3.13: Construction de la courbe de Von Koch

Lorsque $n \rightarrow +\infty$, la courbe de Von Koch est alors infinie.

Une dimension non entière est la première propriété caractéristique et innovante dans la géométrie fractale.

L'autre phénomène étonnant résulte de l'opposition entre infini et fini dans la même construction.

Continuons sur cet exemple de la courbe triadique de Von Koch.

À l'étape du générateur, la courbe est comprise dans sa totalité dans un triangle isocèle d'aire $\frac{1}{4\sqrt{3}}$.

En continuant par récurrence sur le nombre d'itérations, la courbe est alors contenue dans une réunion de 4^n triangles isocèles ayant tous une aire égale à $\mathcal{A}_i = \left(\frac{4}{9}\right)^n \times \mathcal{A}_1$.

L'aire de cette surface est donc nulle lorsque n tend vers l'infini [Fig. 3.14].

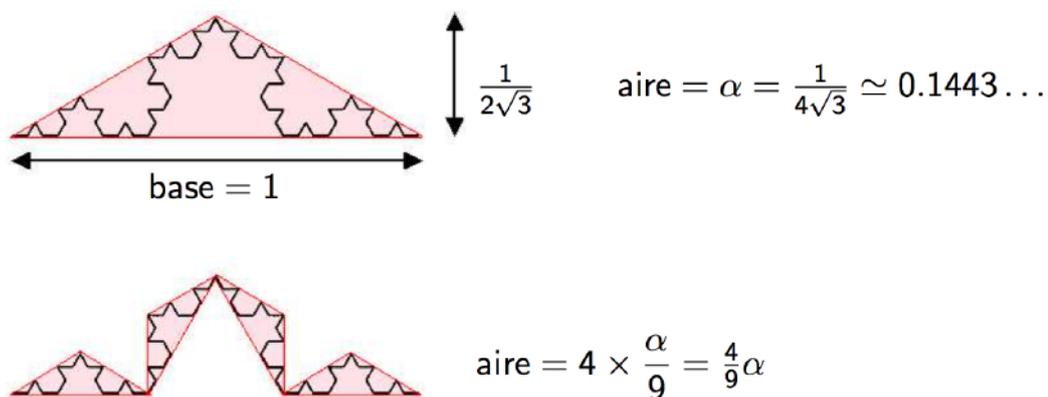


FIGURE 3.14: Aire de la courbe de Von Koch

Ainsi, la particularité est qu'une courbe infinie est contenue dans une surface finie. La géométrie fractale a pour première propriété de donner une dimension non entière. Par ailleurs, elle offre la possibilité de générer des schémas de construction infinie mais dans un ensemble qui lui, ne l'est pas. Une caractéristique propre qui s'avère essentielle dans les recherches de formes urbaines que nous étudions.

3.3.2 La géométrie fractale dans la ville

Nous expliquons ici deux procédés légèrement différents au sein des fractales : la monofractalité et la multifractalité.

La ville monofractale

La ville monofractale est conçue sur un principe d'additivité. Le principe d'itération est bien entendu toujours présent, mais la construction de la figure se fait par ajout :

à partir de la forme existante, soit à partir du générateur pour l'étape 1 du développement, on ajoute en son sens extérieur des formats réduits de ce générateur suivant les règles de la figure à établir .

Comme pour n'importe quelle structure fractale en construction, on réitère alors ce procédé d'opération pour chaque étape d'avancement.

Nous pouvons observer une construction monofractale à travers le schéma ci-dessous [Fig. 3.15].

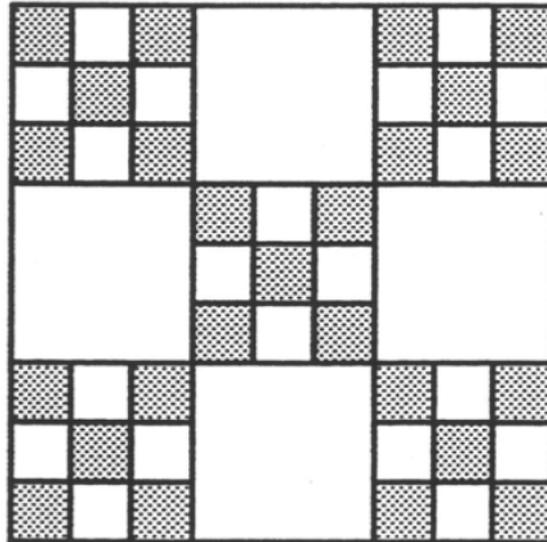


FIGURE 3.15: *Schéma caractérisant une ville monofractale*

Avec cette morphologie, d'intéressantes particularités apparaissent : on retrouve les concepts des villes existant jusque là, mais avec des parts innovantes dans l'aménagement des zones urbaines et des espaces verts.

Dans ce système urbain, nous pouvons remarquer, par exemple, que le bâti est articulé avec l'ensemble du paysage. Cet espace bâti n'est d'ailleurs pas morcelé, ce qui doit favoriser l'accessibilité à l'ensemble du territoire. Les espaces verts sont, quant à

eux tous, contigus au sein de ce système. Ici, la structure fait place entière au paysage en offrant un système emboîté de trames vertes et non plus de morcellements entre les différentes zones urbaines. Une connexion entre bâti et vert est constamment active.

Toutefois, par rapport aux modèles spatiaux auxquels nous nous sommes précédemment intéressés, la ville monofractale est dépourvue du système hiérarchique. Ou plutôt, suivant le choix de construction des lacunes, on ne trouve ni hiérarchie urbaine ni espaces verts dans la structure obtenue. Si nous voulons offrir différentes catégories d'espaces verts et les rendre accessibles aux individus, nous perdons la structure hiérarchique urbaine mise en évidence par Christaller et consorts.

La ville multifractale

La géométrie multifractale s'établit, comme toute fractale, en répétant un processus d'opérations identiques à chaque étapes mais cette fois-ci en procédant avec un principe multiplicatif.

Contrairement à la géométrie monofractale, celle multifractale s'appuie sur un procédé à plusieurs facteurs de réductions en produisant, par exemple, un nombre d'éléments d'une certaines tailles et un nombre d'autres éléments d'une autre taille (FRANKHAUSER, 1997).

Le schéma ci-après [Fig. 3.16] nous propose une structure urbaine respectant cette logique multifractale.

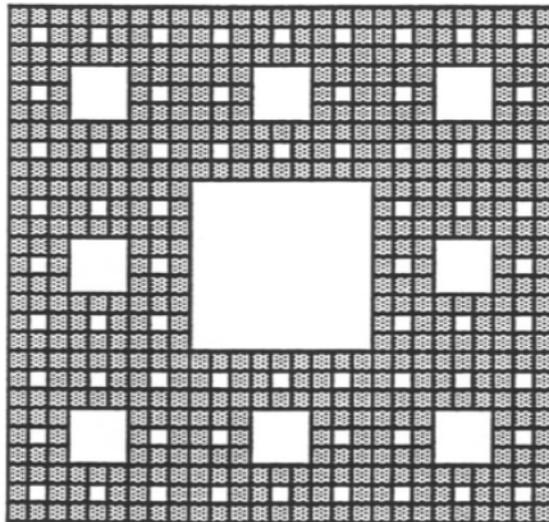


FIGURE 3.16: *Schéma caractérisant une ville multifractale*

Ce système spatial assure toujours la continuité à la fois des espaces de bâtis et d'espaces verts, comme dans la structure décrite précédemment. La connectivité présente entre nature et urbain est également toujours assurée avec cette forme urbaine. La différence intervient maintenant dans le système de hiérarchie de la ville. En effet la multifractalité permet d'observer cette fois non plus une mais deux hiérarchies pour la ville. La hiérarchie des lieux centraux est toujours présente et elle s'accompagne d'une

structure graduée des espaces verts.

Cette double fenêtre de hiérarchisation sera l'argument majeur de notre choix de construction de forme urbaine multifractale, afin d'associer urbanisme et verdure.

Conclusion de la première partie

Dans cette première partie, nous avons voulu tout d'abord comprendre les principales caractéristiques de la ville. Nous avons également étudié les deux formes urbaines majeures qui ont dominé au cours de l'histoire, et plus particulièrement du siècle dernier : la ville compacte et la ville étalée, que l'essor de l'automobile a favorisé en diminuant les temps de trajet.

Ainsi, la ville est un espace qui ne peut pas être considéré sans ses habitants. En effet, les modifications de l'espace urbain ont toujours été conçues et réalisées par ou pour les individus l'occupant. La place de l'homme dans la ville est donc essentielle. Cela prévaut aujourd'hui dans la mesure où les attentes et les désirs des habitants, en particulier leur exigence d'espaces verts, sont au cœur même des recherches sur le développement des villes par les aménageurs, qui s'efforcent de les rendre "durables". Ce vert favorise la durabilité de la ville, car il diminue sa pollution, et la rend plus "écologique". Cette conception de « ville durable » est choisie par de nombreuses politiques dans leurs missions urbaines, et s'inscrit au cœur des projets d'aménagements et de développement (« De la qualité de vie au diagnostic urbain : vers une nouvelle méthode d'évaluation – Le cas de la ville de Lyon », 2006).

Un autre élément a retenu notre attention et sera un rouage capital dans nos conceptions urbaines : la distance. Elle est un facteur primordial dans l'avancée des villes, et cause de discordance entre allongement et réduction, nécessaire comme nuisible.

Nous avons également pu constater que la ville a souvent été observée et traduite par des modèles présentant une approche économiste. Cette modélisation, avec cette transversalité, permet d'aborder les villes de façon plus pragmatique, et offre la possibilité de généraliser la multitudes de variables de l'étude de la ville.

Deuxième partie

Conceptions de villes théoriques

Introduction à la deuxième partie

Cette deuxième partie de notre travail porte sur des conceptions de morphologies urbaines. À partir d'un modèle micro-économique simple, nous analyserons quelles formes de villes répondent aux aspirations des ménages avec une préoccupation constante quant à l'optimisation des distances parcourues.

D'un point de vue sémantique, la relation ci-après formalise cette problématique :

Espace urbain + Modèles d'aménagements $\stackrel{?}{\simeq}$ Satisfaction résidentielle des ménages

Le chapitre 4 est consacré à une explication approfondie du terrain d'étude théorique. Le but est de présenter les différentes règles utilisées pour la construction des villes. Nous commençons par la description du terrain d'étude de la ville théorique et l'explication des concepts mobilisés et nous présentons également les caractéristiques socio-économiques des ménages. La définition des variables opérationnelles aboutit à la formalisation mathématique du modèle initial associé au concept d'utilité en économie spatiale.

Dans le chapitre 5, nous élaborerons les premiers modèles théoriques de la ville. Nous étudions ici les trois cas simples (binaires) qui nous conduiront vers des réponses de ville tour à tour compacte, éclatée et polycentrique ; des structures dont nous avons montrés les limites dans la partie précédente. Dès lors, une argumentation en faveur de la ville à géométrie monofractale est proposée.

Le chapitre 6 élargit ce concept en se basant sur une approche multifractale. L'objectif de ce chapitre est double. Nous montrons l'intérêt particulier de cette approche et nous mettons en évidence que cette solution d'aménagement répond aux exigences du développement durable, dans ses composantes majeures.

Nous essaierons aussi de voir si d'autres aménagements ou dispositions peuvent être envisagés pour offrir une meilleure proposition à notre problématique. Ou si, au contraire, ces modifications n'entraînent pas finalement plus d'inconvénients que d'avantages espérés.

Nous procéderons en quelque sorte à une forme d'analyse de sensibilité des théories que nous avons élaborées.

Le chapitre 7 voudra répondre à l'interrogation suivante : dans quelles mesures les travaux que nous avons défendus sont en lien et corrélation avec les possibilités des villes à aménager ?

Nous commencerons par mettre en évidence, comme une sorte de complément du travail scientifique de littérature, l'existence de la géométrie fractale au sein de villes déjà existantes. Nous observerons cette caractéristique sur des villes historiques anciennes ou plus récentes sans pour autant que ce processus ait été réfléchi en amont dans la construction des villes.

Nous ferons ensuite une application d'aménagement - sur un territoire existant - des concepts que nous proposons en simulant un scénario grâce aux données en notre possession sur la ville de Rennes.

Enfin, nous poursuivrons en montrant au lecteur les nombreux et meilleurs territoires où nos recherches seraient en mesure d'être appliquées et offrir leurs meilleurs « rendements ». En effet, si nos recherches sont un axe de développement adaptable et certainement intéressant pour les villes implantées historiquement depuis longtemps, ce sont sans doute pour les nouvelles villes qu'elles semblent les plus appropriées et les plus performantes. Nous réfléchissons donc dans ce dernier chapitre sur quels territoires d'études peuvent être le plus profitable ces géométries multifractales.

Elaboration du modèle

Pour toute modélisation ou réflexion théorique, il est d'abord nécessaire d'en poser les bases. Nous voulons donc, dans un premier temps, définir et présenter le domaine d'étude et les hypothèses considérées pour l'élaboration du modèle initial.

Nous commençons ainsi par une présentation du territoire, une aire « plaine vide » au départ, sur lequel nous voulons étudier nos modèles urbains. Nous posons de cette façon le cadre nécessaire pour appliquer les démarches de développement à entreprendre pour la suite des réflexions.

Nous continuons ensuite par une présentation des caractéristiques la population venant s'implanter successivement sur ce territoire.

Le recours à une fonction d'utilité de type Cobb-Douglas nous permet de formaliser le principe d'optimisation du revenu des ménage en fonction de leurs préférences.

Nous concluons enfin ce chapitre par une description du modèle.

4.1 Considérations relatives au terrain d'étude

4.1.1 Une ville théorique

Nous faisons le choix de travailler sur la conception d'une ville théorique en raison du fait que les villes déjà existantes imposent obligatoirement des ajustements et des concessions issues d'un processus historique souvent long et qui sont le résultat d'interactions complexes.

L'intérêt de la construction théorique est donc de s'affranchir de l'obligation d'adapter les infrastructures existantes et de s'offrir la possibilité d'explorer des scénarios d'aménagement fractal permettant de combiner consommation d'espace et satisfaction des besoins et attentes des ménages sans contrainte particulière. De plus, cette démarche trouve son application opérationnelle dans les projets d'aménagements de nouvelles villes ou d'ajustement du modèle à une situation donnée.

En effet, bien que théorique, la construction d'une telle ville répond avant tout à un besoin réel de nouveaux principes d'urbanisme et permet d'explorer également les différentes possibilités d'optimisation du cadre des vies des ménages.

Définition du territoire d'étude et des conditions initiales

Nous considérons une étendue géographique correspondante à notre surface d'étude. Comme nous souhaitons construire un agencement urbain avec pour principe les arrivées successives des ménages au sein de cet espace, nous considérons donc ce dernier comme un territoire constitué uniquement par un *CBD* (Central Business District) de taille modérée préexistant.

Une offre de services attractifs : le CBD

Cette hypothèse de base correspond à celle utilisée par exemple dans plusieurs travaux et modélisations (FUJITA, 1989) (DURANTON, 1997)(CARUSO et al., 2011).

L'existence de ce centre d'activités n'est ni superflu ni anodin. Il permet de reproduire les mêmes conditions réelles et historiques ayant favorisé l'émergence des villes au cours des siècles, par exemple à partir de la fondation d'une ville par un acte volontariste. Ainsi, le rôle du *CBD* est de rendre notre espace géographique attractif.

Ajoutons une précision relative à la superficie du *CBD*. Dans les modèles de Solow et Fujita présentés dans la partie I, la superficie du *CBD* est, par commodité, considérée comme égale à zéro.

Nous supposons que le *CBD* occupe une aire \mathcal{A}_0 non nulle sur l'espace. Cette surface exclut toute hétérogénéité de type physique ou économique. L'individu dispose alors des mêmes avantages où qu'il se rende dans le *CBD*. De ce fait, nous pourrions considérer dans notre cas que la frontière du *CBD* est l'origine des distances à parcourir pour l'individu. Ainsi pour des raisons pratiques, le *CBD* peut être assimilé à un point central et être donc de taille nulle (GAIGNE, RIOU & THISSE, 2012) (PROOST & THISSE, 2015).

Au final, c'est de l'aire de sa couronne résidentielle obtenue après l'installation des individus et constituant un pôle urbain dont nous tiendrons compte.

L'accessibilité : deux axes de déplacement

Une deuxième hypothèse est la présence de deux axes de transport, là aussi préalablement implantés. En l'occurrence, la présence d'un *CBD* nécessite impérativement un moyen d'accès pour les individus souhaitant venir s'installer sur le territoire et de se rendre au *CBD* pour y travailler.

Dès à présent, nous imposons la règle suivante qui veut que tous bâtis ou toutes aménités urbaines soient accessibles par un axe de transport.

Nous caractérisons géométriquement les deux axes de transport par deux segments perpendiculaires qui se coupent en leurs milieux (ZENOUE, 1996)(PEETERS et al., 2015). Le *CBD*, représenté par un carré, trouve son centre à cette intersection. Cette disposition des deux axes de transport permet ainsi une relation équidistante

pour la venue des individus au *CBD*. Nous sommes dans le cas géométrique régit par la distance de Manhattan ; les individus s'installent le long des axes de déplacements.

La consommation d'espace par la voirie est loin d'être négligeable (CHARMES, 2013). Cependant, dans la conception de nos morphologies urbaines, la largeur des routes n'influera pas les choix des individus. Nous ne tenons pas compte de la surface réelle des axes de transport et seront toujours présentés par des lignes de segments. Le schéma [Fig. 4.1] donne une illustration du territoire d'étude à l'état initial.

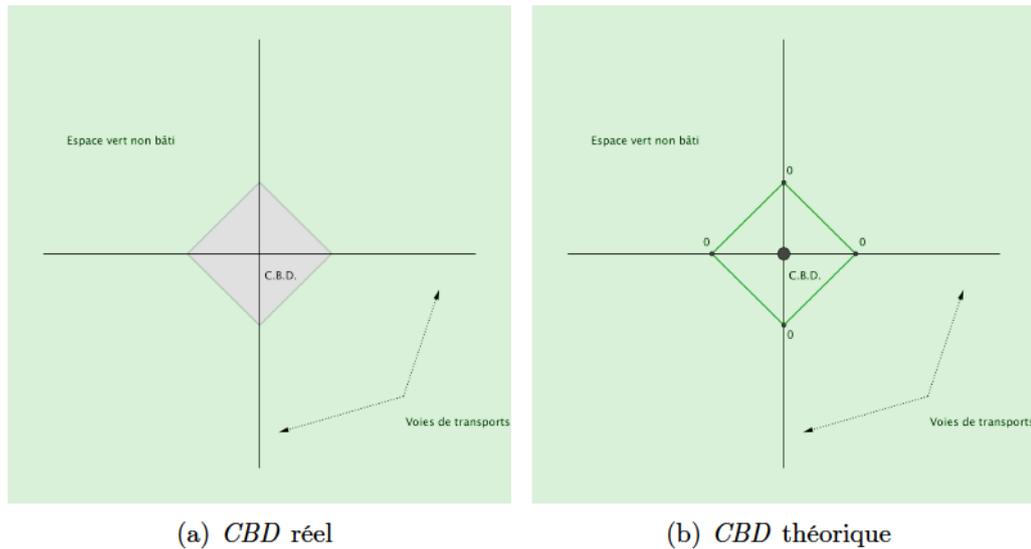


FIGURE 4.1: Territoire d'étude à l'état initial

L'existence d'un aménageur

Nous devons également dans cette modélisation tenir compte des règles édictés par l'aménageur ou le décisionnaire.

Cette fonction de gestionnaire est nécessaire dans le but d'éviter une éventuelle anarchie provoquée par l'installation arbitraire des individus. Les règles établies, comme elles reflètent la réalité des PLU.

Nous verrons plus concrètement (cf. 4.3.1) les responsabilités du décisionnaire quant aux décisions sur l'aménagement et l'emplacement des différents services sur les villes créées par notre modèle.

4.1.2 Attentes et besoins des ménages

Nous voulons présenter ici les attentes et besoins des ménages (MAX-NEEF, ELIZALDE & HOPENHAYN, 1991).

Ils peuvent être de deux ordres : essentiels et auxiliaires (CAVAILHÈS, FRANKHAUSER, PEETERS & THOMAS, 2004).

Attentes et besoins « essentiels »

Un besoin essentiel pour l'individu est l'accès au marché du travail. C'est d'ailleurs dans notre modèle la raison de sa venue. Toute personne classée dans la catégorie des personnes actives par l'INSEE est concernée par cette attente. C'est d'ailleurs un besoin

d'autant plus obligatoire qu'il est source des revenus de l'individu. Dans nos modèles, le *CBD* où se concentre l'ensemble des emplois répond à ce besoin.

Une deuxième attente est la présence de logement nécessaire à son habitat. À ces besoins s'ajoutent les services de proximités pour les produits de première nécessité.

Attentes et besoins « auxiliaires »

Cette catégorie concerne les besoins et les attentes dont souhaite disposer un individu. Contrairement aux besoins essentiels, les besoins auxiliaires font références à des attentes n'étant pas indispensables. Cela concerne les offres de consommation que l'individu assimile à des loisirs. Leur existence font partie intégrante de la qualité de l'espace de vie de l'individu.

Il s'agit des aménités urbaines et des aménités vertes.

Les aménités urbaines correspondent aux liens de consommation tels que : cafés, librairie, cinéma, théâtre, etc. La présence de ces aménités dépend de l'importance du pôle urbain. Comme pour l'hôpital ou l'université, on n'implantera pas de théâtre si le centre urbain n'est pas suffisamment conséquent, la présence d'un service est donc liée à son aire de chalandise.

Leur existence dépendra du nombre de personnes implantées dans la zone de construction et leur agencement s'établira en conséquence.

Les aménités vertes sont caractérisées par la présence d'espaces naturels, aménagés ou non, mis à disposition des individus dans la ville (jardins, squares, parcs, forêt, lac, etc.). Comme les autres services, elles suivent également une règle hiérarchique suivant l'importance du centre urbain considéré, un zoo exige plus de consommateurs qu'un square.

4.1.3 Description comportementale des ménages

Dans la suite nous utilisons indifféremment les termes individus et ménages pour désigner les habitants. La description comportementale de chaque individu se réfère à ses choix budgétaires (THISSE & SCOTCHMER, 1993) (CAVAILHÈS, FRANKHAUSER, PEETERS & THOMAS, 2004) .

Deux indicateurs sont pris en compte, le revenu et les dépenses.

Le revenu

Le revenu de l'individu correspond aux ressources financières qu'il perçoit de son activité professionnelle.

Evidemment, une personne peut gagner des revenus supplémentaires en complément de son salaire. Un exemple peut être le placement de son argent sur un compte. Les ressources financières de l'individu sont alors variables (croissantes ou décroissantes). Nous prenons le choix de ne pas traiter ces variations de revenus et éventuels autres gains extérieurs au salaire issus du métier de l'individu. En effet, le travail effectué ici ne porte pas sur le portefeuille de l'individu ; le but n'étant pas de faire prospérer les revenus et/ou gérer les intérêts financiers de la personne.

Les individus venant s'installer sont considérés comme ayant tous un revenu identique et fixe. La réalité diffère bien évidemment d'un tel système. Concrètement, il

s'agit d'un revenu moyen.

Les dépenses de l'individu

Les dépenses sont organisées en deux catégories. Nous choisissons une ventilation semblable à celle menée dans différentes études (CAVAILHÈS, FRANKHAUSER, PEETERS & THOMAS, 2004) (ANDERSON & WEST, 2006) (GOFFETTE-NAGOT, 2000) (CARUSO et al., 2011). Il s'agit des dépenses obligatoires et auxiliaires.

Les dépenses « obligatoires »

Il s'agit des frais nécessaires à la satisfaction des besoins obligatoires des ménages : logement occupé et coût de déplacement domicile/travail et accès aux services qui correspondent aux besoins essentiels.

Les dépenses « auxiliaires »

Elles représentent les dépenses que réalisent l'individu pour accéder aux offres de loisirs. Bien que qualifiées d'auxiliaires car non indispensables à la survie de l'individu, elles contribuent à l'amélioration du cadre de vie des habitants.

Ces dépenses se déclinent en trois catégories :

- les dépenses consacrées à l'accessibilité aux aménités urbaines (théâtre, cinéma, café etc.) ;
- les dépenses consacrées à l'accessibilité aux aménités vertes ;

Pour ces deux types de dépenses, il s'agit bien du coût engendré par la distance. En effet, le prix payé pour bénéficier du service même est pris en compte dans la troisième catégorie de dépenses.

- les dépenses relatives aux biens composites. Un bien composite est l'ensemble des autres services que l'individu consomment. L'avantage de considérer ces biens composites est qu'il regroupe toutes les autres dépenses.

4.1.4 Formalisation algébrique des données du modèle

Nous nous appliquons ici à caractériser les variables présentées précédemment sous une formalisation algébrique, tout en élaborant les premières hypothèses et équations fondamentales nécessaires à la réalisation de notre modèle.

Définition des variables

Reprenant les explications précédentes, nous pouvons à présent définir les variables du modèle.

- ◇ Le revenu représentant les ressources financières de l'individu est une variable nommée : Y .
- ◇ Les dépenses obligatoires sont représentées par deux variables notées L (rente foncière) et D (coût du déplacement domicile-travail).

On note Y_O la part du revenu absorbée par les dépenses obligatoires :

$$Y_O = D + L \quad (4.1)$$

◊ Les dépenses auxiliaires sont des variables nommées B, V et C :

- B : le coût de l'accessibilité aux aménités urbaines ;
- V : le coût de l'accessibilité aux aménités vertes ;
- C : le coût des biens composites.

Principe de rationalité

Nous avons besoin d'établir dès à présent une hypothèse faisant office de convention concernant l'utilisation des finances d'un portefeuille par son propriétaire. Nous décidons de considérer tout individu amené à constituer la population de notre ville comme un individu muni d'un raisonnement rationnel. Ce raisonnement rationnel est ajouté pour permettre une gestion des dépenses sans pertes.

Les finances d'un individu sont donc considérées comme rationalisées :

$$\text{Dépenses} \leq \text{Revenus} \quad (4.2)$$

Cette condition n'est pas fortuite. Bien au contraire, elle s'avère être nécessaire car elle permet de considérer l'individu comme une personne non surendettée. Cela permet de créer des limites d'optimisation et par conséquent des conditions d'existence d'équilibre. En effet, imaginons que nous laissons un individu dans la possibilité de consommer plus qu'il ne gagne, nous nous retrouverions alors rapidement en danger à court terme car nous ferions face à un risque important d'une installation anarchique car sans contraintes budgétaires.

Donc :

$$Y \geq L + D + B + V + C \quad (4.3)$$

En réalité, nous pouvons affiner cette hypothèse en se contentant d'une égalité. Deux raisons accordent cette transformation. La première est que l'individu cherche à maximiser ses dépenses auxiliaires. Donc si nous poursuivons ce raisonnement, l'individu n'est pas favorable à un gain d'argent sur ses revenus. Il préférera utiliser cet argent dans la consommation de ses aménités.

On pourrait cependant également conserver la possibilité de ne pas consommer pour l'individu la totalité de ses revenus. Mais le principe de l'égalité pourrait être également conservé en plaçant ce surplus de revenus comme consommation de biens composites même si concrètement ceux-ci ne l'ont pas été matériellement.

L'équation (4.3) devient alors :

$$Y = L + D + B + V + C \quad (4.4)$$

De (4.4), nous pouvons maintenant caractériser le revenu net de l'individu. Celui-ci correspond alors au revenu restant pour les ménages une fois les dépenses obligatoires effectuées. C'est la part du budget consacrée par l'individu à ses dépenses auxiliaires.

On note le revenu net Y_N tel que :

$$\begin{aligned} Y_N &= Y - (L + D) \\ &= Y - Y_O \\ &= B + V + C \end{aligned} \tag{4.5}$$

Il s'agit maintenant de maximiser ce revenu net. Cela correspond à attribuer un maximum de financement consacrés aux loisirs de l'individu

Le problème s'écrit alors de la manière suivante :

$$\max_{(B,V,C)} Y_N = \max_{(B,V,C)} (B + V + C) \tag{4.6}$$

La section suivante sert à expliquer l'intérêt d'une telle approche et présenter le type de fonction permettant l'optimisation de cette équation.

4.2 De la nécessité de l'approche économique

L'apport de certaines fonctions d'économie nous permet d'établir un lien entre interprétation qualitative et modélisation géométrique.

Nous nous basons sur les approches utilisées en sciences régionales qui ont recours à la notion des fonctions d'utilités propres à la sphère des sciences d'économie pour mener à bien nos recherches d'optimalité. En effet, l'utilisation de ces fonctions d'utilités paraissent la meilleure approche pour répondre aux recherches d'explications que ces notions malléables d'intérêt imposent.

Les fonctions d'utilités, issues des résultats initiaux des fonctions de productions introduites au début du XX^{ème} siècle, permettront ainsi d'identifier la conception des intérêts de l'individu à travers l'utilité qu'il attribue aux différentes aménités mises à sa disposition.

Nous voulons aussi ajouter une précision quant à l'utilisation du terme économie dans ces recherches.

En effet, si nous utilisons l'expression d'approche économique, cette recherche ne porte pas sur la modélisation économique en soi mais nous nous servirons seulement des outils portant sur les fonctions d'utilités et notamment la fonction Cobb-Douglas qui nous permettra de répondre aux questions de notre problématique de recherche.

4.2.1 La fonction Cobb-Douglas

La fonction d'utilité dite fonction d'utilité de Cobb-Douglas servira à optimiser les préférences des ménages. Nous en présentons ici les fondements généraux. Des explications mathématiques plus approfondies sur la notion d'utilité sont présentées en annexe .

La fonction de Cobb-Douglas est une fonction proposée par l'économiste Paul Douglas et le mathématicien américain Charles Cobb au début du XX^{ème} siècle. Elle est issue des fonctions de productions conçues pour représenter le rapport technologique entre les quantités de deux entrées ou plus .

Sous sa forme générale, la définition de la fonction de Cobb-Douglas, s'énonce de la façon suivante :

$$Y = c \prod_i X_i^{a_i} \quad (4.7)$$

avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} X = \text{quantité d'un facteur de production (travail, capital)} \\ c = \text{facteur de productivité} \\ a_i = \text{élasticités des facteurs de production} \\ i = \text{indice correspondant aux facteurs de productions} \end{array} \right.$$

Cobb et Douglas ont appliqué la fonction précédente sur deux variables, le travail L et le capital K , afin d'optimiser la production Y d'une entreprise. On parle alors de la fonction de Cobb-Douglas et définit comme suit :

$$Y = c \times K^{a_1} \times L^{a_2} \quad (4.8)$$

avec a_1 et a_2 des constantes estimées à partir de données statistiques relatives au champ d'application.

4.2.2 Adaptation à notre problématique

Nous considérons à présent l'utilisation de cette fonction de Cobb-Douglas pour traduire notre problématique tournée vers l'utilité des individus.

En posant : $Y = U(C, B, V)$, avec

$$\left\{ \begin{array}{ll} Y = & \text{Revenu du ménage} \\ C = & \text{Biens composites} \\ B = & \text{Aménités urbaines} \\ V = & \text{Aménités vertes} \\ k = & \text{facteur de consommation} \\ \alpha, \beta, \gamma = & \text{élasticités associées respectivement C, B, V} \end{array} \right.$$

et reprenant les travaux de Cavailhès, Frankhauser, Peeters et Thomas (CAVAILHÈS, FRANKHAUSER, PEETERS & THOMAS, 2004) relatifs à la formalisation type Cobb-Douglas de la consommation des biens composites par les ménages, le facteur de consommation k peut s'écrire en fonction des élasticités α , β et γ respectivement associées à chaque bien.

En effet, il est alors possible de trouver k tel que $k = \frac{1}{\alpha^\alpha \beta^\beta \gamma^\gamma}$.

La fonction d'utilité du ménage s'écrit alors :

$$\begin{array}{ll} \mathbb{R}^3 & \longrightarrow]0; 1] \\ U : (C, B, V) & \longmapsto \frac{1}{\alpha^\alpha \beta^\beta \gamma^\gamma} \times C^\alpha B^\beta V^\gamma \end{array} \quad (4.9)$$

L'intérêt de la formule dans notre cas porte sur l'interprétation des élasticités α , β , γ . En effet, ces paramètres représentent respectivement la part d'importance qu'un individu affecte aux biens composites, aux aménités urbaines et aux aménités vertes.

Dans la théorie des fonctions d'utilités, cela consiste à traduire qu'une augmentation de x % d'une variable fera augmenter la production de x % également. Et pour respecter l'hypothèse de (4.2), on suppose ces trois rendements d'échelles constants. La somme des parts d'intérêts est donc complètement concentrée dans toutes les parts d'intérêts des aménités.

Cette propriété s'écrit donc sous la forme suivante :

$$\alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (4.10)$$

Nous étudions dans le chapitre suivant divers scénarios en fonction des valeurs de α , β et γ . Pour chacun, elles sont fixées et invariables. On considère une moyenne des préférences de la population. De plus, l'aménageur connaît la répartition des préférences aux diverses aménités des ménages.

Nous construisons un modèle hédoniste où les ménages cherchent à optimiser leurs préférences donc leurs biens auxiliaires. Notre problématique revient finalement à chercher l'optimum de la fonction d'utilité sous la contrainte des dépenses obligatoires $Y_O = L + D$.

Elle se traduit donc avec l'écriture suivante :

$$\max_{(B,V,C)} U(B,V,C) = \frac{1}{\alpha^\alpha \beta^\beta \gamma^\gamma} \times C^\alpha B^\beta V^\gamma \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} \text{sous la contrainte de budget : } Y_N &= Y - L - D \\ &= C + B + V \end{aligned} \quad (4.12)$$

La résolution mathématique nous donne pour C , B et V les solutions optimales, respectivement C^* , B^* et V^* , telles que :

$$C^* = \alpha \times Y_N \quad (4.13)$$

$$B^* = \beta \times Y_N \quad (4.14)$$

$$V^* = \gamma \times Y_N \quad (4.15)$$

Nous observons dans ces solutions les deux particularités suivantes.

- ◇ Premièrement, les solutions d'équilibre budgétaires obtenues pour chacune de ces deux valeurs associées aux dépenses auxiliaires prennent compte des parts d'intérêts, α et β et γ que l'individu octroie à chacune d'elles.
- ◇ Deuxièmement, elles sont fonction du revenu net du ménage, $Y_N = Y - Y_O$: différence des dépenses obligatoires sur le revenu total.

4.3 Construction et fonctionnement du modèle général

4.3.1 Principes généraux

Notion de cycle d'étude

Un individu est représenté par la gestion de son portefeuille. Son revenu et ses dépenses se renouvellent donc dans un laps de temps imparti.

Ce temps correspond à un cycle périodique qui peut être par exemple annuel, mensuel, etc. En France, le revenu est perçu chaque mois et on raisonne alors souvent en cycle mensuel. En réalité, une division ou une multiplication, proportionnelle par rapport à la différence de temps entre deux cycles, permet sans inconvénients de basculer d'une durée de période à une autre.

Nous utiliserons donc l'expression de « cycle d'étude considéré » afin de caractériser une période identique pour chaque individu.

Rôle de l'aménageur

Régissant les règles d'arrivées des individus, l'aménageur est également responsable de l'aire de chalandise du *CBD*. À l'état initial, celui-ci contient seulement les emplois et les activités nécessaires pour l'arrivée des premiers individus. L'accroissement de la population nécessitera ensuite l'apport de services plus rares, économiquement fonctionnels (rentables) pour un minimum d'individus (théâtre, hôpitaux, complexe sportif, etc.). Il conviendra alors à l'aménageur de décider de la localisation de ces aménités en fonction de la morphologie urbaine proposée.

Enfin, le rôle du décideur est également de palier à l'organisation du réseau de déplacement. Nous choisirons un agencement d'axes de déplacement suivant une métrique de Manhattan.

4.3.2 Une arrivée séquentielle des individus

Le modèle répond à une arrivée séquentielle des individus. Nous sommes ainsi dans une situation similaire à l'exode rurale vécue par les villes au milieu du siècle dernier. L'objectif du modèle est de répondre aux préférences de la population par un aménagement optimal au cours du remplissage progressif de l'espace.

Quelques hypothèses

Égalité des individus

Nous considérons les individus égaux entre eux. L'application du modèle est réalisée pour une population gagnant le même revenu et ayant les mêmes parts d'intérêts pour les différentes aménités. L'objectif final est une réponse générale sur l'ensemble du territoire et de ce fait sur l'ensemble de la population installée. Ainsi, en prenant les individus égaux entre eux, nous considérons une sorte d'« individu moyen » représentant la population.

De plus, l'aménageur connaît les préférences des individus et leur comportement et réfléchit à l'aménagement ou aux ajustements nécessaires pour proposer la ville la plus adéquate aux correspondances des individus.

Processus d'arrivée

L'équation (4.12) suppose que l'individu, en voulant maximiser les dépenses pour ses aménités, souhaite inversement minimiser ses dépenses obligatoires. Il est alors raisonnable d'affirmer que l'individu cherche à s'installer au plus proche du *CBD* (GORDON & RICHARDSON, 1997) (POUYANNE, 2004).

Les besoins obligatoires d'un individu se trouvent au *CBD*. Avec cette optique de contraintes à minimiser, il apparaît évident qu'afin de diminuer au maximum ses frais de dépenses pour se déplacer jusqu'au *CBD*, l'individu I_i va avoir pour intérêt de se rapprocher au maximum du lieu central.

En effet, si on considère θ le coût unitaire de déplacement et si on note x la position de l'individu sur le territoire alors le coût de déplacement obligatoire D est fonction de x et s'écrit simplement par la fonction :

$$D(x) = \theta x \quad \text{et} \quad D'(x) \geq 0 \quad (4.16)$$

Ainsi, naturellement, plus l'individu s'éloigne du centre, plus les coûts de ses déplacements obligatoires augmentent.

Les individus s'installent également à proximité des axes de déplacement leur permettant ainsi de circuler.

De plus, dans notre modèle, les individus tiennent compte uniquement de l'état d'avancement de la ville tel qu'il est à leur arrivée pour déterminer leur localisation d'implantation. Ils cherchent à optimiser leurs préférences avec les conditions présentes. Ils ne sont ni en mesure d'anticiper l'évolution de la ville ni l'arrivée des futurs habitants susceptibles de modifier leurs intérêts dans le futur.

4.3.3 Utilisation et application générale du modèle

Nous voulons ici présenter le fonctionnement général du modèle. C'est-à-dire établir le processus et les règles algébriques nécessaires pour son application à différents futurs scénarios.

Règle générale d'arrivée

On note : $\forall i \in \mathbb{N}$, I_i , le $i^{\text{ème}}$ individu arrivant sur le territoire. On note t_i l'instant d'arrivée de l'individu I_i .

Le premier individu ou 4 situations identiques formant la première étape d'installation

Soit I_1 , le premier individu entrant sur le territoire à l'instant t_1 . Celui-ci s'installe alors forcément à la frontière du *CBD* et peut ainsi minimiser au plus ses dépenses obligatoires. Elles sont même nulles [Fig. 4.2].

A l'instant t_1 , le premier individu optimise au maximum son utilité. En effet, outre ses frais de déplacements obligatoires nuls, ses frais consacrés aux déplacements vers les aménités urbaines (*CBD*) et vertes sont également nuls, soit $B = V = 0$.

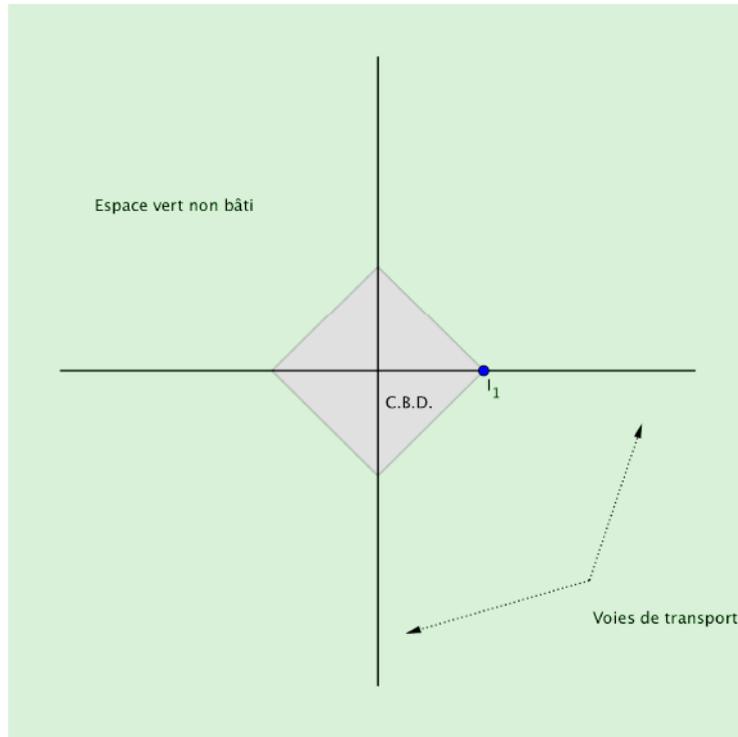


FIGURE 4.2: Position du premier individu

Ainsi (4.11) et (4.12) se transforment en :

$$\max_{(B,V,C)} U(C) = \frac{1}{\alpha^\alpha \beta^\beta \gamma^\gamma} \times C^\alpha \quad (4.17)$$

$$\text{sous la contrainte de budget : } Y_N = C \quad (4.18)$$

et les solutions sont :

$$C^* = \alpha, \times C \quad B^* = \beta \times C, \quad V^* = \gamma \times C$$

De (6.5), on a alors :

$$C^* + B^* + V^* = C \quad (4.19)$$

La somme des dépenses optimales correspond à la part consacrée aux biens composites. Le premier individu n'a aucun frais de déplacements et l'ensemble de son revenu, à l'exception de son loyer, est alors alloué pour les biens composites.

L'individu I_1 bénéficie donc des conditions les plus optimales à son arrivée.

La symétrie des axes de transport sur le territoire nous garantit 3 autres positions présentant les mêmes conditions à l'arrivée des individus I_2 , I_3 et I_4 , respectivement aux instants t_2 , t_3 et t_4 . Ils bénéficieront des mêmes avantages que l'individu I_1 [Fig. 4.3].

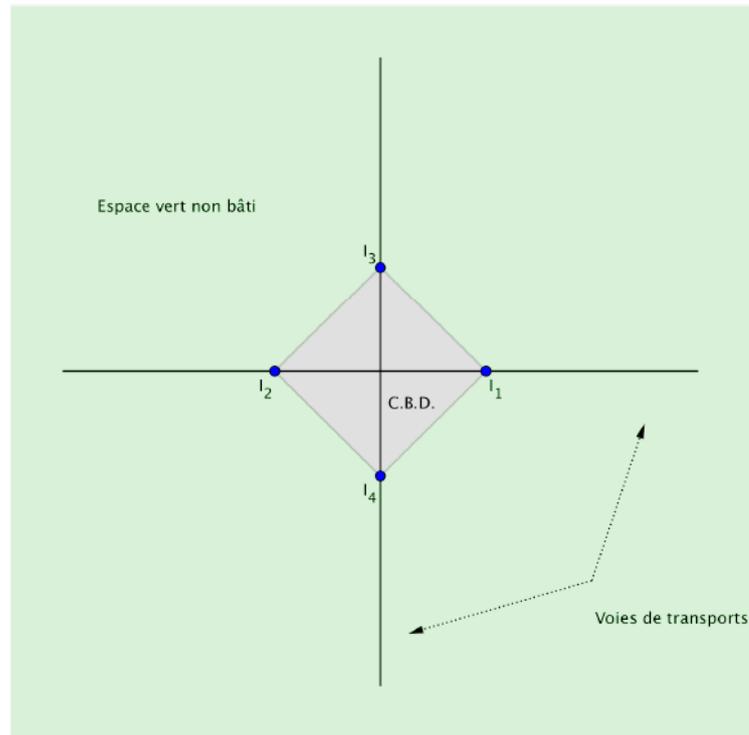


FIGURE 4.3: Position des 4 premiers individus

Pour chaque application du modèle, on obtient nécessairement cette première étape d'agencement.

Et on peut donc, pour notre construction, considérer qu'à l'instant t_4 nous sommes aux mêmes conditions qu'à l'instant t_1 .

On peut généraliser encore ces 4 situations pour tous les autres individus arrivants et s'installant à la frontière du *CBD*.

Ainsi, nous pouvons considérer que les installations aux temps t_1 , t_2 , t_3 et t_4 jusqu'à $t_{n,0}$, $t_{n,0}$ étant l'instant du n -ième et dernier individu arrivé pouvant s'installer à la frontière du *CBD*, correspondent à un seul même temps d'installation. Ce temps d'installation est noté T_0 et correspond alors au temps d'implémentation d'une première structure qui respecte les mêmes avantages pour le portefeuille de tous les individus arrivés.

Dans la réalité, elle traduit la population résidente au centre ville et s'y déplaçant alors gratuitement.

Désormais, nous raisonnons par une arrivée d'individus sous forme de structures. Le remplissage de ces lots par les individus se fait alors selon Manhattan et chaque lot allonge plus haut son équivalent.

Arrivée des prochains individus

A T_0 , il n'est plus possible de satisfaire un nouvel entrant avec les mêmes avantages que les I_{n_0} premiers individus installés.

Comment sont alors modifiées de manière générale les budgets et utilités des mé-

nages au cours des prochaines arrivées ?

Un individu I_i quelconque souhaite toujours minimiser ses dépenses obligatoires. Comme les individus qui l'ont précédé, il respecte la règle consistant à s'installer au plus proche de CBD .

Le principe d'arrivée successive des individus sur le territoire permet à tout nouvel individu arrivant de toujours posséder au moment de son installation une accessibilité directe à l'espace vert. Il a ainsi un coût de déplacement nul pour ces aménités.

$$V(I_i) = 0 \quad \forall i \text{ et } \forall t_i \quad (4.20)$$

En revanche, tout nouvel individu I_i , $i \geq n_0 = 1$ ne peut plus bénéficier d'un accès immédiat au CBD puisque les n_0 positions le permettant sont déjà occupées. Cela implique nécessairement une hausse des dépenses allouées pour se rendre au CBD consommer des aménités urbaines.

On a ainsi tout au cours du temps de développement de la ville :

$$\forall i, \text{ et } \forall t_{i+1} > t_i, \quad \frac{\partial B(I_{i+1})}{\partial t_{i+1}} \geq \frac{\partial B(I_i)}{\partial t_i} \quad (4.21)$$

Une fois installé, le coût de l'individu I_i pour se rendre au CBD ne dépend plus des autres individus et de l'état d'avancement de la ville. Donc

$$\forall t, \text{ et } \forall i \quad \frac{\partial B(I_i)}{\partial t} = 0 \quad (4.22)$$

Il s'opère en revanche le phénomène inverse pour les dépenses allouées aux aménités vertes. En effet, à mesure qu'un nouvel individu arrive, s'il bénéficie naturellement d'une accessibilité directe aux espaces verts depuis son lieu de domiciliation, il augmente en revanche inlassablement la distance à ces mêmes aménités pour les individus préalablement installés.

On peut donc écrire sous la même forme que précédemment la relation suivante au cours du temps pour les individus s'implantant sur le territoire :

$$\forall i, \text{ et } \forall t_{i+1} > t_i, \quad \frac{\partial Y_V(I_{i+1})}{\partial t_{i+1}} \leq \frac{\partial Y_V(I_i)}{\partial t_i} \quad (4.23)$$

Par contre, pour un individu installé, son coût de déplacement au vert s'accroît à mesure que la ville se développe. On donc :

$$\forall t, \text{ et } \forall i \quad \frac{\partial Y_V(I_i)}{\partial t} \geq 0 \quad (4.24)$$

Nous allons établir l'implantation des nouveaux individus entrant en faisant abstraction de la relation (4.24).

Il incombera alors à l'aménageur de proposer des morphologies de villes susceptibles de compenser les variations d'avantages pour l'urbain et le vert entre les individus.

Jusqu'où avant un changement ?

Nous voulons garder équilibre au budget de l'individu arrivant. Mais nous devons également garder un équilibre du même budget pour les ménages déjà implantés.

Nous sommes donc confrontés à un simple jeu de balance entre les frais consacrés aux aménités vertes et les frais consacrés aux aménités urbaines. Une substitution des biens entre ces deux aménités est en permanence modifiée au fur et à mesure de l'arrivée des ménages. L'idée est d'alors d'exprimer, la/les distance(s) qui va/vont respectivement être les limites d'équilibre du budget auxiliaire de chacun des individus.

Les individus continuent à arriver les uns après les autres et s'installent en continuité de l'individu le précédant.

L'interrogation qui se pose est donc la suivante :

Quelle est la distance limite d'éloignement au CBD ?

Cette limite constituera alors la création du premier pôle urbain et correspondra à la première étape de la ville.

Notre objectif est donc de déterminer une **limite**, en terme de distance, que l'individu ne veut pas dépasser pour accéder aux espaces d'aménités, soit le *CBD* et l'espace vert.

La distance limite au vert possible à parcourir avec le revenu consacré par l'individu pour celle-ci n'est pas dans notre modèle une variable de décision quant à son acceptation à continuer de venir s'installer à la suite des précédents ménages (4.23).

L'acceptation de s'installer pour un individu dépend donc de la distance le séparant du *CBD* à son arrivée. Celle-ci ne peut pas dépasser en coût de déplacement le budget qu'il consacre à ses aménités urbaines.

Existence et détermination de la distance maximale au CBD

Soit θ , le coût moyen pour parcourir une unité de distance pour l'individu. Soit p_B , le nombre moyen de trajets parcourus par l'individu durant le cycle d'étude considéré pour ces aménités.

Le budget de l'individu pour les frais accordés aux aménités urbaines doit alors respecter l'équation suivante, avec d_B représentant la distance séparant le domicile de l'individu au *CBD* :

$$\begin{aligned} B &\leq d_B \times p_B \times \theta \\ \Leftrightarrow \beta Y &\leq d_B \times p_B \times \theta \end{aligned} \quad (4.25)$$

On peut donc extraire une distance limite, notée $d_{B_{max}}$ qui n'excédera pas le budget B consacré par l'individu à ses aménités urbaines.

On obtient alors :

$$d_B \leq \frac{\beta Y}{p_B \times \theta} \quad (4.26)$$

Ce qui entraîne pour la distance maximum $d_{B_{max}}$ aux aménités urbaines la relation d'égalité suivante :

$$d_{B_{max}} = \frac{\beta Y}{p_B \times \theta} \quad (4.27)$$

Dans l'absolu, ce n'est pas la valeur de cette distance maximale qui importe le plus. Théoriquement, et comme souvent en mathématiques, c'est son existence qui s'avère être fondamentale dans notre raisonnement.

L'étude du comportement de l'individu à travers son portefeuille, nous assure l'existence d'une limite d'acceptation de distance à parcourir pour bénéficier d'aménités urbaines et plus finalement du travail. Il s'en suit alors une valeur quantitative pour cette distance limite utile à la représentation visuelle et la construction physique de la ville. Nous remarquons d'ailleurs que cette limite, puisque dépendante de α s'inscrit par rapport à l'intérêt accordé à l'individu pour ces aménités urbaines.

Existence et détermination de la distance maximale à l'espace vert

Même si elle n'influe pas sur la décision de l'individu dans son implantation, il existe aussi une limite maximale pour l'individu concernant ses déplacements aux aménités vertes.

Celle-ci concerne donc les premiers individus installés à l'intérieur de la ville et qui sont à la frontière du *CBD*.

Soit, on considère un nombre p_V moyens de trajets parcourus aux aménités vertes par l'individu durant toujours le même temps périodique d'étude considéré.

On a alors, en considérant le coût moyen unitaire de déplacement pour un individu, son nombre moyen de trajets effectués pour s'y rendre et son budget V de dépenses alloué aux aménités vertes, l'équation suivante fonction de d_V , la distance pour se rendre à ces aménités, qui doit être respectée.

$$\begin{aligned} V &\leq d_V \times p_V \times \theta \\ \Leftrightarrow \gamma Y &\leq d_V \times p_V \times \theta \end{aligned} \quad (4.28)$$

Ainsi, on peut extraire une distance limite, notée $d_{V_{max}}$, qui ne dépassera pas le budget consacré aux aménités vertes par l'individu.

Et on obtient alors :

$$d_V \leq \frac{\beta Y}{p_V \times \theta} \quad (4.29)$$

Ce qui entraîne pour la distance maximum $d_{V_{max}}$ aux aménités vertes la relation d'égalité suivante :

$$d_{V_{max}} = \frac{\gamma Y}{p_V \times \theta} \quad (4.30)$$

De la même manière que pour la distance maximale $d_{B_{max}}$, ce n'est pas la valeur de $d_{V_{max}}$ qui nous importe mais le fait que celle-ci existe. Cela nous assure une distance maximale que l'individu ne souhaite pas franchir pour avoir accès aux aménités vertes. Identiquement à la recherche de la distance maximale pour l'accès aux aménités urbaines, la valeur de cette distance maximale $d_{V_{max}}$ et donc, de son interprétation, va être fonction du paramètre β correspondant à la préférence accordée aux aménités vertes par les individus venant s'installer dans la ville nouvelle.

Ainsi, lorsque $d_{V_{max}} < d_{B_{max}}$ ($\beta > \gamma$), il sera à la charge de l'aménageur, dans la mesure des possibilités à sa disposition, de proposer un agencement de ville répondant à un équilibre général du budget de l'ensemble des individus.

Constitution du premier centre urbain

Le premier centre urbain s'arrêtera donc de croître une fois la distance $d_{B_{max}}$ atteinte. Par symétrie sur les axes de déplacement, l'aire \mathcal{A}_1 de ce premier centre est alors égale à :

$$\mathcal{A}_1 = 2 \times d_{B_{max}}^2 \quad (4.31)$$

Toutes morphologies de villes issues de l'application de notre modèle respectera ainsi cet agencement à la première étape de son émergence.

Émergence de centres ou sous centres ?

Il reste un point capital à préciser dans l'avancée du modèle à l'issue de cette première étape. Celui-ci concerne la nature des prochains éventuels centres urbains . Plus précisément, verra-t-on apparaître des centres urbains de même hiérarchie ou l'émergence de la ville suivra la théorie des lieux centraux telle qu'élaborée par Christaller et Lösch ?

Les caractéristiques de ces futurs centres urbains, si existence il y a, dépendront des paramètres de préférences des individus pour les aménités existantes et des distances nécessaires à parcourir pour s'y rendre.

Quelles sont alors les conditions pour reproduire un centre de même taille, inférieure ou plus grand que le(s) précédent(s) ? Nous répondrons au fur et à mesure à cette question suivant l'application du modèle aux différentes situations que nous traiterons.

Cependant, nous pouvons dès à présent énoncer quelques règles et explications susceptibles de faire apparaître des aires plus ou moins grandes pour les pôles urbains.

Au début du modèle, le *CBD*, centre du futur premier pôle urbain, dispose de services de « faibles importance ». Ce degré correspond au plus faible degré de hiérarchie possible pour un centre urbain. Il ne contient que des services qui sont reproductibles et nécessaires à la création de tout autre nouveau centre émergeant. Répliquer ces aménités dans les prochains centres ne mettra pas en concurrence (aire de marché) les services du premier centre, car il s'agit des biens identiques et l'individu minimise ses frais de déplacement.

Il est alors nécessaire de préciser l'aire de chalandise qu'occupera ces pôles urbains et notamment le premier contenant le *CBD*. Ces aires de chalandises répondent à des contraintes économiques qui doivent être satisfaites par un nombre n_{max} d'habitants maximum. Ce sera, là aussi, comme nous le verrons dans les cas traités, la responsabilité de l'aménageur de disposer les services plus rares sur le territoire en fonction des caractéristiques morphologiques de la ville obtenue.

Il se trouve également au *CBD* l'ensemble des emplois des individus répondant aux degrés d'importance des services existants.

Et chaque pôle urbain U_k , $k \geq 1$ créé aura une aire maximale \mathcal{A}_k fonction de la distance $d_{B_{max}}$.

Pour chacune de ces aires, correspond un nombre maximum n_k d'habitants.

Une fois ces maximums atteints, l'aménageur conviendra de stopper ou disposer de nouveaux centres ou sous-centres urbains sur le territoire qu'occupera la ville suivant l'importance de l'aire de chalandise obtenue à l'issue de la création du premier centre urbain.

Premiers modèles de villes

Après avoir défini le cadre d'étude et formalisé algébriquement la problématique de nos recherches dans le chapitre précédent, nous pouvons à présent nous plonger dans la modélisation de morphologies urbaines. Nous utilisons le modèle général de façon progressive et observer les réponses géométriques urbaines obtenues pour des situations particulières.

Nous considérons dans un premier temps des modèles simples dont les propriétés sont *a priori* connus. Nous procédons de telle manière pour, en quelque sorte, vérifier le comportement du modèle sur des situations dont les résultats sont *a priori* connus.

Cela nous permettra par la suite de justifier son utilisation dans des modèles plus complexes (Ch.6).

Ce chapitre commence donc par deux études « binaires ». Pour comprendre la démarche utilisée dans l'élaboration des modèles urbains, nous présentons d'abord des situations urbaines ou vertes où l'individu n'accorde d'intérêt que pour l'une ou l'autre des aménités.

Nous continuons ensuite logiquement par une modélisation plus proche du réel où l'individu présente cette fois un intérêt conjugué égal pour les deux aménités, urbaines et vertes.

Ce sont des modèles simples souvent considérés et dont nous avons montré les limites et inconvénients dans les chapitres de la première partie.

Nous terminons alors ce chapitre par une section défendant la mise en oeuvre d'une nouvelle morphologie de ville construite sur un principe de géométrie monofractale. Nous prouverons la faisabilité d'une telle structure et les avantages innovants qu'elle offre. Nous n'occulterons pas, cependant, les interrogations qu'elle peut soulever.

5.1 La ville pour la ville

Dans ce scénario, nous considérons les individus comme des personnes n'ayant d'intérêt que pour les aménités urbaines. Nous procédons en quelque sorte à une vérification initiale de la validité du modèle. Celui-ci générera pour cette situation une ville compacte dont nous retrouverons les avantages et les effets indésirables déjà mis en évidence dans la première partie.

5.1.1 Opération sur la fonction d'utilité

Le système général des paramètres de la fonction Cobb-Douglas répond alors à ce nouveau système :

$$\begin{cases} \alpha > 0; \\ \beta > 0; \\ \gamma = 0, \end{cases} \quad (5.1)$$

avec la condition d'équilibre (6.5) qui doit toujours être vérifiée. On a alors :

$$\alpha + \beta = 1 \quad (5.2)$$

La fonction d'utilité correspondante (4.11) à maximiser est alors exprimée par l'équation suivante :

$$\max_{(B,V,C)} U(C, B) = \frac{1}{\alpha^\alpha \beta^\beta} \times C^\alpha B^\beta \quad (5.3)$$

la contrainte de budget (4.12) devient :

$$\begin{aligned} Y_N &= Y - L - D \\ &= C + B \end{aligned} \quad (5.4)$$

De (4.13) et (4.14) on obtient alors pour C^* et B^* , les solutions optimales, les égalités suivantes :

$$C^* = \alpha \times Y_N \quad (5.5)$$

et

$$\begin{aligned} B^* &= \beta \times Y_N \\ &= (1 - \alpha)Y_N \end{aligned} \quad (5.6)$$

5.1.2 Vers l'aboutissement d'une ville compacte monocentrique

Observons quelle géométrie urbaine le modèle génère pour respecter le plus favorablement cette situation particulière.

Le concept général du modèle stipule que les individus arrivent les uns près les autres en s'installant au plus près du *CBD* pour minimiser le coûts de leurs déplacements obligatoires.

Ainsi, $\forall i \in \mathbb{N}$, l'individu I_{i+1} vient se localiser dans la continuité de I_i . La distance d entre ces deux personnes est trivialement :

$$d(I_{i+1}; I_i) \simeq 0 \quad \forall i \quad (5.7)$$

L'arrivée des individus est stoppée lorsque un individu finit par s'installer à la distance $d_{B_{max}}$ (4.27).

$$\exists k \in \mathbb{N} / d(I_k; CBD) = d_{B_{max}} \quad (5.8)$$

L'individu I_k peut alors se rendre au maximum une fois par cycle d'étude considéré au *CBD*.

$$p_B = \frac{\beta Y_N}{d_{B_{max}} \theta} \simeq 1 \quad (5.9)$$

Le prochain individu I_{k+1} doit alors s'installer à une distance du *CBD* qui ne lui permettra plus de consommer des aménités urbaines sur le cycle d'étude considéré.

La ville a donc une configuration qui correspond à [Fig. 5.1], l'étape 1 de toute création de ville par le modèle.

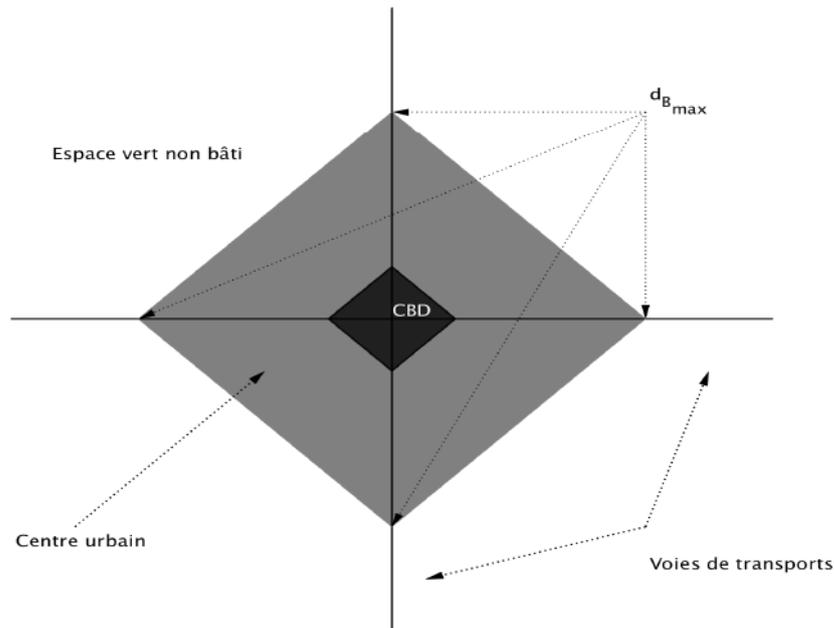


FIGURE 5.1: Pôle urbain initial

Comment poursuivre ?

De tous les scénarios possibles, nous sommes dans celui où l'intérêt des individus pour les aménités urbaines est à son maximum ($\beta = 1 - \alpha$). Tout individu susceptible d'arriver ne peut plus être satisfait par la distance le séparant du *CBD*.

Que fait-on alors à l'étape suivante de la ville ?

Soit $N_1 = \sum_{i=1}^n I_i$ le nombre d'individus arrivés sur le territoire à l'issue de cette première étape.

Et soit N_{max} le nombre maximums d'individus que peuvent satisfaire les services rares (hôpitaux, théâtre,...) d'une ville à l'échelle de celle que nous développons. (C'est-à-dire que ces offres urbaines rares ne sont présentes qu'une seule fois dans la ville.)

Deux cas de figures sont à considérer par l'aménageur pour la suite¹ :

◊ Cas 1 : $N_1 = N_{max}$

Le nombre d'individus sur le territoire remplit les fonctionnalités du *CBD* et l'aménageur ne peut plus implanter d'autres services rares. La ville est arrivée à terme de son évolution.

◊ Cas 2 : $N_1 < N_{max}$

Les services rares peuvent encore satisfaire un nombre d'individus plus important. L'aménageur décide tout de même de les implanter pour « forcer » l'arrivée de futurs entrants qui continuent à s'installer en respectant (5.7).

Or, à présent :

$$\forall j, /j > k \quad d(I_k; CBD) > d_{B_{max}} \quad \text{et} \quad p_b(I_j) < 1 \quad (5.10)$$

Les individus arrivés après I_k pourront se rendre moins d'une fois par cycle d'étude considéré consommer des aménités urbaines au *CBD*.

La ville compacte comme réponse adéquate mais limitée

Le modèle conçoit donc une ville compacte monocentrique pour répondre à cette situation binaire. Dans la réalité, elle correspond soit à certaines villes anciennes, soit aux villes conçues après la période industrielle où les individus arrivaient en ville pour profiter de ses avantages sans avoir d'intérêt pour les aménités vertes.

Mais si la ville compacte satisfait les individus par rapport aux coûts consacrés aux aménités urbaines, elle n'offre pas de compensation aux individus les plus éloignés du *CBD*.

En effet, la fréquence p_B de déplacements, obtenue de (4.26) pour un individu est :

$$p_B = \frac{\beta Y_N}{d_B \theta} \quad \text{et} \quad \frac{\partial p}{\partial d_B} < 0 \quad (5.11)$$

Ainsi, plus on s'éloigne du centre, plus l'individu pourra effectuer un nombre plus faible de déplacements pour se rendre au *CBD* par cycle d'étude. Or, il n'existe rien pour compenser, excepté une rente foncière décroissante, les individus arrivés après les

1. On ne considère pas le troisième cas : $N_1 > N_{max}$ qui sous-entendrait que notre ville n'est pas adaptée au nombre d'individus existants. Ce qui s'expliquerait par une installation des individus sur le territoire sans respecter leur équilibre budgétaire ; ce que le modèle ne tolère pas.

premiers.

La morphologie urbaine compacte, obtenue sous des conditions particulières décrivant le comportement des individus est cohérente par son interprétation. Elle nous permet aussi de conforter certaines réflexions pour l'élaboration des prochains modèles spatiaux.

Cependant, il est certain, comme nous l'avons souligné dans notre revue critique de la littérature, que la structure urbaine compacte n'est pas une solution durable pour une organisation de ville, ni acceptée à long terme par la population qui l'occupe, bien qu'elle présente au préalable la réponse adéquate aux exigences voulues.

En effet, cette conception de ville répond de manière théorique. Mais l'histoire montre qu'elle ne peut être conforme aux volontés de ses habitants. Effectivement, bien que les individus soient uniquement demandeurs d'urbain au début de l'émergence de la ville, les effets négatifs d'une ville compacte, avec une densité urbaine et humaine trop importante, feront évoluer les volontés des habitants. Ou tout du moins, les nombreux effets négatifs de la ville compacte auront raison de cette réponse.

Nous pouvons conclure en affirmant que la ville compacte, malgré tous les avantages vantés par ses défenseurs, ne peut, sur une longue période, répondre à la satisfaction des ménages. Sa seule pérennité d'existence pourrait éventuellement se trouver dans une ville très petite, N_1 faible (village), où l'accessibilité au vert, et donc à un accès à l'air, visuel ou autre, est à une distance proche du centre.

5.2 La version verte

Nous nous penchons ici sur le scénario inverse au précédent. Nous sommes dans la situation où les individus sont intéressés uniquement par une consommation d'aménités vertes. L'urbain ne sert plus alors dans cette conception que de nécessité pour les consommations dites obligatoires.

5.2.1 Mise en équation

Le système général des paramètres de la fonction Cobb-Douglas répond alors à ce nouveau système :

$$\begin{cases} \alpha > 0 ; \\ \beta = 0 ; \\ \gamma > 0, \end{cases} \quad (5.12)$$

avec la condition d'équilibre (6.5) toujours respectée. Soit on a l'égalité :

$$\alpha + \gamma = 1 \quad (5.13)$$

Ce qui revient alors finalement à devoir maximiser la fonction d'utilité suivante :

$$\max_{(B,V,C)} U(C, V) = \frac{1}{\alpha^\alpha \gamma^\gamma} \times C^\alpha V^\gamma \quad (5.14)$$

sous toujours la même contrainte de budget (4.12), soit :

$$Y_N = Y - L - D \quad (5.15)$$

Les solutions d'équilibres (5.5) et (5.6), de la fonction d'utilité à maximiser, sont notées alors, respectivement pour les biens composites et les aménités vertes, C^* et V^* , et respectent les égalités suivantes :

$$C^* = \alpha \times Y_N \quad (5.16)$$

et

$$\begin{aligned} V^* &= \gamma \times Y_N \\ &= (1 - \alpha)Y_N \end{aligned} \quad (5.17)$$

5.2.2 Une ville éclatée comme solution

En appliquant le modèle général, les individus arrêtent leurs arrivées au moment où ils ne satisfont plus à la distance $d_{B_{max}}$.

Dans cette situation, on a alors :

$$d_{B_{max}} = \frac{\beta Y_N}{p_B \theta} = 0 \quad (5.18)$$

La ville voit alors son émergence s'arrêter au bout de l'arrivée des 4 premiers individus qui ne consomment pas de frais pour se rendre au *CBD*. La ville est concrètement stoppée à son commencement. Il faut alors reproduire une infinité de *CBD* opérationnel pour les N_1 individus installées à sa frontière, éparpillées de manières aléatoires sur le terrain d'étude.

La ville conçue par le modèle pour répondre à cette situation est une « ville » constituée d'habitations isolées réparties sur le territoire.

Si tant est qu'on peut appeler cette morphologie une ville, celle-ci peut correspondre dans la réalité à des hameaux où les occupants sont très souvent des agriculteurs vivants des ressources présentes sur le territoire d'habitation.

Une légère adaptation

Comment l'aménageur urbain peut répondre à cette non ville ?

En effet, le *CBD* d'arrivée est quand même conçu pour un nombre plus important d'individus.

Les ménages ne sont pas intéressés dans ce modèle par les aménités urbaines. Mais ils travaillent tout de même au *CBD*.

On peut éventuellement faire une réflexion par rapport à la part du budget nécessaire pour les déplacements obligatoires, D . On peut alors considérer que les individus

stoppent leurs arrivées lorsque la distance au *CBD* ne leur permet plus de faire le minimum de trajets nécessaires sur un cycle d'étude considéré.

On se retrouve alors avec un agencement similaire à la ville « éclatée ». À l'exception que ceux-ci sont maintenant de petites pôles urbains où sont présents un très faible nombre d'activités et séparés entre eux par des surfaces de vert.

Ce système de ville peut se justifier par une compensation sur la fréquence p_V de déplacements au vert, obtenue de (4.29) :

$$p_V = \frac{\beta Y_N}{d_B \theta} \quad \text{et} \quad \frac{\partial p_V}{\partial d_B} < 0 \quad (5.19)$$

Ainsi, plus l'individu est proche du centre et moins il pourra effectuer de déplacements pour se rendre au vert par cycle d'étude. Il bénéficiera d'une compensation en ayant des dépenses obligatoires réduites.

Une véritable ville ?

Evidemment, concevoir et modéliser une ville où les gens ne sont porteurs d'aucun intérêt pour les aménités urbaines peut sembler en soi un peu paradoxal, voire même, plutôt contradictoire avec l'intérêt de créer une ville.

D'ailleurs, le résultat obtenu peut-il être assujéti véritablement à une ville ? En effet, la structure obtenue n'est pas tellement une structure organisée et s'apparente plutôt comme une étendue de vert composée de lacunes urbaines. Celles-ci sont par suite répandues de façon plus ou moins aléatoire sur l'ensemble du territoire recouvert par la dite ville.

Dans cette ville où les individus n'ont d'envies de dépenses que l'accès au vert, il n'existe pas véritablement de dominance urbaine. C'est-à-dire que la ville, représentée par un système de bâtis, est noyée dans un espace vert.

Différemment vu, notre ville peut être comparée dans la réalité à un regroupement de petits villages dont l'ensemble constituerait la « ville ».

5.3 Une égalité : deux morphologies différentes en réponse

Nous poursuivons maintenant la validation du modèle en l'appliquant pour une situation qui s'approche plus de la réalité. Nous considérons à présent l'état où les individus ont même intérêt pour les aménités urbaines et vertes.

Le modèle proposera une ville polycentrique sous forme de géométrie « damier » pour première réponse. Grâce à notre rôle d'aménageur, nous proposerons également une autre structuration des pôles urbains basée sur une géométrie monofractale monocentrique. Cette proposition d'aménagement voudra répondre à certains inconvénients observés avec la première structure générée.

5.3.1 Traduction algébrique

Les paramètres de la fonction Cobb-Douglas répondant à la situation étudiée respectent le système suivant :

$$\begin{cases} \alpha > 0; \\ \beta = \gamma > 0, \end{cases} \quad (5.20)$$

La condition d'équilibre (6.5) est alors donnée par :

$$\alpha + \beta + \gamma = \alpha + 2\beta = 1 \quad (5.21)$$

Ce qui revient alors finalement à devoir maximiser la fonction d'utilité suivante :

$$\max_{(B,V,C)} U(C, B, V) = \frac{1}{\alpha^\alpha (\beta\gamma)^\beta} \times C^\alpha B^\beta V^\beta \quad (5.22)$$

sous toujours la même contrainte de budget (4.12), soit :

$$\begin{aligned} Y_N &= Y - L - D \\ &= C + B + V \end{aligned} \quad (5.23)$$

Les solutions d'équilibres (5.5) et (5.6), de la fonction d'utilité à maximiser, sont notées alors, respectivement pour les biens composites, les aménités urbaines et vertes, C^* , B^* et V^* , et respectent les égalités suivantes :

$$C^* = \alpha \times Y_N \quad (5.24)$$

et avec (5.21),

$$\begin{aligned} B^* = V^* &= \beta \times Y_N \\ &= \frac{1 - \alpha}{2} \times Y_N \end{aligned} \quad (5.25)$$

Un rapport égal entre vert et urbain

L'arrivée des individus en ville s'arrête lorsque l'individu I_k entrant se trouve à la distance $d_{B_{max}}$ du *CBD*. Celui-ci peut se rendre alors une fois par cycle d'étude considéré au *CBD*. Il peut par contre se rendre une infinité de fois au vert.

$$p_B(I_k) = 1 \quad \text{et} \quad p_V(I_k) \rightarrow +\infty \quad (5.26)$$

De (4.27) et (4.30) on a aussi :

$$d_{B_{max}} = d_{V_{max}} \quad (5.27)$$

Et par symétrie, on a les fréquentations moyennes urbaines et vertes inversées pour I_1 , toujours sur le même cycle d'étude considéré.

$$p_B(I_k) \rightarrow +\infty \quad \text{et} \quad p_V(I_1) = 1 \quad (5.28)$$

Ainsi, par continuité et linéarité d'installation sur l'ensemble des individus entre I_1 et I_k , on a :

$$\forall j \in \llbracket 1; k-1 \rrbracket, \quad p_B(I_{1+j}) = p_V(I_{k-j}) \quad (5.29)$$

5.3.2 Une addition de pôles urbain identiques

On appelle N_1 le nombre d'individus installés à l'issue de la première étape de la ville qui constitue la création du premier pôle urbain, noté U_1 . Et on note \mathcal{A}_1 l'aire de ce premier pôle.

Les individus continuent leurs arrivées. Comment concevoir alors la disposition du futur pôle urbain ?

Il est raisonnable de conserver pour les prochains individus entrants ce rapport égalitaire entre distance maximale au *CBD* et distance maximale au vert, entre le premier et le dernier individu.

Pour cela l'aménageur choisit de développer le *CBD* initial avec seulement des services satisfaisants le nombre N_1 d'individus arrivés.

Ainsi à chaque N_1 arrivées d'individus sur le territoire, un pôle urbain U_i d'aire \mathcal{A}_1 est créé.

Les quatre prochains pôles créés correspondent à l'arrivée de $4 \times N_1$ individus. Ainsi, on ajoute encore 4 pôles identiques U_i , $i \in \llbracket 1; 4 \rrbracket$ d'aire \mathcal{A}_1 au prolongement des extrémités de U_1 [Fig. 5.2].

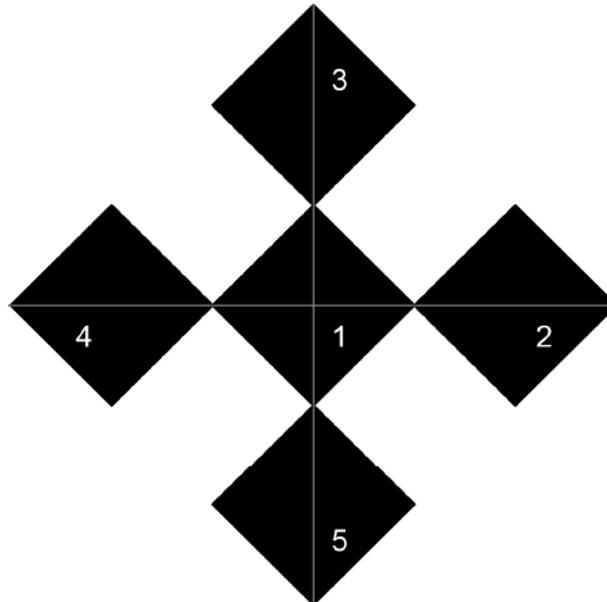


FIGURE 5.2: 5 premiers pôles urbains

L'aménageur laisse se reproduire dans chacun de ces pôles urbains un *CBD* où se concentrent les emplois et aménités urbaines nécessaires pour N_1 individus.

À ce moment du développement de la ville, chacun des pôles est donc indépendant des autres. Son aire de chalandise porte sur sa surface d'occupation \mathcal{A}_1 .

Les individus continuent d'arriver en respectant la même règle de création d'un nouveau pôle une fois N_1 individus arrivés.

Chaque U_i se voit attribuer deux axes de déplacement disposés comme au premier centre. S'ajoutent à ceux-ci au sein du pôle des voies de transport parallèles aux deux premiers. On garantit ainsi les mêmes distance de déplacement (distance de Manhattan) au centre pour les individus situés à la frontière, donc l'extrémité, du pôle.

Afin de limiter l'étalement urbain, les prochains pôles sont construits au fur et à mesure de l'arrivée des individus aux extrémités des pôles précédents, dans la continuité des axes de déplacement existants [Fig. 5.3].

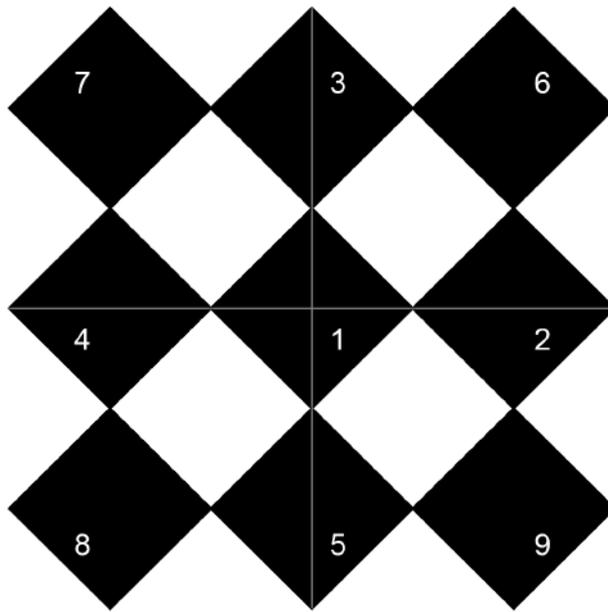


FIGURE 5.3: Installation des pôles suivants

Il existe alors $l \in \mathbb{N}$ tel que $l \times N_1 \geq N_{max}$; N_{max} étant le nombre maximal d'individus que peut satisfaire une ville avec l'ensemble des aménités urbaines simples et rares.

En effet, si chaque pôle urbain répond à la demande des individus l'occupant, il est concevable à présent pour l'aménageur d'implanter des aménités urbaines plus rares. L'aire de chalandise de la ville peut s'accroître avec l'augmentation de la population.

La croissance urbaine s'arrête une fois ce nombre N_{max} d'individus installés. Il n'est alors plus possible de satisfaire aux demandes des individus et nous devons alors créer une nouvelle ville.

Cette croissance démographique constitue à la fois une attente et/ou un besoin de services plus rares pour la population et donc leurs créations.

Ainsi, $\forall i \in \llbracket 1; k \rrbracket$ et $\forall U_i, \exists N_{E_i}$, nombre d'emplois, tel que $N_{E_i} = N_1$.

Et donc $\forall i \in \llbracket 1; k \rrbracket d(I_i; E_i) \leq d_{B_{max}}$ et $D(I_i) \leq D + L$

Il reste maintenant pour l'aménageur à définir la localisation des services rares sur l'ensemble du territoire urbain. On veut rester dans ce principe d'équilibre pour les individus. Il est alors nécessaire pour cela de répartir les services rares (Hôpital, Théâtre, Université, Cinéma,...) de manière uniforme autour du premier pôle urbain. Ainsi, en considérant que les individus consomment un nombre t de fois par cycle d'étude ces aménités, un équilibre entre chaque individu est établi en répartissant celles-ci de cette façon.

Les aménités urbaines rares et uniques sont réparties de façon équidistante sur l'ensemble de la ville. Cela permet aux individus d'effectuer les mêmes distances pour bénéficier de chacune des ces aménités dans chaque cycle d'étude considéré.

Cette disposition maintient une égalité entre les individus. En effet, pour un même nombre de fréquentations vers chacun de ces sites, les distances à parcourir sont compensées pour chaque individu suivant sa proximité à l'un ou l'autre de ces services.

Une ville polycentrique égalitaire comme réponse

La morphologie obtenue par l'application du modèle nous permet de proposer une ville polycentrique égalitaire. Plusieurs pôles identiques et égaux sont ajoutés les uns aux autres et forment ainsi plusieurs centres ; l'ensemble définissent la ville. Ici, la notion de hiérarchie urbaine est donc totalement inoculée.

La réponse du modèle à cette situation où les individus affectent autant d'importance aux aménités urbaines ou vertes semblent correspondre à des morphologies de villes ayant déjà existé pour répondre à des objectifs similaires. On pense ici à la conception urbaine de la ville de Barcelone et du plan Cerdà (cf. 2.4.3). Les villes à damiers américaines suivent également le même principe d'agencement.

Une morphologie limitée par ses avantages

Si l'idée de répondre à une égalité des intérêts des individus par une ville polycentrique égalitaire semble une solution adaptée, l'histoire a montré que les effets positifs ne suivent pas les espoirs envisagés.

Un des principaux aspects négatifs est, en dehors de cette problématique liée aux aménités urbaines rares réparties sur plusieurs pôles, la non hiérarchie des espaces vert. Les individus ont à disposition qu'un seul type d'espace vert. On pourrait imaginer choisir certaines superficies et les aménager tandis que d'autres seront laissées le plus nature et répartir celles-ci de la même façon que les aménités urbaines rares. Mais une des caractéristiques des espaces vert de forte qualité, c'est-à-dire avec le plus de vert possible et donc plus rare, dépend de la surface qui lui est consacré. Un espace de forêt pour des aménités comme le VTT par exemple nécessite plus qu'un espace avec un square ; ce que ne permet pas d'élaborer cette structure damier.

Nous retombons avec les modèles de villes élaborés jusqu'à présent sur des principes de morphologies urbaines que la ville a connu dans son passé. Pourtant, comme montré dans nos modèles avec les conditions respectées des attentes de la population, ces morphologies ont prouvé, encore aujourd'hui, des inadaptations, à la fois sur le ressenti

des individus de leur cadre de vie et sur une politique plus globale de durabilité de la ville.

5.3.3 Une ville monofractale comme nouvelle proposition

Pour répondre aux limites de la ville polycentrique égalitaire, le rôle de l'aménageur est alors de proposer une morphologie différente respectant toujours les contraintes souhaitées par la population.

Ici, nous proposons une disposition différente des pôles urbains afin de constituer une ville s'appuyant sur une géométrie monofractale.

Nous ferons ensuite une comparaison avec la ville à damiers et nous montrerons les avantages du choix opérationnel d'une ville à géométrie monofractale et permettant de réduire certains inconvénients des modèles présentés jusqu'à présent.

Mêmes règles mais une disposition différentes des pôles urbains

Une étape initiale identique

Les conditions et règles de constructions des pôles urbains ne diffèrent pas. À savoir que pour respecter l'équilibre entre le premier et dernier individu, $d_{V_{max}} = d_{B_{max}}$, les pôles créés sont toujours identiques au premier et d'aire \mathcal{A}_1 .

Ainsi, après l'arrivée de $5 \times N_1$ individus, la ville dispose toujours ces 5 pôles urbains comme pour la première étape de la ville polycentrique régulière [Fig. 5.2].

Une disposition semi-additive

Dans la ville polycentrique, les pôles urbains s'ajoutent autour du premier pôle urbain de manière « escargot ».

En tant qu'aménageur, nous proposons de disposer les mêmes surfaces d'occupation des pôles, non plus de façon additive mais de sorte à réitérer le format existant de ces cinq pôles urbains de l'étape 1 de la ville aux quatre extrémités des deux axes de déplacement principaux initiaux.

Le processus constitue ensuite à répéter² pour l'étape suivante la disposition existante à l'étape précédente aux extrémités de la structure [Fig. 5.4].

Quelques différences dans l'agencement final

Avec une lecture approfondie de la figure précédente, on peut faire apparaître dans cette nouvelle forme urbaine l'émergence de différentes aires de vert [Fig. 5.5].

Cette morphologie offre à la population différentes catégories d'espaces vert permettant de trouver des espaces propices à un panel d'aménités vertes plus abondant.

2. Le mot « fractale » vient du latin *fractus* qui signifie « brisé ».

Il faut comprendre ici l'appellation fractale comme un objet géométrique « infiniment morcelé » dont les détails sont observables à une échelle arbitrairement choisie. En zoomant sur une partie, on peut retrouver toute la figure, on dit alors qu'elle est autosimilaire.

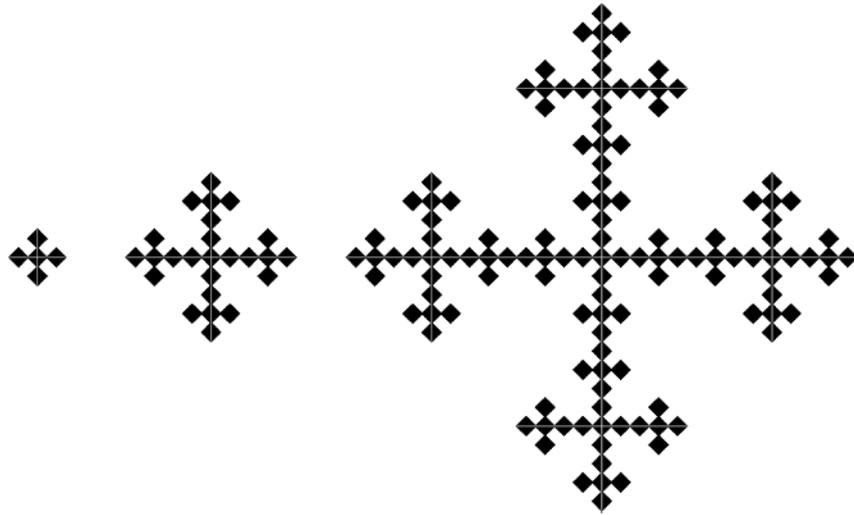


FIGURE 5.4: Construction de la ville monofractale aux étapes 1, 2 et 3

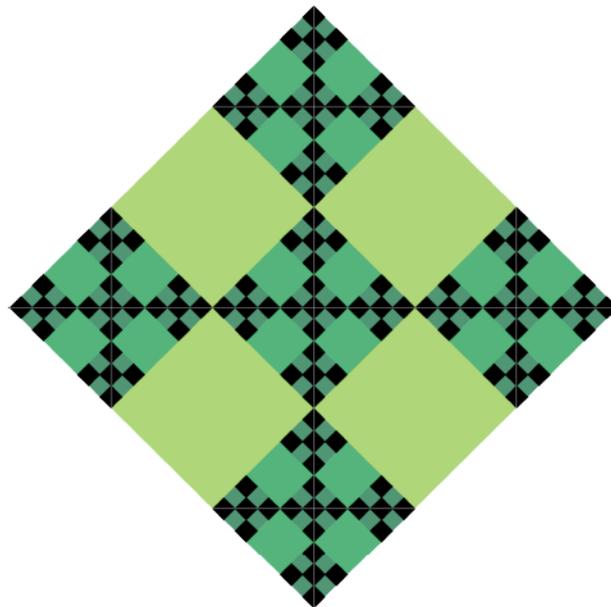


FIGURE 5.5: Les différentes surfaces de vert d'une ville monofractale

L'aménageur doit alors décider de l'implantation des services rares, une le nombre d'habitants N_{max} atteints.

Cette nouvelle ville se développe le long des deux axes principaux initiaux. Il convient alors de placer ces aménités rares au centre du premier pôle créé. En effet, celui-ci est le centre de gravité de la forme géométrique. Les distances à chaque extrémité sont donc égales au centre et ce choix plaide en faveur de l'équilibre entre les individus sur les distances à parcourir pour se déplacer au centre et aux espaces vert de différentes ordres.

Nous sommes ici en présence d'une ville qui suit un agencement que l'on peut qualifier de « polymonocentrique ».

5.3.4 Comparaison géométrique des deux modèles

Nous voulons ici comparer les deux villes obtenues pour la situation où les individus partagent la même part d'intérêt pour l'urbain et le vert.

Nous nous intéressons aux différences géométriques (distances et aires) des deux modèles urbains et nous considérons les avantages de l'une par rapport à l'autre. L'objectif implicite est d'argumenter en faveur de la ville monofractale qui, nous pensons, propose une meilleure alternative à la situation proposée que la ville polycentrique égalitaire.

Comparaison d'occupation d'espace

Nous comparons dans un premier temps la surface occupée par la ville dans son intégralité, urbain et vert.

Par commodité d'écriture, nous nommons $a = d_{B_{max}}$ et k l'indice du nombre de pôles implantés. On note \mathcal{U}_k l'aire (bâti et vert) de la ville pour k pôles implantés.

1. Ville polycentrique égalitaire

Nous savons une fois la ville terminée qu'elle prend une structure sous forme de damiers. Le premier pôle urbain est ensuite suivi de 4 pôles émergents aux axes de transport initiaux. Sachant la morphologie finale, et pour généraliser les calculs, nous choisissons de numéroté l'apparition des pôles de façon à opérer une apparition sous forme d'« escargots » et suivant un sens trigonométrique [Fig. 5.6].

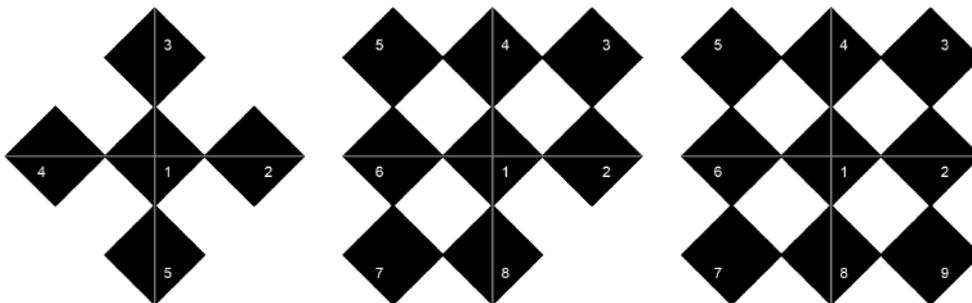


FIGURE 5.6: Numérotation en « escargot » de la ville polycentrique égalitaire

On a alors :

$$\begin{aligned} k = 1, \quad \mathcal{U}_1 &= 4a^2 \\ k = 2, \quad \mathcal{U}_2 &= 2 \times 4a^2 = 8a^2 \end{aligned} \quad (5.30)$$

La construction de la ville se fait de manière additive. En effet, à $k \times N_1$ individus, on ajoute le k -ème pôle (et sa superficie de vert) au $k-1$ pôles précédents.

Ainsi pour n implantations, on a :

$$\mathcal{U}_n = n \times a^2 \quad (5.31)$$

On veut maintenant déterminer l'aire du quadrilatère $\mathcal{Q}(n)$ contenant un nombre n quelconques de pôles. Autrement dit, on cherche à déterminer la surface du quadrilatère contenant, en nombre de pôles, l'ensemble de n pôles érigés.

Le quadrilatère $Q(n)$ correspond à l'enveloppe de n notée $Env(n)$ et la généralisation se fait comme telle (Annexe B) :

- Si n est un carré parfait
Alors $Env(n) = n$
- Si $(Ent(\sqrt{n}))^2 < n \leq (Ent(\sqrt{n}))^2 + Ent(\sqrt{n})$
Alors $Env(n) = (Ent(\sqrt{n}))^2 + Ent(\sqrt{n})$
- Si $(Ent(\sqrt{n}))^2 + Ent(\sqrt{n}) < n \leq (Ent(\sqrt{n}))^2$
Alors $Env(n) = (Ent(\sqrt{n}))^2 + Ent(\sqrt{n}) + Ent(\sqrt{n}) + 1 = (Ent(\sqrt{n}) + 1)^2$

2. Ville monofractale

L'élaboration de la ville monofractale suit une construction semi-additive. À chaque étape de construction, on multiplie le pôle urbain initial 4 fois autour du pôle initial et on ajoute l'ensemble au fur et à mesure le long des axes de déplacement.

Soit $P_k(m)$ le nombre de pôles à l'étape m de la construction de la ville :

$$\begin{aligned} P_k(m+1) &= P_k(m) + 4 \times P_k(m) \\ &= 5 \times P_k(m) \\ P_k(m) &= 5^m \end{aligned} \quad (5.32)$$

La construction géométrique de la ville monofractale respecte une suite géométrique de raison $r = 20$.

À chaque étape de la ville, celle-ci est aussi contenu dans un quadrilatère, un carré en l'occurrence telle que :

$$\begin{aligned}
 m = 1, \quad \mathcal{Q}'_1 &= 2 \times (3a)^2 \\
 m = 2, \quad \mathcal{Q}'_2 &= 2 \times (3^2a)^2 \\
 m = 3, \quad \mathcal{Q}'_3 &= 2 \times (3^3a)^2
 \end{aligned}
 \tag{5.33}$$

À chaque étape m de la ville, celle-ci est contenue dans un quadrilatère d'aire \mathcal{Q}'_m égale à :

$$\mathcal{Q}'_m = 2 \times (3^m a)^2
 \tag{5.34}$$

3. Conclusion

Chaque étape de la ville polycentrique égalitaire correspond à l'ajout d'un pôle d'aire \mathcal{A}_1 . Tandis que la ville monofractale ajoute 4 fois le nombre de pôles à l'étape précédente.

Ainsi, pour comparer l'occupation du territoire par ces deux villes, prenons le cas particulier de l'étape 2 de la ville monofractale qui correspond à la présence de $25 = 5 \times 5$ pôles.

La ville polycentrique égalitaire est donc comprise dans un quadrilatère \mathcal{S} d'aire \mathcal{S} :

$$\mathcal{S} = (2 \times a \times 5)^2 = 100 \times a^2
 \tag{5.35}$$

La ville monofractale est, elle, comprise dans un quadrilatère \mathcal{S}' d'aire \mathcal{S}'

$$\mathcal{S}' = 2 \times (3^2 a)^2 = 162 \times a^2
 \tag{5.36}$$

La ville polycentrique égalitaire occupe donc une surface moins importante que la ville monofractale. Son élaboration est d'ailleurs conçue dans un but implicite de limiter l'étalement urbain.

Comparaison des surfaces de vert

1. Ville polycentrique égalitaire

Dans cette morphologie, chaque pôle urbain créé est compris dans un carré d'aire $2a^2$. Les quatre angles de ce carré sont des triangles d'aire $\frac{a^2}{2}$ composé de vert.

Ainsi, à chaque pôle urbain est associé $4 \times \frac{a^2}{2} = 2a^2$ de vert. Soit il apparaît à la construction d'un pôle, sa même surface de vert.

Ainsi, pour k pôles créés d'aire \mathcal{A}_1 , on crée k pôles de vert d'aire égale à \mathcal{A}_1 . L'aire de vert $\mathcal{V}(k)$ est donc donnée par :

$$\mathcal{V}(k) = k \times 2a^2
 \tag{5.37}$$

Au final, dans une ville polycentrique égalitaire comme la notre, la surface de vert est égale à la surface de bâtis, soit $2 \times k \times a^2$. Elle respecte une égalité bâti/vert.

2. Ville monofractale

À chaque étape m de la ville monofractale, on a une surface de vert \mathcal{V}'_m qui se compose de $k'(k'-1)\mathcal{A}_1$ vert identique au vert de la ville polycentrique égalitaire (k' le nombre de pôles à l'étape $m-1$, $m > 1$) et $4 \times \mathcal{Q}'_{m-1}$ vert de plus importante qualité. On a ainsi pour chaque étape de la ville m , une aire de vert notée $\mathcal{V}'_m(k)$ telle que :

$$\begin{aligned}\mathcal{V}'_m(k') &= k'(k'-1)2a^2 + 4 \times \mathcal{Q}'_{m-1} \\ &= k'(k'-1)2a^2 + 2 \times (3^{m-1}a)^2\end{aligned}\quad (5.38)$$

3. Conclusion

Ainsi à l'étape où $k = 25$ pôles sont créés (étape 2 de la ville monofractale), on a $\mathcal{V}(25) = 50a^2$ et $\mathcal{V}'_2 = 5 \times 4 \times 2a^2 + 4 \times (3^{2-1}a)^2 = 76a^2$

La ville monofractale offre ainsi une surface de vert beaucoup plus importante à la population. De plus, à cette étape par exemple, il existe $4 \times 11 \times 2a^2$ de vert sans discontinuité. Tandis que dans la ville polycentrique égalitaire, l'individu ne bénéficiera jamais plus d'une surface de vert supérieure à $2 \times a^2$ dans son environnement direct.

Comparaison des distances de déplacements

Nous considérons la ville polycentrique et la ville monofractale à une étape de construction où figurent le même nombre de pôles urbains. Soit nous choisissons l'instant où 25 pôles sont érigés, ce qui correspond à l'étape 2 de la ville monofractale. Et nous considérons l'individu $I_{1;25}$, c'est-à-dire le premier individu installé dans le pôle U_{25} , soit au centre du *CBD* de ce pôle. Nous considérons également, pour l'exemple, 4 services d'aménités rares consommés un même nombre de fois par un individu dans un cycle d'étude considéré.

1. Ville polycentrique égalitaire

Nous disposons donc les 4 services, notés $A B C$ et D , de façon à équidistance du centre principal. Ceci afin de respecter la condition égalitaire pour les individus de se déplacer pour ces 4 services [Fig. 5.7].

Ainsi l'individu $I_{1;25}$ doit, s'il veut bénéficier dans la même sortie des 4 aménités, parcourir une distance minimum de :

$$4a + 4a + 4a + 4a = 16a$$

Si l'individu, et qui correspond certainement plus à la réalité des aménités dispersées, choisit de consommer ces aménités en s'y rendant de manière indépendante, il doit alors parcourir au minimum

$$4a + 8a + 6a + 4a = 22a$$

2. Ville monofractale

La ville monofractale est monocentrique. Les 4 aménités rares sont disposées au sein du pôle urbain initial U_1 . Dans cette configuration, l'individu consomme les 4 aménités dans sa même sortie. Il doit alors parcourir une distance de :

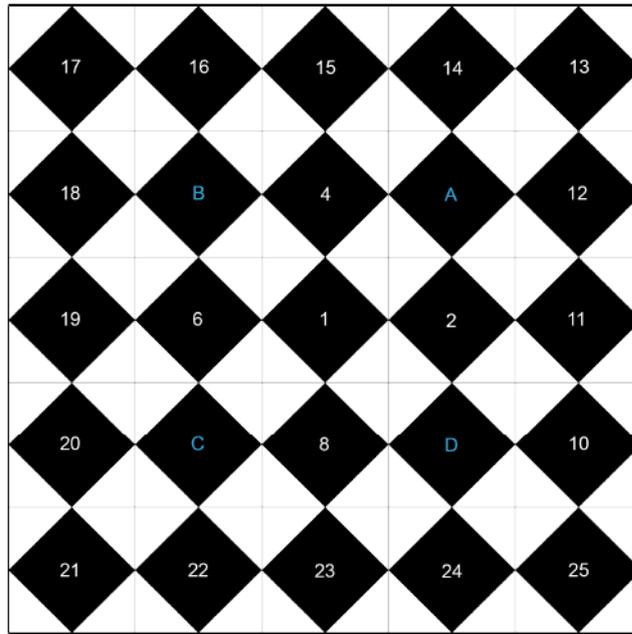


FIGURE 5.7: Ville polycentrique à 25 pôles et 4 services rares implantés

$$1 \times 8a = 8a$$

3. Conclusion

Ainsi, avec ce cas particulier, généralisable à l'ensemble de la population, la distance à parcourir est au moins deux fois plus élevée pour le même individu dans la ville polycentrique. Indéniablement, en multipliant ces résultats pour chaque individu, les déplacements et les distances de parcours sont à leurs tours multipliés. Où la ville monofractale tend à minimiser les déplacements, bien que son étalement soit plus important, la ville polycentrique favorise au contraire un allongement des distances.

Remarquons tout de même, qu'en plaçant ces services au pôle urbain initial, donc au centre, on retrouve la même distance à parcourir dans les deux villes pour l'individu, notamment pour l'individu $I_{1;25}$

Mais en acceptant cet aménagement centré, nous perdons l'argument du « damier » et la cohérence de son émergence. En effet, les pôles ne sont alors plus indépendants et égalitaire puisque le pôle U_1 est à ce moment plus favorisé en aménités urbaines. De ce fait, ses habitants le sont aussi par rapport à ceux des autres pôles. Et il n'existe pas dans la structure à damiers de phénomène de compensation possible entre les individus de ce pôle central et des autres.

Conclusion

Les deux structures présentent toutes deux un ensemble de pôles urbains, tous identiques entre eux, qui répondent aux caractéristiques de la population pour le scénario étudié. La ville polycentrique égalitaire offre une réponse exclusivement additive avec l'ajout successif des pôles. Bien qu'elle satisfait dans un premier temps les contraintes demandées, elle présente une offre moins alléchante que la ville monofractale.

En effet cette dernière est elle, un mixte de construction additive et de multiplication des pôles. Si elle s'étend sur une surface plus importante au même nombre de pôles émergés, cette surface plus importante est occupée par une présence de vert. Ce territoire vert plus important et sans discontinuité permet d'offrir à la population des qualités de vert différentes. Les espaces verts construits en bordure des bâtis sont des espaces verts de première catégorie où l'individu peut satisfaire les mêmes besoins que les individus de la ville polycentrique. La différence est qu'il existe dans cette nouvelle structure la présence d'un territoire où il est possible d'offrir aux individus une offre de vert de meilleur qualité propice à des activités nécessitent plus d'espace et de nature.

On assiste donc, ici, avec cette géométrie particulière de fractale à une hiérarchie des espaces vert qui permet d'offrir plus de nature, et donc une meilleure qualité de vie aux habitants. Quand la ville polycentrique égalitaire est une sorte de ville compacte aérée, ou ville « passoire », la ville monofractale est plus dirigée vers une ouverture vers l'espace, dans un esprit qui fait tendre la ville vers un système moins emprisonnée. plus libre.

Au nombres de pôles urbains u_k créés, le rapport de vert sur le bâti est nettement supérieur pour la ville monofractale comparée à la ville polycentrique :

$$\frac{\mathcal{V}'_m(k')}{2k'a^2} > \frac{\mathcal{V}(k')}{2k'a^2} = 1.$$

L'interrogation que soulève cette morphologie peut se trouver par la suite dans l'égalité des pôles urbains. Même si le centre initial devient le plus important, les aménités rares s'y trouvant, il n'existe pas de hiérarchie urbaine, les autres pôles étant tous identiques. Il est alors difficile de faire apparaître un système de compensation pour les individus suivant leur différent emplacement dans la ville. Une interrogation qu'essaiera de soulever la proposition de ville présentée dans le scénario du chapitre suivant.

La ville multifractale, l'équilibre de la compensation

Nous avons pu vérifier la cohérence du modèle au chapitre précédent pour des cas binaires. Nous voulons à présent l'appliquer pour un cas général où les individus portent un intérêt et différent pour chacune des aménités, urbaines et vertes.

Ce chapitre introduit le modèle pour faire apparaître la structure à l'étape 1 qui deviendra un initiateur pour la ville fractale future. Nous proposerons d'abord une morphologie emboîtée mais ne pouvant répondre aux exigences demandées. Nous guiderons alors la morphologie de la ville, portés par la construction particulière de la ville monofractale, vers la possibilité et la faisabilité d'établir une ville s'appuyant sur cette géométrie fractale.

Le modèle montrera alors la création d'une ville multifractale.

Le chapitre continuera en montrant les avantages de compensation et d'équilibre que cette structure propose pour les individus par rapport à l'accès aux aménités urbaines et vertes une fois la structure génératrice établie avant la multiplication des pôles à chaque étape future de la ville.

La dernière section voudra observer le comportement de la ville de manière générale. Elle fera dégager, plus qu'une géométrie stricte, un « esprit » de la ville multifractale. Nous reviendrons sur l'intérêt de la ville au point de vue micro comme macroscopique. Nous terminerons en réfléchissant aux aspects à défendre pour amener les décisionnaires à pencher vers une morphologie urbaine innovante et réalisable.

6.1 Une structure initiale : futur initiateur

Toute structure fractale possède un élément appelé l'initiateur. Il correspond à la base de la structure qui était un carré dans le modèle monofractal. Avant donc de commencer tout agencement de ville suivant un processus fractal, il est nécessaire de

penser, définir et créer l'initiateur de notre ville.

6.1.1 Implantation de l'initiateur

Contexte identique

Dans ce scénario général, le système général des paramètres de la fonction Cobb-Douglas répond au système suivant :

$$\begin{cases} \alpha > 0 ; \\ \beta > 0 ; \\ \gamma > 0, \end{cases} \quad (6.1)$$

Nous retrouvons ainsi les conditions générales de la fonction d'utilité Cobb-Douglas et ses résultats d'optimum (4.2.2).

Nous nous plaçons dans un scénario où l'intérêt des individus est plus favorable aux aménités urbaines qu'aux aménités vertes ($\beta > \gamma$). D'une part, parce qu'il semble plutôt logique de supposer qu'un individu qui souhaite s'installer dans une ville se sent plus attiré par les commodités urbaines que celles liées aux vert¹. Il y vient pour profiter des aménités urbaines en plus de l'attractivité du travail. D'autre part, notre objectif en proposant la faisabilité d'une ville multifractale est de montrer qu'elle peut répondre à une nécessaire et inévitable demande urbaine, tout en ne négligeant pas, ou plutôt en offrant, une accessibilité à l'espace vert, synonyme de confort de vie.

Premier pôle urbain = Initiateur

Le processus de modélisation ne change pas. Nous créons donc la première surface d'urbain suite aux arrivées progressives des individus sur le territoire et celle-ci se termine une fois l'individu I_k atteignant la distance $d_{B_{max}}$ [Fig. 6.1].

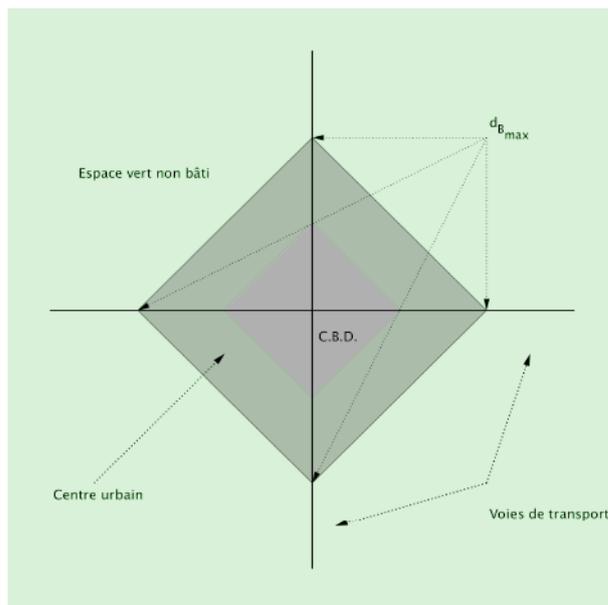


FIGURE 6.1: Création du premier centre urbain

1. Le cas $\gamma > \beta$ n'est qu'une symétrie du cas traité. Il revient alors à converger vers une ville éclatée lorsque γ est grand.

Ainsi, l'étape 1 de construction de la ville permet de générer le premier pôle urbain qui correspond à l'initiateur, nécessaire à la conception de tout objet fractal.

6.1.2 Avant la fractalité

Une fois le premier pôle urbain émergé, les individus continuent à arriver sur le territoire. L'enjeu est donc de proposer le meilleur aménagement, réalisable, pour satisfaire aux attentes des individus de leur espace de vie, mais également aux contraintes décidées par les politiques décisionnaires, répondant, elles, à des prérogatives plus générales.

La nécessité des sous-centres

On note $\forall i \in \llbracket 1; 3 \rrbracket$, $N_{1;S_i}$, le nombre d'individus à l'issue de l'émergence du premier pôle pour les scénarios $S_1(\gamma = 0)$, $S_2(\beta = \gamma)$ et $S_3(\beta > \gamma)$ ainsi que $\mathcal{A}(U_{1;S_i})$, l'aire du premier pôle de chaque scénario.

L'aire de chalandise maximale possible pour un centre urbain est obtenue pour S_1 qui satisfait un nombre $N_{max} = N_{1;S_1}$ d'individus. On a alors nécessairement :

$$N_{1;S_2} < N_{1;S_3} < N_{1;S_1}$$

L'aire de chalandise possible de ce premier pôle est donc pour S_3 plus importante que $\mathcal{A}(U_{1;S_3})$. En effet, l'ajout des services rares pourra satisfaire une population plus importante. Or, $\mathcal{A}(U_{1;S_3}) > \mathcal{A}(U_{1;S_2})$, ce qui empêche la construction d'un prochain centre de même superficie.

Une première contrainte s'impose donc dans ce scénario après l'émergence du premier pôle urbain $U_{1;S_3}$ en vue des prochains pôles. Ces derniers doivent être de taille inférieure pour satisfaire à l'aire de chalandise du premier et garder une économie rentable pour la ville.

Nous retrouvons ainsi le principe de hiérarchie urbaine des modèles de Christaller et Lösch.

Un autre argument en faveur de cette diminution de la surface urbaine des nouveaux centres, est la nécessité de créer, en contrepartie, de l'espace vert pour les nouveaux résidents. Un espace vert qui se trouve alors plus accessible, la distance étant réduite pour s'y rendre.

Une première approche intuitive, emboîtée, mais inadaptée.

La première idée intuitive serait de placer le nouveau sous-centre, à savoir son point central, à l'extrémité, soit le point limite, du premier centre urbain créé [Fig. 6.2].

Mais pour quelle raison cette structure ne peut malheureusement pas répondre aux objectifs souhaités correspondants aux attentes des individus ?

Nous considérons que l'individu installé en dernier dans la première zone urbaine contenant le *CBD* accepte cette position car en contrepartie, il a un accès au vert immédiat. S'il dépense plus d'argent pour l'urbain, il a en revanche l'avantage de ne pas

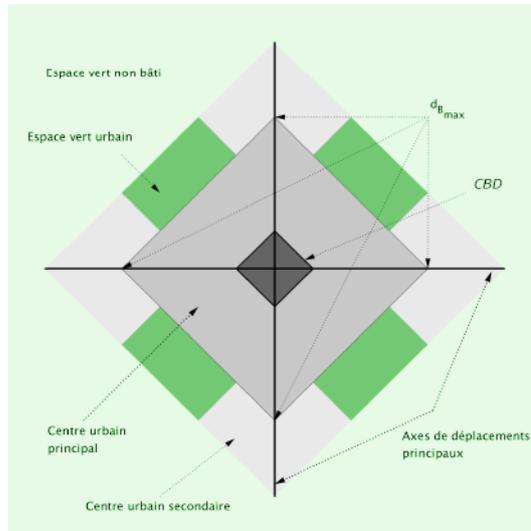


FIGURE 6.2: Ville avec emboîtement des pôles urbains

dépenser de revenu pour se déplacer au vert.

Or, il est évident que si nous laissons construire un nouveau centre, même de taille réduite, avec la dernière position du précédent centre comme point central de ce nouveau centre, l'individu $I_{1,n}$ perd son accessibilité immédiate au vert.

De plus, une construction de la sorte empiète sur le vert mis à disposition de la première surface obtenue (premier centre urbain) et va donc être indésirable pour tous les individus venus s'installer au sein de celle-ci lors de la première arrivée.

En effet, en notant b la largeur de la bande verte, cette disposition d'emboîtement fait perdre $8 \times b^2$ de surface verte par rapport à une disposition où on ajouterait les nouveaux sous-centres, de forme identique au premier, dans la continuité des extrémités de ce dernier [Fig. 6.3].

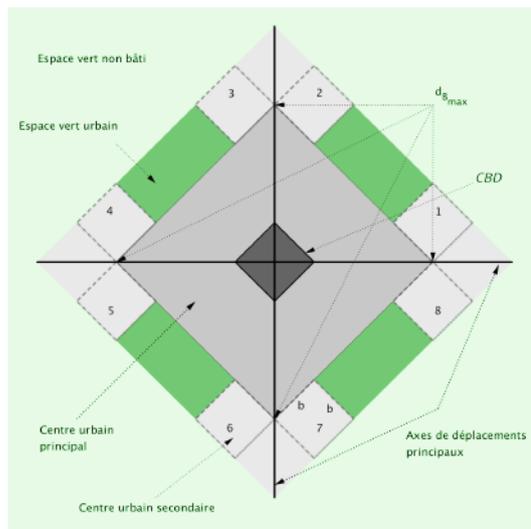


FIGURE 6.3: Empiètement sur vert

En continuant, il est facile de visualiser, en réitérant le même processus sur chaque centre urbain émergé suite à l'arrivée de nouveaux arrivants sur le territoire, que la distance au vert va être constamment augmenté pour les habitants des surfaces urbaines

précédentes.

Finalement, cet agencement n'est en réalité nul autre qu'une addition de sous-pôles de taille réduite et suit le principe de construction observée pour la ville polycentrique égalitaire. Grâce à notre rôle d'aménageur, nous avons pu répondre en proposant une ville monofractale respectant un principe semi-additif ou semi-multiplicatif de construction.

Nous cherchons aussi délibérément la mise en forme d'une structure urbaine réfléchie avec une croissance multiplicative. Dans ce qui suit, nous proposons une construction multiplicative et opérationnelle pour nous amener vers un aménagement de ville multifractale. On doit alors créer des sous-centres urbains de taille réduite par rapport au premier, le long des deux axes principaux de transports afin de conserver le déplacement optimal selon la distance de Manhattan.

Retour sur approche *additive* vs approche *multiplicative*

On peut expliquer l'additivité à propos d'une construction de ville de la sorte. Cela consiste en une proportionnalité de l'extension existante car on ajoute toujours la même chose. C'est l'élément de départ qu'on ajoute toujours. Pour une ville linéaire, on la prolonge en passant de l à $2l$ puis $3l$ et ainsi de suite, l étant la longueur initiale de la ville.

Les conséquences principales sont qu'on se retrouve logiquement face à une ville éternellement étalée vers l'infini. Et c'est également ce qu'on peut retrouver dans certains cas de villes fractales, et en l'occurrence, les villes à géométrie monofractale.

Cette conséquence est due au fait qu'en élaborant une ville de façon additive, on est amené à couvrir l'espace toujours de la même manière.

Si nous résumons, la structure d'un système additif consiste à ajouter au fur et à mesure des zones d'habitats, c'est à dire des zones urbaines identiques. On ne se soucie plus alors de la nouvelle construction à venir par rapport à l'ancienne créée à l'étape précédente. On tient uniquement compte du fait que la surface du territoire est déjà utilisée par celle-ci et que cet espace n'est plus alors logiquement « surconstructible » sur lui-même.

L'approche multiplicative présente, quant à elle, un concept de construction différent. On peut croire avec une simple observation des plans de développement de la ville à un basique ajout successif de bâtis sur l'ensemble du territoire initialement vierge. En réalité, l'évolution structurelle de la cité est plus subtile que cette simple observation d'ajouts successifs. Le principe d'une construction multiplicative répond à une géométrie urbaine ayant une structure multifractale.

La géométrie multifractale consiste à emboîter l'ensemble des éléments grands avec des éléments plus petits afin de créer une hiérarchie spatiale propre au système. La caractéristique fait qu'on obtient à la fois une hiérarchie des tâches, les zones de bâtis, mais également une hiérarchie des lacunes, des espaces verts.

La caractéristique engendrée par la création de ces lacunes de tailles différentes est que celles-ci permettent la possibilité d'une perte de la masse de bâtis en s'écartant du centre de premier ordre. Il s'agit donc d'un système avec une offre spatiale diversifiée par rapport à une structure urbaine d'uniformité.

Nous pouvons à présent là aussi, comme précédemment pour la structure additive, proposer un résumé pour la structure d'un système multiplicatif comme suit.

Dans ce cas, on reproduit le schéma initial de manière itérative. La nouvelle aire urbaine est alors construite à la fois comme une reproduction et une répétition de la précédente aire existante en taille réduite. On obtient par conséquent une « multiplication » de la zone urbaine d'origine et non plus une addition de celle-ci.

La différence fondamentale de ce principe multiplicatif est qu'il va s'opérer sur la surface occupée. L'objectif voulu avec cette application multifractale est ainsi d'obtenir une surface maximale d'une aire urbaine minimisée.

L'initiateur de cette géométrie multifractale, conçue donc par un système multiplicatif, n'est alors pas le caractère le plus important de la morphologie. Celui-ci ne donne en réalité que la façon la plus grossière de décrire l'objet final.

La grande importance relève du générateur. Puisque c'est cette forme géométrique qui sera répétée et réitérée (générée) de façon multiplicative pour, donc, obtenir une ville à géométrie multifractale.

6.1.3 Création d'une structure génératrice

Etablir le générateur consiste à établir la disposition géométrique réitérée au fur et à mesure des arrivées successives des individus dans la ville.

Plus qu'une forme géométrique bien définie à concevoir afin de pouvoir la répéter par suite à échelle réduite, il nous est absolument nécessaire de trouver l'argumentation permettant ce développement de la ville après la phase de réflexion effectuée pour obtenir notre initiateur. Celle-ci nous permettra alors la création de ce générateur.

L'objectif du raisonnement à élaborer et justifier ne tient pas seulement dans le fait de trouver une argumentation permettant de créer ce générateur. La subtilité se trouve dans le fait de trouver une argumentation qui incite à choisir ce générateur, qui doit servir à justifier la construction d'une ville multifractale par itération, qui pourrait répondre le plus favorablement à nos objectifs.

Après la première étape de développement où se trouve notre ville, celle-ci est pour l'heure uniquement constituée d'un centre urbain incluant le CBD. Et nous avons donc désigné ce premier centre urbain l'initiateur.

Au départ, le territoire vierge initial, à l'extérieur de ce centre urbain, est constitué de vert et représente l'espace où les individus viennent consommer leurs aménités vertes. Mais notons qu'à ce stade, cet espace vert est tel qu'il était au moment des premières arrivées d'individus sur le territoire.

Les nouvelles personnes venant s'installer ne sont donc plus prêtes à allonger leurs distances pour se rendre au CBD pour y bénéficier d'aménités urbaines de faibles importance. Elle voudront cependant toujours s'y rendre pour accéder aux offres plus nobles et plus rares. A contrario, l'agencement de la ville doit leur permettre une consommation de vert moins coûteuse par rapport aux individus se trouvant à proximité du CBD.

En tant qu'aménageur, nous devons diriger un agencement urbain permettant de com-

penser les déplacements aux aménités urbaines et vertes. L'objectif étant à terme d'exprimer ces compensations par rapport aux distances à parcourir pour s'y rendre. Par conséquent, nous nous intéresserons aux fréquences d'accessibilité aux différentes offres existantes suivant le lieu d'implantation des individus sur le territoire.

Nous avons donc au départ un premier centre urbain, contenant un maximum d'aménités urbaines. Celui-ci étant le centre urbain de plus grande hiérarchie que contiendra la future ville une fois aboutie à son terme.

Nous obtenons cette forme géométrique régulière carrée dont la demi-diagonale vaut cette distance maximale urbaine $d_{B_{max}}$.

Et on a pour ce premier centre urbain une surface d'occupation \mathcal{A}_1 (4.3.3) :

$$\mathcal{A}_1 = 2 \times (d_{B_{max}})^2 \quad (6.2)$$

Les prochains pôles urbains ne peuvent plus être de la même taille que \mathcal{A}_1 . Ainsi, pour loger les nouveaux arrivants qui souhaitent s'installer, il va alors être nécessaire de redistribuer une surface identique d'occupation de bâti mais à travers une disposition différente. Et cela de manière à satisfaire les aspirations de façon identique des nouveaux habitants.

Arrêtons nous quelques instants sur l'occupation de ces zones d'habitats par la population. Dans l'évolution de la ville, nous faisons le choix pour le moment que chaque individu occupera le même espace pour son domicile. D'où cette argumentation de la même surface occupée pour les futurs individus à venir. Nous appliquerons pour la rente foncière une logique Alonso-Fujita, c'est-à-dire décroissante plus l'individu s'éloigne des pôles urbains. Il faut donc avoir une vision abstraite sur l'arrivée des personnes. A ce moment de la réflexion, nous les faisons entrer de manière continue et les disposons également sur les sites de cette façon. Nous établissons maintenant uniquement les occupations surfaciques des centres urbains nécessaires à la croissance de la ville. L'organisation intérieure, en dehors du réseau de circulation que nous choisissons en quadrillage pour les raisons d'optimisation expliquées, se fera une fois la ville achevée. La répartition des individus pourra alors se faire en respectant la rente foncière et leur part correspondante. Nous proposerons plus tard une organisation intracellulaire des occupations individuelles une fois l'agencement général de la ville abouti.

Disposition des nouveaux pôles urbains

Soit, on désigne $\mathcal{A}_{1,i}$, $i \in \llbracket 1, 4 \rrbracket$ les aires des quatre sous-centres annexés au quatre extrémités du centre urbain initial de plus forte hiérarchie.

Comme nous voulons loger le même nombre d'habitants que dans le premier pôle central, on respecte :

$$\mathcal{A}_1 = \sum_{i=1}^4 \mathcal{A}_{1,i} \quad (6.3)$$

Pour conserver les mêmes accessibilités pour les résidents des quatre sous-centres créés, il est alors suffisant que ceux-ci soient tous de même aire. On a alors :

$$\begin{aligned} \mathcal{A}_{1,i} &= \frac{1}{4} \times \mathcal{A}_1, & \forall i \in \llbracket 1, 4 \rrbracket \\ &= \frac{1}{2} \times (d_{B_{max}})^2 \end{aligned} \tag{6.4}$$

Enfin cela nous permet alors d'obtenir la nouvelle distance maximale d'urbain associé à ces centres de seconde catégorie, notée $d_{U_{2max}}$ ayant pour valeur :

$$d_{B_{2max}} = \frac{1}{4} \times d_{B_{max}} \tag{6.5}$$

Nous multiplions ainsi l'initiateur, le centre urbain initial de premier ordre qui contiendra toutes les aménités, des plus simples aux plus nobles et rares pour obtenir quatre sous-centres de seconde hiérarchie par un facteur de réduction noté f_r ayant pour valeur $\frac{1}{4}$.

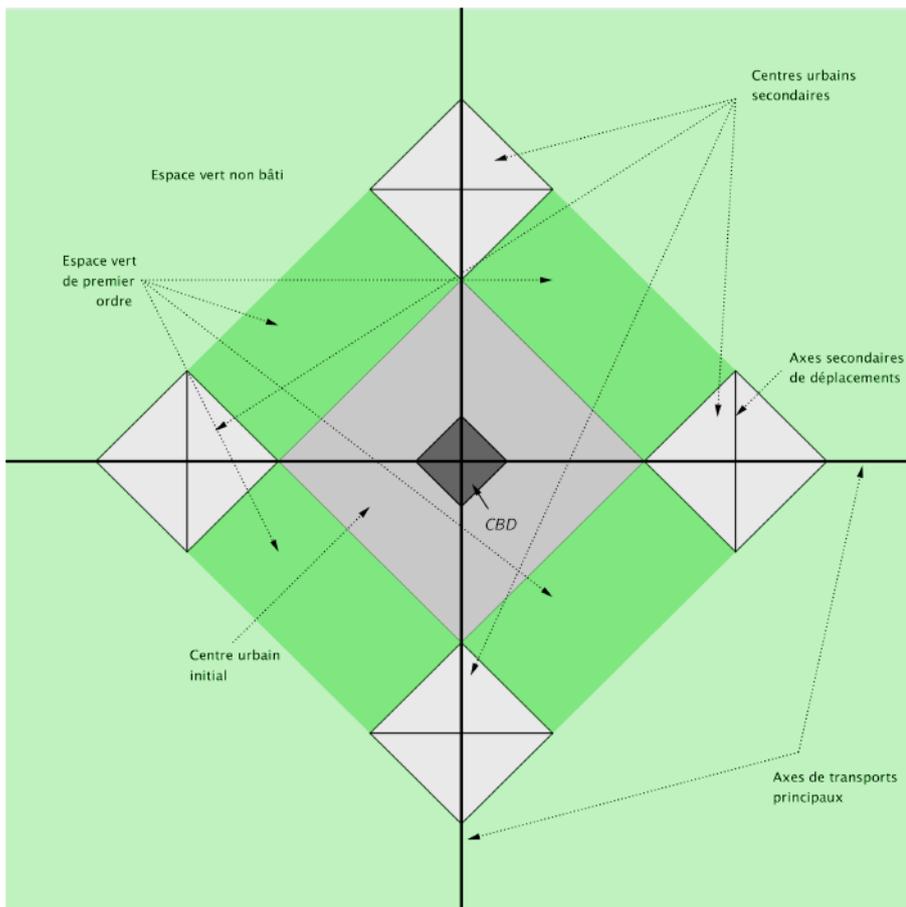


FIGURE 6.4: Création du générateur

Nous avons donc créé à cette étape le générateur d'évolution de notre ville théorique correspondant à la zone bâtie du territoire, représentée en couleur grise sur la figure ci-dessus [Fig. 6.4].

Choix du tapis de Sierpinski

Le choix de la disposition de ces quatre nouveaux sous-centres se justifie par la volonté d'offrir une égalité entre les nouveaux pôles par rapport à leur accessibilité au centre urbain hiérarchique d'ordre supérieur.

Dans le cas présent, le générateur obtenu correspond à la première étape d'élaboration d'un tapis de Sierpinski.

Ce choix de structure morphologique n'est pas totalement anodin. Nous proposerons plus tard, dans la troisième partie, d'autres agencements de la ville par construction multiplicative avec d'autres répartitions surfaciques mais donnant différentes géométries fractales comme plan de ville.

Le tapis de Sierpinski est, de plus, une géométrie dont les raisonnements en termes de calculs de distance sont les plus compréhensibles. Il possède, de plus, une portée des plus didactiques par sa construction géométrique très abordable et utile dans la défense de la ville fractale pour les décideurs urbains. Par sa géométrie simple, il permet d'explorer les propriétés d'un tel système spatial emboîté.

Premières observations

Une différence de vert

Intéressons nous d'abord à l'apport de cette morphologie sur l'évolution et la disposition de l'espace vert à travers l'émergence d'un tapis de Sierpinski comme agencement.

Penchons nous donc sur la partie verte de la figure précédente caractérisant la première étape de construction du tapis.

Avant l'apparition des nouveaux sous-centres, le territoire extérieur au centre urbain d'ordre hiérarchique supérieur n'était évidemment constitué que de vert pouvant être considéré comme espace vert excellent. Par comparaison, cet espace vert est en « qualité » de vert l'homologue du premier centre à la fois en quantité et rareté d'offres d'aménités urbaines qui s'y trouvent.

Or, la partie exposée en vert est maintenant encadrée sur ses extrémités par ces nouveaux sous-centres et n'est donc plus en complète liberté.

Ainsi, nous considérons à présent que ce domaine de vert est la surface associée aux individus résidant dans cette première structure de bâti. Elle est présente dans un premier temps pour répondre au besoin des individus d'avoir un espace pour satisfaire leur désir d'accès au vert.

Dans un deuxième temps, réfléchissons comment doit être conçue cette zone verte collée aux centres urbains existants.

Nous devons percevoir, d'une certaine façon, l'installation des ménages à l'intérieur de la ville. Ces derniers sont avant tout attirés par l'espace urbain, comme le suggère le modèle, au vu des caractéristiques des paramètres de leurs budgets accordés pour les différentes aménités. Cet espace vert analysé est le plus proche de leur lieu de vie. Il semble alors tout à fait raisonnable de pourvoir cet espace de vert d'aménités afin de le rendre plus attractif aux intérêts de ces ménages ayant choisit la proximité au *CBD*. Il en perdra alors, en revanche, son atout nature pure.

Deux justifications sont à mettre en avant. La première consiste à dire que si l'individu choisit une fois la ville terminée, ou même à cette étape de son évolution, de s'installer à l'intérieur du premier centre, c'est qu'il est en réalité très peu attiré par la nature pure en elle-même et qu'il préférera un aménagement d'aménités dans la zone verte encerclant son espace urbain.

L'autre argumentation est pensée dans le but de maintenir cet équilibre entre urbain et vert pour l'individu, et cela, suivant où il choisit de s'installer. Car cette zone verte aménagée est prolongée par la zone pure nature une fois dépassée les extrémités urbaines l'enclavant. Il est alors judicieux de proposer une différence de vert pour les ménages. Ainsi, celui se trouvant plus loin du CBD est en revanche plus près d'un espace vert de meilleure qualité.

Conception de l'implantation des ménages

Une explication sur comment traiter l'arrivée des individus sur le territoire d'étude est à présent nécessaire. Il faut dans ce travail concevoir deux principes d'arrivées.

La première vision d'arrivée est celle des individus arrivant avant l'existence de la ville. C'est celle sur quoi se construit une partie de l'argumentation théorique de nos modèles urbains. Nos agents s'installent de manière récurrente sur le territoire, et en fonction de leurs préférences et des distances à parcourir pour accéder à celles-ci, nous optimisons une certaine morphologie de ville.

Il arrivera un temps où la ville atteindra ses limites et cessera alors de croître. La ville peut, à ce moment, être considérée comme « terminée ». Nous disposerons donc, à cette phase, de la structure morphologique finale.

L'idée est que l'on pourrait proposer l'agencement obtenu comme celui d'une ville à développer. Donc une ville sans habitants.

La deuxième vision d'arrivée se fait alors de la sorte. Une fois la ville créée, ces derniers viennent alors s'installer en fonction de leurs préférences dont la structure tient déjà compte. Et il est alors possible d'exprimer une différence entre les individus.

En effet, pendant la phase d'élaboration, nos individus ont tous le même profil caractérisé par leurs paramètres de répartition de budget identique à chacun d'entre eux pour des raisons déjà explicitées auparavant.

Mais il est dans la réalité évident que tous les individus ne possèdent pas les mêmes intérêts pour les multiples loisirs existants et proposés par une ville. Alors, réimplanter les individus au sein de la ville, une fois la morphologie de celle-ci conclue, nous donne la possibilité de nuancer d'une certaine mesure cette égalité initiale entre les individus. En effet, nous pourrions légitimement affirmer qu'un individu choisissant de venir habiter à l'intérieur d'un centre urbain plus important qu'un autre sera alors une personne beaucoup plus attirée par les aménités urbaines que par la nature. A contrario d'une personne choisissant de vivre au sein d'une zone bâtie plus petite qui sera elle plus proche d'un accès au vert. D'autant que la même observation de différenciation s'observe au sein du même pôle suivant son choix d'emménagement.

La disposition structurelle que nous défendons aura par contre toujours, puisque construit dans cette optique, la caractéristique de satisfaire au budget des individus,

quelque soit l'emplacement qu'il choisit pour venir habiter et satisfaire à ses propres volontés de déplacements vers ces aménités préférées.

6.2 Une analyse par compensation de biens

6.2.1 Explication générale de cette compensation

Nous choisissons ici de présenter le principe de cette compensation des dépenses entre aménités urbaines et vertes.

Observons alors le « phénomène » sur le premier centre urbain qui s'est formé. Pour cela, considérons et confrontons la situation du premier individu venu s'installer au dernier arrivé, installé pour sa part à l'extrémité du premier individu, soit à la limite de cette première zone de bâtis.

L'égalité des budgets des individus, $Y_N = \alpha Y_N + \beta Y_N + \gamma Y_N$, est toujours respectée. Les paramètres α , β et γ satisfont eux aussi à l'hypothèse de rationalité, c'est-à-dire qu'ils vérifient l'égalité : $\alpha + \beta + \gamma = 1$.

Les dépenses βY_N et γY_N correspondant respectivement à Y_U et Y_V , traduisent uniquement les coûts nécessaires pour se déplacer respectivement vers les aménités urbaines et vertes. La consommation des services présents au sein des lieux des différentes aménités est payée par le budget attrait au biens composites mais aussi par le reste du budget approprié à l'aménité correspondante.

Concrètement, prenons l'exemple entre le premier individu, I_1 , et le dernier, I_n , arrivés et implantés dans ce premier pôle urbain. I_1 n'a pas de frais de déplacements pour se rendre aux aménités urbaines puisqu'il est localisé à la frontière du *CBD*. Son budget consacré aux aménités urbaines n'est donc pas utilisé pour les déplacements et il peut ainsi l'utiliser pour consommer sur place. Cela lui permet d'aller plus souvent au cinéma ou consommer plus d'offres. A l'inverse, I_n installé à la frontière du centre urbain utilise la totalité de son budget alloué pour se déplacer une fois par cycle d'étude aux aménités urbaines et consommera ou non celles-ci avec son budget consacré aux biens composites. En contrepartie, ce dernier se trouve à proximité du vert. Il n'a alors aucun frais pour se rendre aux aménités vertes et peut donc consacrer son budget à celles-ci pour consommer des biens utiles à ses loisirs verts. Pour sa part, l'individu I_1 se retrouve cette fois dans la situation opposée et doit utiliser ses biens composites ou réduire ses frais de consommations de loisirs urbains pour les utiliser pour les loisirs verts.

Cet échange entre consommation et déplacements d'urbain et de vert peut se concevoir comme un équilibre d'offres. On est face à une substitution des biens entre urbain et vert. Ecrit simplement, un individu dépensant peu du revenu consacré à une aménité se retrouve alors dans l'obligation de consommer plus pour l'autre et inversement pour un individu situé à un endroit opposé [Fig. 6.5].

Nous procédons plus loin à une analyse permettant de quantifier le nombre théorique de fréquence de déplacements pour telle ou telle aménité toujours sur une période d'étude considérée suivant le pôle urbain de résidence de l'individu. L'objectif est alors de donner, en quelque sorte, une évaluation du centre urbain de résidence en terme de distance d'accès aux différentes aménités.

Enfin, pour estimer l'intérêt de cette balance entre déplacements à l'urbain et déplacements au vert, nous retenons évidemment toujours les cas des individus positionnés aux extrémités des centres urbains émergents. En effet, les individus installés à l'intérieur de ceux-ci suivent par continuité les mêmes différentes substitutions des biens évoqués que pour les individus aux extrémités.

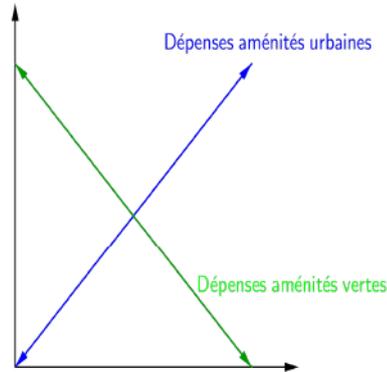


FIGURE 6.5: Équilibre entre dépenses urbaines et vertes

6.2.2 Évaluation des pôles urbains

Comment « évaluer » un centre urbain ?

Nous voulons à présent estimer une évaluation des différents pôles urbains conçus. Par le terme d'évaluation, nous souhaitons paramétrer une sorte d'importance d'accessibilité aux aménités urbaines que fournit le centre où habite un ménage.

Les recherches menées sur les modèles de villes que nous élaborons sont présentées sous la forme d'une réflexion cherchant à optimiser des contraintes budgétaires décrivant les volontés de consommation des habitants.

Toutefois, il ne faut pas oublier que toutes ces contraintes budgétaires autour des différentes aménités, et également celles associées aux dépenses obligatoires, expriment en réalité des contraintes relatives aux distances que sont amenées à parcourir les habitants au sein de la ville pour bénéficier des différentes possibilités qu'elle contient.

Et, en effet, cette notion de distance est, comme nous avons pu le mettre en avant, un sujet capital et fondamental dans le développement et les décisions choisies au cours du temps pour l'évolution des sites urbains.

Nous allons donc fournir une évaluation urbaine pour les sites urbains créés, où vivent ensuite les ménages, par rapport aux distances à parcourir. Pour caractériser l'impact de celles-ci, nous allons nous intéresser aux fréquences de déplacements que pourront effectuer les individus suivant la distance qui les séparent des aménités en adéquation avec les revenus consacrés.

Ces différences, entre les fréquences de possibilités d'accès sur un cycle d'étude considéré, nous donnera la « qualité » du centre urbain par rapport à son accès aux aménités urbaines et aux différentes zones vertes.

Faisons une première analyse avec notre structure morphologique actuelle correspondante à notre générateur et comme étant la première étape du tapis de Sierpinski.

Soit, on note $U_{I,i}$ le pôle urbain du numéro d'apparition du pôle (indice i) et d'ordre hiérarchique maximum (indice I). Dans notre structure d'analyse, nous avons forcément $1 \leq i \leq 1$ soit $i = 1$. En effet, pour les raisons déjà évoquées, nous n'aurons durant la construction de la ville qu'un seul centre d'ordre I , l'ordre hiérarchique le plus important de la ville. Ce pôle correspond donc à l'initiateur de la structure urbaine.

On note $U_{II,i}$ les centres urbains d'ordre II dans l'échelle hiérarchique des pôles urbains. Ici aussi, l'indice i correspond au numéro d'apparition du centre dans l'émergence de la ville.

A l'étape actuel de la ville, nous avons donc $1 \leq i \leq 4$. En effet, la ville présente quatre pôles de hiérarchies secondaires qui se sont implantés autour du pôle de premier ordre formant par suite le générateur.

L'indice i comme numéro d'apparition du centre dans le paysage urbain est en réalité introduit dans le but de distinguer les différents pôles de même ordre apparus au cours du développement de la ville. Or, le schéma du plan de la cité étant symétrique par rapport aux deux voies de communications initiales, l'ordre d'apparition d'un nouveau pôle n'a de ce fait guère d'importance tant qu'il fait partie de la même catégorie de centre. Nous pouvons observer la ville sous différents angles, les pôles permutent alors d'indice si l'on décide par exemple d'une construction suivant l'ordre direct d'un cercle trigonométrique et idem quelque soit l'ordre de la construction des pôles urbains sur le territoire.

Nous choisirons dans notre étude une construction suivant l'ordre direct d'un cercle trigonométrique. C'est à dire que nous considérerons toujours la construction de la ville avec l'apparition d'un nouveau centre sur l'axe horizontal et à droite du pôle urbain existant. La suite des apparitions des autres pôles se poursuit alors en suivant le sens contraire du déplacement des aiguilles d'une montre sur le plan de la ville [Fig. 6.6].

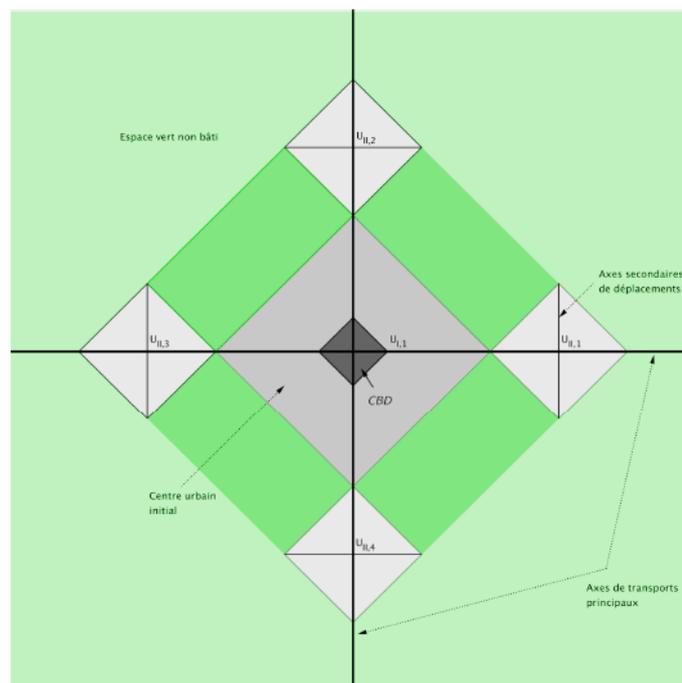


FIGURE 6.6: Annotation du générateur

Comme dans le schéma précédent, nous avons incorporé deux couleurs différentes de vert. Cela nous permet de pouvoir différencier les espaces verts munis d'aménités, schématisé par un vert foncé, de ceux indiquant l'espace vert initial et donc totalement naturel, dépourvus d'implantations de l'homme. Ceux-ci sont, quant à eux, caractérisés par un vert plus clair.

Nous allons donc établir et attribuer un poids urbain, et par réciprocité un poids « vert », pour chacune des zones de bâtis émergées. Et donc, dans les faits, pour les raisons évoquées, nous allons pouvoir nous contenter à cette étape de de l'évolution de la ville d'évaluer uniquement les centres urbains $U_{I,1}$ et $U_{II,1}$. La valeur des centres urbains $U_{II,i}$ pour $2 \leq i \leq 4$ sera identique à celle de $U_{II,1}$.

Alors comment définir cette évaluation pour les centres urbains ? Nous allons établir leurs valeurs urbaines et vertes suivant le nombre de fréquences que peuvent effectuer les individus sur le cycle d'étude considéré pour se déplacer aux différentes aménités existantes.

Pour cela, nous allons porter notre attention sur les points limites de chaque zone bâtie.

Evaluation du pôle principal

Cas de l'individu $I_{I,1,1}$

Dans un premier temps, nous allons donc porter notre attention sur l'individu $I_{I,1,1}$. Il est le premier individu venu s'installer sur ce nouveau territoire. Celui-ci est donc situé au centre du site urbain $U_{I,1}$. Par conséquent, il correspond à l'individu le plus proche possible du *CBD* et, de ce fait, situé au plus près du lieu où sont placées toutes les aménités urbaines que possèdent la ville.

Nous allons ainsi évaluer sur un cycle d'étude considéré quelconque, le nombre de fréquences que cet individu peut réaliser pour bénéficier des trois aménités disponibles à cette étape de construction de la cité. C'est à dire, l'aménité urbaine de catégorie *I* présente au *CBD*, l'aménité verte de catégorie *I* entourant la zone de bâtie et l'aménité verte de classe *II* présente au prolongement de la première classe de vert.

Evaluation de la fréquentation à l'urbain

Dans la modélisation, nous savons qu'un individu consacre un budget égal à $Y_U = \beta Y_N$ aux aménités urbaines. Cette part des revenus consacrée aux loisirs urbains est consommée, dans un premier temps, seulement pour les déplacements nécessaires afin de pouvoir accéder à l'emplacement de ces offres.

Alors, puisque implanté en continuité du *CBD*, l'individu $I_{I,1,1}$ ne dépense aucun frais de sa part de revenus consacrée aux aménités urbaines. La distance le séparant de la zone regroupant les aménités urbaines peut fort logiquement être considérée comme nulle.

Nous notons $n_{U_{I,1}}$ le nombre de déplacements effectué par un individu vers le centre urbain $U_{I,1}$ durant le cycle d'étude considéré.

Trivialement, si l'individu ne concède aucun frais de déplacements pour se déplacer à un emplacement, il peut donc s'y rendre théoriquement une infinité de fois.

On obtient alors :

$$n_{U_{I,1}} \rightarrow \infty$$

pour l'individu $I_{I,1;1}$.

Ainsi, sur le temps d'étude considéré, l'individu peut fréquenter une infinité de fois le centre urbain afin d'y bénéficier des aménités qui s'y trouvent.

Evaluation de la fréquentation à la zone verte de catégorie I

Observons à présent, l'accès à la zone verte de première catégorie pour l'individu $I_{I,1;1}$. C'est donc la zone directement adjacente à la zone urbaine.

Contrairement à l'accès au centre urbain, l'individu $I_{I,1;1}$ doit maintenant parcourir une distance égale à $d_{B_{max}}$ afin de bénéficier des avantages à dispositions dans cette zone verte.

Pour satisfaire ses besoins de vert, l'individu dispose dans son portefeuille d'un budget égal à $Y_V = \gamma Y_N$.

Or, rappelons que dans notre raisonnement, $\beta > \gamma$. De ce fait, le budget des individus consacré pour les déplacements vers les aménités vertes est logiquement inférieur au budget consacré pour les aménités urbaines.

En disposant d'un budget égal à celui consacré pour les aménités urbaines, l'individu s'installant à l'extrémité du centre urbain $U_{I,1}$ ne peut faire qu'un seul déplacement au *CBD* dans le cycle d'étude considéré. C'est ce que nous avons fixé et considérons comme limite d'acceptation pour l'installation d'un nouvel arrivant et qui correspond à la distance $d_{B_{max}}$.

Par conséquent, l'individu $I_{I,1;1}$ ne dispose pas de suffisamment de moyens avec son budget accordé aux aménités vertes pour se rendre au moins une fois au centre $U_{I,1}$ dans le cycle d'étude que nous considérons.

Avec un budget égal à $Y_U = \beta Y_N$ l'individu peut parcourir une fois la distance $d_{B_{max}}$ sur le cycle d'étude considéré.

Donc, en considérant le budget $Y_V = \gamma Y_N < Y_U$ que consacre un individu pour les aménités vertes, l'individu $I_{I,1;1}$ ne pourra pas effectuer au minimum un trajet pour se rendre aux aménités vertes de première classe, et ce, toujours dans même le cycle d'étude considéré.

Trivialement, l'individu $I_{I,1;1}$ peut alors théoriquement effectuer avec son budget pour les aménités vertes la distance suivante :

$$\frac{\gamma}{\beta} \times d_{B_{max}} \quad (6.6)$$

Donc une distance inférieure à $d_{B_{max}}$.

Il faudra alors pour l'individu $I_{I,1;1}$ un temps plus important qu'un seul cycle d'étude considéré pour posséder le budget suffisamment nécessaire afin de pouvoir se rendre au

lieu des aménités vertes de première classe.

Algébriquement, avec son budget aménités vertes, l'individu $I_{I,1;1}$ pourra alors effectuer le nombre théorique suivant de trajets vers ce type d'aménité.

$$\frac{\gamma}{\beta} < 1 \quad (6.7)$$

De par sa position sur le territoire et le budget accordé aux aménités vertes, l'individu $I_{I,1;1}$ devra, pour avoir la possibilité de faire un minimum d'un trajet vers ces aménités vertes de classe I, cumuler un budget pour ces aménités égal à celui des aménités urbaines pour parcourir cette distance.

Pour effectuer un trajet, il sera nécessaire alors pour l'individu de bénéficier du temps suivant :

$$\frac{\beta}{\gamma} > 1 \quad (6.8)$$

Ainsi l'individu $I_{I,1;1}$ pourra effectuer un déplacement afin de bénéficier des loisirs proposés par les aménités vertes tous les $\frac{\beta}{\gamma}$ cycle d'études considérés.

Evaluation de la fréquentation à la zone verte de catégorie II

Evaluons maintenant l'accessibilité pour notre individu $I_{I,1;1}$ aux aménités vertes d'ordre supérieur, indexées II, qui se situent dans le prolongement des aménités vertes de catégorie I et encerclent l'ensemble de l'urbain à l'état actuel de l'avancement de la ville.

Nous procédons avec la même réflexion que celle effectuée pour l'accès aux aménités vertes d'ordre I. L'individu $I_{I,1;1}$ doit, s'il veut profiter de la nature offerte par les espaces verts d'ordre II, parcourir une distance au minimum égale à $2 \times d_{B_{max}}$.

Précisons aussi ici que l'individu ne peut utiliser que les voies de transports existantes ou développées au fur et à mesure de l'implantation du bâti sous la même disposition que celle élaborée dans le pôle urbain initial.

On ne considère pas possible de se rendre à l'espace vert de deuxième catégorie en coupant à travers l'espace vert de première catégorie.

Son budget accordé aux aménités vertes est toujours égal à $Y_V = \gamma Y_N$. Il ne dispose alors pas d'assez de revenus pour effectuer un déplacement vers les aménités d'ordre II durant un cycle d'étude.

Avec ce budget, il ne peut alors effectuer, théoriquement, que la distance suivante :

$$\frac{\gamma}{2\beta} \times d_{B_{max}}. \quad (6.9)$$

Algébriquement, avec son budget pour les aménités vertes, l'individu $I_{I,1;1}$ pourra alors effectuer le nombre théorique suivant de trajets vers ce type d'aménité.

$$\frac{\gamma}{2\beta} < 1. \quad (6.10)$$

Ce qui nécessite pour notre individu de devoir bénéficier, afin d'être dans la mesure d'effectuer un trajet au sein de ces espaces verts de catégorie II, du temps suivant :

$$\frac{2\beta}{\gamma} > 1. \quad (6.11)$$

Il peut donc se déplacer pour profiter des services vers ces aménités vertes tous les $\frac{2\beta}{\gamma}$ cycles d'études considérés.

Par conséquent, il lui faudra alors :

$$\frac{3\beta}{\gamma} \quad (6.12)$$

cycles d'études,

afin de pouvoir sur ce temps se déplacer une fois vers l'espace vert d'ordre I et celui d'ordre II.

Cas de l'individu $I_{I,1;n}$

Intéressons-nous à présent au cas opposé de l'individu $I_{I,1;1}$, soit l'individu qui arrive et s'installe à la position qui correspond à l'extrémité du pôle urbain $U_{I,1}$, que l'on désigne par $I_{I,1;n}$ et qui se trouve donc à la distance $d_{B_{max}}$ du *CBD*.

Evaluation de la fréquentation à l'urbain

Pour ce qui concerne l'accès au *CBD*, il est alors évident, avec les hypothèses sur l'arrêt de l'expansion de ce pôle, que l'individu pourra se rendre au *CBD* avec son budget consacré aux aménités urbaines, valant $Y_U = \beta Y_N$, un nombre de fois égal à :

$$\frac{\beta}{\beta} = 1 \quad (6.13)$$

Ce résultat s'accorde avec le fait que notre individu $I_{I,1;n}$ installé à la limite du pôle urbain $U_{I,1}$ ne peut donc bien se rendre qu'une fois consommer des aménités urbaines existantes au *CBD* par cycle d'études considérés.

Cependant, la disposition de la ville et l'apparition des quatre nouveaux pôles urbains, d'ordre hiérarchique inférieur au premier, invite à un changement de considération quant à la consommation d'aménités urbaines par l'individu $I_{I,1;1}$ installé. Ce dernier se trouve certes à la frontière du pôle urbain $U_{I,1}$, mais celle-ci s'avère être aussi la frontière du pôle urbain $U_{II,1}$.

Avec les caractéristiques du développement de la ville multifractale, notre individu $I_{I,1;n}$ ne se trouve alors plus qu'à une distance égale à $\frac{d_{B_{max}}}{2}$ du lieu contenant les aménités urbaines associées au pôle $U_{II,1}$. Dans ce *CBD* de seconde zone, les citadins peuvent y trouver une panoplie d'offres urbaines existantes également au sein du *CBD* du pôle principal. Il devient alors raisonnable de penser et d'affirmer qu'une personne résidante sur la frontière de ces deux pôles a alors plus d'intérêts à se déplacer consommer une partie de ces aménités urbaines au pôles secondaires plutôt qu'au pôle

hiérarchique supérieur.

Bien évidemment, cette réflexion est possible si l'on sous entend que la qualité du bien est égale quelque soit le pôle où elle se trouve. Concrètement, cela signifie par exemple, qu'il n'existe pas de différence pour l'individu entre le café consommé au pôle $U_{II,1}$ ou au pôle $U_{I,1}$ en termes de goût et de qualité. Il peut certainement exister une différence de prix entre les deux produits suivant le pôle où les individus le consomment. Mais cela se justifie, au même titre que la rente foncière, par un coût plus élevé des biens lorsque le pôle est d'ordre hiérarchique plus élevé.

L'individu $I_{I,1;n}$ peut donc maintenant, avec son budget dédié aux aménités urbaines, se rendre au pôle urbain $U_{II,1}$ un nombre de fois sur le cycle d'étude considéré valant :

$$n_{U_{II,1}} = 2 \quad (6.14)$$

Il peut donc se rendre deux fois plus au centre urbain du pôle $U_{II,1}$.

Mais nous pouvons, aussi, envisager la nouvelle situation suivante.

La distance $d_{B_{max}}$ est obtenue par l'hypothèse faite que l'individu se satisfait de se déplacer une seule fois par cycle consommer des aménités urbaines au *CBD* du pôle de première catégorie. Rappelons également qu'au moment où celui-ci vient s'installer, les pôles de secondes catégories ne sont pas encore existants.

Ainsi, l'individu $I_{I,1;n}$ peut très bien concevoir le fait de se satisfaire d'une seule sortie aux aménités urbaines par cycle d'études. Ou bien, nous pouvons aussi envisager le fait que l'individu ne désire pas profiter des aménités urbaines plus d'une fois par cycle d'étude considéré.

Une fois le pôle urbain $U_{II,1}$ de seconde zone ayant fait son apparition dans le paysage urbain, si l'individu reste sur son choix de ne se déplacer qu'une seul fois par cycle d'étude considéré vers un *CBD* de seconde ordre afin de consommer des aménités urbaines, il lui restera alors un budget équivalent à $\frac{Y_U}{2}$ dans son portefeuille pour ces aménités. C'est une part suffisante pour un deuxième trajet, si l'individu le souhaite, vers ce même pôle urbain. Cependant, c'est une part insuffisante pour se rendre également vers le pôle urbain de première catégorie. Or, de la même façon que la zone verte de seconde catégorie propose des avantages que ne possède pas celle de première catégorie, la zone urbaine de première catégorie bénéficie de certaines offres urbaines que l'individu ne pourra retrouver au sein de celle de grade inférieure pour des raisons déjà argumentées précédemment.

Il n'en reste pas moins que notre personne peut et sera susceptible d'être amené à vouloir se rendre vers le *CBD* de $U_{I,1}$ pour consommer des aménités plus rares. Alors ainsi, avec sa répartition du budget consacré aux aménités urbaines, l'individu pourra effectuer le rythme suivant de déplacements vers les deux différents centres urbains présents :

$$n_{U_{II,1}} = 2 \quad (6.15)$$

et

$$n_{U_{I,1}} = 1, \quad (6.16)$$

sur un temps de deux cycles d'études.

Evaluation pour la fréquentation aux aménités vertes de catégorie I

Dans cette section, observons maintenant la compensation que peut obtenir notre individu $I_{I,1;n}$ pour ses déplacements aux aménités vertes par rapport à celles urbaines, moins nombreuses, que ce que pouvait réaliser l'individu $I_{I,1;1}$.

Si l'individu $I_{I,1;1}$ avait dans un cycle d'étude une infinité de déplacements possibles pour se déplacer au *CBD*, profiter des offres qui s'y trouvent, l'individu $I_{I,1;n}$ aura donc, lui, le phénomène inverse en faveur des aménités vertes de premier ordre.

Trivialement, l'individu $I_{I,1;n}$, annexé aux aménités vertes d'ordre I , ne concède alors plus aucun frais de déplacements pour se rendre à cet emplacement. Il peut donc s'y rendre théoriquement une infinité de fois sur le cycle d'étude.

On obtient alors :

$$n_{V_I} \rightarrow \infty \quad (6.17)$$

pour l'individu $I_{I,1;n}$.

Evaluation pour la fréquentation aux aménités vertes de catégorie II

Pour se déplacer jusqu'à la zone verte de deuxième catégorie, notre individu doit cette fois parcourir une distance équivalente à $d_{B_{max}}$.

Nous nous retrouvons alors face à la même situation budgétaire que celle à laquelle était confronté l'individu $I_{I,1;1}$ pour ses déplacements à la zone verte de première catégorie.

De ce fait, l'individu $I_{I,1;n}$ pourra alors effectuer le nombre théorique suivant de trajets vers ce type d'aménités vertes, soit :

$$\frac{\gamma}{\beta} < 1 \quad (6.18)$$

Et donc pour se déplacer vers cette zone verte, il sera nécessaire alors pour l'individu de bénéficier du temps suivant :

$$\frac{\beta}{\gamma} < 1 \quad (6.19)$$

C'est à dire que l'individu $I_{I,1;n}$ sera en mesure d'effectuer un déplacement afin de bénéficier des loisirs proposés par les aménités vertes de seconde zone tous les $\frac{\beta}{\gamma}$ cycles d'études considérés.

Evaluation du pôle secondaire

Cas de l'individu $I_{II,1;1}$

Observons maintenant à travers cette section, les déplacements de l'individu localisé au centre du pôle urbain de seconde catégorie. Celui-ci est indexé $I_{II,1;1}$ comme le

premier individu de ce pôle urbain. Il se trouve donc être implanté en continuité du *CBD* du pôle $U_{II,1}$.

Evaluation de la fréquentation aux aménités urbaines

Notre individu se situe donc maintenant exclusivement dans un pôle hiérarchique de second ordre. Et il est donc encore une fois cohérent que celui-ci choisisse une partie de la consommation de ses aménités urbaines au sein de ce pôle et qu'il y consomme celles se trouvant au *CBD* de la zone urbaine où il s'est installé.

Habitant dans le prolongement de la zone d'activité de ce pôle, il est alors trivial d'affirmer que l'individu peut effectuer un nombre infini de déplacements vers le *CBD* du pôle urbain $U_{II,1}$ dans un cycle d'étude.

On a donc :

$$n_{II,1} \rightarrow \infty \quad (6.20)$$

De ce fait, notre individu pourra concentrer son budget aux aménités urbaines pour des déplacements vers un centre urbain d'ordre supérieur où il pourra donc bénéficier d'aménités qu'il n'est pas en mesure de trouver puisque n'existant pas au sein de son pôle de catégorie inférieure.

L'individu $I_{II,1;1}$ se trouve implanté à une distance du *CBD* du pôle urbain $U_{I,1}$ équivalente à $\frac{3}{2} \times d_{B_{max}}$. Ainsi, il pourra se rendre en ce lieu un nombre de fois équivalent à :

$$\frac{\gamma}{\beta} \quad (6.21)$$

sur le cycle d'étude considéré.

Evaluation de la fréquentation aux aménités vertes de catégorie I

Notre individu localisé au centre du pôle urbain $U_{II,1}$ se trouve être à une distance équivalente à $\frac{d_{B_{max}}}{2}$ de la zone verte V_I . Soit, il est à une distance deux fois inférieure, en comparaison avec l'individu domicilié au centre du pôle urbain $U_{I,1}$.

Il sera alors, avec son budget consacré aux aménités vertes, en mesure de se rendre :

$$\frac{\beta}{2\gamma} \quad (6.22)$$

sur un cycle d'étude considéré.

Evaluation de la fréquentation aux aménités vertes de catégorie II

Nous retrouvons la même distance, entre le lieu d'implantation de l'individu $I_{II,1;1}$ et la zone verte de catégorie *II*, et celle le séparant de la zone verte de première catégorie. Ainsi, s'il choisit de se rendre uniquement vers la zone de vert de meilleure qualité, il pourra s'y rendre aussi un nombre de fois valant :

$$\frac{\beta}{2\gamma} \quad (6.23)$$

pour le cycle d'étude considéré.

Cas de l'individu $I_{II,1;n}$.

Dans l'état actuel de structure d'avancement de la ville, il nous reste un cas à considérer. Soit celui concernant l'individu situé à l'extrémité du pôle urbain de seconde catégorie, c'est-à-dire l'individu $I_{II,1;n}$ et qui, concrètement, correspond au dernier individu à venir s'installer à l'intérieure de cette zone urbaine.

Evaluation de la fréquentation aux aménités urbaines

Pour les mêmes raisons qu'explicitées avec les autres individus précédents installés également dans un centre urbain de seconde zone, ceux-ci seront amenés à consommer les aménités urbaines existantes au sein du pôle où ils sont implantés.

Ainsi l'individu $I_{II,1;n}$ se trouve situé à une distance équivalente à $\frac{d_{B_{max}}}{2}$ du centre urbain de son pôle de deuxième catégorie.

Il est donc en mesure de se déplacer vers celui-ci un nombre de fois valant :

$$2\frac{\beta}{\beta} = 2 \quad (6.24)$$

sur le cycle d'étude considéré.

Mais l'individu $I_{II,1;n}$ peut aussi vouloir se déplacer au *CBD* du centre hiérarchique supérieur au sien, en l'occurrence ici, celui du pôle urbain $U_{I,1}$. Il est de ce fait localisé à une distance égale $2 \times d_{U_{max}}$ de ce dernier. L'individu pourra alors dans ce cas se rendre un nombre de fois équivalant à :

$$\frac{1}{2} \quad (6.25)$$

sur le cycle d'étude considéré.

Evaluation de la fréquentation aux aménités vertes

Si l'individu $I_{II,1;n}$ est, parmi toutes les personnes actuellement implantées, celui qui se situe au plus loin du centre urbain de première catégorie, il est, en revanche, celui qui réside au plus près des aménités vertes de premier choix et de meilleures qualités, c'est-à-dire les zones vertes V_{II} . La distance le séparant de celles-ci est nulle puisqu'il est implanté à la frontière entre le pôle $U_{II,1}$ et cette zone verte.

Ainsi, on a :

$$n_{V_{II}} \rightarrow +\infty \quad (6.26)$$

qui correspond au nombre de fois, soit une infinité, où peut se rendre l'individu $I_{II,1;n}$ durant le cycle d'étude considéré.

Conclusion étape 1.

A travers ces évaluations des différents accès aux diverses aménités urbaines proposées dans la ville à cette étape de son développement, nous pouvons observer l'existence d'une compensation pour les individus situés aux différentes extrémités du pôle urbain principal $U_{I,1}$.

En effet, nous avons vu que l'accès aux zonex vertes pour l'individu $I_{I,1;1}$ est très peu fréquente voire inexistante suivant le nombre de cycles d'études que nous prenons en considération. Tandis qu'inversement, son accès à la zone urbaine est elle théoriquement illimité de par son implantation annexée au *CBD*.

En revanche, l'individu situé dans la position opposée de ce pôle urbain, soit l'individu $I_{I,1;n}$, n'a pour sa part qu'un unique déplacement vers le *CBD* principal, possible dans un cycle d'étude ou deux vers le pôle de catégorie inférieure en fonction de son budget.

En revanche, cette même personne se trouve beaucoup mieux lotie en ce qui concerne l'accès aux aménités vertes puisque les déplacements vers les espaces verts de première catégorie sont pour elle théoriquement possible à l'infini sur le cycle d'étude, du fait que que le trajet ne lui coûte rien car inexistant de la localisation de la personne annexée à cette zone.

Nous observons également cette répartition des accès aux différents espaces urbains et verts entre les différents individus implantés aux extrémités des centres urbains de seconde catégorie.

On observe que la compensation existe à la fois entre les individus appartenant à la même surface de bâti mais qu'elle est aussi répartie sur une vue d'échelle plus grande, globale à l'ensemble de la ville. C'est-à-dire qu'il se forme également une compensation des consommations des différentes aménités entre l'ensemble des individus des différents pôles urbains, quelque soient leurs catégories.

Si nous nous sommes contentés d'effectuer une analyse des fréquentations de déplacements possibles sur le cycle d'étude considéré vers les deux types d'aménités, auprès seulement des individus situés aux extrémités des surfaces de bâtis, c'est que nous pouvons appliquer cette observation auprès de l'ensemble des individus implantés dans la totalité des surfaces urbanisées, en effectuant une simple continuité de compensation suivant la distance croissante ou décroissante vers chacune des aménités.

Enfin, en plus d'une compensation entre les diverses aménités suivant le lieu d'implantation des individus, cette morphologie urbaine permet d'avoir toujours pour chacune des personnes venant s'installer sur ce territoire, et donc quelque soit son emplacement dans l'aménagement de la ville, son équilibre budgétaire, et les parts respectivement dédiées à la consommation des différentes aménités urbaines et vertes, respecté.

Ainsi, toutes les observations effectuées à cette étape de construction de la ville permettent de nous conforter dans le choix de défendre une telle morphologie urbaine.

La suite de la croissance urbaine, suivant donc cette règle multifractale et respectant le même ajout d'occupation surfacique à chaque étape d'avancement

6.3 Et si la ville continue de grandir . . . sainement

6.3.1 Une compensation maintenue à chaque étape

Nous supposons que les personnes continuent à être attirées par la ville et y affluent afin de profiter de l'attrait dont celle-ci bénéficie ainsi que des différentes aménités dont ils pourront être en mesure de disposer une fois installées au sein de la ville.

Nous allons donc, afin de permettre le maintien de cet équilibre compensatoire entre tous les individus suivant leurs différents lieux d'implantation sur le territoire, répéter le processus de construction établi pour la génération des deux premières étapes.

De ce fait, l'étape 3 de construction s'effectue grâce au générateur conçu lors de la création de la deuxième étape de l'essor de la ville.

Ainsi, nous allons *multiplier* la forme génératrice obtenue précédemment à l'extrémité de chacune des deux voies principales de transport existantes, dans le prolongement de l'extension antérieure de la ville.

La force des fractales est de recommencer à l'infini la même opération. Ainsi, une fois l'étude de la ville à l'étape 2 terminée, soit l'étape du générateur, on continue la construction de la ville tant que les individus continuent d'arriver sur le territoire, maintenant ainsi le processus de développement de celle-ci.

Bien évidemment, nous gardons pour chaque nouvelle étape, l'argument permettant la justification et la possibilité cohérente de diriger l'agencement de la ville vers une telle structure fractale. Soit, nous ajoutons toujours la même superficie d'occupation du sol par le bâti à mesure de chaque étape créée.

Ainsi, le schéma [Fig. 6.7] nous montre l'agencement de la ville à l'étape de construction suivante. Concrètement, comme le veut la géométrie fractale, nous avons répété le schéma à l'étape antérieure (ici le générateur) avec le rapport de réduction f_r autour de la forme précédente, et cela $\frac{1}{f_r}$ afin de retrouver la même figure aux quatre extrémités où la ville se développe.

Le plan de cette structure urbaine illustre la reproduction en dimension réduite la réplique de la structure morphologique existante qui composait la morphologie de la ville à l'étape précédente.

A cette étape suivante de construction de la ville, nous voyons l'émergence de nouveaux pôles urbains d'un ordre hiérarchique inférieure au dernier apparu à l'étape antérieure. Ceux-ci sont des sous-centres des pôles urbains d'ordre *II* et ont donc une distance équivalente à $\frac{d_{B_{max}}}{8}$, qui correspond à la distance séparant leurs deux extrémités les plus éloignées.

De façon réciproque, ou plus exactement de manière inversée aux structures urbaines, nous concevons un nouvel espace vert que nous qualifions de troisième catégorie. En réalité, une partie de la surface verte d'ordre *II* de l'étape précédente, auparavant du vert de plus haute qualité possible puisque complètement naturel, va se transformer en une zone de vert de surface inférieure, avec en son sein quelques infrastructures

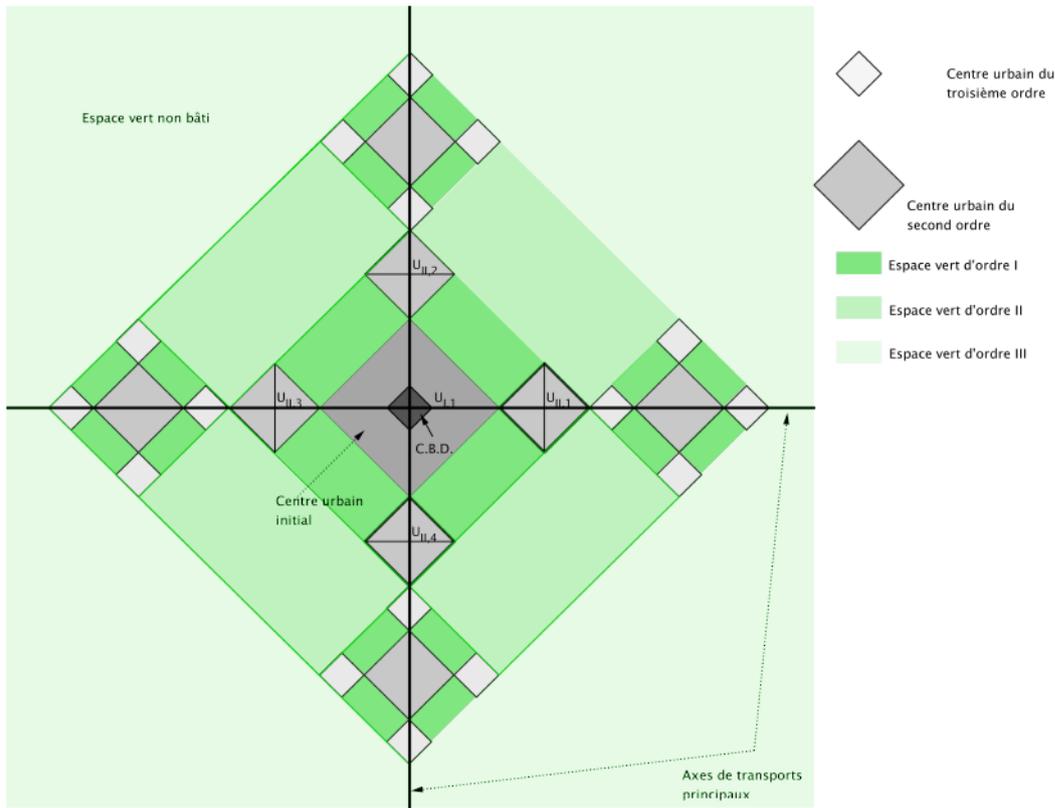


FIGURE 6.7: Agencement de la ville à l'étape 3

pour son aménagement. La zone verte nommée d'ordre *II* devient donc une zone de qualité inférieure à ce qu'elle était précédemment. Dans cette nouvelle configuration, c'est la zone verte d'ordre *III* qui se voit attribuer la qualité supérieur d'aménités vertes puisque c'est elle qui comprend la zone verte, la plus 100 % nature possible qu'il soit.

La compensation toujours active

Ce dispositif structurel permet donc de conserver cette compensation que nous avons observé, à la fois pour les individus entrants que pour ceux déjà présents.

Nous allons maintenant traduire ces évaluations de centres urbains sous une écriture générale de manière à obtenir une fonction permettant d'évaluer chacun de ces pôles créés en fonction de la distance aux aménités de leurs individus.

Intéressons nous d'abord à son attraction avec le centre urbain de plus haute importance, et unique, existant au sein de la ville dans sa globalité complète. Ainsi, un individu sera toujours installé à une distance x du CBD, celui donc à l'origine de l'émergence de la ville et de son évolution.

Soit, on désigne par $n(x)$, la fonction donnant le nombre de fréquentations maximum possibles avec le budget associé aux aménités urbaines situé dans ce centre urbain, c'est à dire le pôle $U_{I,1}$. Nous considérons toujours, avec les mêmes hypothèses défendues précédemment sur la limite de la première surface du pôle urbain central, qu'un déplacement d'une distance équivalente à $d_{U_{max}}$ est possible une seule fois durant le cycle d'étude que l'on considère.

Nous pouvons alors écrire la relation suivante :

$$n(x) = \frac{d_{B_{max}}}{x} \quad (6.27)$$

Nous avons pour la dérivée première de n :

$$\frac{dn}{dx}(x) = -\frac{d_{B_{max}}}{x^2} < 0, \quad \forall x \in \mathbb{R} \quad (6.28)$$

La fonction n est donc décroissante. Il en découle alors, comme intuitivement supposé, l'affirmation que le nombre de fréquentations possibles maximum, dans le cycle d'étude considéré, diminue plus l'individu est localisé à une position x éloignée du CBD de plus haut rang.

6.3.2 Un rapport urbain/vert équilibré

En plus de la compensation entre urbain et vert, mise en évidence à travers les fréquentations de déplacements entre les différentes aménités existantes, la structure multifractale, construite sur une géométrie d'un tapis de Sierpinski, apporte également différents avantages dans l'existence générale de la ville.

Ainsi, l'avantage général qu'apporte la ville multifractale, et la différenciant des autres concept urbain, consiste en son apport d'espace vert et de sa répartition au sein de l'espace urbain.

Nous avons déjà pu juger à travers la littérature sur les villes au cours des décennies précédentes, ajouté à celui des résultats de différents sondages réalisés ces dernières proches années, la part importante que les citoyens accordent à la présence de vert dans leur espace de vie (GAULT & BEDEAU, 2007). L'apport de zones pénétrantes vertes joue également un rôle important pour réduire l'effet néfaste des îlots de chaleur.

Alors, si nous observons maintenant la structure morphologique multifractale de cette ville construite sur ce tapis de Sierpinski, nous pouvons observer une présence de vert continuellement sur toute la surface du territoire, et ce, de manière à être attribué de façon à offrir une surface proportionnelle pour chaque pôle urbain créé.

L'autre grande force et atout de la structure multifractale est qu'elle permet d'organiser une structure hiérarchisée des centres urbains. Mais aussi, et surtout, d'obtenir une structure hiérarchisée des espaces de vert, comme une réponse miroir de la hiérarchie urbaine. C'est cette partie, innovante par rapport aux autres structures vues jusqu'ici, qui permet ce phénomène de compensation et d'équilibre entre les divers déplacements des individus suivant leurs différents lieux d'implantation dans la ville.

En effet, observons le rapport des surfaces urbaines et vertes telles qu'elles sont disposées sur l'ensemble de la ville.

Commençons par le pôle urbain ayant la plus forte hiérarchie, soit $U_{I,1}$, qui possède donc théoriquement une surface carrée égale à :

$$\mathcal{A}_{U_{I,1}} = 2 \times d_{B_{max}}^2 \quad (6.29)$$

Cette surface urbaine est elle-même entourée d'une zone verte de première catégorie. A cette première zone urbaine est donc associée une surface verte d'une superficie égale à :

$$\begin{aligned}\mathcal{A}_{V_{I,1}} &= 4 \times d_{B_{max}}^2 \\ &= 2 \times \mathcal{A}_{U_{I,1}}\end{aligned}\tag{6.30}$$

Ainsi, le premier pôle urbain est encerclé d'une surface de vert qui se trouve être d'une superficie égale à deux fois la sienne.

Observons maintenant le rapport entre un pôle urbain de deuxième catégorie et la surface de vert de catégorie I le contournant. Considérons aussi ce pôle dans la seconde étape d'itération de construction pour une meilleure visibilité des surfaces.

Ce pôle de seconde catégorie possède une superficie valant :

$$\mathcal{A}_{U_{II,1}} = \frac{d_{B_{max}}^2}{2}\tag{6.31}$$

Et la surface verte de première catégorie située aux contours de son périmètre possède quant à elle une superficie égale à :

$$\begin{aligned}\mathcal{A}_{U_{II,1}} &= d_{B_{max}}^2 \\ &= 2 \times \mathcal{A}_{U_{II,1}}\end{aligned}\tag{6.32}$$

Ainsi on observe le même rapport de répartition de vert autour du pôle urbain de seconde catégorie que celui avec le pôle urbain de premier ordre. À savoir, que la superficie de de bâti est bordée d'une superficie de vert d'ordre 1 égale à deux fois sa taille.

Ainsi, nous pouvons procéder et établir de manière générale, pour quelque soit l'ordre hiérarchique de la surface bâti considéré de la ville, le rapport entre l'urbain et le vert aux contours du périmètre de celui-ci.

Le principe de construction du tapis tel qu'employé dans la conception de notre ville est basé sur une itération permettant d'obtenir une relation entre l'aire du carré et celui d'ordre hiérarchique inférieur.

En désignant ici par N l'ordre hiérarchique du pôle urbain considéré et par i l'ordre d'arrivée de ce centre, nous pouvons écrire :

$$\forall N \text{ et } i \in \mathbb{N} \quad \mathcal{A}_{U_{N,i}} = \frac{1}{4} \times \mathcal{A}_{U_{N-1,i}}\tag{6.33}$$

La relation liant un centre hiérarchique supérieur avec son centre inférieur précédemment établi, respecte les caractéristiques d'une suite géométrique dont la raison est $q = \frac{1}{4}$ et son premier terme correspond à la superficie du premier centre urbain créé. Celui-ci est don de plus haute hiérarchie dans la ville, soit $\mathcal{A}_{U_{I,1}} = 2 \times d_{B_{max}}^2$.

Avec ces propriétés, nous pouvons exprimer une relation explicite donnant la superficie d'un centre urbain en fonction de son grade hiérarchique N par l'expression suivante :

$$\begin{aligned}
\mathcal{A}_{U_N,i} &= \mathcal{A}_{U_{I,1}} \left(\frac{1}{4}\right)^{N-1} \\
&= d_{B_{max}}^2 \left(\frac{1}{2}\right)^{2N-3}
\end{aligned} \tag{6.34}$$

Et pour chaque centre urbain il est donc approprié une zone verte de première catégorie dont la superficie est donnée par l'expression suivante en fonction du grade N du centre urbain :

$$\begin{aligned}
\mathcal{A}_{V_{I,U_N}} &= 2\mathcal{A}_{U_{I,N}} \\
&= d_{B_{max}}^2 \left(\frac{1}{2}\right)^{2N-4}
\end{aligned} \tag{6.35}$$

Et on retrouve cette relation donnant deux fois plus de vert à disposition des individus que la surface bâti qu'ils occupent.

Vue d'ensemble

Toutefois, ce rapport de 1 pour 2 en faveur du vert est quelque peu à nuancer. En effet, celui-ci est vrai si nous tenons compte de chacun des centres urbains indépendamment les uns des autres. Or, si nous considérons la ville telle qu'agencée, nous pouvons observer que certaines zones de vert sont partagées entre un centre urbain et les centres secondaires annexés à celui-ci.

Soit, prenons pour exemple la ville à la fin de l'étape 1 de sa construction [Fig. 6.6].

La superficie occupée par le bâti ,composé du centre principal et de ses 4 centres secondaires d'ordre II , est donc égale à :

$$\begin{aligned}
\mathcal{A}_U &= d_{B_{max}}^2 \left(\frac{1}{2}\right)^{1-2} + 4 \times d_{B_{max}}^2 \left(\frac{1}{2}\right)^{2 \times 2 - 3} \\
&= 2d_{B_{max}}^2 + 4 \times d_{B_{max}}^2 \times \frac{1}{2} \\
&= 4 \times d_{B_{max}}^2
\end{aligned} \tag{6.36}$$

Ce résultat est somme toute évident, du fait que nous développons la ville en respectant la superficie déjà occupée à l'étape précédente mais avec une disposition différente.

Pour ce qui concerne la présence de vert d'ordre 1 pour cette zone urbaine, nous avons une superficie consacrée à toute la population ayant pour aire :

$$\mathcal{A}_U = 4 \times d_{B_{max}}^2 \tag{6.37}$$

Ainsi, dans l'utilisation réelle de l'espace, nous n'avons plus un rapport multiplié par deux de superficie entre le vert et l'urbain puisque chaque contour de centres de seconde zone partage une partie de sa zone verte avec son centre urbain hiérarchiquement supérieur.

Toutefois, une force majeure de cette structure multifractale choisie pour la morphologie de notre ville est de nous garantir une aire urbaine de taille équivalente à l'aire verte de première catégorie, soit la zone la plus rapidement accessible pour les individus quelque soit son centre urbain d'appartenance.

6.3.3 Jusqu'au cas individuel

Jusqu'à présent, nous avons observé la ville, soit à l'échelle du pôle, soit à l'échelle globale. C'est-à-dire que nous nous sommes concentrés sur les bienfaits de cette ville pour l'individu avec à la fois une vue généralisée au quartier ou à l'aire de chalandise incarnée et une plus générale correspondante à la ville entière.

L'objectif de notre recherche ne porte pas sur la disposition habitat par habitat de chacun des individus venus s'installer sur le territoire. Néanmoins, nous voulons tout de même apporter une réflexion et une proposition d'aménagement possible concernant le logement individuel des habitants dans la ville. En effet, prendre en compte chaque personne d'une population urbaine est difficilement applicable, d'où une conception de la ville dans une vue générale pour une réponse générale. Or, nous proposons un modèle de ville voulant satisfaire aux individus et nous voulons donc montrer qu'une application en adéquation avec cette géométrie multifractale est réalisable à l'échelle individuelle et qui permet de préserver ce rapport entre vert et urbain jusqu'à l'habitat personnel.

L'idée reste relativement simple. En effet, nous avons vu que l'atout majeur de la ville multifractale, en plus d'offrir une hiérarchie de vert au sein de l'aménagement de sa morphologie, est d'entourer chaque îlot urbain d'une zone de vert correspondant à la surface qu'occupe le bâti correspondant. Et ce, que l'on observe la ville sur son ensemble général ou sur chacun des différents pôles urbains conçus pendant sa création. C'est, en soi, la particularité première de la géométrie fractale. Soit, celle de reproduire, constamment et à l'infini, une figure dans une échelle réduite à chaque étape itérative de la construction. Ainsi, que nous observions l'ensemble de la morphologie d'une vue macroscopique ou microscopique, nous obtenons les mêmes caractéristiques à chaque échelle.

Alors nous pouvons nous poser la question suivante. Pourquoi ne pas conserver cette caractéristique particulière pour la création des logements des individus ?

La rente foncière est différente suivant le centre urbain où l'individu s'installe. Nous suivons le principe d'Alonso-Fujita dans nos modèles ; la rente foncière diminue plus on se retrouve éloigné des pôles urbains et notamment les pôles d'ordre hiérarchiques importants.

Dans notre modèle, tous les individus sont considérés comme égaux entre eux. Cette égalité est traduite par le portefeuille budgétaire de chaque personne et est identique pour chacune d'elles.

Nous savons que les habitants sont demandeurs d'espace vert pour leur espace de vie urbain. Ce que la ville multifractale leur offre donc à l'échelle globale. Mais si les aménités vertes se consomment de façon collective et permettent des activités impossibles à réaliser chez soi, l'individu peut vouloir prétendre à un cadre de vert privé. De

plus, ceci est conforté à travers certains sondages qui montrent que l'habitat souhaité et favorisé majoritairement est la maison particulière munie d'un jardin particulier.

Nous ne devons pas oublier notre position d'aménageurs de la ville et que nous avons donc la responsabilité d'établir le prix de la rente foncière sur l'ensemble du territoire.

Rappelons aussi que dans notre modèle économique, nous avons dissocié les dépenses obligatoires des dépenses auxiliaires. Dans les frais obligatoires, nous avons inclus les dépenses liés au loyer que doit payer chaque ménage dans le cycle d'étude considéré.

Alors, nous pouvons imaginer une rente foncière où chaque individu va, avec le budget qu'il consacre à cette dépense, s'octroyer une parcelle où il pourra bâtir un logement avec son jardin autour.

Ou nous pouvons de nous même, au préalable, bâtir les habitations avec cette caractéristique et les proposer par suite à la location ou à la vente aux individus lors de leurs arrivées.

Nous pourrions alors établir un prix de la rente foncière qui serait fonction des paramètres α et β qui traduisent la part d'importance qu'accordent les individus respectivement à l'urbain et au vert.

En effet, nous pourrions créer des habitats qui respectent dans leur superficie la part d'importance accordée par les individus à l'urbain et au vert. C'est-à-dire que, pour une aire \mathcal{A} , nous décomposons celle-ci en deux sous-parties \mathcal{A}_u et \mathcal{A}_v représentant respectivement la surface de la maison et la part de jardin qu'occupe l'ensemble de la future propriété de l'individu, soit la part du bâti et la part de vert de la propriété.

Un individu accorde donc un budget égal Y_L à son bien immobilier. De la même façon que nous avons divisé les dépenses auxiliaires en trois parties distinctes, nous allons diviser cette dépense immobilière en trois dépenses distinctes qui suivent celles des dépenses auxiliaires.

Ainsi, on découpe Y_L en :

$$Y_L = \alpha Y_L + \beta Y_L + \gamma Y_L \quad \text{avec} \quad \alpha + \beta + \gamma = 1 \quad (6.38)$$

Ainsi, tout simplement la dépense αY_L est consacrée à l'acquisition de la surface occupée par les murs de la maison.

La part βY_L est elle réservée pour la superficie du jardin.

Quant à la partie des dépenses faites par γY_L , celles-ci concernent les biens composites de la propriété. On peut imaginer qu'elle correspond aux frais d'entretien ou à tout ce qui consiste aux achats personnels et d'aménagements de la maison et/ou du jardin, propre aux désirs et préférences de chaque ménage.

Cette organisation de l'aménagement des habitats individuels va respecter le principe de l'aménagement de la ville fractale.

En effet, plus le centre urbain aura une importance hiérarchique forte, plus la rente foncière sera élevée et plus les propriétés auront une petite surface d'occupation. Ce qui permet à ces pôles d'accueillir plus d'individus car plus attractifs. En contrepartie, ils auront une accessibilité et donc des déplacements moins longs et donc plus fréquents

aux aménités urbaines du centre. Individuellement, leurs habitats seront petits ainsi que leurs jardins.

A l'inverse, pour les zones urbaines de plus faible hiérarchie, la rente foncière est moins élevée et l'individu peut donc occuper une propriété privée de plus grande importance et donc bénéficier d'un jardin plus important. Il y aura donc une densité plus faible de la population. Ce qui va en cohérence avec son pôle urbain d'occupation moins muni en aménités urbaines mais à contrario plus proche d'accès aux différentes zones vertes.

La conclusion finale porte ainsi sur le fait que, dans cet aménagement de l'habitat individuel, nous aurons toujours une surface de bâti encerclé d'une surface de vert. Que celle-ci soit le jardin dans le cas de la maison individuel. Ou la zone verte d'ordre *I* pour un pôle urbain quelconque ou d'ordre *II* pour un pôle urbain avec ses centres annexés, ou encore, la zone verte d'ordre *III* pour l'ensemble de la ville en général.

Récapitulatif des réponses du modèle

Finalement nous proposons à travers ce tableau 6.1 un résumé des réponses proposées par le modèle selon les scénarios envisagés et traités précédemment :

Intérêts	Exclusivement urbain $\gamma = 0$	Exclusivement vert $\beta = 0$	Identique $\beta = \gamma$	Cas général
Morphologie proposée par le modèle	Compacte	Éclatée	Polycentrique ou monofractale	Multifractale

TABLE 6.1: Tableau résumé des réponses du modèle

6.4 Jouons sur les formes

Nous jugeons pertinent d'envisager d'éventuelles autres formations possibles dans le développement de notre ville théorique. En s'appuyant toujours sur la caractéristique de la géométrie fractale, nous observerons d'abord une ville obtenue avec une autre proposition d'agencement pour le générateur. Nous mettrons ensuite en lumière les avantages que cette nouvelle ville est dans la possibilité d'offrir par rapport à celle que nous avons choisie comme modèle de base. Nous prendrons aussi le soin de montrer les éventuelles limites et verrons que les gains sont à nuancer face aux inconvénients que nous faisons ressortir de cette nouvelle forme urbaine.

Nous concluons cette section en observant comment évolue le modèle de base en fonction des paramètres attribués pour caractériser les préférences des individus. Nous verrons l'effet miroir de la ville suivant que l'on accorde plus d'intérêts aux aménités urbaines ou vertes.

6.4.1 Une disposition différente

L'idée est donc à présent de proposer un nouvel agencement des futurs pôles urbains respectant les règles d'une construction fractale.

Nous avons mis en avant l'importance et le désir de vert au sein de la ville par la population. Cette part d'intérêt pour les espaces vert est même, en réalité, une question implicite de la problématique des recherches menées.

Une solution pour palier ce manque de vert peut se trouver dans un raisonnement consistant à favoriser la réduction des surfaces bâties existantes. Ainsi il est tout à fait raisonnable d'imaginer avoir, en procédant à une diminution de la superficie des pôles urbains créés, la distance, et donc l'accès aux espaces verts, diminuée pour les personnes vivantes à l'intérieur de chacune de ces zones urbaines.

Nous proposons donc une nouvelle morphologie adaptée à notre situation en supposant maintenant que nous allons faire évoluer les différents futurs pôles urbains tout autour du pôle central initial de manière à les répartir tout autour de ce dernier, non plus par 4 mais par 8.

Le pôle urbain est toujours arrêté une fois la distance $d_{B_{max}}$ obtenue pour le dernier individu arrivée.

Nous respectons toujours la règle justifiant la possibilité de faire émerger une ville fractale théorique en conservant une superficie égale entre la totalité des aires urbaines créées avec l'aire existante et conçue à l'étape précédente.

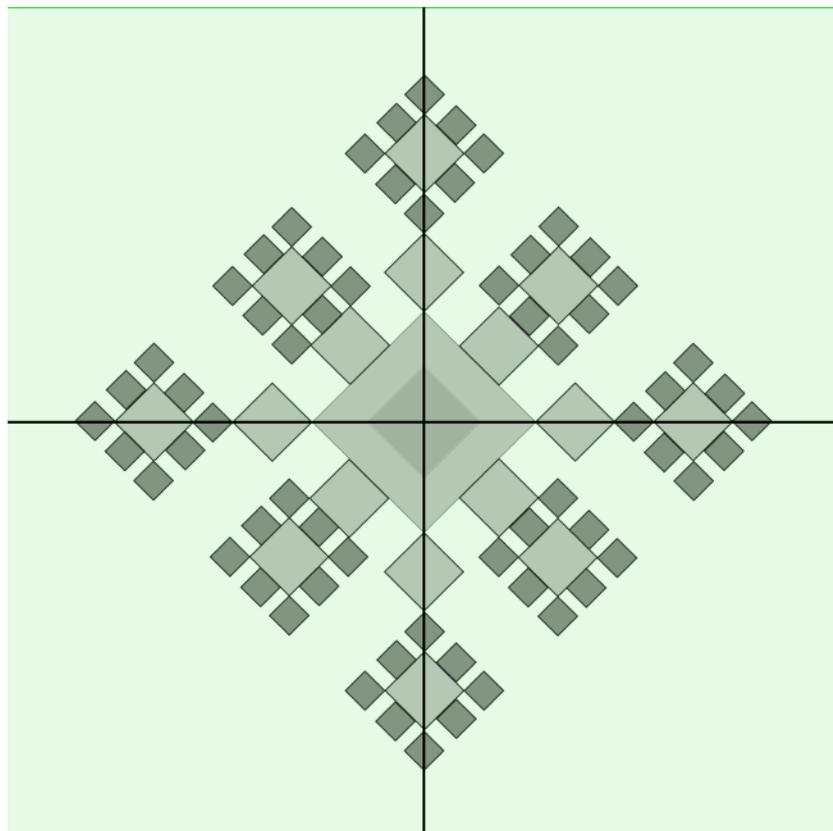


FIGURE 6.8: Etape 3 d'un agencement à 8 pôles secondaires annexés

Le schéma ci-dessus, [Fig. 6.8], nous propose et nous montre une nouvelle disposition

envisageable dans le cadre du développement d'une autre nouvelle structure morphologique pour l'espace urbain en devenir.

Libre à chacun d'envisager ou de proposer telle ou telle disposition dans l'emplacement des sous-centres urbains à venir sur le territoire. Une annexion au pôle supérieur est inévitable, car elle permet ainsi une réduction de l'étalement tout en favorisant également une optimalité des réseaux de déplacements à l'intérieur de la ville.

En vérité, il est possible d'imaginer une multitude, voire une infinité de propositions quant aux différents formats de villes respectant les contraintes, hypothèses et règles que nous avons définies et défendues dans ce travail.

Nous prenons le choix ici de n'en observer qu'une seule autre. Certes, elle est relativement proche dans sa structure d'agencement de celle que nous avons approfondie dans la partie précédente. Mais ce n'est pas sans raison. L'argument étant que nous avons défendu ce type de géométrie comme une structure optimale pour répondre aux volontés des populations face aux exigences de la ville qu'ils sont en mesure d'attendre.

6.4.2 Des améliorations attendues

Cette nouvelle disposition des sous-centres nous invite tout naturellement à confronter ce nouvel aménagement à celui choisi sous la forme du modèle discuté dans le chapitre précédent et que nous avons défendu plus tôt comme un agencement optimal aux enjeux de notre problématique.

Présente-t-il des améliorations et/ou va-t-il encore plus loin dans les avantages que nous avons pu faire ressortir ?

Une telle disposition dans l'émergence des futurs sous-centres nous renvoie plutôt vers des caractéristiques que nous retrouvons et avons pu constater lors de la modélisation de villes générées par une morphologie construite sur la base d'une géométrie monofractale.

Toutefois, nous pouvons retrouver ici, avec cette nouvelle disposition, les deux principaux avantages espérés dans la modification du générateur à l'origine du développement de la cité au cours des étapes de constructions. Les améliorations par rapport au modèle de base sont donc principalement axées sur les deux phénomènes suivants.

Un étalement moins important

Le premier changement obtenu en disposant d'une telle manière les nouveaux centres urbains, tout autour de leur centre urbain principal, réside dans un meilleur contrôle de l'étalement général de la ville. Effectivement, en choisissant cette fois-ci de réduire la superficie d'occupation de chacun de ces sous-centres, en contrepartie d'une obligation à en augmenter le nombre, va permettre logiquement d'avoir une meilleure possibilité à terme sur le contrôle de l'étalement urbain lors de la croissance de la ville sur l'espace géographique.

Par contrôle de l'étalement, nous pensons ici superficie de la ville sur l'espace géographique où elle est présente. Faisons alors une comparaison de ce nouveau tissu urbain proposé avec celui du modèle de base à l'issue de l'étape où trois pôles urbains différents apparaissent.

1. Modèle proposé

Soit on note toujours a la distance $d_{B_{max}}$. L'aire $\mathcal{A}(U_1)$ du premier pôle urbain est donc toujours égale à :

$$\mathcal{A}(U_1) = 2 \times a^2 \quad (6.39)$$

On note $\mathcal{A}(U_2)$ l'aire d'un pôle de second ordre. On a par construction :

$$\mathcal{A}(U_1) = 8 \times \mathcal{A}(U_2) \quad (6.40)$$

Par continuité, on a l'aire d'un pôle de troisième ordre, notée $\mathcal{A}(U_3)$ qui respecte :

$$\mathcal{A}(U_2) = 8 \times \mathcal{A}(U_3) \quad (6.41)$$

Ainsi pour respecter ces égalités, on a a' et a'' les distances de la frontière au *CBD* pour respectivement les pôles d'ordre 2 et 3 qui sont égales à :

$$\begin{aligned} a' &= \frac{a}{2\sqrt{2}} \\ a'' &= \frac{a}{8} \end{aligned} \quad (6.42)$$

Donc à l'étape d'apparition des pôles urbain de troisième ordre, la distance du *CBD* initial à l'extrémité de la ville est d_{max} telle que :

$$\begin{aligned} d_{max} &= a + 2 \times \frac{a}{2\sqrt{2}} + 2 \times \frac{a}{8} + 2 \times \frac{a}{2\sqrt{2}} + 2 \times \frac{a}{8} \\ &= \frac{6a + 2\sqrt{2}a}{4} \end{aligned} \quad (6.43)$$

Donc l'enveloppe englobant l'ensemble de la ville à cette étape est un carré d'aire \mathcal{T} :

$$\begin{aligned} \mathcal{T} &= \frac{d_{max} \times d_{max}}{2} \times 4 \\ &= \frac{(11 + 6\sqrt{2}) \times a^2}{2} \simeq 10a^2 \end{aligned} \quad (6.44)$$

2. Modèle de base

Comparons maintenant cette enveloppe avec celle englobant le modèle de base. Rappelons qu'on a pour les aires des 3 pôles urbains les relations suivantes :

$$\mathcal{A}(U_1) = 4 \times \mathcal{A}(U_2) \quad (6.45)$$

$$\mathcal{A}(U_2) = 4 \times \mathcal{A}(U_3) \quad (6.46)$$

Ainsi, on a dans ce cas :

$$\begin{aligned} a' &= \frac{a}{2} \\ a'' &= \frac{a}{4} \end{aligned} \quad (6.47)$$

Et on alors :

$$\begin{aligned} d_{max} &= a + 2 \times \frac{a}{2} + 2 \times \frac{a}{4} + 2 \times \frac{a}{2} + 2 \times \frac{a}{4} \\ &= 4a \end{aligned} \quad (6.48)$$

Ainsi, l'aire du carré \mathcal{T}' enveloppant le modèle de base à cette étape est :

$$\begin{aligned} \mathcal{T}' &= \frac{4a \times 4a}{2} \times 4 \\ &= 32a^2 \end{aligned} \quad (6.49)$$

3. Comparaison et conclusion

Nous avons donc clairement :

$$\mathcal{T}' > \mathcal{T}$$

La réduction des distances au *CBD* de second ordre permet ainsi à ce nouveau tissu urbain d'occuper une surface nettement moins importante que celle du modèle de base sur l'espace géographique où la ville est développée.

Intéressons nous à présent à la surface réelle occupée par le bâti dans chacun de ces modèles.

Pour le nouveau modèle que nous proposons, la surface de bâti, noté \mathcal{S} à l'étape où trois catégories de pôles urbains apparaissent vaut :

$$\begin{aligned} \mathcal{S} &= 2a^2 + 2 \times 8 \times \frac{a^2}{4} + 8 \times 8 \times \frac{a^2}{32} \\ &= 8a^2 \end{aligned} \quad (6.50)$$

Pour le modèle de base, la surface de bâti, noté \mathcal{S}' à l'étape également où trois catégories de pôles urbains apparaissent vaut :

$$\begin{aligned} \mathcal{S}' &= 2a^2 + 2 \times 4 \times \frac{a^2}{2} + 4 \times 4 \times \frac{a^2}{8} \\ &= 8a^2 \end{aligned} \quad (6.51)$$

L'occupation du sol par le bâti est donc bien la même pour chacune des deux structures.

La dimension fractale de ce nouveau modèle est $D = \frac{\log(45)}{\log(8)} \simeq 1,83$ contre

$$D' = \frac{\log(16)}{\log(5)} \simeq 1,72 \text{ pour le modèle de base.}$$

Cette nouvelle proposition a donc une tendance à tendre vers une dimension plus proche de 2 et s'apparente à une réponse de la ville compacte en conservant toutefois une présence de vert à proximité. Ce qui nous amène à la deuxième amélioration envisagée par cette nouvelle forme.

Un vert plus proche

Le second atout caractéristique que promet donc ce nouvel agencement est à mettre en faveur de l'accessibilité aux espaces verts pour les habitants des zones urbaines.

Effectivement, il est fort logique qu'avec cette disposition de bâtis, la distance à parcourir pour se déplacer vers un espace permettant la pratique des aménités vertes est plus explicite qu'auparavant.

Tout simplement, les aires de chacun des centres urbains sont donc maintenant plus petites. Ce qui a naturellement pour conséquence d'entraîner cette diminution de distance à parcourir pour pouvoir se trouver à l'extérieur de ces zones de bâtis et donc dans les espaces verts.

La personne a, grâce à cette morphologie, moins de distance de manière générale à effectuer pour consommer des aménités vertes ; les carrés sont plus petits. L'individu dépense alors moins de revenus consacrés à ce type de loisirs. Il est donc théoriquement en mesure d'augmenter le nombre de ces fréquentations vers les espaces verts dans le même espace temps d'étude pris en considération.

En effet, prenons l'exemple de la distance au vert pour l'individu situé au centre d'un pôle de second ordre. De (6.42) et (6.47), on a donc une distance diminuée de $\frac{1}{\sqrt{2}}$ pour l'accès au vert. Et dans le même cycle d'étude d'étude considéré, il pourra alors se rendre $\sqrt{2}$ fois plus au vert de première catégorie que le même individu du modèle de base.

La réciproque est également vérifiée pour les consommations aux aménités urbaines. Le raisonnement d'une augmentation des possibilités de fréquences se retrouve également valable. En effet, si la distance au vert est réduite par une diminution de la superficie des aires urbaines, il en va de même pour l'accès aux aménités urbaines. Ainsi, à l'aide de la même argumentation de la réduction des distances, l'individu pourra profiter, avec le même budget accordé aux aménités urbaines, d'une plus grande consommation des espaces urbains et des aménités offertes par ceux-ci, son nombre de déplacements pouvant être plus important.

6.4.3 Des carences similaires aux formes existantes

Ce nouvel agencement de ville, quelque peu modifié par rapport au modèle de base, semble donc présenter à travers les deux caractéristiques présentées précédemment, des atouts intéressants et certainement non négligeables dans l'organisation de la vie de nos individus au sein de leur espace de vie. Ces modifications s'inscrivent effectivement dans les principes voulus par les citoyens des villes nouvelles et semblent bien correspondre

aux demandes émises et traduites dans plusieurs et différentes études interrogeant les populations autour de ces sujets.

Cependant, il existe des arguments qui mettent cette nouvelle structure morphologique à mal face à ceux que nous avons précédemment observés pour défendre la ville multifractale pressenti au précédent comme une solution préférable.

En effet, plusieurs caractéristiques nous permettent d'imaginer des raisons relativement importantes ne permettant pas de faire de cette structure une offre suffisamment satisfaisante comme choix de morphologie préférable. Nous présentons les deux inconvénients ci-après pour montrer les limites des avantages présentés précédemment.

Un vert pas clair

La première contrainte que soulève la disposition des zones de bâtis d'une telle manière sur le territoire, se trouve d'abord dans les surfaces de zones vertes qu'elle laisse à disposition des individus pour leurs consommations d'aménités vertes.

En effet, si l'étalement de la ville à l'issue de la première étape de construction occupe une surface moins importante que la ville respectant la géométrie du tapis de Sierpinski, cela se fait en contrepartie de la zone verte et de sa superficie. Avec cette nouvelle disposition, l'espace vert attribué aux individus venant constituer la population de cette première hiérarchie de zone urbaine se verra bénéficier d'une surface de vert moins attractive en qualité, principalement dû au fait de sa taille moindre que celle mise à disposition des habitants avec le modèle de base.

Il est évident que cette nouvelle disposition des centres urbains, qui tend donc à minimiser les surfaces de vert, va avoir de surcroît pour effet de minimiser aussi la hiérarchie des parcelles vertes sur l'ensemble de la ville. La hiérarchie de vert mise en distinction dans le modèle de base comme un équilibre fondamental des différentes aménités pour la population s'en trouve ici fortement atténuée. La distinction entre les différentes zones vertes n'est plus aussi importante et distinctive que dans l'agencement initial.

La compensation de qualité urbain/vert pour les individus suivant leurs position d'implantation s'en trouve donc de ce fait fortement diminuée et tend par là à affaiblir les principes avantageux de la ville fractale comme présentée en amont.

On se situe toujours à la même étape de construction où trois pôle urbains de différentes catégories apparaissent.

1. Modèle proposé

De (6.44) et (6.50), on a immédiatement une aire d'espace vert \mathcal{V} à l'intérieure de la ville proche de

$$\mathcal{V} = 2a^2 \tag{6.52}$$

2. Modèle de base

De (6.49) et (6.51), on a pour le modèle de base une aire d'espace vert \mathcal{V}' à l'intérieure de la ville égale à :

$$\mathcal{V}' = 24a^2 \tag{6.53}$$

3. Comparaison et conclusion

Comme attendu, on a une surface beaucoup plus importante de vert dans la ville qui suit le modèle de base. De par sa construction, le modèle de base offre $4 \times 2a^2 = 8a^2 > \mathcal{V}$ (4 aires de même taille que le pôle urbain de premier ordre). Ainsi, en contrepartie d'un vert plus facilement accessible, il est impossible pour la ville correspondant au modèle proposé de proposer une part aussi importante de vert de meilleure qualité que celle mise à disposition avec le modèle de base.

Une disposition plus propice aux déplacements

La deuxième contrainte que génère cette morphologie réside dans les fréquentations de déplacements des individus au sein de cet espace urbain. En effet, la diminution des distances, que ce soit à la fois celles des centres urbains que celles des zones vertes, va avoir pour effet d'augmenter les possibilités de déplacements des individus avec le même budget en terme de nombre de déplacements et de fréquentations. Si la distance totale moyenne par cycle d'étude à parcourir restera bien évidemment la même avec un budget équivalent, le nombre de déplacements quant à lui deviendra par contre plus important, et ce toujours sur le même espace d'étude considéré.

Cette contrainte favorise donc la multiplication des trajets à l'intérieur de la ville, que ce soit au sein de chacune des zones urbaines comme sur l'espace complet général de la ville, c'est-à-dire entre tous les différents pôles urbains. On peut notamment penser à l'utilisation des modes de transports personnels qui seront peut-être ou certainement encore plus favorisés. Ce risque de hausse peut bien évidemment s'avérer sur le long terme être non négligeable et aller à l'encontre de la ville durable recherchée.

Effectivement, nous avons vu que les politiques urbaines se donnent l'objectif d'un développement qui s'inscrit dans la logique d'un développement durable. De ce principe aujourd'hui ancré dans les volontés publiques, la multiplication des trajets au coeur de la cité semble donc plutôt aller à l'encontre des objectifs souhaités pour la gestion globale et durable de la ville du XXI^{ème} siècle.

6.4.4 Une évolution en fonction des paramètres de préférences

β et γ

Nous avons précédemment réfléchi à l'élaboration d'une autre morphologie d'agencement de la ville en respectant le processus répétitif de construction caractéristique de la géométrie fractale. Nous avons pu mettre en exergue différents avantages, mais également des contraintes qui n'en font pas forcément un meilleur choix de morphologie que celle défendue avec le modèle de base. Comme déjà évoqué, il peut exister un nombre incalculable de tissus fractals pouvant servir de plan descriptif de villes. Comme l'exemple précédent, il est probable que certaines structures offrent de meilleures qualités sur différents points mais il est fort probable également que le gain acquis soit obtenu en contrepartie d'une perte sur d'autres aspects de la structure.

Pour finir sur les modèles de villes, nous allons donc ici plutôt envisager l'effet produit sur l'agencement du tapis de Sierpinski, comme introduit dans le chapitre précédent, si nous modifions les paramètres de préférences du comportement des individus par rapport aux choix budgétaires qu'ils accordent à chacune de leurs aménités, ur-

baines ou vertes.

Ici, nous ne prendrons en considération qu'une hausse ou une baisse de l'un ou l'autre des paramètres tout en restant dans le cas de figure initiale. C'est-à-dire que nous maintenons le cas de figure où l'un des paramètres est plus élevé que l'autre et que nous faisons varier ces paramètres en conservant ce cas de figure.

Il va alors s'opérer les deux phénomènes suivants sur la structure morphologique de la ville et que nous présentons ci-après.

L'effet Zoom

Ici, nous considérons une situation où l'intérêt accordé aux aménités urbaines est augmentée pour l'ensemble des individus venant constituer la future population de la ville ($\beta \nearrow$).

En revanche, nous considérons toujours la même part de budget pour les dépenses consacrées aux biens composites. C'est-à-dire que l'augmentation de la partie budgétaire allouée aux aménités urbaines est prise uniquement sur celle consacrée aux aménités vertes. La population est donc seulement plus réceptive à l'aspect urbain. L'aspect urbain se traduit de la même façon que précédemment, soit au moyen des offres d'aménités qu'il procure et que les individus peuvent consommer au sein des CBD de chacun des pôles urbains de la ville.

Nous gardons toujours le même principe de raisonnement. À savoir que nous réfléchissons toujours en termes de déplacements que l'individu est en mesure de pratiquer avec le budget qu'il octroie à ses préférences pour chacune des aménités. Selon les modèles proposés, ces déplacements sont concrétisés au travers de la distance correspondante à ceux-ci et que réalise ainsi l'individu grâce au budget qu'il associe à chaque type d'entre eux.

La question émergente est alors celle-ci : comment va s'opérer la modification de cette hausse du paramètre des préférences urbaines sur notre structure morphologique initiale proposée ?

Plus que la distance pour chaque individu que celui-ci peut parcourir en fonction du budget consacré à ses aménités, ce sont la ou les distances limites qui nous ont intéressées. Celles-ci permettant ainsi de délimiter les frontières des zones urbaines que les individus sont prêts à accepter pour définir le cadre de vie urbain de leur ville.

De ce fait, la réponse à notre question est dans ces conditions une chose relativement aisée à entrevoir et comprendre, la modification sur l'agencement urbain s'en suivant alors de manière inévitable.

En effet, en appliquant le même principe de raisonnement, à savoir que si les individus disposent d'un budget plus important pour leur dépenses consacrées aux aménités urbaines, ils peuvent alors effectuer des distances plus importantes pour se déplacer afin de bénéficier de celles-ci.

La distance maximale acceptable pour le dernier entrant du premier pôle urbain de la ville est donc augmentée en conséquence de la même augmentation des revenus alloués

à cette hausse pour une préférence des offres urbaines.

$$\text{Ainsi, on } d_{B_{max}} \nearrow \implies \mathcal{A}(U_i) \nearrow.$$

Ce qui a alors pour conséquence immédiate d'amplifier la superficie occupée sur le territoire où se développe la ville du tout premier pôle urbain en émergence.

Le phénomène est alors reproduit irrémédiablement et de manière récurrente sur les pôles urbains à venir puisque les règles d'élaboration de la ville respectent toujours les mêmes hypothèses de construction régissant le développement de celle-ci.

La ville ainsi établie propose le même agencement basé sur le tapis de Sierpinski du modèle de base. Il s'est seulement opéré un effet d'amplitude, ou effet « zoom » sur sa morphologie urbaine, ainsi donc due aux préférences revues à la hausse des individus pour les aménités urbaines.

En faisant tendre β vers sa valeur maximum, donc en approchant γ vers 0, on se dirige de la sorte vers le premier scénario du modèle où la réponse proposée était une ville compacte.

Dezoom

Les réflexions menées précédemment nous obligent donc à présent à mener une observation des conséquences sur le format sierpinski de la ville si nous inversons les hausses et baisses sur les préférences des aménités des individus.

Maintenant, nous considérons donc la population comme consacrant plus d'intérêts pour les aménités vertes que pour les aménités urbaines ($\gamma \nearrow$). Mais toujours dans les mêmes conditions qu'utilisées dans l'exemple précédent. À savoir que nous faisons varier seulement les paramètres relatifs à l'urbain et au vert. Soit respectivement en baissant le premier et haussant le deuxième, la somme des deux plus la part d'intérêts composites, ne variant pas elle et valant toujours 1.

Comme à chaque fois, nous nous intéressons aux valeurs limites que le dernier individu d'un pôle urbain est prêt à accepter comme distance de déplacement pour avoir accès à ces dites aménités et donc en particulier celles ayant attrait à l'urbain.

Sa part d'intérêt pour l'urbain ayant diminué dans cette modélisation, la distance que l'individu est prêt à parcourir se trouve alors de ce fait irrévocablement réduite. Nous nous retrouvons alors logiquement devant une réduction surfacique et cela dès la conception du premier centre urbain qui va émerger pour être la première étape de construction de la ville.

$$\text{Ainsi, on } d_{B_{max}} \searrow \implies \mathcal{A}(U_i) \searrow.$$

A chaque étape du développement de la ville, on retrouve alors la même condition sur les distances de périmètre des zones de bâtis. Celles-ci se retrouvent inlassablement diminuées à chaque émergence par rapport à la construction initiale du tapis de Sierpinski.

Nous faisons donc face dans cette situation à l'effet inverse sur la structure morphologique par rapport au cas précédemment illustré. Le tapis n'est plus agrandi mais au contraire, il va subir une diminution de ces parties urbaines. On assiste maintenant à une sorte d'effet de « dezoom » des zones urbaines de l'agencement initial.

En faisant tendre γ vers sa valeur maximum, donc en approchant β vers 0, on se dirige de la sorte vers le scénario du modèle où la réponse proposée était une ville éclatée.

Ce nouveau format de ville semble correspondre de manière favorable et d'une façon somme toute relativement logique et adaptée aux préférences adoptées et caractérisant les personnes venant constituer la population de la ville.

Effectivement, cette fois-ci, la superficie de vert est augmentée sur l'ensemble du territoire occupée par la ville. Cette hausse de zone nature se trouve être en accord avec une préférence plus importante pour les aménités vertes exprimée par tout le monde. Et à contrario, une surface bâti qui perd en importance, allant également de paire avec la diminution de l'intérêt en faveur de l'urbain et des aménités associées par la population.

La ville fractale, du rêve à la réalité : applications possibles aux espaces

La véritable question que le lecteur est légitimement en droit de se poser est : *est-ce que l'application de cette géométrie sur un territoire existant peut vraiment être réalisée ?*

Peut-on envisager des villes qui adopteraient de plein choix une disposition conçue avec ou sous influence d'une géométrie fractale pour son plan d'aménagement urbain ? Telles sont les questions auxquelles nous allons essayer de donner des réponses favorables au cours de ce chapitre.

L'objectif de ce chapitre est d'illustrer de quelle manière ces théories sur l'aménagement d'une ville et la structure morphologique adéquate sont réalisables. Nous avons montré qu'il est tout à fait concevable sur le papier de défendre la réalisation d'une ville à géométrie fractale, même multifractale pour répondre aux exigences des populations actuelles tout en répondant aux volontés publiques, politiques et économiques.

Nous commençons d'abord par montrer que la conception fractale dans la géométrie de l'agencement d'une ville est souvent existante de manière plus ou moins appuyée. Nous donnerons ici plusieurs exemples de villes qui possèdent dans leur structure morphologique, si ce n'est exactement, au moins des similitudes avec cette géométrie particulière.

Puis nous continuerons sur la question des fractales dans l'aménagement des villes et l'intérêt d'évoluer vers ces concepts. Nous nous appuierons sur un exemple particulier avec la ville de Rennes sur laquelle nous mettrons en exergue la possibilité d'un réaménagement, ou plutôt aménagement futur de la ville, suivant des conditions géométriques fractales.

Nous terminerons ce chapitre en exposant les espaces où notre théorie d'aménagement fractal sera à notre avis le mieux approprié et le plus profitable. Nous présenterons des territoires où les concepts défendus sont en mesure d'être réalisables et où ils trouveront leur pleine mesure.

7.1 Une existence naturellement présente

Penchons-nous ici sur la place et l'importance de la structure fractale dans le paysage urbain existant. En quelque sorte, nous allons effectuer dans cette section comme un retour vers le futur.

Nous nous sommes intéressés précédemment à la géométrie fractale susceptible d'être utilisée comme une représentation des plans de la ville pour son agencement, en ciblant particulièrement le tapis de Sierpinski comme référence et en distinguant la particularité de la géométrie monofractale par rapport à celle dite multifractale.

Nous avons fait l'impasse cependant sur un point relativement important. Un point que nous choisissons de parcourir à présent au cours de ce chapitre construit dans le but d'appliquer les théories fractales au monde réel des plans urbanistiques.

En se référant à des études similaires, nous nous intéresserons à la question de la morphologie des tissus urbains où la géométrie fractale a pu être montrée.

En effet, nous avons amorcé une présentation des fractales, comme il l'est très souvent fait dans les ouvrages appropriés, en présentant celles-ci comme un phénomène naturel qui agit sur des objets présents de la nature. Leurs constructions ou leurs existences semblent parfois être expliquées comme le fait d'une variation aléatoire des choses pouvant être issues de phénomènes complexes plus ou moins inexplicables.

Nous pouvons alors nous interroger pour savoir si ces représentations aléatoires de fractales naturelles, tels le chou de romanesco, les flocons de neige, les arbres et les fougères ou les vaisseaux sanguins, peuvent se retrouver dans certaines morphologies urbaines obtenues au cours de leurs développements sans pour autant qu'il y soit intervenue une volonté dirigée par des aménageurs urbains d'évoluer vers une telle caractéristique structurelle.

La littérature scientifique appropriée nous montre que le domaine d'application des fractales s'applique en géographie urbaine. En effet, plusieurs chercheurs ont concentré certaines de leurs recherches sur ce concept. Nous faisons ici référence aux travaux de Frankhauser (FRANKHAUSER, 1988) (FRANKHAUSER, 1991a) (FRANKHAUSER, 1991b) ainsi que Batty et Longley (BATTY & LONGLEY, 1985)(LONGLEY & BATTY, 1986)(LONGLEY, BATTY, SHEPHERD & SADLER, 1991) (MESEV, P, M. & XIE, 1993) (BATTY & LONGLEY, 1994) (SHEN, 2002)(CHEN, 2011) (THOMAS, FRANKHAUSER & BADARIOTTI, 2012).

On retrouve également des travaux portant sur les réseaux de transports prenant en compte cette notion de fractale, chez Benguigui et Daoud (BENGUIGUI & DAUD, 1991), Thibault et Marchand (THIBAUT & MARCHAND, 1987) et aussi Frankhauser (FRANKHAUSER, 1988).

En réalité, nous allons voir avec les différents exemples de villes qui suivent que le raisonnement fractal dans la morphologie urbaine, ou tout du moins que certaines correspondances pouvant être attribuées à cette géométrie sont, et ce depuis un certain temps, présentes dans les structures de diverses cités urbaines et à des localisations géographiques relativement hétérogènes de surcroît.

Paris, encore une fois comme modèle

Frankhauser (FRANKHAUSER, 1994) compare une fractale aléatoire avec la surface occupée par le bâti dans la ville de Paris. Il propose la figure suivante [Fig. 7.1] qui permet de constater cet aspect déchiqueté que l'auteur présente comme caractéristique de la géométrie fractale convenant à la « description de la surface bâtie au niveau des agglomérations et de l'analyse du processus de la croissance urbaine ».



FIGURE 7.1: Comparaison d'une fractale engendrée par un processus aléatoire (gauche) avec la surface bâtie de Paris (droite)

Grâce à cette image, Frankhauser insiste sur les notions de hiérarchie interne que révèle cette structure. Celle-ci correspondant avec les organisations souvent présentes au sein des villes, comme nous avons pu le constater et l'analyser dans nos différents travaux de littérature et de recherche.

Les similitudes entre la structuration de la ville parisienne et une morphologie fractale proviennent de la répétition des mêmes éléments dans la conception hiérarchique de la ville que l'on retrouve dans la construction de n'importe quelle figure fractale, étant par définition la méthode de construction de la dite figure fractale.

Si nous nous plongeons un peu plus loin dans l'agencement de la cité parisienne, nous pouvons remarquer que la forme urbaine conçue par Haussmann est particulièrement séduisante. En effet, celle-ci offre une répartition efficace entre les espaces pleins et vides à toutes les échelles de la ville.

Effectivement, bien que sa structure ne soit pas à première vue une structure du type du plan de Cerdà pour Barcelone ou bien l'agencement des blocs de bâtis comme à New York, où rappelons-le, l'agencement de la ville est réfléchi de manière à pourvoir chaque quartier des mêmes caractéristiques offrant ainsi le même ensemble d'offres aux habitants de chacun de ceux-ci, la ville de Paris présente tout de même des caractéristiques abondant dans le même ordre d'idée que les deux villes citées.

En effet, le tissu haussmannien de la ville est la conception d'un maillage par triangulation. Prenant en compte les trois caractéristiques suivantes qui sont le coefficient d'emprise au sol uniforme, la densité bâtie identique et un ensemble de vides hiérarchi-

sés, il permet d'observer une réponse équilibrée à l'échelle globale de la ville pour ses occupants¹.

En cela, nous pouvons affirmer que le tissu haussmannien est une figure fractale. Celle-ci se caractérise par une répartition homogène et en profondeur des différentes singularités de son agencement.

Paris est en soi un modèle de ville possible s'inspirant donc des caractéristiques fractales dans sa conception. Elle garantit nombre d'équilibres fondamentaux comme notamment densité et acceptabilité et connectivité de longues et courtes distances. Cela accordé avec d'une hiérarchisation des voies de circulations et des espaces publics qui font de Paris une ville où l'urbanisme met en faveur le déplacement piétons ainsi que les déplacements mécanisés adaptés aux plus longues distances. Bien que les grandes métropoles sont souvent montrées du doigt pour les effets néfastes de la pollution traduites par la sur-utilisation des véhicules polluants, Paris n'échappant pas complètement à ce problème, elle est néanmoins une des villes où l'indice de marchabilité est le plus élevé, comparé à d'autres grandes métropoles internationales. Sa structure géométrique, notamment le maillage de ses tracés, garantit une forte accessibilité aux aménités tout en favorisant donc le déplacement à pied.

Cet ensemble d'observations basées donc sur une structure inspirée des fractales converge vers les objectifs que nous cherchons à promouvoir dans nos travaux sur les modèles de villes adéquats aux exigences de durabilité et de confort de vie pour les habitants.

Attention, contrairement à Berlin, dont nous verrons l'exemple plus loin, a un manque crucial de zones vertes pénétrantes. Seuls des parcs, bois ou squares ont été conçus dans chaque quartier sans pour autant être reliés de façon à « s'introduire » profondément dans la ville.

Les exemples qui suivent, et aussi Paris dans un certain sens, sont des exemples où la fractalité est traitée à l'échelle intra-urbaine. Dans nos recherches, notre modèle est pensé pour un système inter-urbain, soit une ville à l'échelle de l'agglomération. Cependant, nous trouvons tout de même intéressant d'observer et présenter des villes respectant pour leur morphologie interne un concept de logique fractale.

Nouakchott, un exemple inattendu

Frankhauser propose la ville de Nouakchott, capitale de la Mauritanie, pour exposer un autre exemple de ville pouvant être caractérisée avec une morphologie suivant une fractale assez bien définie.

On peut noter la différence de l'espace géographique et culturelle par rapport à la ville de Paris pour Nouakchott, ville arabe donc pensée et construite par des aménageurs d'époque formés avec des modèles différents que ceux d'Europe ou du monde occidental.

La figure [Fig. 7.2], montrée comme exemple par l'auteur, nous donne un aperçu de la capitale mauritanienne avec une structure fractale théorique.

1. Exposition : Le Paris Haussmann, Modèle de ville, 31 janvier - 4 juin 2017, Pavillon de l'Arsenal, Paris

Grâce à cette image, où nous pouvons apercevoir la comparaison entre théorie géométrique et réalité urbaine, nous relevons surtout dans cette élaboration de ville le principe de hiérarchie interne des pôles urbains présents dans les structures de villes et qui est donc une caractéristique qui se retrouve aisément dans la construction des figures fractales.

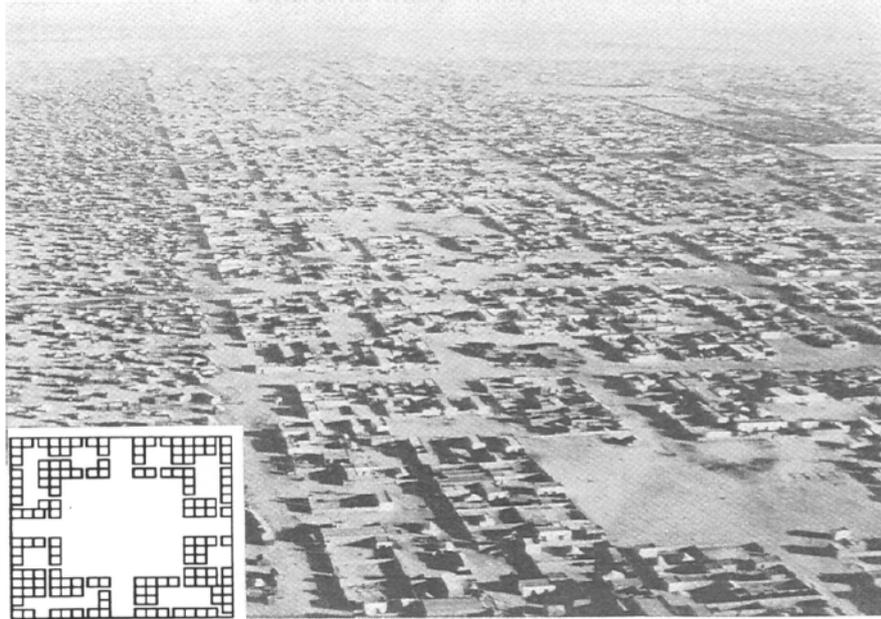


FIGURE 7.2: Vue aérienne de Nouakchott (Mauritanie) avec une fractale hiérarchisée similaire pour les ensembles non bâtis
(Selon Frankhauser)
(GEROK & PETER, 1989)

Notons cependant que dans cet exemple intra-urbain, les espaces vides sont isolés et non connectés. Il n'existe pas de trames vertes.

Nombreux principes fractals dans les villes

Ces premières observations nous amènent alors à la réflexion suivante. S'il est véridique et évident d'affirmer qu'il n'existe pas de villes ayant une morphologie respectant au plus près les règles d'une géométrie fractale, du simple fait que cela n'ait jamais été voulu et développé directement par les aménageurs et concepteurs de villes, nous pouvons néanmoins éventuellement estimer qu'il existe certainement un nombre important d'entre elles qui s'inscrivent dans un courant pouvant être intégré au concept promu par les structures provenant de la géométrie fractale.

Ainsi, bon nombre de villes peuvent posséder certains nombres de caractéristiques au sujet de leur morphologie pouvant faire figurer celles-ci dans une pensée les inscrivant dans les phénomènes appropriés au courant des fractales.

Pour commencer, nous devons retenir le principe du système hiérarchisé, très souvent présent dans les grandes villes occidentales et dont nous avons auparavant expliqué les diverses raisons. Ce principe s'articule d'autant plus avec l'effet reproductif des

figures fractales où nous retrouvons cette organisation hiérarchique dans leurs constructions.

Cela nous conduit à nouveau vers ce phénomène de répétition qui est opéré lors de l'élaboration des figures fractales. Plus précisément, celui qui consiste à reproduire le même format d'agencement à chaque étape d'itération de la figure. Comme déjà explicité, on se retrouve alors avec une construction fractale en présence de la même organisation à l'échelle macroscopique qu'à l'échelle microscopique.

Ce qui induit donc pour objectif implicite, d'être en mesure de répéter la même figure géométrique, de l'échelle individuelle jusqu'à la ville entière.

Cette volonté est en fait souvent tête de gondole de nombreuses cités. En effet, bon nombre de villes ont porté leurs aménagements dans un but d'offrir, notamment durant les dernières décennies, un confort de vie à ses habitants en octroyant ainsi plus d'espaces verts, présenté souvent comme le caractère principal souhaité par la population, dans leurs configurations.

De ce fait, même si la définition fractale n'est bien entendu pas respectée d'un point de vue géométrique, on retrouve au sein de ces villes un des caractères pour lequel nous défendons la mise en place d'une structure fractale comme agencement urbain.

De plus, cette méthode de répétition conjuguée à ce principe de hiérarchie peuvent tout aussi bien être portés sur les lacunes de la construction de la ville. Les lacunes ici traduisent aussi bien les espaces simplement non bâtis que ceux aménagés d'espaces verts.

Ainsi outre Nouakchott, Khartoum au Soudan et Ismailia en Egypte présentent ces caractéristiques de hiérarchisation à propos de leurs espaces libres et ce notamment à l'échelle du quartier.

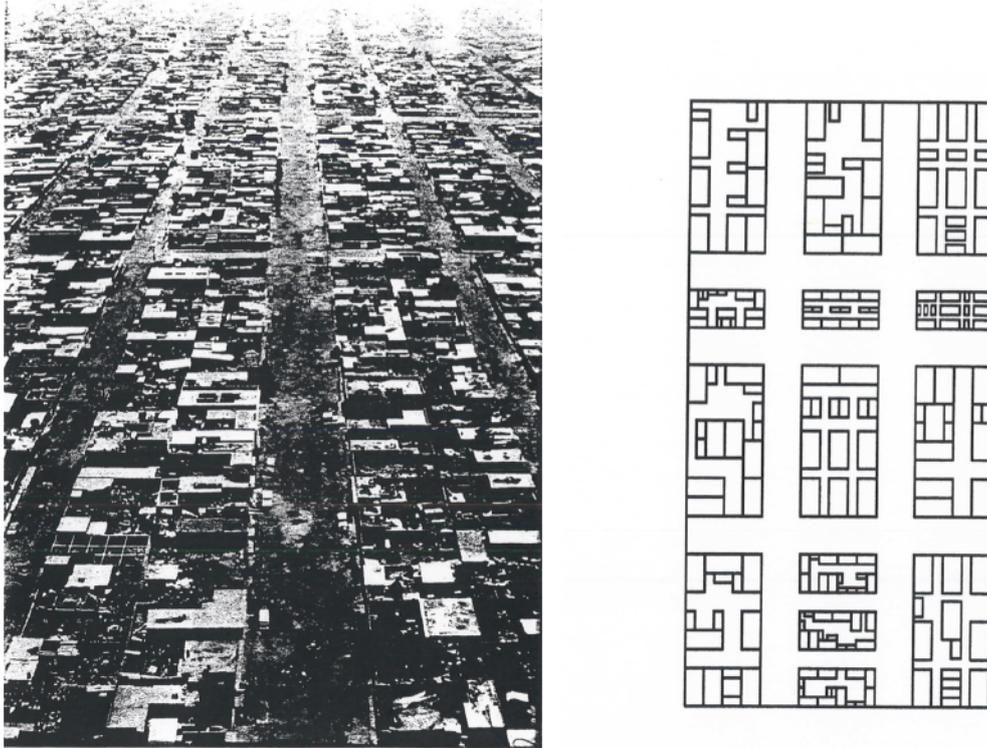
Les deux figures suivantes [Fig. 7.3] de ces deux villes nous permettent d'apprécier visuellement les effets fractals sous-jacents à leurs morphologies.



(a) Vue aérienne de Khartoum (CHRISTIANS, 1986) (b) Vue aérienne de Ismailia (FRANKHAUSER, 1988)

FIGURE 7.3: Deux villes à la morphologie urbaine hiérarchisée à l'esprit fractal

Comme déjà indiqué plus haut, ces phénomènes ne sont pas réservés à des villes issues du même espace géographique, ici arabe. Frankhauser montre aussi l'exemple de la ville de Mexico en schématisant la ville comme une fractale à deux facteurs de réductions [Fig. 7.4].



(a) Vue aérienne de Mexico (*National Geographic*, 1978)

(b) Schéma fractal à base d'un rectangle à deux facteurs de réductions (FRANKHAUSER, 1994)

FIGURE 7.4: Mexico comparé à une fractale à base d'un rectangle

Berlin, Stuttgart, de bons exemples

Revenons à présent à l'échelle inter-urbaine qui nous intéresse plus particulièrement. Considérons les villes de Berlin et Stuttgart qui sont certainement les meilleurs exemples d'agglomérations où notre discours sur la fractalité des villes peut s'appliquer.

Nous avons déjà dans la première partie relevé quelques particularités sur l'agencement de la ville de Berlin. Cette fois-ci, rajoutons qu'au cours de son histoire, la capitale allemande s'est développée en voyant s'ériger des centres urbains pouvant s'inscrire comme un développement assez proche d'une logique fractale [Fig. 7.5].

On observe clairement la reproduction à plusieurs échelles de la morphologie initiale au cours de l'avancée de la ville. Et contrairement à Paris, Berlin, comme nous l'avons remarqué dans la partie précédente, intègre des bandes pénétrantes de vert sur l'ensemble de son agglomération.

L'agglomération de Stuttgart respecte elle aussi un développement sous une logique fractale [Fig. 7.6]. Le bâti est plus dispersé, Stuttgart suivant un principe de

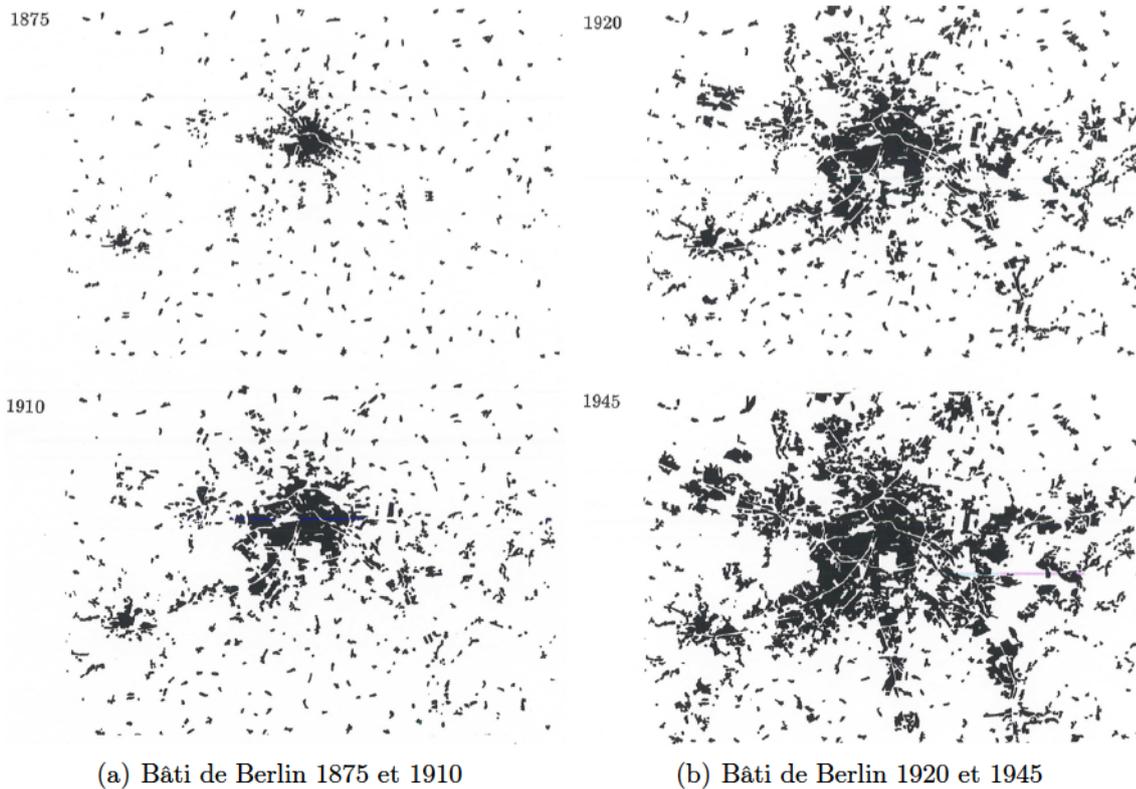


FIGURE 7.5: Evolution de la surface bâtie de Berlin
(FRANKHAUSER, 1994)

décentralisation. Son centre croît très légèrement au contraire des sous-centre de sa grande-banlieue bénéficiant de leurs positions proches des voies de transport importantes. De plus, à l'image de Berlin, le caractère topographique de l'espace constitué de montagnes, forêts, est préservé et non constructible. Ce qui favorise là aussi l'effet pénétrant des zones vertes dans la ville.



FIGURE 7.6: La surface bâtie de l'agglomération de Stuttgart
(FRANKHAUSER, 1994)

Nous avons relevé l'existence grâce à ces divers exemples de villes, à l'échelle intra-urbaine, comme surtout à l'échelle de l'agglomération avec les deux exemples précédents, d'un concept de logique fractale dans les tissus urbains de celles-ci. Pour terminer, nous pouvons simplement ajouter que si ce n'est pas la morphologie en elle-même qui suit un caractère fractal, la conception du réseau des voies de transports peut être fondée sur ce même principe de hiérarchie entre voies plus importantes que

d'autres, cette hiérarchie se traduisant ensuite naturellement par des axes de transports plus imposants auxquels se connectent les moins importants, dans le même esprit que ce que nous avons illustré sur les zones de bâtis.

7.2 Réaménager avec l'esprit fractal

7.2.1 Un agencement fractal des territoires existants possible ?

Au travers de toutes les observations faites précédemment, nous avons pu mettre en avant le fait que plusieurs villes existantes présentent diverses formes de caractéristiques fractales dans leur agencement.

Si ces particularités morphologiques ont été conçues de plein gré par les aménageurs urbains voulant influencer les avantages de cette géométrie sur l'organisation de la cité, ou bien sont apparues de manière plutôt aléatoire dans l'évolution des territoires, il n'en reste pas moins que ces principes y sont existants.

Ce qui nous conduit à nous interroger sur la cohérence d'envisager une géométrie fractale, ou devrait-on mieux dire, un esprit fractal dans les futurs projets d'aménagements que mènent continuellement les villes dans leurs soucis d'adapter leur fonctionnement afin d'apporter améliorations et avantages aux personnes y résidant.

Agencer une ville existante, c'est à dire apporter de nouveaux aménagements sur une structure possédant déjà son développement de bâtis érigés au cours des avancées de la ville durant une période de temps plus ou moins longue est un travail souvent délicat à réaliser. Les villes sont certes, comme nous l'avons maintes fois répété, en perpétuelle évolution et donc propices à des changements récurrents pour une multitude de raisons que nous avons pris soin d'explorer. Il est donc très peu pensable que les aménageurs d'une ville, politiques, architectes, urbanistes ou autres puissent construire ou détruire sur une simple décision les composantes structurelles existantes dans leurs villes et modifier ainsi d'une seule traite l'ensemble de la morphologie de la ville. Dans le meilleur des cas, cela pourrait être un procédé envisageable et réalisable sur une longue période de temps où les modifications engendrées se feraient de manière à ne pas bouleverser d'une seule fois les structures existantes et donc les modes de vies à l'intérieur. Néanmoins, le temps imparti pour mener à bien un tel changement, si tel était le souhait partagé par l'ensemble des décideurs, serait également un frein conséquent à la réalisation de telles modifications. En effet, les besoins des individus, ainsi que leurs comportements, évoluent, parfois même divergent, au cours des années et ce dans un laps de temps imparti moins important que celui nécessaire au changement de la structure d'une ville.

Alors, est-ce vraiment envisageable de réaménager une ville pour que celle-ci adopte une géométrie fractale dans la réalisation de son agencement et donc de modifier complètement sa structure initiale ? Il semble donc raisonnable de répondre plutôt par la négative à cette question.

Par contre, il est fort à parier qu'il n'est pas incongru de penser qu'un aménagement dirigé dans le sens de cette particularité géométrique, alliant hiérarchie urbaine et verte pour un équilibre compensatoire des aménités par les déplacements, est réalisable. Effectivement, réaménager une agglomération nécessite la destruction de bâtis pour dégager des espaces verts nécessaires et souhaités par les habitants pour bénéficier de ces avantages. Mais c'est aussi la façon dont les espaces vides seront utilisés, et donc

agencés, qui induisent l'évolution de la ville. En effet, l'aménagement de la ville est souvent nécessaire quand celle-ci se développe, c'est-à-dire quand les activités imputées à la ville croissent et cela allant souvent de pair avec une hausse de la population, donc une arrivée de personnes sur le territoire. Il faut donc agencer la ville de manière à implanter ces nouvelles personnes. C'est-à-dire créer le bâti nécessaire et conséquent à leurs arrivées, et ce de façon à respecter les divers compromis choisis pour l'ensemble de la population. Ce qui en soi-même correspond aux hypothèses émises dans nos réflexions théoriques sur la création de villes nouvelles.

Ainsi, ce sont ces espaces vides où les habitants sont susceptibles de venir s'implanter qui se trouvent être le « nerf de la guerre » de l'aménagement futur d'une ville. A l'intérieur de ces territoires, nous pouvons envisager de les modeler de façon à ce qu'ils respectent concrètement une géométrie fractale. Ce qui peut alors supposer que chaque nouvel espace vierge respecterait ses propres conditions fractales d'aménagement indépendant les uns des autres, les formes fractales pouvant aussi être différentes pour chaque territoire.

Effectivement, rien n'empêche de développer sur un territoire une géométrie particulière et d'opter pour une toute autre, fractale certes, mais différente, pour un autre espace à aménager sur le territoire de la ville.

Cependant, une certaine logique voudrait plutôt que l'on dirige une discussion visant à réfléchir sur un aménagement global de ces espaces, de manière à les agencer en suivant une géométrie fractale ou un esprit compensatoire des aménités tel que l'offre cette particularité géométrique, sur l'ensemble de ces territoires à développer en tenant compte de la morphologie de la ville dans son ensemble général.

Il est difficilement pensable, et moins encore envisageable, que l'aménageur urbain, s'il veut entreprendre des rénovations, innovations ou autre adaptations à mettre en place pour l'agencement et l'évolution de sa ville, ne puisse ne pas tenir compte des composantes déjà présentes sur le territoire avant d'effectuer certaines modifications.

Plaçons-nous dans le cas d'une ville qui respecte une structure de ville totalement compacte. Comme analysé précédemment, cela consisterait à devoir penser l'aménagement d'une ville qui concentrerait l'ensemble de son bâti sur un espace fermé sans la présence d'espaces verts sur celui-ci. Un développement fractal pour l'aménagement d'une telle ville semble relativement abordable et aisé à concevoir. En effet, soit la ville demande à se développer car elle est sujette à une attractivité économique marquée par l'arrivée de nouvelles entreprises et de personnes venant s'implanter et ainsi elle se verra dans l'obligation d'utiliser plus de surface qu'elle en consomme pour l'instant. On peut considérer alors que notre ville compacte satisfait à l'initiateur dans nos réflexions théoriques et constituera donc le premier pôle urbain de plus forte hiérarchie à venir dans la ville. Ainsi, par suite, nous pouvons faire émerger les nouveaux sous-centres à venir en respectant la récurrence d'élaboration propre à la ville fractale. De ce fait, nous pourrions assister à une morphologie de ville qui pourra reprendre les règles et les caractéristiques avantageuses, que nous avons mises en avant précédemment de la géométrie fractale comme structure de la ville.

L'autre cas de figure à envisager en présence d'une même condition initiale de configuration, à savoir de présenter les caractéristiques d'une ville compacte, équivaut à celle où la cité n'a pas de besoin d'expansion mais au contraire, d'aménagements devant engager la création d'espaces verts afin d'offrir des aménités vertes à présent

demandées par la population. Nous nous retrouvons alors dans l'aménagement opposé au cas précédent. On procède d'une façon miroir en installant cette fois-ci des zones vertes à la place des zones de bâtis à retirer de la ville. Ces espaces verts peuvent être insérés alors de façon à concevoir une structure de bâtis ou de verts de sorte à générer une morphologie de ville fractale.

Nous pouvons aussi souligner les « *shrinking cities* » (villes rétrécissantes) qui peuvent être aussi des territoires où un aménagement s'appuyant sur un concept fractal peut être envisagé en intégrant par exemple des espaces verts où les logements pourraient disparaître suite à une baisse démographique (FRANKHAUSER, TANNIER, VUIDEL & HOUOT, 2017).

À présent, intéressons-nous au cas tout de même le plus courant et concernant une grande majorité des villes actuelles. C'est-à-dire la situation où la morphologie de la ville ne se trouve pas être à proprement parler une structure régulière ou bien définie clairement telle que peut l'être une ville compacte, tout du moins dans sa définition théorique. Ici, nous nous penchons sur le cas où la structure morphologique de la ville relève plutôt d'une succession de modifications acquises au cours du temps. Ce qui représente pour l'ensemble du territoire d'une ville, des agencements plus ou moins suivis de règles générales dans leurs conceptions. Plus concrètement, cela veut dire qu'il peut exister une certaine logique de mise en place des zones urbaines et vertes entre elles sur le territoire sans que celle-ci soit vraiment voulue à l'initialisation des modifications perpétuées sur la ville. Ces relations peuvent en réalité être obtenues de manière aléatoire sans pour autant qu'il y ait eu une réflexion générale au préalable.

Il se peut alors que certaines règles fractales, ou l'émergence de structures fractales telles que vue dans les exemples précédents, plus ou moins fortement présentes, puissent apparaître dans la morphologie de la ville au cours de son évolution. Comme toute ville, celle-ci peut donc être amenée à devoir subir des nouveaux aménagements de ces territoires, notamment les espaces vierges où une nouvelle population est amenée à trouver localisation, ou bien tout simplement des personnes habitant déjà dans cette ville voulant déménager, quelles qu'en soit leurs raisons. Nous pouvons alors proposer pour ces nouveaux territoires à aménager une réflexion fractale pour leurs agencements. En effet, il peut dans cette situation être judicieux de diriger un aménagement au sein de ces espaces vers une disposition qui respecte l'idée fractale observée qui peut apparaître sur l'ensemble général de la ville existante. Ainsi, les caractéristiques avantageuses seraient mises à disposition des nouveaux arrivants sur le territoire tout en favorisant une vision plus durable, pourrait-on dire, de la ville.

De ce qui précède, nous venons de pencher avec nos réflexions vers une réponse positive quant à la question de savoir si un aménagement des villes fractales peut être en mesure d'être envisagé par les aménageurs urbains pour répondre aux besoins évolutifs de leurs villes.

7.2.2 Réflexion pour l'aménagement d'une ville existante

Nous considérons ici un exemple d'une ville réelle. A travers l'observation du territoire de la ville de Rennes, nous essaierons de proposer un agencement basé sur cette théorie fractale conformément aux différentes hypothèses que nous avons présentées. Ainsi, nous essaierons à travers cet exemple de prouver la recevabilité des études théoriques menées sur les villes fractales. Mais surtout, l'objectif sera de présenter l'agence-

ment fractal comme une solution envisageable, grâce à cet exemple simple, de manière à lever les réticences souvent trop marquées à tort sur une théorie certes complexe mathématiquement, mais à la portée simple dans son application concrète.

L'objectif ne peut pas être d'élaborer un aménagement approfondi de la ville traitée dans notre exemple. En effet, il paraît délicat de vouloir proposer une modification conséquente de la structure morphologique de celle-ci dans cette simple section. L'objectif ici est simplement de donner un exemple à titre illustratif des théories proposées.

De ce fait, ici, nous voulons simplement réaliser comme une sorte d'ébauche de réflexion en faveur d'un aménagement dirigé vers et pour un concept fractal de la ville tel que nous le défendons.

L'idée consiste donc par commencer à établir une observation de la structure des bâtis qui sont disposés dans l'espace occupé par la ville à l'instant où l'étude d'aménagement débute. Dans un premier temps, il s'agit d'identifier une disposition fractale susceptible de correspondre au mieux à la morphologie du tissu urbain de Rennes qui nous permettra par suite d'envisager éventuellement un aménagement similaire sur un territoire éventuel à développer.

Nous avons choisi la ville de Rennes [Fig. 7.7] pour les données informatiques nécessaires à la réalisation de l'étude à mener. Mais aussi parce qu'il s'agit d'une ville qui est très engagé dans des réflexions d'un développement durable

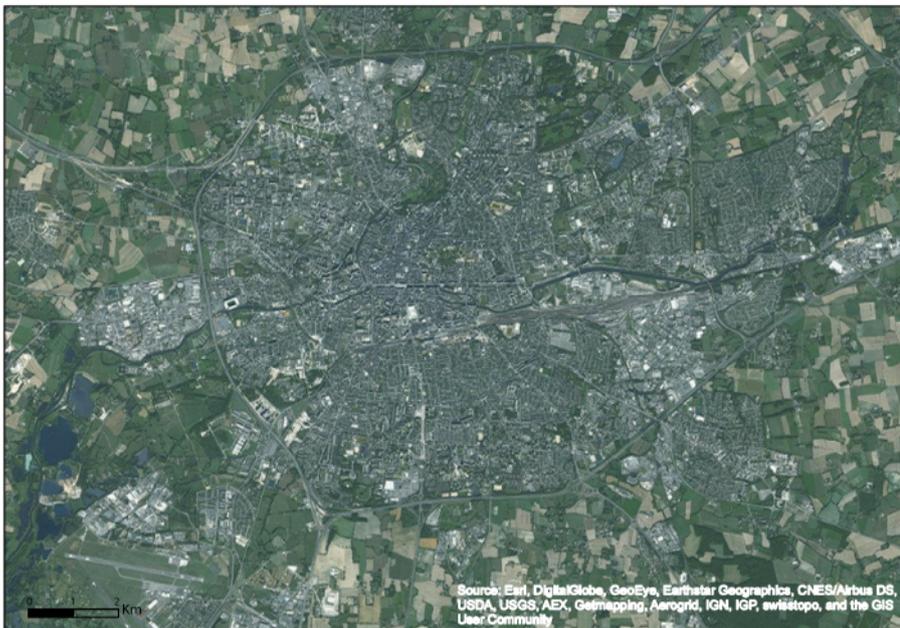


FIGURE 7.7: Vue satellite de Rennes

La figure suivante est une représentation schématisée de la ville rennaise [Fig. 7.8]. En effet, sur celle-ci, nous ne faisons apparaître plus que les zones de bâtis, de couleur noire. Les espaces verts ou bien les espaces où un aménagement peut éventuellement être y être approprié sont eux caractérisés en blanc.

Soulignons que l'application concrète que nous présentons n'est qu'une réflexion synthétisée que l'on fait en s'appuyant de l'aide d'un exemple réel. Les conclusions

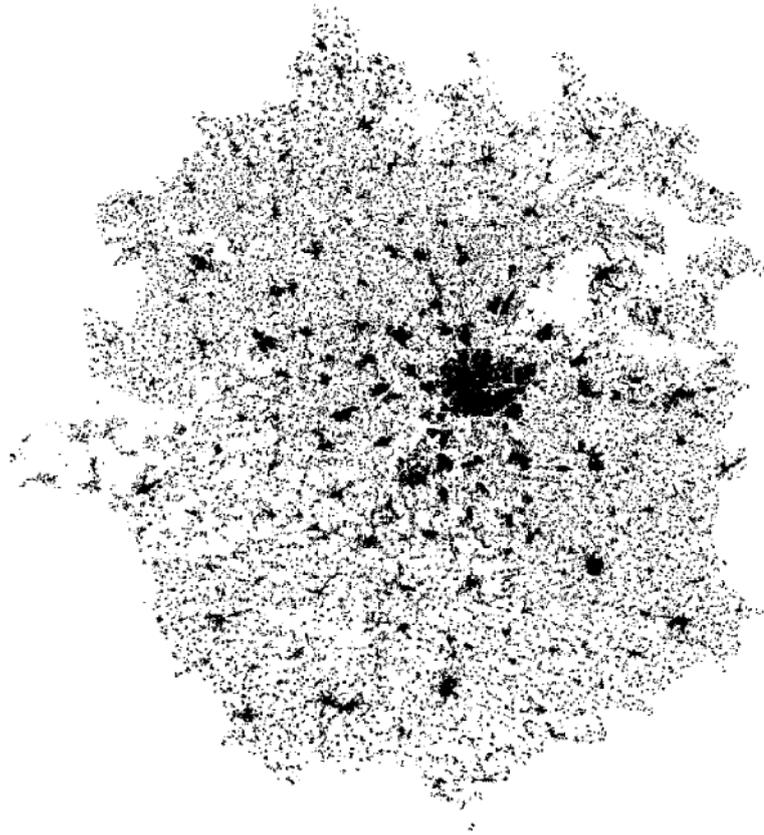


FIGURE 7.8: Schéma du bâti de la ville de Rennes

sont données à titre illustratifs et n'ont pas pour but de proposer des scénarios directement applicable. Elles se veulent simplement être un guide et un axe de direction à prendre pour un aménagement tirant vers les profits de la ville fractale que nous défendons.

Nous distinguons une première caractéristique évidente. Il ressort en effet la présence d'un pôle urbain principal au centre de la cartographie que nous encadrons en jaune [Fig. 7.9].

Ce pôle urbain est le centre ville historique de la ville de Rennes. Si on fait référence à nos travaux, il peut donc s'apparenter comme le pôle urbain de première catégorie. Soit le pôle urbain ayant la plus forte hiérarchie et concentrant les aménités urbaines de premier ordre.

Toutefois, ce pôle urbain semble être plus important que le centre ville historique véritable. Néanmoins, il n'en reste pas moins que la surface que nous avons délimitée dans cet encadrement est presque totalement recouverte par du bâti sans presque aucune discontinuité au travers de celui-ci. Il s'y concentre l'ensemble des aménités urbaines que l'on peut trouver dans une ville de cette échelle.

La suite de l'analyse consiste à proposer une structure génératrice qui correspondra le plus favorablement à la dilution du bâti sur le territoire. Nous choisissons la disposition suivante générale [Fig. 7.10].

Nous pouvons distinguer dans chacun des carrés de la structure génératrice des pôles urbains de tailles inférieures au pôle principal. Le système hiérarchisé, propice à de nombreuses villes, semble ici aussi être présent et compatible avec une logique fractale.



FIGURE 7.9: Pôle principal de la ville de Rennes

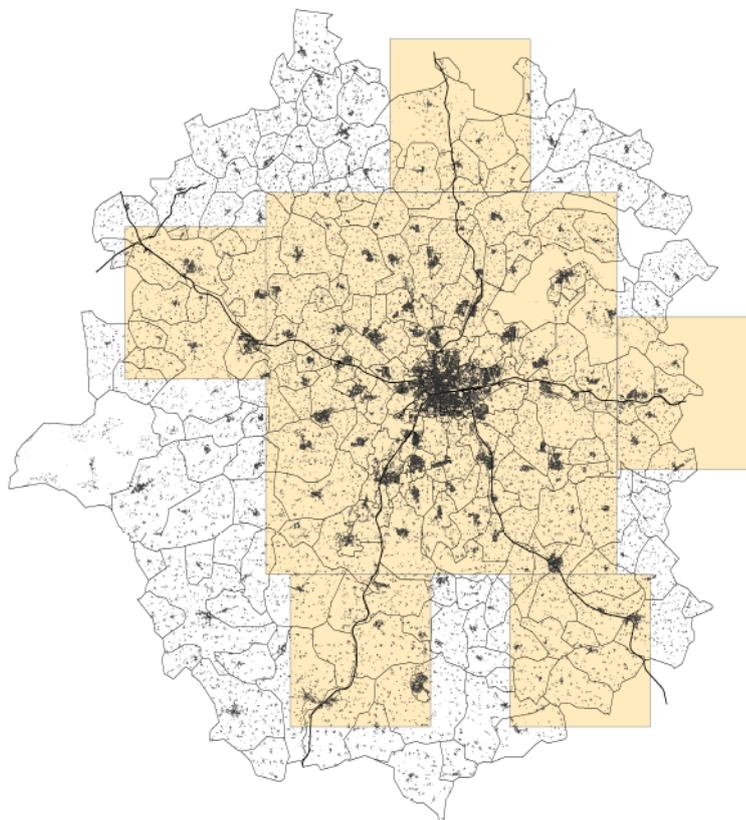


FIGURE 7.10: Première étape d'agencement fractal

Nous procédons ensuite à une première itération de la structure génératrice [Fig. 7.11].

La structure génératrice telle qu'elle est présentée à l'étape 1 ne satisfait plus la disposition des pôles urbains plus petits à cette nouvelle étape. Nous redistribuons donc les différents carrés censés représenter les sous-centres dans la surface correspondante à l'étape en cours de manière à faire correspondre au mieux les sous-centres réels avec les sous-centres théoriques.

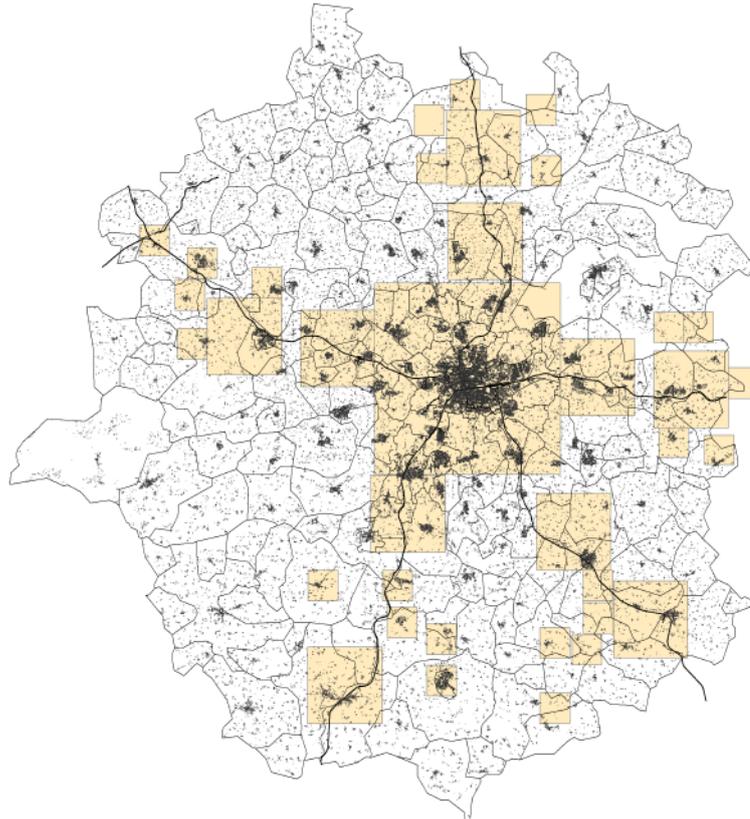


FIGURE 7.11: Deuxième étape d'agencement fractal

Nous signalons que dans la redistribution de ces carrés, nous faisons bien attention à effectuer celle-ci en les maintenant dans chaque surface attribuée à l'étape correspondante à laquelle ils appartiennent. C'est-à-dire dans le carré principal répété de l'initiateur. Ainsi, le rapport fractal, et donc la dimension fractale de cette figure géométrique, est toujours respectée.

Nous schématisons donc la ville rennaise à l'aide non plus d'une figure fractale théorique, mais par une fractale que nous pouvons plutôt qualifier de fractale aléatoire. Aléatoire dans le sens où ce sont les « hasards » de constructions de la ville qui ont amenés à la structure fractale telle que proposée.

Nous réitérons ensuite la procédure pour établir la troisième étape correspondant à l'émergence de trois tailles de pôles urbains hiérarchique différents, à l'image des villes théoriques proposées dans l'application du modèle aux différents scénarios étudiés [Fig. 7.12].

Nous remarquons que l'émergence des pôles urbains se fait bien le long des axes principaux de transport.

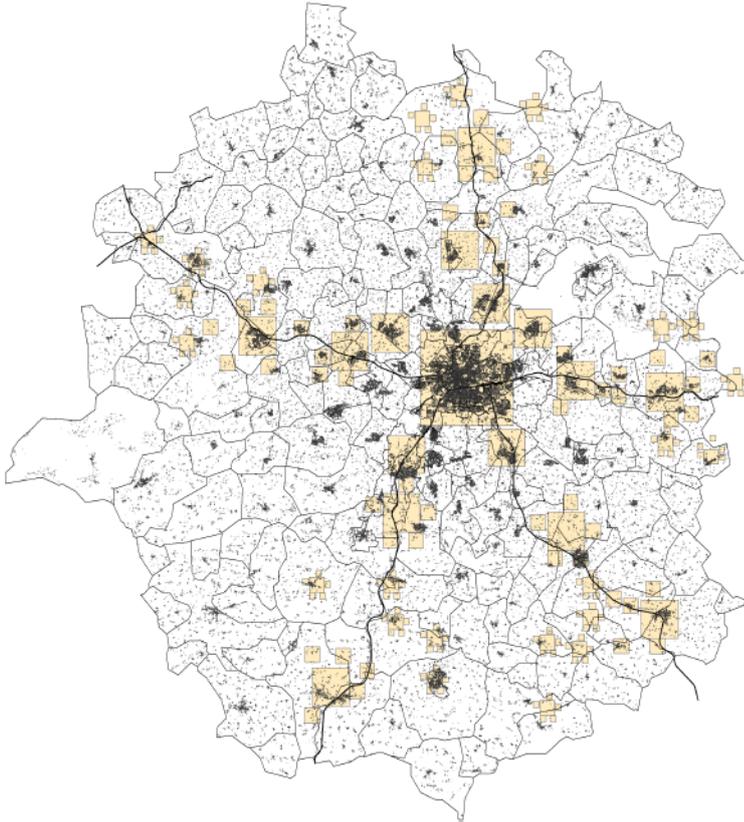


FIGURE 7.12: Troisième étape d'agencement fractal

Nous soulignons aussi le fait que les zones de bâtis ne sont pas connectées entre elles. L'agglomération de Rennes est tel un système de lacunes où la ville suit une fractale sur un principe de poussière de Fournier.

Nous établissons la distance $d_{B_{max}}$ [Fig. 7.13].

En effectuant une étude sur la population rennaise pour connaître le revenu moyen d'un individu, sa dépense moyenne pour son loyer, nous pourrions alors estimer une valeur pour β de notre modèle.

Nous portons à présent notre intérêt pour la suite de cette réflexion sur un (ré)aménagement de cette ville de Rennes sur un espace où les bâtis sont très peu présents voire inexistants.

La raison est la suivante. Depuis juillet 2017, Rennes, chef lieu de la région Bretagne, ne se trouve plus qu'à 1h30 de la capitale Paris en train à grande vitesse et celle-ci veut éventuellement, comme souvent, profiter de ce rapprochement des distances en temps parcouru pour hausser encore plus son potentiel d'attractivité. (Rennes est classée dans le top 5 des villes françaises en termes d'attractivité.) (S.PETIT, 2012).

Ainsi, cette attractivité se traduit en général par l'implantation de nouvelles entreprises sur le territoire qui entraînent alors l'arrivée de nouveaux habitants pour satisfaire à cette hausse salariale. De ce fait, cette nouvelle population devra trouver où résider, le panel actuel se verra lui normalement saturé au bout d'un certain temps. D'où la nécessité d'établir de nouveaux logements et donc d'ériger de nouvelles structures de bâtis afin de permettre l'installation de ces nouveaux résidents.

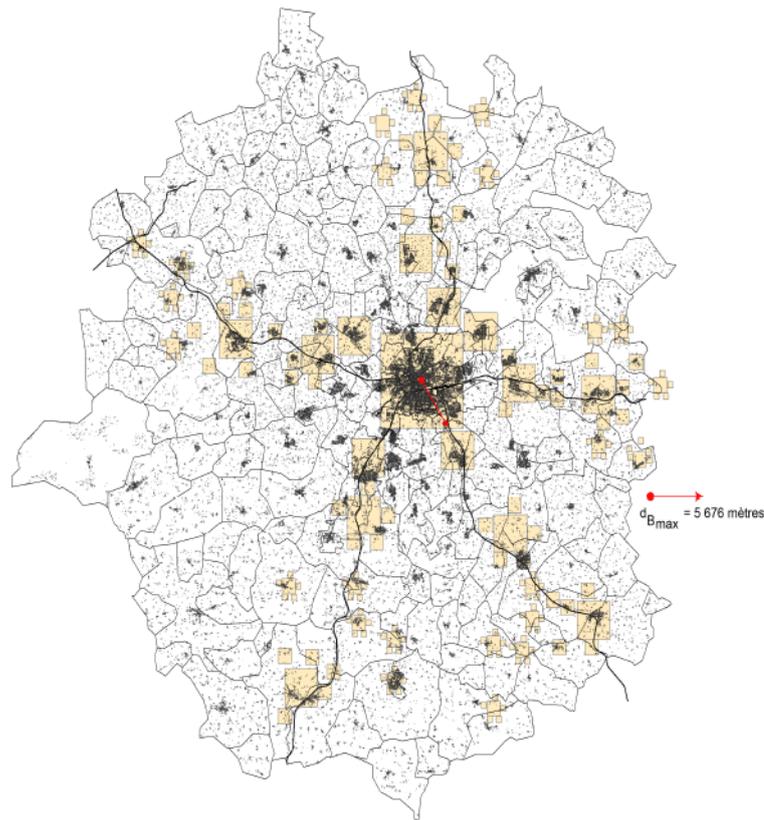


FIGURE 7.13: La distance maximale urbaine

Or, Rennes est une ville qui a, par sa politique d'urbanisation, pris le soin de laisser un nombre important d'espaces verts sur son territoire comme le démontre l'existence de plusieurs parcs. La ville est d'ailleurs élue capitale de la biodiversité en 2016. Est d'ailleurs mise en avant la gestion écologique de ses espaces verts et de ses espaces publics, ainsi que son travail de protection des espaces naturels en aménageant de façon à tenir compte de la trame verte et bleue de la ville [Fig. 7.14].

Nous pouvons légitimement affirmer qu'une personne vivant à Rennes bénéficie certainement d'un cadre de vie agréable dont il est peu probable qu'il fasse fi ; un centre urbain avec des aménités attractives comme toute ville de cette dimension accordé avec une proximité en distance aux espaces verts.

Alors, devant la nécessité d'implanter des nouveaux logements en vue de l'arrivée de nouvelles personnes sur le territoire, comment garder ce confort de vie à l'ensemble de la future population est certainement la problématique majeure à relever pour les décideurs rennais.

C'est ici qu'entre alors en jeu l'analyse fractale, ou plutôt la traduction, en figure fractale de la ville réalisée plus haut. Dans celle-ci, nous avons donc décelé un agencement fractal entre espace urbain et vert ou du moins entre bâti et non bâti. Et en l'état actuel, c'est ce qui semble satisfaire convenablement aux habitants.

Dans ces conditions, si une zone vierge doit être amenée à subir du bâti pour satisfaire à l'arrivée et au logement de personnes, il semble alors opportun de suivre cet

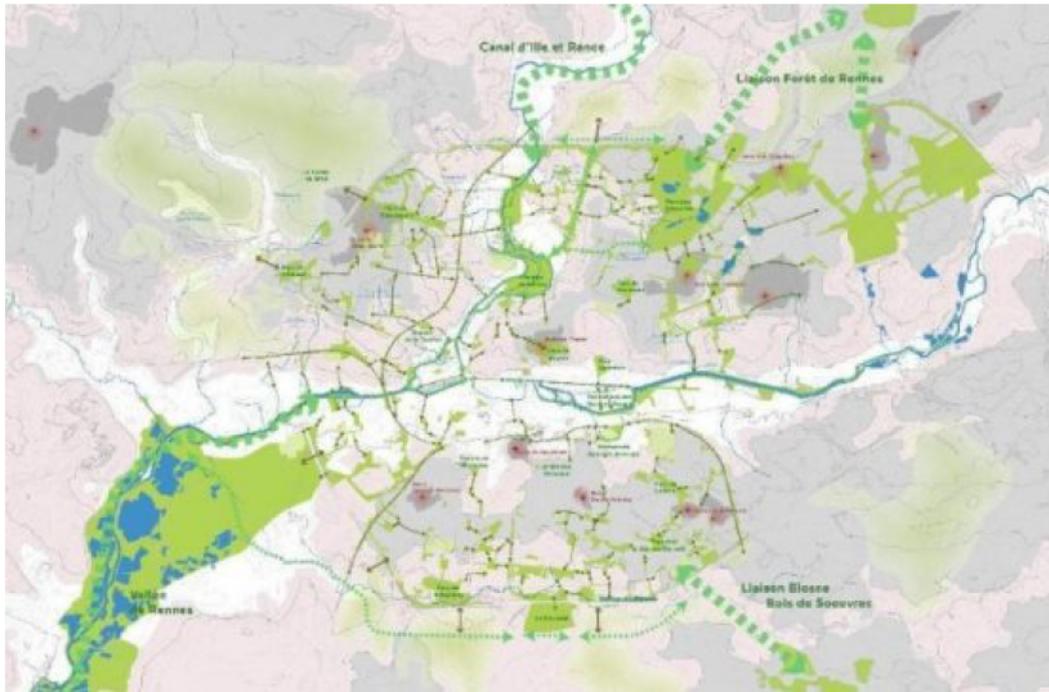


FIGURE 7.14: Représentation cartographique de la trame verte et Bleue sur le territoire rennais

agencement fractal établi de manière aléatoire dans cette ville. Mais pour quelles raisons serait-il judicieux de poursuivre à présent délibérément et non plus aléatoirement ce processus fractal ?

Simplement parce que l'agencement tel qu'il est développé à présent répond favorablement aux satisfactions, besoins et attentes des individus. Alors, pourquoi vouloir tout bouleverser ? Au contraire, en poursuivant dans la convergence de la structuration fractale que la ville a prise de manière aléatoire, c'est l'assurance de garantir l'esprit de satisfaction que les ménages ont de leurs villes.

Continuer en respectant la structure fractale présente permet alors de conserver le rapport entre bâti et vert qui se traduit par un cadre de ville confortable.

En aménageant, par nécessité du fait du développement à venir de la ville, ce nouvel espace vierge, nous choisissons grâce à cette morphologie fractale, la possibilité d'offrir ainsi aux nouveaux entrants la reproduction des critères de satisfaction présents sur l'échelle globale de la cité.

Cette approche, certes sommaire, de l'aménagement de la ville de Rennes nous permet d'envisager une véritable possibilité quant à l'application de notre modèle théorique sur une agglomération nécessitant des futurs aménagements.

Il serait alors intéressant de faire une étude statistique ou économétrique sur la population de plusieurs villes afin de pouvoir définir numériquement les différentes variables exogènes à notre modèle et déterminer ainsi les paramètres β et γ des préférences des individus. Et on peut alors ensuite observer les différentes structures de villes et les faire correspondre aux différents paramètres.

7.3 La ville fractale, des espaces futurs possibles

7.3.1 Pour les nouvelles villes

Si nous avons vu dans les chapitres précédents que le réaménagement d'une ville pouvait être pensé avec une conception fractale, qu'il était à la fois recevable et envisageable de vouloir y implanter ce système caractéristique, il n'en reste pas moins que nos théories et les avantages que nous avons fait ressortir des structures fractales pour l'aménagement urbain seront optimisés dans l'application aux constructions de nouvelles villes.

Dans ces cas, nous sommes en réalité dans une prolongation ou une répétition de ce que nous avons observé dans l'histoire des villes au fil des temps : une expansion associée à une extension des villes sur l'espace géographique dues à de nombreuses raisons, économiques, technologiques, de transports et autres dont nous avons déjà expliqués le pourquoi et le comment de leurs réalisations.

Ainsi, les gens vont devoir aller s'installer sur de nouveaux espaces pour vivre et pouvoir mettre à bien l'ensemble de leurs occupations. Nous pouvons alors considérer que nous nous retrouvons dans la situation correspondante aux hypothèses de recherches que nous avons établies avant de proposer nos modèles morphologiques permettant de structurer les futures villes.

Effectivement, nous sommes bien finalement en présence d'un territoire vierge qui doit être urbanisé de manière à accueillir une population qui sera désireuse de venir habiter et profiter d'une ville qui sera en mesure de répondre à ses attentes et ses exigences ainsi qu'aux besoins économiques et durables de la ville.

Ces nouvelles villes sont amenées par un besoin d'espace conjugué à des volontés politiques souvent pour répondre à la saturation des villes déjà construites. C'est le cas de nombreuses villes au cours de l'histoire, comme celles d'Alexandrie en Egypte, Marseille ou Carthagène en Espagne pour ne citer qu'elles au cours de l'Antiquité. Ces émergences de nouvelles villes ont continué régulièrement tout au long de l'histoire à différentes époques pour diverses raisons, contrôle de territoire des rois, colonialisme ou autre.

En Europe, l'apparition de nouvelles villes a eu son apogée après la seconde guerre mondiale où les villes détruites souvent presque dans leur intégralité ont dû se reconstruire afin de simplement exister à nouveau.

Mais ce phénomène de nouvelles villes n'est pas fini. En effet, en France par exemple, on peut citer les villes d'Evry, Cergy-Pontoise et Saint-Quentin-en-Yvelines comme exemples et qui ont vu leur attribution de nouvelles villes à la fin du XX^{ème} siècle répondant au besoin de désengorger Paris et s'inscrivant dans le cadre juridique de l'opération d'intérêt national (OIN).

Plus récent encore, l'exemple de Babcock Ranch en Floride aux USA est une nouvelle ville construite et présentée comme la première ville verte des Etats-Unis et dont les habitants ont emménagé en mai 2017.

Dans les pays dits occidentaux - les pays ayant connu leur « révolution industrielle » - nombreuses sont les villes nouvelles qui ont émergé durant l'Histoire et qui sont encore maintenant à même d'être conçues.

Tous ces nouveaux territoires sont les lieux idéaux pour une réflexion et une défense de l'aménagement respectant une géométrie fractale dans sa structure, permettant alors de mettre à bien les avantages entre urbain et vert pour l'ensemble de la population et de la ville en général que nous avons défendus.

Mais plus que des lieux idéaux, ce sont des lieux qui existent. Des situations dans lesquelles le développement de nouvelles structures innovantes sont en mesures d'être appliquées et qui peuvent sortir du simple cadre de la recherche et donc mises en application concrète dans leur intégralité et non plus qu'en simple adaptation dans un réaménagement qui est toujours contraignant puisque bridé par les fondations du passé.

7.3.2 Les territoires en voies de développement

L'Histoire des villes est essentiellement ancrée en Europe et dans les pays les plus riches, ceux qui ont bénéficié de leurs avancées pour développer l'essor des villes telles que nous les connaissons aujourd'hui.

Cependant, bien que nous ayons vu que ceux-ci voient encore apparaître des villes nouvelles dans leurs nécessité diverses d'accueillir de nouvelles populations et de nouveaux territoires économiques, les pays en voie de développement sont peut-être plus à même de fournir des terrains où nos propositions seraient les plus à même d'être mises à profit.

En effet, ces pays subissent une évolution très rapide et voient de ce fait le besoin urgent de créer de nouvelles villes, qui doivent répondre aux essors économiques importants de ces pays conjugués avec un exode rural de plus en plus marqué, voire déjà opéré.

Prenons le Maroc pour illustrer nos propos. Pays sous protectorat français au milieu du siècle dernier et qui peut servir d'exemple pour une grande majorité des pays issus du colonialisme de pays européens et qui suivent souvent le même schéma directeur dans leur évolution et croissance à des vitesses plus ou moins rapide.

Tous ces pays voient leurs infrastructures en pleine expansion et doivent eux aussi répondre par l'aménagement de leurs territoires à la création de nouvelles villes.

Le Maroc peut être comparé aux villes occidentales. Comme celles-ci, nombreuses des villes importantes du Maroc ont un passé historique et donc une ville ancienne, la medina, l'équivalente des vieilles villes européennes. En suivant l'historique de ces villes, on observe principalement le même déroulé que ce qui s'est passé en France. Une vieille ville qui s'est ensuite étendue pour satisfaire l'arrivée de nombreuses personnes issues de l'exode rural.

Un pays comme le Maroc est en ce moment en train de suivre cette même opération, déjà certes commencée depuis plusieurs années mais encore en voie de développement.

Les villes s'agrandissent conséquemment, les constructions s'implantent à une vitesse incroyable et comme les pays européens, elles subissent déjà les effets néfastes de la voiture. Nous pouvons citer la capitale Rabat, , Tanger, Casablanca où d'important travaux d'aménagements ont déjà été mis en œuvre devant la nécessité d'agrandir ces villes.

Mais les villes possèdent encore beaucoup d'espaces non urbanisés dont il faut penser à établir un aménagement qui soit approprié aux contraintes actuelles mais aussi futures.

Pour être encore plus clair et plus simple, nous sommes avec la situation du Maroc dans une sorte de translation temporelle située un demi-siècle en arrière. En effet, on est actuellement dans ce pays dans la situation qu'a connu la France dans les années soixante-dix où celle-ci a vécu de grandes avancées dans le développement de ces villes. Nombre de réflexions suivies de nombreuses transformations ont été attribuées au développement des villes françaises pour répondre au besoin des multiples changements que cela nécessitait.

Les villes du Maroc sont donc elles aussi en pleine transformation à l'instar des villes françaises il y a de cela cinquante ans. Si vous parcourez les villes dans ce pays, vous y verrez d'innombrables travaux de constructions et d'aménagement urbain. Les villes évoluent maintenant et dévorent de plus en plus de territoire qui s'urbanise à grande vitesse.

Mais il est à craindre est que presque toutes reproduisent les erreurs, que l'on essaie de corriger maintenant, des villes européennes et dans ce cas des villes françaises.



FIGURE 7.15: Vue satellite de la ville de Fès

Nous pouvons prendre la ville de Fès [Fig. 7.15] en exemple, classée au patrimoine mondial de l'UNESCO. Dotée d'une médina vieille de douze siècles correspondant donc à la ville historique, elle s'est vue d'abord prolongée d'un quartier juif pour des raisons historiques (nous laisserons le soin au lecteur de s'y intéresser mais cela correspond globalement à une nécessité de s'agrandir pour accueillir une nouvelle population).

Puis, durant les années de protectorat, une ville nouvelle avec l'aide des français est créée encore dans la continuité de l'ancienne ville. Cette ville s'agrandit à une vitesse étonnante en laissant très peu d'espace aux zones vertes. On pourrait presque parler de la stratégie incontrôlée du développement d'une ville compacte étalée.

Si cette ville continue sur cette lancée de développement, elle va droit dans un gouffre profond où s'accumulera la presque totalité des effets négatifs que les villes sont susceptibles de dégager. Située dans une région paysagère magnifique, la ville a pourtant fort à tirer de cette beauté paysagère et doit s'inscrire dans une direction axée sur une politique de durabilité pour ne pas regretter les choix qui sont faits à présent et que nous retrouvons au sein des villes françaises.

La ville est en cours de développement et n'a pas fini ses aménagements encore importants à réaliser. Au coeur de la ville comme dans son extension, ce sont des territoires où nos études sur la ville fractale seraient un terrain idéal pour que celle-ci soit mise en application. C'est la possibilité de créer de la nouveauté dans l'existant. Un aménagement qui ne soit pas fortement contraint au bâti existant, comme dans le réaménagement dont nous avons fait plus haut la modélisation, puisque beaucoup d'espaces vides sont encore à aménager.

De plus, le Maroc a lancé un projet programmé pour 2020 et lancé en 2004 qui prévoit la création de 15 villes nouvelles à l'horizon 2010. A ce jour seulement quatre ont vu le jour. Ce qui laisse part encore à des territoires où nos recherches peuvent trouver application.

Le Maroc est un exemple parmi d'autres où l'aménagement des villes suit une croissance importante. Beaucoup de pays en voies de développement sont demandeurs de projets urbains pour répondre à leur développement et transformation économique. Pour ne citer qu'eux, on peut penser aussi aux villes des pays de l'Amérique du Sud, de l'Europe de l'est, l'Asie avec notamment la Chine où des villes sont encore à naître. Il existe finalement un nombre important de futurs territoires urbains où les questions auxquelles les villes plus anciennes n'ont pas pu répondre, pourraient eux trouver une réponse adéquate en s'appuyant sur cette conception de villes fractales pour une structure de leur morphologie.

Conclusion de la seconde partie

Cette deuxième partie avait pour but de concevoir un modèle pouvant répondre par une morphologie urbaine aux différentes aspirations des individus. Après avoir étudié, le modèle pour les cas binaires, nous avons pu justifier la possibilité et la faisabilité d'une ville à approche fractale dans le cas général. Cette structure urbaine offre alors à tout individu de l'espace un équilibre compensatoire entre ses accès aux différentes hiérarchies d'urbains et de verts. elle semble aussi satisfaire aux exigences de la ville durable, de par ses voies pénétrantes de vert.

La seconde partie a été consacrée à l'application sur le territoire réelle des théories défendues. Nous avons pu, en complément d'un travail scientifique de littérature, proposer une approche fractale pour l'agencement de la ville de Rennes. Enfin, nous avons aussi pu défendre la portée de ces recherches en vue des nombreux territoires susceptibles d'accueillir et porter ces concepts géométriques innovants dans l'avenir.

Conclusion générale

Notre objectif était d'explorer la possibilité de développer un modèle d'aménagement permettant de répondre à la demande sociale de la population et d'éviter les effets néfastes provoquées par les morphologies urbaines du passé, essentiellement l'étalement diffus.

Nous considérons alors trois entrées : l'aspect morphologique urbain, le comportement des gens et les politiques publiques qui interagissent pour faire de la ville un système vivant et dynamique.

Nous pensons d'abord aux activités humaines qui sont souvent à l'origine des bouleversements vécus par la ville. Le meilleur exemple est certainement la période industrielle qui a vu, avec l'exode rural, la ville se transformer considérablement. S'en suivent les progrès technologiques avec comme point angulaire l'apparition de la voiture. Ce nouveau mode de transport va modifier considérablement la morphologie des villes. Il allonge les distances, diminue les temps de déplacement et fait donc apparaître des nouveaux comportements, des nouvelles préférences, auxquels les villes tentent de répondre.

Suite à cette évolution, différents modèles-types de villes verront le jour. Citons comme antipodes la ville compacte et la ville étalée. Quand la première prône la densification pour limiter les effets néfastes de la deuxième, cette dernière ait perçu comme correspondant à un mode de vie qui favorise la proximité au paysage ouvert. Le point convergent de toute réflexion conceptuelle du principe de la ville durable, au cœur des réflexions des aménageurs urbains et d'une certaine conscience collective. Les habitants sont à la recherche d'une ville devant s'accorder avec un bien être de vie qui se conjugue entre autre avec la présence d'aménités vertes.

Pour cette première partie, nous nous sommes également intéressés à différents modèles micro-économiques et spatiaux pour approcher la ville d'une manière quantitative en modélisant des comportements d'individus.

Nous retenons également les principes des villes hiérarchisées mis en exergue par Christaller, puis plus tard, par Lösch. Ce système hiérarchique se conçoit dans l'agencement de l'agglomération d'une ville et distingue des pôles urbains à l'intérieur de la ville de différentes importances. En fonction des services disponibles dans chacun de ceux-ci, l'aire de chalandise du pôle est plus ou moins importante.

Nous avons terminé en nous intéressant à la géométrie fractale et son intérêt dans la conception des villes respectant cette notion.

Cette première partie nous aura essentiellement permis de faire ressortir les concepts et hypothèses nécessaires à l'élaboration de notre modèle et des réflexions sous-jacentes.

Dans la deuxième partie, nous avons exploré et comparé plusieurs modèles morphologiques de la ville en les mettant en relation avec les aspirations des résidents. Nous avons justifié la construction d'une ville compacte comme réponse à une population intéressée exclusivement par les aménités urbaines. La ville éclatée répond, quant à elle, à une population exclusivement portée sur les aménités vertes. Le troisième cas binaire, où l'intérêt pour les deux aménités est égal, nous permet de proposer la ville polycentrique égalitaire comme première possibilité de réponse. Devant les inconvénients mis en avant dans la première partie de ces structures morphologiques, nous proposons une nouvelle réponse de ville qui suit un le schéma de construction d'une ville monofractale.

Ce qui nous conduit au cas général où nous pouvons grâce aux propriétés du modèle, répondre aux contraintes des gens par la réalisation opérationnelle d'une ville multifractale. Cette structure de ville nous garantit un équilibre général du budget de l'individu où que celui-ci s'installe. La ville multifractale a pour propriété de respecter une hiérarchie urbaine, tels que les modèles vus dans la première partie, ainsi qu'une hiérarchie de ses zones vertes. Il peut alors s'opérer un effet de compensation entre les fréquentations aux différentes zones urbaines et vertes pour l'individu suivant où il s'installe.

Ainsi, notre ville respecte le phénomène dynamique des villes où les individus peuvent déménager et s'installer dans différents endroits au gré de l'évolution de leurs préférences au cours de leur vie.

Ainsi, si la ville monofractale, ou polycentrique égalitaire correspond à un esprit « égalitariste » où elles prônent une sorte d'égalité pour tous, la ville multifractale est plutôt une ville satisfaisant à chacun et pourrait être qualifié de ville « démocratique », tenant compte d'une diversification des aspirations.

La fin du travail a porté sur l'application réelle de cette approche fractale. Nous avons pu constater qu'elle apparaît sous différentes formes, dans des zones métropolitaines parfois bien prononcées comme pour Berlin. Nous avons choisi Rennes pour illustrer la concevabilité du modèle.

Une perspective d'ouverture pour la suite de ces travaux serait certainement d'établir, en menant des enquêtes auprès de différentes populations de villes, les paramètres comportementaux des individus et les comparer aux structures urbaines pour identifier plus réellement les relations entre caractéristiques morphologiques et comportementales.

Pour pouvoir ensuite disposer d'une meilleure précision dans l'éventualité d'une possibilité d'application sur les nombreux territoires vierges, prochainement ou déjà en développement et où nos théories seraient, nous pensons, bienvenues pour finalement répondre au mieux à la problématique qui recourait cette recherche d'optimisation géométrique - fractale - pour les villes.

Les fonctions d'utilités

Dans toutes les thématiques ayant pour élément central un individu, on est confronté à une problématique de choix décisionnaires. Par là, on entend que l'individu est libre arbitre de ses décisions et qu'elles ne dépendent d'un point de vue théorique uniquement de ses intérêts et de ses préférences personnelles.

Evidemment, comme on considère que tout individu n'est pas identique à un autre, il existe donc un panel infini de personnes et à fortiori un nombre illimité de choix potentiels de décisions, ceux-ci résultant de l'individu lui-même.

A partir de là, il devient alors difficile de traiter ou d'anticiper les choix d'un quelconque individu de façon pragmatique. Et le problème devient conséquent voire impossible si l'on veut créer un modèle général répondant au mieux aux attentes de chacun des individus.

Que faire alors pour contrer cette multitude de choix et les généraliser tout en respectant au maximum les décisions voulues par l'individu ?

D'autant plus que ses décisions ne sont pas forcément concrètement explicites et peuvent être parfois traduites simplement par une sensation.

Pour comprendre ces idées et en saisir leurs intérêts et atouts, nous prenons le choix de les présenter à travers un domaine où elles sont souvent employées, l'économie.

Pour cela intéressons nous à un exemple classique, le principe de l'assurance et de l'utilité attendue :

Principe :

Le client paie une certaine somme à intervalle de temps régulier à une compagnie d'assurances.

En échange, la compagnie d'assurance lui fournit un service qui consiste à dédommager le client en cas de sinistre.

Vocabulaire :

- . p le taux de prime ;
- . $p.\Delta t$ la prime ;
- . Δt étant une unité de temps.

En pratique : la compagnie d'assurance va gagner $p.\Delta t$ tous les Δt unités de temps et perdra un montant X aléatoire qui correspondra à la survenue éventuelle d'un sinistre. Ce que l'on constate très souvent, c'est que $p.\Delta t - X$ est très souvent positive. (Ce qui correspond à son espérance). Concrètement, cela veut dire que la compagnie d'assurance est très majoritairement gagnante.

La question qui en découle est alors pourquoi est-ce que le client est amené à souscrire à une telle police d'assurance ?

Deux raisons peuvent expliquer cette interrogation :

- *La raison juridique.* Dans différents cas, l'individu doit souscrire cette assurance car elle est imposée par la législation à laquelle il se trouve. Il n'a donc pas de choix et ceux-ci sont en somme restreints, délimités et identique à chaque individu.
- *La raison "psychologique" :* celle de l'aversion du risque.

C'est ce deuxième point que nous voulons approfondir ici et que nous allons donc développer.

Pour expliquer cette raison "psychologique", les spécialistes ont recours à la théorie de la fonction d'utilité (ou on parle également "d'utilité attendue") développée notamment par les économistes et mathématiciens américains O.Morgenstern et J.Von Neuman.

Cette théorie est fondée sur le fait que chaque individu possède une fonction $U : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$ telle que, si x est sa richesse alors $U(x)$ correspond à l'importance qu'il accorde à sa richesse.

En pratique, si l'individu est confronté à deux risques aléatoires U et V , sa fonction d'utilité lui permet de calculer $E(u(x - U))$ et $E(u(x - V))$, c'est à dire l'espérance de sa richesse déduit du risque. Il pourra ainsi choisir le risque dont l'espérance est la plus grande.

La fonction d'utilité a donc pour atout majeur la capacité à mesurer la satisfaction d'un consommateur en associant à chaque panier de biens un indice d'utilité ou encore appelé degré d'utilité.

D'un résultat a priori non mesurable, on est alors en capacité de calculer pour chacun des individus leurs avis sur le résultat de leurs sentiments à priori non exprimable en termes concrets. La fonction d'utilité d'un consommateur permet alors de traduire de manière algébrique la relation de préférence de l'individu.

En géographie, comme en économie, on est amené à étudier des phénomènes sur des populations comportant un nombre important d'individus et possédant chacun leurs propres ressenti face aux mêmes situations de décisions. Des décisions qui sont elles,

comme on l'a vu impossible à quantifier car dépendantes d'un choix psychologique à chaque personne.

L'avantage et l'intérêt premier d'avoir recours aux fonctions d'utilités est donc d'avoir un outil capable de mesurer de façon équitable et identique l'utilité de chacun des individus qui composent la population étudiée.

La théorie du comportement du consommateur et la théorie de l'entreprise sont considérées comme les fondations de l'analyse moderne économique. Durant toute cette période de l'essor de ces théories dans la seconde partie du XX^{ème} siècle, le principal objectif des économistes a été de trouver des fonctions flexibles qui établissent correctement les modèles comportementaux et donc notamment ceux des individus et de ses décisions.

Utilité attendue

Caractéristiques particulières de la fonction d'utilité

La fonction d'utilité fait correspondre pour chaque panier de n biens noté $A = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$ un indice d'utilité noté $U = U(A) = U(a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$. La fonction d'utilité ne donne pas une valeur absolue du panier considéré mais permet de donner une valeur relative à celui-ci. Elle permet de comparer l'indice d'utilité de deux paniers de biens distincts.

Toute fonction d'utilité respecte les conditions suivantes :

Soient deux paniers de biens A et B :

$$\begin{aligned} A > B &\Leftrightarrow U(A) > U(B) \\ A = B &\Leftrightarrow U(A) = U(B) \end{aligned} \tag{A.1}$$

Il existe ainsi différentes fonctions d'utilité qui sont en mesure de représenter ces mêmes ordres de préférences. Si elles classent de manière identique les différents paniers de biens respectant l'importance des paniers, elles représentent donc le même ordre de préférence et ainsi la même utilité pour le consommateur.

Avec ces conditions, trois propriétés émanent pour une fonction d'utilité.

Propriété 1 :

- . La fonction d'utilité est croissante ;
- . Elle diffère en fonction de chaque individu ;
- . Son expression n'est pas connue en générale.

Applications

Revenons à présent sur l'exemple de la compagnie d'assurance et la prime de risque pour visualiser la construction d'une fonction d'utilité dans ce cas concret.

On procède par étape successives.

Calcul de prime :

Soit un individu de fonction d'utilité u , qui a à faire face à un risque aléatoire X .

Comment calculer la prime maximale \mathcal{P}^+ qu'il est prêt à déboursier pour se prémunir contre ce risque ?

Pour cela, on va résoudre en \mathcal{P}^+ l'équation $E(u(x - \mathcal{P}^+)) = E(u(x - X))$.

\mathcal{P}^+ est bien la prime maximale que le client est prêt à payer car on a alors :

$$u(x - X) > u(x - \mathcal{P}^+) = E(u(x - \mathcal{P}^+)) \text{ car la fonction est croissante.}$$

Trois cas sont alors possible :

- . Si on suppose la théorie de Von Neuman et Morgenstern, le client va choisir le risque associé à l'utilité la plus grande. Donc il choisira le risque \mathcal{P} .
- . Si on lui demande $\mathcal{P} > \mathcal{P}^+$, on a alors $u(x - \mathcal{P}) < E(u(x - X))$. La personne préférera courir le risque de perdre X .
- . Si on lui demande une prime \mathcal{P} égale à \mathcal{P}^+ , l'individu hésitera.

Problème capital : Bien évidemment dans la réalité, la fonction d'utilité u n'est pas connue. Et souvent la richesse X ne l'est pas non plus.

Pour remédier à cela, il existe un moyen "pratique" afin de déterminer u pour un individu donné.

On va le tester en lui demandant la prime maximale \mathcal{P}^+ qu'il est prêt à déboursier pour un risque de la forme :

$$X = \begin{cases} M & \text{avec une probabilité } \alpha \in]0, 1[\\ 0 & \text{avec une probabilité } 1 - \alpha. \end{cases}$$

En faisant varier M et α , on constate alors les conclusions ci-dessous :

1. Si α et M sont faibles alors \mathcal{P}^+ est très faible et souvent très inférieur à $\alpha M = E(X)$.
2. Si α est proche de 1 alors \mathcal{P}^+ sera souvent égal à $\alpha M = M$.
3. Si α est proche de 0 et M est très élevé alors \mathcal{P}^+ est très élevé et on aura souvent \mathcal{P}^+ très supérieur à $\alpha M = E(X)$

A partir de ces observations, il convient ensuite d'établir une fonction d'utilité de l'individu.

Détermination de u :

On prend un X de la forme M avec une probabilité α et 0 avec une probabilité $1 - \alpha$.

On suppose que x est la richesse de l'individu et on cherche u sur l'intervalle $[x - M, x]$.

1. Quitte à effectuer une translation et une homothétie, on peut supposer d'une part que $u(x) = 0$ et d'autre part que $u(x - M) = -1$.

En effet si u est une fonction d'utilité de l'individu alors $\alpha u(\cdot) + \beta$ est aussi une fonction d'utilité de l'individu avec $\alpha > 0$.

2. La prime maximale \mathcal{P}^+ associée au risque X est telle que :

$$\begin{aligned}u(x - \mathcal{P}^+) &= E(u(x - X)) \\ &= (1 - \alpha)u(x) + \alpha u(x - M) \\ &= -\alpha\end{aligned}\tag{A.2}$$

3. Pour chaque valeur de $\alpha \in [0, 1]$, on pose la question : "Combien vaut \mathcal{P}^+ ?" pour chaque individu. On peut ainsi tracer le graphe de la fonction u sur l'intervalle $[x - M, x]$.

Il se pose alors la question de comment procéder avec cette utilité que l'on a établi pour l'individu.

Utilisation de u :

Si u est déterminée sur \mathbb{R}^n et connue, et si l'individu a à choisir entre deux risques V_1 et V_2 de lois respectives μ_1 et μ_2 , on calcule alors les deux espérances suivantes :

$$\begin{aligned}E(u(x - V_1)) &= \int_{\mathbb{R}} u(x - V_1) d\mu_1(v_1) \\ E(u(x - V_2)) &= \int_{\mathbb{R}} u(x - V_2) d\mu_2(v_2)\end{aligned}\tag{A.3}$$

Et on sait que l'individu choisira le risque dont l'espérance attendue est la plus grande.

On a ainsi résolu notre problème et maximisé la prime d'assurance que l'individu paiera, choix qui dépendait d'une décision à premier abord indéfini.

Cependant cette méthode interrogative, si elle répond bien à la question psychologique de l'individu caractérisant son aversion au risque comporte deux limites techniques importantes.

1. On se retrouve souvent à traiter un grand nombre d'individus et il est alors très difficile, voire complètement impossible, de tous les interroger.
2. Les réponses que fournit l'individu pourront différer en fonction du contexte dans lequel il se trouve et sur lesquels il est impossible de prédire ou prendre en compte (humeur, situation économique, etc.).

Pour faire face à ces problèmes, les économistes font le choix d'appliquer des fonctions d'utilités dites classiques. Celles-ci respectent les conditions d'utilités vu précédemment et s'appliquent ainsi de la même manière pour chacun des individus de la population concernée. Elles ne prennent pas en compte des situations extérieures qui pourraient biaiser le jugement général de l'individu à l'instant t de sa décision.

Exemples de fonctions d'utilités classiques

Voyons à présent une condition supplémentaire sur la fonction d'utilité d'un individu qui permettra de traduire l'aversion ou le goût du risque de ce dernier suivant l'ajout

d'une caractéristique sur la fonction d'utilité.

Soit u la fonction d'utilité d'un individu et on suppose à présent que cette fonction est convexe. On suppose toujours que la personne a à choisir entre un risque aléatoire $U = X$ et un risque $V = E(X)$ constant.

Comme u est convexe alors $y \mapsto u(x - y)$ est aussi convexe. On a donc $E(u(x - U)) = E(u(x - X))$.

D'après l'inégalité de Jensen on peut en déduire l'inégalité suivante :

$$\begin{aligned} u(x - E(X)) &\leq E(u(x - X)) \\ \Leftrightarrow E(u(x - V)) &\leq E(u(x - U)) \end{aligned} \tag{A.4}$$

Cette inégalité nous permet de dire que l'individu préférera prendre le risque aléatoire $U = X$.

On dit alors que celui-ci a le goût du risque $U = X$.

De la même façon, si on suppose maintenant que la fonction d'utilité u de l'individu est concave alors ce dernier préfère s'acquitter de la somme $V = E(X)$.

On dit alors que l'individu a l'aversion du risque.

Pour modéliser le goût ou principalement l'aversion du risque du choix d'un individu, il existe différentes fonctions d'utilités classiques que l'on peut citer et qui vérifie les caractéristiques illustrées précédemment. En voici quelques unes souvent utilisées et à la base des constructions des fonctions d'utilités parfois plus complexes.

1. la fonction linéaire : $u(x) = x$. Elle traduit un comportement neutre.
2. la fonction quadratique : $u(x) = -(\alpha - x)^2$. Elle traduit une aversion au risque si $x \leq \alpha$.
3. la fonction logarithme : $u(x) = \log(x + \alpha)$. Elle traduit une aversion au risque si $x > -\alpha$.
4. la fonction exponentielle : $u(x) = -\alpha e^{-\alpha x}$ où l'aversion du risque est observé quand $\alpha > 0$.
5. la fonction puissance : $u(x) = x^\alpha$. Si $0 < \alpha < 1$, il y a aversion du risque. Si $\alpha > 1$, il y a goût du risque.

A partir de ces bases simples sur les fonctions d'utilités et des concepts qu'elles traduisent, les travaux des économistes ont contribué à élaborer tout au long du dernier siècle des fonctions d'utilités références. Chronologiquement nous pouvons citer comme fonctions d'utilités les plus connues et employées :

- les fonctions logarithmiques linéaires.
- la fonction de service de constante-élasticité-de-substitution / The Constant-Elasticity-of-Substitution Utility Function ou The CES utility function.
- la fonction Cobb-Douglas.
- la fonction de Leontief.

Dans les travaux menés plus loin, le choix des individus de la population théorique étudiée sera principalement modélisé à l'aide de la fonction d'utilité de Cobb-Douglas.

La section suivante aura donc pour intérêt de décrire les caractéristiques nécessaires algébriques de cette fonction. Elle permettra une utilisation optimale de cette dernière lors de son application pour les recherches effectuées et qui seront présentées plus loin dans cette section.

La fonction de Cobb-Douglas

Fonction de production

En économie, la fonction de Cobb-Douglas appartient à la catégorie de fonctions dites fonctions de production. La différence entre une fonction d'utilité et une fonction de production réside simplement dans le fait qu'une fonction d'utilité sert à optimiser les décisions d'individus. La fonction de production traduit quant à elle les optimisations concernant les entreprises, approche fondamentales pour les économistes.

Les fonctions de production ont vu leurs créations dès la fin du *XIX^{ème}* siècle, période où les théories de l'équilibre et de la productivité marginale émergeaient. Schumpeter considérait d'ailleurs la fonction de production ainsi que la fonction d'utilité comme les deux piliers de l'analyse économique des débuts du *XX^{ème}* siècle. Elles ont continuées à être développées tout au long des avancées du siècle et encore actuellement.

On peut citer les travaux de Edgeworth Walras Marshall Pareto Wicksteed poursuivis par la suite par Hicks, Leontieff et Tintner.

Par définition, une fonction de production caractérise, sous sa forme la plus générale, une relation entre la quantité de produit obtenue et les quantités des différents services producteurs utilisés. C'est à dire qu'elle établit la relation entre les "extrants" (output) et les "intrants" (input). Elle permet ainsi pour l'entrepreneur d'une firme de déterminer en fonction des prix des différents biens la combinaison des facteurs qui lui permettra de réaliser le maximum de profit.

Mais sans difficultés ni pertes d'informations, on peut appliquer ces fonctions dans le cadre d'une modélisation de choix par des individus. Ainsi la fonction de production de Cobb-Douglas peut être considérée et affecter comme une fonction d'utilité pour individus.

Une des fonctions de productions les plus utilisées et les plus citées est sans doute celle qu'ont développé Cobb et Douglas et dont nous allons maintenant présenter les caractéristiques essentielles de ses paramètres dans le paragraphe suivant.

Origine de la fonction

Les travaux de Cobb et Douglas font suite aux recherches existantes depuis la fin du *XIX^{ème}* siècle. En effet, on retrouve l'origine des fonctions de productions dès les équations de fabrication de Walras. Puis Marshall, Clark, toutefois sans ayant donné beaucoup d'informations sur la forme de la fonction puis essentiellement Wicksteed en 1894, qui précisa le premier l'homogénéité et la linéarité, deux caractéristiques indispensables des fonctions de production et d'utilité, ont contribué aux premiers développement de celles-ci.

Ce principe d'homogénéité a été discuté particulièrement par Edgeworth et Pareto. Cependant Wicksell établit le fait qu'une fonction de production homogène ne peut

pas caractériser la totalité des productions dépendantes d'un secteur. Mais elle peut traduire lorsqu'il y a concurrence parfaite et à l'équilibre, la production sur un plan plus général.

Les travaux sont alors en stagnation au début des années 1900 car deux opinions vont à contre courant sur l'interprétation de ces fonctions de productions. Simplement et vulgairement, on peut dire que l'une de ces opinions tend vers des conclusions et des points de vues totalement libérales tandis que l'autre s'oppose face à cette théorie mettant en exergue un système capitaliste. Plus concrètement, ces divergences sur la politique économique va ralentir les études théoriques sur le sujet. En effet, il apparait une cassure entre les faits et les sciences économiques, c'est à dire qu'il subsiste un affrontement entre la théorie et la réalité que les économistes de l'époque ne semblent pas vouloir rapprocher.

P-H. Douglas va quant à lui, à travers ses travaux, s'atteler à combler le fossé instauré par ces deux oppositions et empêchant le développement des théories mises en places par ses confrères économistes.

Paul-Henri Douglas est un économiste américain et ayant enseigné à l'université de Chicago aux USA. En 1927, il travaille à établir un lien entre trois variables qui sont les variations du capital et celles du travail utilisé par rapport à la production des biens. Grâce aux progrès réalisés dans le domaine de la statistique et de l'informatique, permettant une analyse plus poussée de tables de données volumineuses, il dresse trois courbes représentant chacune les trois variables précédentes obtenues les séries chronologiques de la production aux Etats-Unis pour la période allant de 1899 à 1922. Il remarque alors une distance relativement constante entre les trois courbes tout au long du temps étudié pour ces données. La courbe correspondante à la production se trouve continuellement entre les deux courbes associées aux deux autres variables. La courbe du travail se situe en-dessous de celle de production quand celle du capital se trouve au-dessus. De plus la distance constante correspondante aux distances entre la courbe de production avec les deux courbes de facteurs respectifs est d'environ d'un quart de la distance séparant ces deux derniers. Douglas cherche donc à définir une relation liant ces trois variables et dont l'analyse graphique et expérimentale semble confirmer son existence. N'étant pas mathématicien, Douglas fait alors appel à un de ses collègues pour écrire une fonction permettant de traduire cette relation.

Charles-Williams Cobb est un mathématicien américain ayant été aussi professeur dans la même université que P-H. Douglas. Il va alors répondre rapidement à la demande de ce dernier et va établir une fonction que l'on définit aujourd'hui comme la fonction de production ou d'utilité de Cobb-Douglas.

Cobb et Douglas ont continué leurs travaux en analysant des productions d'autres pays et ont à nouveau constaté les mêmes résultats liant les trois variables. Cela leur a permis d'une part d'ajuster les paramètres relatifs à la fonction et d'une autre part de minimiser la période de données nécessaires passant d'une base de trois années pour leurs travaux initiaux à une seule par la suite.

Bien que des fortes critiques, engendrées à la fois par des économistes et des statisticiens, eurent lieu sur les méthodes mathématiques utilisées pour traiter les données et le sens de l'interprétation économiques des résultats obtenus par la fonction de production, cette dernière n'en a pas moins été une référence et de ce fait largement utilisée,

encore de nos jours, et citée par des références majeures au cours de la seconde partie du XX^{ème} siècle.

Accordons nous à présent une section algébrique pour la définition de la fonction d'utilité de Cobb-Douglas.

Analyse et bases théoriques de la fonction d'utilité Cobb-Douglas

Définition et écriture de la fonction

Etant une fonction d'utilité, la première caractéristique de la fonction de Cobb-Douglas est donc qu'elle est monotone et convexe.

Comme nous l'avons vu, la fonction de production exprime la relation entre les facteurs de production d'une entreprise et la quantité produite. Par son équation ou sa représentation graphique, elle montre la production possible de l'entreprise à partir de différentes quantités et combinaisons de facteurs de production.

De manière générale, en notant P la quantité produite par la firme et X_1, X_2, \dots, X_n les facteurs de production, l'écriture mathématique d'une fonction de production f se présente sous la forme suivante :

$$\begin{aligned} f : \mathbb{R}^n &\longmapsto \mathbb{R} \\ P &= f(X_1, X_2, \dots, X_n) \end{aligned} \tag{A.5}$$

L'expression mathématique générale de la fonction Cobb-Douglas s'écrit de la façon suivante :

$$\begin{aligned} Y &= P(X_1, X_2, \dots, X_n) \\ &= b \cdot X_1^{\alpha_1} \cdot X_2^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot X_n^{\alpha_n} \\ &= b \prod_{i=1}^{\infty} X_i^{\alpha_i} \end{aligned} \tag{A.6}$$

Littéralement la fonction peut être vue comme une fonction transformant les facteurs/inputs noté $(X_i, i \in \mathbb{N}$ dans un produit/output (noté Y).

Dans ce cas, on dit que les facteurs sont imparfaitement substituables.

Dans le cas de la fonction particulière établit par Cobb et Douglas pour traduire leurs recherches, seulement deux facteurs sont pris en compte : le travail et le capital que l'on notera respectivement L et C . Elle s'écrit alors comme telle :

$$P(L, C) = b \cdot L^\alpha C^\beta \tag{A.7}$$

Dans ces différentes formules définissant la fonction de production de Cobb-Douglas, intéressons nous maintenant à la signification des variables notés b, α et β .

- b est appelé productivité globale des facteurs (PGF) ou productivité multifactorielle. C'est une constante obtenue grâce à l'analyse statistique des données correspondantes à la production du secteur ou de l'entreprise sur lequel on fait l'étude. b est donc un coefficient de dimension qui dépend des unités de mesures employées. Celui-ci n'a pas d'interprétation économique.
- Les valeurs α et β représentent les rendements d'échelles de la fonction. Dans le cadre du modèle de la concurrence pure et parfaite, les coefficients α et β correspondent à la répartition des revenus entre le travail et le capital. α représente la part ou le pourcentage que l'on attribue au travail et de même β représente la part du capital dans la production.

On distingue alors deux cas pour la fonction Cobb-Douglas.

1. la fonction Cobb-Douglas générale.

$$\forall \alpha, \beta / 0 < \alpha < 1 \text{ et } 0 < \beta < 1$$

$$P(L, C) = b \cdot L^\alpha C^\beta$$

2. La fonction Cobb-Douglas dite stricte.

Celle-ci suppose la condition $\alpha + \beta = 1$ avec $\forall \alpha, 0 < \alpha < 1$.

Elle est donc de la forme :

$$P(L, C) = b \cdot L^\alpha C^{1-\alpha} \quad (\text{A.8})$$

Cette condition permet d'introduire la condition de linéarité dans l'expression de la fonction. C'est alors une fonction de deux variables homogène et linéaire.

Mathématiquement, une telle fonction homogène de degré 1 se définit par :

$$\begin{aligned} \forall \lambda \in \mathbb{R}, \quad P(\lambda L, \lambda C) &= b(\lambda L)^\alpha (\lambda C)^{1-\alpha} \\ &= b\lambda^\alpha + (1 - \alpha)L^\alpha C^{1-\alpha} \\ &= \lambda P(L, C) \end{aligned} \quad (\text{A.9})$$

Le second terme de la formule étant un monôme du premier degré, une première observation est de remarquer que lorsque les apports en capital ou en travail sont nuls alors la production doit être nulle également. D'un point de vue interprétation, l'utilisation de cette écriture est faite sous l'hypothèse de rendements d'échelle constants. Plus concrètement, cela signifie une proportion entre les entrées qui correspondent aux facteurs et les sorties. Par exemple, si on augmente la part de chacune des quantités de travail et de capital par une constante λ , on entraînera également une augmentation de λ fois pour les quantités produites. Ce qui revient à dire également qu'il existe une indépendance entre l'efficacité de la production et l'échelle de production. Et pour une analyse de coûts, ceux-ci sont alors proportionnels. Le coût moyen, correspondant aux quantités de travail et de capital est alors constant.

Dans le cas de la fonction de Cobb-Douglas générale, la perte de l'hypothèse de linéarité, permet d'envisager différents rendements non constants.

En effet, soient α, β tels que $0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1$ et $\alpha + \beta = m \neq 1$ et $\forall \lambda \in [1; +\infty[$ une constante. Alors :

$$\begin{aligned}
P(\lambda L, \lambda C) &= b(\lambda L)^\alpha (\lambda C)^\beta \\
&= \lambda^{\alpha+\beta} \cdot b \cdot L^\alpha C^\beta \\
&= \lambda^m \cdot P(L, C)
\end{aligned}
\tag{A.10}$$

La production est donc multipliée par λ^m si chaque facteur est aussi multipliée par λ . L'augmentation n'est donc plus proportionnelle. On distingue alors deux cas :

1. Si $m > 1$

On a $\lambda^m > 1$. La production augmente donc plus que proportionnellement. On est donc en présence de rendements d'échelle croissants.

Inversement

2. Si $m < 1$

On a $\lambda^m < 1$. La production diminue moins que proportionnellement. Cela implique des rendements d'échelle décroissants.

Douglas a testé sa fonction en l'absence de linéarité mais pour obtenir des valeurs de $\alpha + \beta$ proches de 1. De plus l'abandon de cette hypothèse ne permet plus de valider les théories de la productivité marginale.

La limitation du nombre de variables par les professeurs Cobb et Douglas a été fait dans un souci de simplification en ne tenant compte uniquement des variables qui influent sur la production. Les conclusions sur les conditions des rendements d'échelle sont donc identiques pour la fonction globale, dans cas où un nombre infiniment dénombrable de variables est considéré.

Une fois admise la possibilité d'une fonction de production, les économistes peuvent considérer plusieurs de ses caractéristiques comme par exemple les rendements marginaux des facteurs, l'élasticité de production des facteurs et les élasticités de substitution.

La productivité marginale

La productivité marginale est la variation de la production engendrée lorsqu'on augmente la quantité utilisée d'un facteur, celle de l'autre restant fixe. Au niveau macroéconomique, on parle également de la loi des rendements décroissants.

Pour une facilité d'observation et d'interprétation, restons sur une fonction de production à deux variables.

La fonction de production Cobb-Douglas est une fonction croissante et monotone.

De par leurs définitions les productivités marginales s'obtiennent par les dérivées partielles de la fonction. On a donc respectivement pour la productivité marginale du travail et du capital les expressions suivantes :

$$\frac{\partial P(L, C)}{\partial L} = \alpha \cdot b \cdot L^{\alpha-1} C^{1-\alpha} = \alpha \frac{P(L, C)}{L} \quad (\text{A.11})$$

$$\frac{\partial P(L, C)}{\partial C} = (1 - \alpha) \cdot b \cdot L^\alpha C^{-\alpha} = (1 - \alpha) \frac{P(L, C)}{C} \quad (\text{A.12})$$

Celles-ci montrent que la productivité marginale d'un facteur est fonction des proportions des facteurs utilisés.

De plus en faisant tendre les quantités de travail ou de capital à l'infini on a :

$$\lim_{L \rightarrow +\infty} \frac{\partial P(L, C)}{\partial L} = 0 \quad (\text{A.13})$$

$$\lim_{C \rightarrow +\infty} \frac{\partial P(L, C)}{\partial C} = 0 \quad (\text{A.14})$$

Cela indique pour une certaine valeur de L donnée que la croissance de la production, à cause d'une augmentation de C devient toujours plus petite et réciproquement.

Les élasticités

Les élasticités montrent la variation de la production par rapport aux variations d'un ou de plusieurs facteurs.

L'élasticité de la production par rapport au travail est alors :

$$\epsilon_{P,L} = \frac{\partial P(L, C)}{\partial L} \cdot \frac{L}{P(L, C)} = \alpha \cdot \frac{P(L, C)}{L} \cdot \frac{L}{P(L, C)} = \alpha \quad (\text{A.15})$$

Et de la même façon, l'élasticité de la production par rapport au capital est donné par :

$$\epsilon_{P,C} = \frac{\partial P(L, C)}{\partial C} \cdot \frac{C}{P(L, C)} = 1 - \alpha \quad (\text{A.16})$$

On remarque alors que les exposants α et $1 - \alpha$ qui portent sur les variables ne sont que les élasticités de la production par rapport à ces variables.

De façon plus concrète, avoir une élasticité de production par rapport au travail égale à α consiste à dire qu'une augmentation de 1% des quantités de travail entraînera une augmentation de α % des quantités de production.

La loi des rendements décroissants

Les dérivées du second ordre permettent d'obtenir les taux d'accroissement de la productivité marginale du travail et de la productivité marginale du capital par les expressions respectives suivantes :

$$\frac{\partial^2 P}{\partial L^2} = \alpha(\alpha - 1) \frac{P}{L^2} \quad (\text{A.17}) \qquad \frac{\partial^2 P}{\partial C^2} = \alpha(\alpha - 1) \frac{P}{C^2} \quad (\text{A.18})$$

Comme $\alpha < 1$ donc $\alpha(\alpha - 1) < 0 \implies \frac{\partial^2 P}{\partial L^2} < 0$ et $\frac{\partial^2 P}{\partial C^2} < 0$.

Ainsi les taux d'accroissements es variables sont négatifs. Par conséquent la productivité marginale d'un facteur décroît avec l'augmentation de celui-ci à un taux décroissant fortement lui-même en valeur absolue. Cela n'étant rien d'autre que la loi des rendements décroissant.

En dérivant successivement par rapport aux deux variables, on obtient l'expression suivante :

$$\frac{\partial^2 P}{\partial L \cdot \partial C} = \alpha(1 - \alpha) \frac{P}{LC} \quad (\text{A.19})$$

Cette formule montre que la productivité marginale d'un facteur croît lorsque le facteur complémentaire croît, car $1 - \alpha > 0$. Mais cette augmentation se fait à un taux décroissant.

Cela revient à dire en d'autres termes que l'augmentation de l'utilisation d'une variable entraîne :

1. la diminution de la productivité marginale de ce facteur ;
2. l'augmentation de la productivité marginale des autres variables.

Les phénomènes de répartitions

Le théorème d'Euler, nommé d'après le mathématicien suisse Leonhard Euler, est un résultat d'analyse à plusieurs variables utile en économie. Son énoncé est comme tel :

Une fonction de plusieurs variables $f : \mathbb{R}^n \mapsto \mathbb{R}$ différentiable en tout point est homogène de degré k si et seulement si la relation suivante, appelée identité d'Euler, est vérifiée :

$$\forall x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n, \sum_{i=1}^n x_i \frac{\partial f}{\partial x_i}(x) = kf(x) \quad (\text{A.20})$$

La fonction de production de Cobb-Douglas étant homogène de degré 1, on peut lui appliquer l'identité d'Euler précédente et on peut alors écrire :

$$\begin{aligned} P(L, C) &= L \cdot \frac{\partial P(L, C)}{\partial L} + C \cdot \frac{\partial P(L, C)}{\partial C} \\ &= \alpha \frac{P(L, C)}{L} L + (1 - \alpha) \frac{P(L, C)}{C} C \\ &= \alpha P(L, C) + (1 - \alpha) P(L, C) \end{aligned} \quad (\text{A.21})$$

$\alpha P(L, C)$ est la rémunération du travail et $(1 - \alpha)$ est la rémunération du capital.

On constate que le produit total est égal à la somme des parts respectives du travail et du capital rémunérées à leur productivité marginale.

De plus, on remarque que les valeurs α et $(1 - \alpha)$ correspondent aux élasticités partielles du capital et du travail.

Les élasticités de substitutions

On a vu que si on augmente un facteur sans modifier l'autre, la quantité de production augmente également. Cependant celle-ci augmente moins rapidement que si on augmente les quantités des deux facteurs en même temps en suivant leurs élasticités partielles α et $1 - \alpha$. On appelle isoquants les représentations de toutes les combinaisons possibles des variables de la fonction pour une certaine production donnée.

La pente des isolants correspond au taux marginal de substitution entre les facteurs. Cela revient à combler le manque de quantité d'une variable en calculant la quantité de l'autre variable à augmenter pour obtenir la même quantité de production.

On suppose qu'il est toujours possible de substituer du capital par du travail et inversement dans la fonction de production Cobb-Douglas. Le taux marginal de substitution pour une valeur $Y = \bar{y}$ constante est défini comme la dérivée totale :

$$d\bar{y} = 0 = \frac{\partial y(L, C)}{\partial L} dL + \frac{\partial y(L, C)}{\partial C} dC \quad (\text{A.22})$$

avec \bar{y} correspondant à la valeur $Y = \bar{y}$, constante et donnée pour laquelle la fonction admet des isolants de production. C'est à dire :

$$Y = \bar{y} = bL^\alpha C^{1-\alpha} \Leftrightarrow L = l(C) = \left(\frac{\bar{y}}{bL^\alpha}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} = \left(\frac{\bar{y}}{b}\right)^{\frac{1}{1-\alpha}} C^{\frac{-\alpha}{1-\alpha}} \quad (\text{A.23})$$

De (18) on obtient :

$$\frac{dL}{dC} = \frac{\frac{\partial y(L, C)}{\partial C}}{\frac{\partial y(L, C)}{\partial L}} = \frac{\alpha L}{(1 - \alpha)C} \quad (\text{A.24})$$

Le taux marginal de substitution est une possibilité de mesurer la capacité de substitution entre les variables. Mais le taux marginal dépend de L et C . Pour cela, on fait appel à la notion d'élasticité de substitution, indépendante quant à elle des unités de mesure de L et C .

Soient p_C et p_L les prix pour les facteurs de production considérés. On définit l'élasticité de substitution σ par :

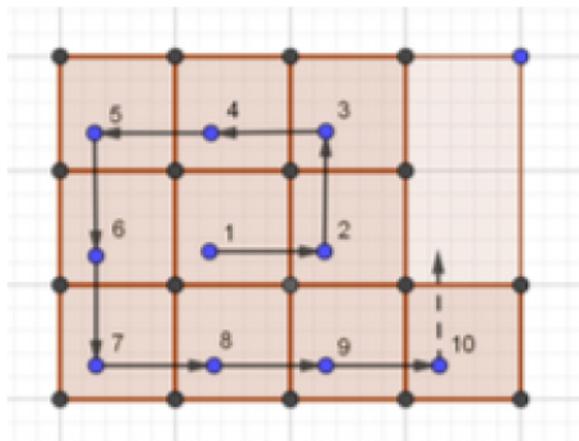
$$\sigma = \frac{d\left(\frac{L}{C}\right)\frac{C}{L}}{d\left(\frac{p_C}{p_L}\right)\frac{p_L}{p_C}} = \frac{1}{L}dL - \frac{1}{K}dK = 1 \quad (\text{A.25})$$

Cela signifie que la production varie dans la même proportion que les prix relatifs des facteurs. Si le prix du travail augmente, respectivement diminue, de 1% par rapport au prix du capital, l'intensité de celui-ci correspondant à la substitution de C à L va augmenter, respectivement diminuer de 1%.

Enveloppe d'une ville polycentrique rectangulaire

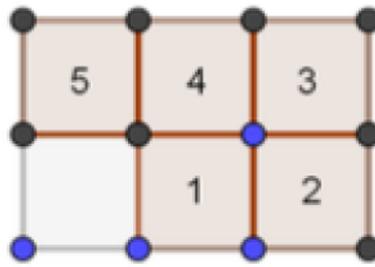
Sujet du problème

A partir de la « grille » d'un repère orthonormé, on construit et on numérote « en escargo » les carrés formés par cette grille en poursuivant la construction effectuée ci-dessous :



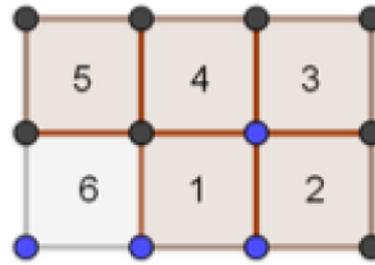
Une fois construit les carrés de 1 à n , on les encadre dans une enveloppe : un cadre rectangulaire qui contient tous les carrés dont le numéro est inférieur ou égal à n .

Si le carré 1 représente une unité d'aire, on peut mesurer l'aire de chaque enveloppe. Par exemple :



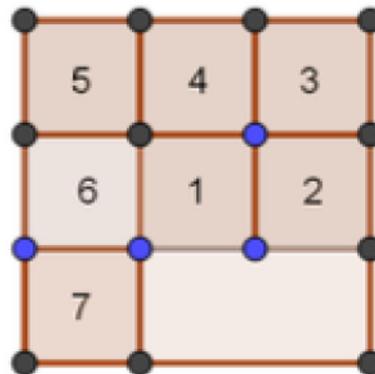
$$n = 5; m^2 = 4 \text{ et } m = 2, Env(5) = 6$$

Maintenant tant que l'ajout de cette colonne (ou de cette ligne) suffit, le résultat reste fixe. (pour suivre l'exemple voir la figure suivante avec $n = 6$).



$$n = 6; m^2 = 4 \text{ et } m = 2, Env(6) = 6$$

Enfin, lorsque l'ajout de cette colonne (ou de cette ligne) ne suffit plus, on ajoute maintenant une ligne (ou une colonne), cette fois de taille $m + 1$ pour obtenir l'enveloppe. (Toujours pour suivre l'exemple voir la figure pour $n = 7$). La construction est valable jusqu'à 9 qui est le carré parfait suivant !



$$n = 7; m^2 = 4 \text{ et } m = 2, Env(7) = 4 + 2 + 3 = 9$$

Généralisation : formule explicite de $Env(n)$ en fonction de n

Nos constats suffisent à résoudre le problème et peut ainsi être généralisé comme tel :

— Si n est un carré parfait

Alors $Env(n) = n$

— Si $(Ent(\sqrt{n}))^2 < n < (Ent(\sqrt{n}) + 1)^2$

Alors $Env(n) = (Ent(\sqrt{n}))^2 + Ent(\sqrt{n})$

— Si $(Ent(\sqrt{n}) + 1)^2 < n < (Ent(\sqrt{n}) + 2)^2$

Alors $Env(n) = (Ent(\sqrt{n}) + 1)^2 + Ent(\sqrt{n}) + 1 = (Ent(\sqrt{n}) + 1)^2 + Ent(\sqrt{n}) + 1$

Bibliographie

- ALLAIN, R. (2005). « Ville et proximité. Le point de vue d'un géographe-urbaniste ». In : *Mots. Les langages du politique* 77.1, p. 129–136.
- ALONSO, W. (1964). *Location and land use : towards a general theory of land rent*. Cambridge Mass., Harvard University Press.
- ALTSHULER, A. et J. GOMEZ-IBANEZ (1993). *Regulation for Revenue : The Political Economy of Land Use Exactions*. Brookings.
- ANDERSON, Soren T. et Sarah E. WEST (2006). « Open space, residential property values, and spatial context ». In : *Regional Science and Urban Economics* 36.6, p. 773–789. ISSN : 0166-0462. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2006.03.007>. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166046206000366>.
- ANGEL, S., P. JASON et D. CIVCO (2010). « Ten Compactness Properties of Circles : Measuring Shape in Geography ». In : *The Canadian Geographer* 54.4, p. 441–461.
- APPERT, M. (2009). *Les mobilités quotidiennes à Londres : aspects, impacts et régulations*. URL : <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/doc/transv/Mobil/MobilScient6.htm>.
- AYDALOT, P. (1985). *Economie régionale et urbaine*. Economica.
- BAILLY, A., H. BEGUIN et R. SCARIATI (2016). *Introduction à la géographie humaine*. Armand Colin.
- BAIROCH, P. (1985). *De Jéricho à Mexico*. Gallimard.
- BANISTER, D. (1992). « Energy use, transportation and settlement patterns ». In : *Sustainable Development and Urban Form*. M. J. Breheny ed., p. 160–181.
- BARCELO, M. (1999). *Les indicateurs d'étalement urbain et de développement durable en milieu métropolitain*. Rapp. tech. Faculté de l'Aménagement, Institut d'Urbanisme de l'Université de Montréal.
- BAR-ILAN, A et C. Strange WILLIAM (1996). « Urban Development with Lags ». In : *Journal of Urban Economics* 39.1, p. 87–113.
- BAROND, M. (1993). « Aux origines et aux principes généraux du modèle de von Thünen. Le domaine de Tellow dans le Mecklembourg ». In : *Feuilles de Géographie* série orange, Feuille 33, 12 p.
- (2004). *Modèle Von Thünen*. URL : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article566#>.

- BATTY, M. et P. LONGLEY (1985). « The fractal Simulation of Urban Structure ». In : *Papers in Planning Research* 92.
- (1994). *Fractal Cities, a Geometry of Form and Function*. London et San Diego : Academic Press.
- BAUMONT, C. et J. LE-GALLO (1999). « Les tests empiriques des modèles urbains multicentriques ». In : *9èmes Journées du Sésame, Saint-Etienne*.
- BAVOUX, J.-J. et al. (2005). *Géographie Des Transports*. Armand Colin.
- BEAUCHARD, J. (1999). *La bataille du territoire*. Paris : L'Harmattan.
- BEAUCIRE, F. (2000). « Un réseau et ses territoires : le tram-train d'interconnexion de Karlsruhe (Allemagne) ». In : *Flux* 16.41, p. 41–45.
- BEAUCIRE, F. et al. (1999). « Les outils de planification urbaine au service de la relation urbanisme/transport : approche dans la perspective du développement durable ». In : *Synthèse de recherche, Projet DRAST/ PREDIT 98MT115 Fédération Nationale des Agences d'Urbanisme* 20 p.
- BEGUIN, H. (1988). « La région et les lieux centraux ». In : *C. Ponsard*, p. 231–275.
- BENIGUI, L. et M. DAOUD (1991). « Is the Suburban Railway System a Fractal? » In : *Geographical Analysis* 4.23.
- Berlin, métropole naturelle. Le Naturpark Schöneberg Südgelände* (2012). Certu.
- BERTEAUD, A. et S. MALPEZZI (2003). *The Spatial Distribution of Population in 48 World Cities : Implications for Economies in Transition*. University of Wisconsin.
- BIESSY-PIETRY, P. (2000). « Les formes récentes de la croissance urbaine ». In : *Économie et Statistiques* 336, p. 35–52.
- BLACK, T. (1996). « The economics of sprawl ». In : *Urban Land* 55.3, p. 6–52.
- BLOOM, D. et al. (2010). *Urban settlement. Data, measures, and trends*. Working Paper 12. United Nation University.
- BONNET, J. (1994). *Les grandes métropoles mondiales*. Nathan Université.
- BOURDEAU-LEPAGE, L. (2009). « À la recherche de la centralité perdue ». In : *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*.
- BOURDEAU-LEPAGE, L. et J.-M. HURIOT (2005). « On pole and centers : cities in French style ». In : *Urban Public Economic Review* 3, p. 13–36.
- BRADWAY-LASKA, S. et D. SPAIN (1980). *Back to the city - Issues in neighborhood renovation*. Pergamon Press.
- BRAMLEY, G. et S. POWER (2009). « Urban Form and Social Sustainability : The Role of Density and Housing Type ». In : *Environment and Planning B : Planning and Design* 36.1, p. 30–48. DOI : 10.1068/b33129. eprint : <http://dx.doi.org/10.1068/b33129>. URL : <http://dx.doi.org/10.1068/b33129>.
- BRAUDEL, F. (1979). *Civilisation matérielle, économie et capitalisme*. Armand Colin.
- BREHENY, M.J. (1995). « The compact city and transport energy consumption ». In : *Transaction of the Institute of British Geographers* 20, p. 81–101.
- (1997). « Urban compaction : feasible and acceptable? » In : *Cities* 14, p. 209–217.
- BRUECKNER, J.K. (2000a). « Urban Growth Models with Durable Housing : An Overview ». In : *Economics of Cities : Theoretical Perspectives*. Cambridge : Cambridge University Press, p. 263–289.
- (2000b). « Urban Sprawl : Diagnosis and Remedies ». In : *International Regional Science Review* 23, p. 160–171.
- BRUNET, R. (1980). « La composition des modèles dans l'analyse spatiale ». In : *Espace géographique* 9.4, p. 253–265.
- BURCHELL, R.W. (1998). *Cost of Sprawl-Revisited*. Washington D.C. : National Academy Press.

- BURGESS, E.W. (1925). « The growth of the city : an introduction to a research project ». In : *The City*. R.E Park, E.W. Burgess, R.D. Mc Kenzie, eds., University of Chicago Press.
- BURTON, E. (2000). « The compact city : just or just compact ? » In : *Urban Studies* 37.11, p. 1969–2001.
- CAMAGNI, R. (1992). *Principes et modèles de l'économie urbaine*. Economica.
- CAPOZZA, Dennis R. et Robert W. HELSLEY (1990). « The Stochastic City ». In : *Journal of Urban Economics* 28, p. 187–203.
- CARREL, M. (2013). *Faire participer les habitants ? Citoyenneté et pouvoir d'agir dans les quartiers populaires*. ENS Éditions.
- CARUSO, G. et al. (2007). « Spatial Configurations in a Periurban City. A Cellular Automata-Based Microeconomic Model ». In : *Regional Science and Urban Economics* 37.5, p. 542–567.
- CARUSO, G. et al. (2011). « Morphological similarities between DBM and a microeconomic model of sprawl ». In : *Journal of Geographical Systems* 13.1, p. 31–48.
- CAVAILHÈS, J. et al. (2004). « Where Alonso meets Sierpinski : an urban economic model of a fractal metropolitan area ». In : *Environment and Planning A* 36.8, p. 1471–1498.
- CAVAILHÈS, J. et al. (2007). « Le prix des paysages périurbains ». In : *Economie rurale* 297-298.1-2, p. 71–84. URL : <http://www.cairn.info/revue-economie-rurale-2007-1-2-page-71.htm>.
- CERVERO, R. (1989). « America's Suburban Centers ». In : *The Land Use-Transportation*. — (1998). *The transit metropolis – A global inquiry*. Washington D.C. : Island Press.
- CHALAS, Y. (2003). *l'invention de la ville*. Anthropos/Economica.
- CHARMES, E. (2013). « L'artificialisation est-elle vraiment un problème quantitatif ? » In : *Etudes foncières* 162, p. 23–28.
- CHEN, Y. (2011). « Modeling Fractal Structure of City-Size Distributions Using Correlation Functions ». In : *PLoS ONE* 6.9.
- CHILDE, V. (1950). « The urban revolution ». In : *Town Planning Review* 21, p. 3–17.
- CHO, Seong-H., Neelam C. POUDYAL et Roland K. ROBERTS (2008). « Spatial analysis of the amenity value of green open space ». In : *Ecological Economics* 66.2, p. 403–416. ISSN : 0921-8009. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.10.012>. URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800907005046>.
- CHOUMERT, J. et M. TRAVERS (2010). « La capitalisation immobilière des espaces verts dans la ville d'Angers. Une approche hédoniste ». In : *Revue Economique* 61.5, p. 821–836.
- CHRISTALLER, W. (1933). *Die zentralen Orte in Süddeutschland*. Jena : Gustav Fischer.
- CHRISTIANS, L. (1986). « Spontansiedlungen - Ausdruck einer unbewältigten Gegenwart ». In : *Prozesse der Entstehung und Veränderung ungeplanter Siedlungen II*. Sous la dir. de Sonderforschungsbereich 230.
- CINYABUGUMA, M. et V. MCCONNELL (2013). « Urban Growth Externalities and Neighborhood Incentives : Another Cause of Urban Sprawl ? » In : *Journal of Regional Science* 53.2, p. 332–348.
- CLAVAL, P. (1981). *La logique des villes*. Litec.
- CLAWSON, M. (1962). « Urban Sprawl and Speculation in Suburban Land ». In : *Land Economics*.
- CLIFF, E. (2002). « The New Urbanism ». In : *Journal of Urban Design* 7.3, p. 261–291.

- COSINSCHI, M. et J.-B. RACINE (1998). « Géographie urbaine ». In : *Les Concepts en géographie humaine*. Paris : Bailly et al. (éds.), Masson, p. 1–36.
- CUNHA, A. Da (2005). « Régime d'urbanisation, écologie urbaine et développement urbain durable : vers un nouvel urbanisme ». In : *Enjeux du développement urbain durable : transformations urbaines, gestion des ressources et gouvernance*. Sous la dir. de Presses Polytechniques et UNIVERSITAIRES ROMANDES. A. Da Cunha, P. Knoepfel Peter, J.-P. Leresche et S. Nahrath, p. 12–39.
- CUNHA, A. Da et L. MATTHEY (2007). *La ville et l'urbain : des savoirs émergents*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- DAUPHINÉ, A. (2011). *Géographie fractale Fractals auto-similaire et auto-affine*. La-voisier.
- De la qualité de vie au diagnostic urbain : vers une nouvelle méthode d'évaluation – Le cas de la ville de Lyon* (2006). URL : http://lara.inist.fr/bitstream/handle/2332/990/CERTU_QualiteVie.pdf?sequence=2.
- DESMARAIS, G. et G. RITCHOT (2000). *La géographie structurale*. Paris : L'Harmattan.
- DIELEMAN, F. et M. WEGENER (2004). « Compact City and Urban Sprawl ». In : *Built Environment* 30.4, p. 308–323.
- D.PUMAIN (2004). *Agglomération*. URL : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article31#>.
- DUPUY, G. (1991). *L'urbanisme des réseaux*. Armand Colin.
- (1995). *Les territoires de l'automobile*. Paris : Anthropos.
- (1999). *La dépendance automobile. Symptômes, analyses, diagnostic, traitements*. Anthropos.
- DURANTON, G. (1997). « La nouvelle économie géographique : agglomération et dispersion ». In : *Economie & prévision* 131.5, p. 1–24.
- EBERSTAD, R., B. MÖHRING et R. PETERSEN (1910). « Architektenwettbewerb Berlin ». In : chap. Et in terra pax.
- EMANGARD, P.-H. (1994). « Espace urbain et efficacité des réseaux de province ». In : *Transports urbains* 83, p. 5–16.
- EWING, R. (1997). « Is Los Angeles-style sprawl desirable ? » In : *Journal of the American Planning Association* 63.1, p. 107–126.
- FORTIN, G. (1971). *La fin d'un règne*. Montréal : Hurtubise HMH.
- FOUCHIER, V. (1995). « La densification : une comparaison internationale entre politiques contrastées ». In : *Les Annales de la Recherche Urbaine* 67, p. 95–108.
- (2010). « La densification en débat : l'intensification urbaine ». In : *Etudes foncières*, p. 35.
- FOURQUET, F. et L. MURARD (1973). *Les équipements du pouvoir*. Paris : Union Générale d'édition.
- FRANKHAUSER, P. (1988). « Fractal aspects of urban systems ». In : *Sonderforschungsbereich 230 "Natürliche Konstruktionen"* 1.
- (1991a). « Aspects fractals des structures urbaines ». In : *L'espace géographique* 1.
- (1991b). « Fraktales Stadtwachstum ». In : *ARCH+*, p. 109–110.
- (1994). *La fractalité des structures urbaines*. Anthropos.
- (1997). « L'approche fractale. Un nouvel outil de réflexion dans l'analyse spatiale des agglomérations urbaines ». In : *Population* 52.4, p. 1005–1040.
- (2005). « La morphologie des tissus urbains et périurbains à travers une lecture fractale ». In : *Revue Géographique de l'Est* 45.3-4, p. 145–160.
- FRANKHAUSER, P. et C. GENRE-GRANDPIERRE (1998). « La géométrie fractale-un nouvel outil pour évaluer le rôle de la morphologie des réseaux de transport public

- dans l'organisation spatiale des agglomérations ». In : *les Cahiers Scientifiques du Transport* 33, p. 41–78.
- FRANKHAUSER, P. et al. (2017). « An integrated multifractal modelling to urban and regional planning ». In : *CEUS*.
- FRIEDRICH, J. (1983). *Stadtanalyse*. Westdeutscher Verlag (3e édition).
- FUJITA, M. « Urban Land Use Theory ». In : *Richard Arnott (ed.) Regional and Urban Economics, Part I*. Amsterdam : Harwood, p. 111–186.
- (1982). « Spatial Patterns of Residential Development ». In : *Journal of Urban Economics* 12, p. 22–52.
- (1989). *Urban economic theory : land use and city size*. Cambridge : Cambridge University Press.
- FUJITA, M. et H. OGAWA (1982). « Multiple equilibria and structural transition of non monocentric urban configurations ». In : *Regional Science and Urban Economics* 12.
- FULFORD, C. (1996). « The compact city and the market : the case of residential development ». In : *The Compact City : a sustainable urban form ?* Oxford : In M. JENKS, E. BURTON, K. WILLIAMS (ed.), p. 122–133.
- GAGNON, S. « Le rôle de la spatialité dans l'organisation des territoires ». In : *Sciences du territoire. Perspectives québécoises. Dans Guy Massicotte (dir.)* Québec : Presses de l'Université du Québec, p. 163–203.
- GAIGNE, C., S. RIOU et J-F. THISSE (2012). « Are compact cities environmentally friendly ? » In : *Journal of Urban Economics* 72.2, p. 123–136.
- GASCHET, F. et G. LACOUR (2002). « Métropolisation, centre et centralité ». In : *Revue d'Economie Régionale & Urbaine*, p. 49–72.
- GAULT, G. et L. BEDEAU (2007). *Les Français et leur habitat - Perception de la densité et des formes d'habitat, Principaux enseignements du sondage réalisé pour l'Observatoire de la Ville du 10 au 12 janvier 2007*, TNS Sofres : Département Stratégies d'Opinion/Société. URL : [http%20://www.observatoiredelaville.com/pdf/%20Synthese%20Sondage.pdf](http://www.observatoiredelaville.com/pdf/%20Synthese%20Sondage.pdf).
- GEROK, W. et A. PETER (1989). *Ordnung und Chaos in der unbelebten und belebten Natur*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- GIRARD, L. (1986). « Napoléon III ». In : Paris : Fayard, p. 269.
- GLAESER, E. (2011). *Des villes et des hommes*. Flammarion.
- GLAESER, E. et M. KAHN (2004). « Sprawl and Urban Growth ». In : *Handbook of Regional and Urban Economics*, p. 2481–2527.
- GOFFETTE-NAGOT, F. (2000). « Urban spread beyond the city edge ». In : *Economics of cities : Theoretical Perspectives*. Cambridge University Press, p. 318–340.
- GORDON, P. et H.W. RICHARDSON (1997). « Are compact cities a desirable planning goal ? » In : *Journal of the American Planning Association* 63.1, p. 95–106.
- GOTTMAN, J. (1961). *Megalopolis : the urbanized northeastern seaboard of the United States*. New-York : Twentieth Century Fund.
- GRIFFIN, E. (1973). « Testing the Von Thünen Theory in Uruguay ». In : *Geographical Review* 63.4, p. 500–516.
- GUIGOU, J-L. (1982). *La rente foncière. Evolution des théories depuis 1650*. Paris : Economica.
- GULIANO, G. et K.A. SMALL (1991). « Subcenters in the Los Angeles Region ». In : *Regional Science and Urban Economics* 21, p. 163–82.
- HALL, P. et K. PAIN (2006). *The polycentric metropolis : learning from mega-city regions in Europe*. London : Earthscan.

- HART, R. (2002). « Growth, environment, and culture-encompassing competing ideologies in one 'new growth' model ». In : *Ecological Economics* 40.2, p. 253–267.
- HARTOG, R. (1962). *Stadterweiterungen im 19. Jahrhundert*. Kohlhammer.
- HARVEY, Robert O. et William A.V. CLARCK (1974). « The Nature and Economics of Urban Sprawl ». In : *Land Economics* 41.1, p. 1–9.
- HAUMONT, N. (2001). *Les pavillonnaires*. L'Harmattan.
- HÉRAN, F. (2001). « La réduction de la dépendance automobile ». In : *Cahiers Lillois d'Economie et de Sociologie* 37, p. 61–86.
- HOFFMAN, A. Von et J. FELKNER (2002). « The historical origins and causes of urban decentralization in the United States ». In : *Joint Center for Housing Studies, Harvard University*.
- HOFMEISTER, B. (1980). *Die Stadtstruktur, Wissenschaftliche*. Buchgesellschaft.
- HOTZCLAW, J.W. (2000). « Smart growth – as seen from the air. Convenient neighbourhood, skip the car ». In : *The Air & Waste Management Association's 93rd Annual Meeting & Exhibition*.
- HUXTABLE, A.L. (1997). *The Unreal America : Architecture and Illusion*. New Pr ; 1st Printing edition.
- ILLICH, I. (1974). *Energy and equity*. New-York : Harper et Row.
- IRWIN, E. et N. BOCKTEAL (2006). « The Evolution of Urban Sprawl : Evidence of Spatial Heterogeneity and Increasing Land Fragmentation ». In : *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104.52, p. 20672–20677.
- JEANNIC, T. Le (1997a). « Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes ». In : *Économie et Statistiques* 307, p. 21–41.
- JEANNIC, Thomas Le (1997b). « Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes ». fre. In : *Economie et statistique* 307.1, p. 21–41. ISSN : 0336-1454. DOI : 10.3406/estat.1997.2578. URL : http://www.persee.fr/doc/estat_0336-1454_1997_num_307_1_2578.
- JOHNSON, M. (2001). « Environmental impacts of urban sprawl : A survey of the literature and proposed research agenda ». In : *Environment and Planning* 33, p. 717–735.
- JOLY, Iragaël (2005). « L'allocation du temps au transport : de l'observation internationale des budgets-temps de transport aux modèles de durées ». Thèse de doct. Lyon : Université Lumière.
- KALISKI, J. (1996). « Reading new urbanism ». In : *Design Book Review*, p. 69–80.
- KAPLAN, R. (1985). « Nature at the door step : residential satisfaction and the nearby environment ». In : *Journal of Architectural and Planning Research* 2.2, p. 115–127.
- KENWORTHY, J.R. et F.B. LAUBE (1999). « Patterns of automobile dependence in cities : an international overview of key physical and economic dimensions with some implications for urban policy ». In : *Transportation Research Part A* 33, p. 691–723.
- KOHL, J.G. (1841). *Der Verkehr und die Ansiedelungen der Menschen in ihrer Abhängigkeit von der Gestaltung der Erdoberfläche : mit 24 Steindrucktafeln*. Dresden ; Leipzig : Arnold.
- KUNZMANN, K. et M. WEGENER (1991). « The pattern of urbanization in Western Europe ». In : *Ekistics* 350-351, p. 282–291.
- KWEON, B-S. et al. (2010). « Landscape Components, Land Use, and Neighborhood Satisfaction ». In : *Environment and Planning B : Planning and Design* 37.3, p. 500–517. DOI : 10.1068/b35059. eprint : <http://dx.doi.org/10.1068/b35059>. URL : <http://dx.doi.org/10.1068/b35059>.
- La Charte d'Athènes* (1933). Editions de Minuit.

- LACAZE, J.-P. (2005). « Londres et Paris ». In : *La Jaune et la Rouge, Revue mensuelle de l'association des anciens élèves et diplômés de l'école polytechnique* 606.
- LALIBERTE, P. (2002). *Un développement urbain pour réduire concrètement la dépendance à l'automobile*. URL : <http://vertigo.revues.org/3815%20;%20DOI%20:%2010.4000/vertigo.3815%20la%20revue%20%C3%A9lectronique%20en%20sciences%20de%20l'environnement>.
- Le Petit Larousse illustré 2013* (2012). Paris : Larousse.
- LEE, C. et M. FUJITA (1992). « Efficient Configuration of a Greenbelt : Theoretical Modelling of Greenbelt Amenity ». In : *Environment and Planning A* 29, p. 1999–2017.
- LEFEBVRE, H. (1968). *Le droit à la ville*. Anthropos.
- LEFEVRE, B. et P. GIRAUD (2007). « La réduction des consommations énergétiques dans les transports urbains exige une politique foncière active L'utilisation du modèle TRANUS-SETU pour l'aide à la décision ». In : *Les Annales de la recherche urbaine* 103.1, p. 42–53.
- LEINBERGER, C. et C. LOCKWOOD (1986). « How Business in Reshaping America ». In : *The Atlantic Monthly* 258.4, p. 43–52.
- LEVINSON, D.M. et A. KUMAR (1994). « The rational locator. Why travel times have remained stable. » In : *Journal of the American Planning Association* 60.3, p. 319–332.
- LEVY, J. (1998). « Qu'est-ce que la ville aujourd'hui ? Une comparaison internationale ». In : *Cahiers d'études sur la Méditerranée Orientale et le monde turco-iranien (CEMOTI)*. 24. Problèmes Économiques.
- (2010). « Le développement urbain durable. Entre consensus et controverses ». In : *L'information géographique* 74.3, p. 39–50.
- Livre vert sur l'environnement urbain* (1990). Luxembourg : CEE.
- LONGLEY, P. et M. BATTY (1986). « Measuring and Simulating the Structure and form of cartographic lines ». In : *Papers in Planning Research* 102.
- LONGLEY, P. et al. (1991). « Implications of Planning Policy for the Geometry of Land Use Patterns : A Preliminary Analysis of the Settlement Geography of South East ». In : *Paper presented at the 7th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, Stockholm*.
- LOUISET, O. (2011). *Introduction à la ville*. Armand Colin.
- LYNCH, K. (1981). *Good City*. Cambridge (Mass.) : MIT Press.
- MANDELBROT, B. (1967). « How Long Is the Coast of Britain ? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension ». In : *Science, New Series* 156.3775, p. 636–638.
- (1983). *The Fractal Geometry of Nature*. W.H. Freeman et Co.
- MANGIN, D. (2004). *La ville franchisée : formes et structures de la ville contemporaine*. T. 1. Paris : La Villette.
- MANN, A. (1988). « Gewachsen oder geplant, zur Morphologie der mittelalterlichen Stadt und ihrer Vorgänger und Vorbilder. » In : *Stuttgarter Gesellschaft für Kunst und Denkmalpflege*.
- MAX-NEEF, Manfred A., A. ELIZALDE et M. HOPENHAYN (1991). *Human Scale Development : Conception, Application and Further Reflections*. T. 1. Apex Press.
- MEIJERS, E. et A. ROMEIN (2003). « Realizing potential : Building regional organizing capacity in polycentric urban regions ». In : *European Urban and Regional Studies* 2.10, p. 173–186.
- MERLIN, P. (2001). « Choix de transports, densités urbaines, et cadre de vie ». In : colloque "Mobilités et formes urbaines". Avignon, 6-7 décembre.

- MERLIN, P. et F. CHOAY (1996). *Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement*. PUF.
- MESEV, T-V. et al. (1993). « Fractal measurements of a classified urban image, the case of Bristol, England ». In : *European Colloquium on Theoretical et Quantitative Geography*. Budapest.
- MIESZKOWSKI, P. et S. MILLS (1993). « The Causes of Metropolitan Suburbanization ». In : *Journal of Economic Perspectives* 7, p. 135–147.
- MIGNOT, D., A. AGUILERA et J-L. MADRE (2005). « Polycentrisme des villes et mobilité ». In : *Les villes ont-elles achevé leur transition ? Actes des Seizièmes Entretiens Jacques Cartier ; Lyon ; 2 - 3 déc. 2003*. 5ème partie : Le nouveau couple ville-transport. INRETS ; Lavoisier, p. 277–297.
- MILLS, David E. (1981). « Growth, Speculation and Sprawl in a Monocentric City ». In : *Journal of Urban Economics* 10, p. 201–226.
- MILLS, E. (1967). « An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area ». In : *American Review*.
- MILLS, E.S. et L.S. LUBUELLE (1997). « Inner cities ». In : *Journal of Economic Literature* 35, p. 727–756.
- MIYAO, T. (1987). « Dynamic Urban Models ». In : *Handbook of Urban and Regional Economics*. T. 2. Amsterdam : North-Holland : in Edwin S Mills (ed.), p. 877–926.
- MOINDROT, C. (1994). « Les systèmes agraires ». In : *Encyclopédie de Géographie*, p. 463–488.
- MONTANER, J M. (1978). « Ildefons Cerdà i la Barcelona Moderna ». In : *Revista Catalonia* 3, p. 44–45.
- MORICONI-EBRARD, F. (1994). *Géopolis : pour comparer les villes du monde*. Paris : Anthropos.
- (2010). « Les villes et l'urbain : n'en jamais finir avec la définition ». In : *La France. Une géographie urbaine. Dans Laurent Cailly et Martin Vanier (dir.)* Paris : Armand Colin.
- MUMFORD, L. (2011). *La cité à travers l'histoire*. Paris : Agone.
- MUTH, R. (1969). *Cities and Housing*. University of Chicago Press.
- NAESS, P. (1996). « Urban form and energy use for transport. A nordic experience ». In : Oslo : N.T.H.
- National Geographic* (1978) 5.
- NÉCHET, F. Le (2015). *De la forme urbaine à la structure métropolitaine : une typologie de la configuration interne des densités pour les principales métropoles européennes de l'Audit Urbain*. URL : <http://cybergeog.revues.org/26753%20;%20DOI%20:%2010.4000/cybergeog.26753>.
- NECHYBA, Thomas J. et P. Walsh RANDALL (2004). « Urban Sprawl ». In : *Journal of Economic Perspectives* 18.4, p. 177–200.
- NEUMAN, M. (2005). « The Compact City Fallacy ». In : *Journal of Planning Education and Research* 25, p. 11–26.
- NEWMAN, P.W.G. et J.R. KENWORTHY (1989a). « Cities and Automobile Dependence : An International Sourcebook ». In : *Gower, Aldershot/Brookfield, VT*.
- (1989b). « Gasoline consumption and cities : a comparison of U.S. cities with a global survey ». In : *Journal of the American Planning Association* 55.1, p. 24–37.
- (1992). « Is there a role for physical planners? » In : *Journal of the American Planning Association* 58.353-362.
- (1998). *Sustainability and cities - Overcoming automobile dependence*. Washington D.C. : Island Press.

- (2000). « The Ten Myths of Automobile Dependence ». In : *World Transport Policy & Practice* 6.15-25.
- NICOT, B.-H. (1996). « Une mesure de l'étalement urbain en France, 1982- 1990 ». In : *Revue d'Économie Régionale et Urbaine* 1, p. 71–98.
- NIELSEN, M. (1995). *Le Plan des Doigts : Agglomération de Copenhague, Danemark*. URL : www.energy-cities.eu/db/copenhagen_105_fr.pdf %20www.energy-cities.eu/db/copenhagen_105_fr.pdf.
- NÛRIA, N. (2009). « L'inventor de Barcelona. "150 anys de l'Eixample" ». In : *El Periodico. Quadern del diumenge*.
- OGAWA, H. et M. FUJITA (1980). « Equilibrium land use patterns in a nonmonocentric city ». In : *Journal of Regional Science* 20, p. 455–475.
- ORFIELD, M. (1997). *Metropolitica : A Regional Agenda for Community and Stability* . Washington D.C. : Springer.
- OWENS, Susan E. (1992). « Land-use planning for energy efficiency ». In : *Applied Energy* 43.1. Rational Use of Energy in Urban Regeneration, p. 81–114. ISSN : 0306-2619. DOI : [http://dx.doi.org/10.1016/0306-2619\(92\)90075-M](http://dx.doi.org/10.1016/0306-2619(92)90075-M). URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030626199290075M>.
- PEARSON, N. (1957). « Hell is a Suburb. What Kind of Neighborhoods Do We Want ? » In : *Community Planning Review* 7.3, p. 124–128.
- PEETERS, D. et al. (2015). « Emergence of leapfrogging from residential choice with endogenous green space : analytical results ». In : *Journal of Regional Science* 55.3, p. 491–512.
- PEGUY, P.-Y. (2000). « Analyse économique des configurations urbaines et de leur étalement ». Mém.de mast. Université Lumière Lyon II.
- PEISER, R.B. (1989). « Density and urban sprawl ». In : *Land Economics* 65.3, p. 193–204.
- PERMANYER, L. (2008). « Eixample, 150 ans d'histoire ». In : Viena Edicions et mairie de Barcelone, p. 67.
- PONSARD, C. (1995). *Economie et espace. Essai d'intégration du facteur spatial dans l'analyse économique*. Paris : SEDES.
- POPENOE, D. (1979). « Urban Sprawl-Some Neglected Sociological Considerations ». In : *Sociology and social Research* 63.2, p. 255–268.
- POUTISSOU, J.-C. (2008). « L'urbanisme hier et aujourd'hui. Et demain... ? » In : *Les Publications de l'AUEG*.
- POUYANNE, G. (2004). « Des avantages comparatifs de la ville compacte à l'interaction forme urbaine mobilité. Méthodologie, premiers résultats ». In : *les Cahiers Scientifiques du Transport* 45, p. 49–82.
- PROGNOS (1976). *Qualitativer und quantitativer Wohnungsbedarf in der Freien und Hansestadt Hamburg*. Rapp. tech. Rapport.
- PROOST, S. et J-F. THISSE (2015). « Skilled cities, regional disparities, and efficient transport : the state of the art and a research agenda ». In : *International Trade and regional economics*. Sous la dir. de Centre for ECONOMIC POLICY RESEARCH. London, p. 10790.
- PUMAIN, D. (2004). *Lieux centraux*. URL : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article13#>.
- PUMAIN, D., L. SANDERS et T. SAINT-JULIEN (1989). *Villes et auto-organisation*. Economica.
- PURVIS, C. (1994). « Changes in Regional Travel Characteristics and Travel Time Expenditures in the San Francisco Bay Area : 1960-1990 ». In : *Paper submitted to*

- the Transportation Research Board for Presentation at the 73rd Annual Meeting.* Washington D.C.
- RACINE, J.-B. (1993). *La ville entre Dieu et les hommes*. Paris : Anthropos.
- RATZEL, F. (1912). *Anthropogeographie ... : T. Die geographische Verbreitung des Menschen*. Anthropogeographie. J. Engelhorns Nachf. URL : <https://books.google.fr/books?id=rvnetsyALL4C>.
- REYMOND, H. (1980). « Une problématique théorique de la géographie, playdoyer pour une choraxtie expérimentale ». In : *Problématiques de la géographie*, p. 163–262.
- ROGERS, R. (1999). *Towards an Urban Renaissance*. Rapport. Londres : Urban Task Force.
- SANDER, H. et al. (2010). « How Do You Measure Distance in Spatial Models? An Example Using Open-Space Valuation ». In : *Environment and Planning B : Planning and Design* 37.5, p. 874–894. DOI : 10.1068/b35126. eprint : <http://dx.doi.org/10.1068/b35126>. URL : <http://dx.doi.org/10.1068/b35126>.
- SANDERS, L. (1992). *Système de villes et synergétique*. Anthropos.
- SAUVY, A. (1968). *Les quatre roues de la fortune. Essai sur l'automobile*. Paris : Flammarion.
- SCHWANEN, T., M. DIJST et F. M. DIELEMAN (2004). « Policies for Urban Form and their Impact on Travel : The Netherlands Experience ». In : *Urban Studies* 41.3, p. 579–603.
- SECCHI, B. (2002). « Comment agir sur la « citta diffusa » ? » In : *Conférence (24/6) au Club Ville-Aménagement*.
- SHEN, G. (2002). « Fractal dimension and fractal growth of urbanized areas ». In : *International Journal of Geographical Information Science* 16.5, p. 419–437. DOI : 10.1080/13658810210137013. eprint : <http://dx.doi.org/10.1080/13658810210137013>. URL : <http://dx.doi.org/10.1080/13658810210137013>.
- SIMARD, M. (2012). « Urbain, rural et milieux transitionnels : les catégories géographiques de la ville diffuse ». In : *Cahiers de géographie du Québec* 56.157, p. 109–124.
- SMYTH, H. (1996). « Running the Gauntlet : a compact city within a doughnut of decay ». In : *The Compact City : a sustainable urban form ?* London : E & FN Spon.
- SOKOLOFF, B. (1999). « Barcelone ou comment refaire une ville ». In : Les presses de l'université de Montréal, p. 48.
- SPECTOR, T. et J. THEYS (1999). « Villes du XXI siècle - Entre villes et métropoles : rupture ou continuité ? » In : *Certu*. Sous la dir. de colloque de LA ROCHELLE. Paris.
- S.PETIT (2012). *Le palmarès des villes championnes du dynamisme*. URL : <http://www.lejournaldesentreprises.com/national/le-palmares-des-villes-championnes-du-dynamisme-02-07-2012-155487.php>.
- TANNIER, C. et al. (2006). « Optimisation de l'accessibilité aux aménités urbaines et rurales à travers le développement de modèles fractals d'urbanisation ». In : LIIIème Colloque de l'ASRDLF – XIIème Colloque du GRERBAM. Sfax, p. 29.
- THEYS, J. et C. EMELIANOFF (1999). « Les contradictions de la ville durable ». In : *Notes CPVS (série "équipement")* 13, p. 53–65.
- THIBAUT, S. et A. MARCHAND (1987). *Réseaux et topologie*. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- THISSE, J-F. et S. SCOTCHMER (1993). « Les implications de l'espace pour la concurrence ». In : *Revue économique* 44.4, p. 653–670.

- THOMAS, I., P. FRANKHAUSER et D. BADARIOTTI (2012). « Comparing the fractality of European urban neighbourhoods : do national contexts matter? » In : *Journal of Geographical Systems* 14.12, p. 189–208.
- THOMLISON, R. (1971). « The Nature and Rise of Cities ». In : *Social Science and the Urban Crisis*. New-York : Ficker V.B. et Graves H.S., p. 4–11.
- TORTEL, L. (2003). « Pratiques commerciales et comportements de centralités ». In : *Centralité dans la ville en mutation. Quelles perspectives d'action pour les pouvoirs publics ?* Sous la dir. de GALLETY J.C. (DIR), p. 30–43.
- TOURNEUX, F.-P. (2006). « L'évolution de l'occupation du sol dans les franges franciennes : des artificialisations concentrées plus qu'un étalement urbain? » In : sous la dir. d'A. LARCENEUX et C. BOITEUX-ORAIN. Editions Universitaires de Dijon. Chap. Paris et ses franges : étalement urbain et polycentrisme, p. 101–127.
- TRIBILLON, J.-F. (2002). *L'urbanisme*. Paris : La Découverte.
- TURNBULL, Geoffrey K. (1988). « Residential Development in an Open City ». In : *Regional Science and Urban Economics* 18, p. 307–320.
- TURNER, M. (2005). « Landscape Preferences and Patterns of Residential ». In : *Journal of Urban Economics* 57, p. 19–54.
- UNESCO (1999). « L'évolution de l'Eixample ». In : *Ildefons Cerdà, de l'origine au futur de l'urbanisme*.
- VANCO, F. (2011). « Urban forms and sustainability of transport system. An application to household urban mobility costs within Lyon city ». Theses. Université Lumière Lyon II.
- WALLAS, P. et V. SHUKLA (1993). « Employment Dynamics, Spatial Restructuring and the Business Cycle ». In : *Geographical Analysis* 25, p. 35–52.
- WEBBER, M.M. (1964). *The Urban Place and the Nonplace Urban Realm*. Philadelphia : University of Pennsylvania Press.
- WELKERS, D. (1997). « La planification aux Pays-Bas ». In : *Économie et Humanisme* 342.
- WHITE, R. et G. ENGELEN (1994). « Urban systems dynamics and cellular automata : Fractal structures between order and chaos ». In : *Chaos, Solitons & Fractals* 4.4, p. 563–583. ISSN : 0960-0779. DOI : [http://dx.doi.org/10.1016/0960-0779\(94\)90066-3](http://dx.doi.org/10.1016/0960-0779(94)90066-3). URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0960077994900663>.
- WIEL, M. (1999). *La Transition Urbaine, ou Le Passage de La Ville Pédestre à La Ville Motorisée*. Mardaga.
- (2001). *Ville et automobile*. Paris : Descartes & Cie.
- (2002). *Agencement spatial et optimisation du temps*. Rapp. tech. Rapport effectué pour la DRAST- Ministère des Transports dans le cTyradre du PREDIT, n° 00 MT 36.
- WITTEN, K. et al. (2008). « Neighbourhood access to public open space and the physical activity of residents : a national study ». In : *Preventive Medicine* 47, p. 299–303. ISSN : 0091-7435.
- WU, J. et A.J. PLANTINGA (2003). « The Influence of Public Open Space on Urban Spatial Structure ». In : *Journal of Environmental Economics and Management* 46.2, p. 288–309.
- ZAHAVI, Y. et J.M. RYAN (1980). « Stability of Travel Components over Time ». In : *Transportation Research Record* 750, p. 19–26.
- ZENOU, Y. (1996). « Marché du travail et économie urbaine. Essai d'intégration. » In : *Revue économique* 47.2, p. 263–288.

Table des figures

2.1	Plans circulaires	32
2.2	Plan de Palma Nova. <i>dèle de villes à plan-étoilé</i>	33
2.3	<i>La population urbaine avant et après la révolution industrielle</i>	34
2.4	Plan d'un quartier back-to-back houses à Leeds (HARTOG, 1962)	36
2.5	Plan théorique d'une Cité-Jardin. <i>La cité-jardin idéale, imaginée par Ebenezer Howard à la fin du XIXe</i>	37
2.6	Le projet Cerdà : la ville damier de Barcelone	39
2.7	<i>Graphique du temps de déplacement et de la distance parcourue par personne et par jours à Grenoble</i>	43
2.8	Plan urbain schématique représentant l'agglomération de la ville de Nantes et les zones urbaines alentours	45
2.9	Courbe de la densité urbaine (personnes par hectare) de Newman et Kenworthy (HÉLAN, 2001)	48
2.10	Schéma Berlin - 1910 - proposé par Eberstadt, Möhring, Petersen (EBERSTAD, MÖHRING & PETERSEN, 1910)	51
2.11	Schéma Berlin - 2012	52
2.12	le doigt de gants de Copenhague	53
2.13	La ceinture verte de Londres - 1945	54
2.14	Plan schématique de Londres - 2008	54
3.1	Schéma des cercles de Von Thünen	59
3.2	Equilibre du consommateur (CAMAGNI, 1992)	62
3.3	Schéma des trois principes de Christaller	66
3.4	Lösch : théorie des aires de marché, Cas général	68
3.5	Lösch : Politique d'accroissement de part de marché de X	69
3.6	Lösch : coûts des productions et transports	69
3.7	Lösch : Aire de marché du secteur	70
3.8	Lösch : Schéma structurel	70
3.9	<i>Vue aérienne de Los Angeles</i>	73
3.10	<i>Objet de dimension 1</i>	75
3.11	<i>Objet de dimension 2</i>	75

3.12	<i>Objet de dimension 3</i>	76
3.13	<i>Construction de la courbe de Von Koch</i>	77
3.14	<i>Aire de la courbe de Von Koch</i>	77
3.15	<i>Schéma caractérisant une ville monofractale</i>	78
3.16	<i>Schéma caractérisant une ville multifractale</i>	79
4.1	Territoire d'étude à l'état initial	89
4.2	Position du premier individu	98
4.3	Position des 4 premiers individus	99
5.1	Pôle urbain initial	107
5.2	5 premiers pôles urbains	113
5.3	Installation des pôles suivants	114
5.4	Construction de la ville monofractale aux étapes 1, 2 et 3	117
5.5	Les différentes surfaces de vert d'une ville monofractale	117
5.6	Numérotation en « escargot » de la ville polycentrique égalitaire	118
5.7	Ville polycentrique à 25 pôles et 4 services rares implantés	122
6.1	Création du premier centre urbain	126
6.2	Ville avec emboîtement des pôles urbains	128
6.3	Empiètement sur vert	128
6.4	Création du générateur	132
6.5	Equilibre entre dépenses urbaines et vertes	136
6.6	Annotation du générateur	137
6.7	Agencement de la ville à l'étape 3	148
6.8	Etape 3 d'un agencement à 8 pôles secondaires annexés	155
7.1	Comparaison d'une fractale engendrée par un processus aléatoire (gauche) avec la surface bâtie de Paris (droite)	167
7.2	Vue aérienne de Nouakchott (Mauritanie) avec une fractale hiérarchisée similaire pour les ensembles non bâties (Selon Frankhauser) (GEROK & PETER, 1989)	169
7.3	Deux villes à la morphologie urbaine hiérarchisée à l'esprit fractal	170
7.4	Mexico comparé à une fractale à base d'un rectangle	171
7.5	Evolution de la surface bâtie de Berlin (FRANKHAUSER, 1994)	172
7.6	La surface bâtie de l'agglomération de Stuttgart (FRANKHAUSER, 1994)	172
7.7	Vue satellite de Rennes	176
7.8	Schéma du bâti de la ville de Rennes	177
7.9	Pôle principal de la ville de Rennes	178
7.10	Première étape d'agencement fractal	178
7.11	Deuxième étape d'agencement fractal	179
7.12	Troisième étape d'agencement fractal	180
7.13	La distance maximale urbaine	181
7.14	Représentation cartographique de la trame verte et Bleue sur le territoire rennais	182
7.15	Vue satellite de la ville de Fès	185

Table des matières

Remerciements	iii
Sommaire	vii
Introduction générale	1
I La ville dans tous ses états	7
1 Aux origines des villes	11
1.1 Qu'est-ce qu'une ville ?	12
1.1.1 Une première définition	12
1.1.2 Une ville campagne ?	13
1.1.3 La ville, synonyme de vie	14
1.1.4 La ville, simplement un espace	14
1.2 Une définition pas si simple	15
1.2.1 Le phénomène urbain	15
1.2.2 Un sens à la ville	17
1.2.3 La ville, mélange d'organisation spatiale et humaine	19
1.3 La ville comme une version d'économie	20
1.3.1 Une approche plus large	20
1.3.2 La ville vue comme principe	21
1.3.3 Jusqu'à l'agglomération	21
2 Quand les villes se modernisent	23
2.1 La ville européenne comme modèle d'étude	24
2.1.1 Les racines de l'émergence urbaine, avant la période industrielle	24
2.1.2 La distance, enjeu fondamental des villes	25
2.2 Les raisons d'évoluer	27
2.2.1 Aux origines, une situation évidente	27
2.2.2 Des sources multiples pour des changements différents	28
2.3 La régularité comme principe de base	28
2.3.1 Une géométrie simple mais non évidente	29

2.3.2	La régularité est-elle automatique ?	30
2.3.3	Les formes géométriques régulières adaptées aux villes	32
2.4	Chassé croisé : étalement vs compacité	34
2.4.1	A l'ère industrielle, des nouveaux modèles de villes	34
2.4.2	Vers une première forme de compacité	35
2.4.3	Aérer les villes, un besoin vital	37
2.4.4	En réponse, l'étalement des villes : une solution inévitable ?	40
2.4.5	Un retour préconisée à la ville compacte : avantages et inconvénients	46
2.4.6	La ville multicritère : un compromis plausible ?	50
3	Quels modèles pour nos villes ?	57
3.1	L'organisation spatiale monocentrique	57
3.1.1	Un principe simple	57
3.1.2	La ville vue comme modèle	58
3.2	Une organisation pas si centrée	64
3.2.1	Organisation hiérarchisée des villes	64
3.2.2	Organisation polycentrique	71
3.3	Une alternative à cet affrontement, compact contre éclaté, la ville fractale	74
3.3.1	La notion de fractale	74
3.3.2	La géométrie fractale dans la ville	78
II	Conceptions de villes théoriques	83
4	Elaboration du modèle	87
4.1	Considérations relatives au terrain d'étude	87
4.1.1	Une ville théorique	87
4.1.2	Attentes et besoins des ménages	89
4.1.3	Description comportementale des ménages	90
4.1.4	Formalisation algébrique des données du modèle	91
4.2	De la nécessité de l'approche économique	93
4.2.1	La fonction Cobb-Douglas	93
4.2.2	Adaptation à notre problématique	94
4.3	Construction et fonctionnement du modèle général	96
4.3.1	Principes généraux	96
4.3.2	Une arrivée séquentielle des individus	96
4.3.3	Utilisation et application générale du modèle	97
5	Premiers modèles de villes	105
5.1	La ville pour la ville	106
5.1.1	Opération sur la fonction d'utilité	106
5.1.2	Vers l'aboutissement d'une ville compacte monocentrique	106
5.2	La version verte	109
5.2.1	Mise en équation	109
5.2.2	Une ville éclatée comme solution	110
5.3	Une égalité : deux morphologies différentes en réponse	111
5.3.1	Traduction algébrique	112
5.3.2	Une addition de pôles urbain identiques	113
5.3.3	Une ville monofractale comme nouvelle proposition	116
5.3.4	Comparaison géométrique des deux modèles	118

6	La ville multifractale, l'équilibre de la compensation	125
6.1	Une structure initiale : futur initiateur	125
6.1.1	Implantation de l'initiateur	126
6.1.2	Avant la fractalité	127
6.1.3	Création d'une structure génératrice	130
6.2	Une analyse par compensation de biens	135
6.2.1	Explication générale de cette compensation	135
6.2.2	Evaluation des pôles urbains	136
6.3	Et si la ville continue de grandir ... sainement	147
6.3.1	Une compensation maintenue à chaque étape	147
6.3.2	Un rapport urbain/vert équilibré	149
6.3.3	Jusqu'au cas individuel	152
6.4	Jouons sur les formes	154
6.4.1	Une disposition différente	155
6.4.2	Des améliorations attendues	156
6.4.3	Des carences similaires aux formes existantes	159
6.4.4	Une évolution en fonction des paramètres de préférences β et γ .	161
7	La ville fractale, du rêve à la réalité : applications possibles aux es-	165
	paces	
7.1	Une existence naturellement présente	166
7.2	Réaménager avec l'esprit fractal	173
7.2.1	Un agencement fractal des territoires existants possible?	173
7.2.2	Réflexion pour l'aménagement d'une ville existante	175
7.3	La ville fractale, des espaces futurs possibles	183
7.3.1	Pour les nouvelles villes	183
7.3.2	Les territoires en voies de développement	184
	Conclusion générale	187
	A Les fonctions d'utilités	191
	B Enveloppe d'une ville polycentrique rectangulaire	205
	Bibliographie	209
	Table des figures	222