



HAL
open science

Une approche normative de l'aménagement au Luxembourg : évaluation par la simulation

Maxime Frémond

► **To cite this version:**

Maxime Frémond. Une approche normative de l'aménagement au Luxembourg : évaluation par la simulation. Architecture, aménagement de l'espace. Université de Franche-Comté, 2015. Français. NNT : 2015BESA1025 . tel-01365316

HAL Id: tel-01365316

<https://theses.hal.science/tel-01365316>

Submitted on 13 Sep 2016

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

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

UNIVERSITÉ DE FRANCHE-COMTÉ

ÉCOLE DOCTORALE « LANGAGES, ESPACES, TEMPS, SOCIÉTÉS »

Thèse en vue de l'obtention du titre de docteur en

GÉOGRAPHIE ET AMÉNAGEMENT

UNE APPROCHE NORMATIVE DE L'AMÉNAGEMENT AU LUXEMBOURG

ÉVALUATION PAR LA SIMULATION

Présentée et soutenue publiquement par

Maxime FRÉMOND

Le 6 novembre 2015

Sous la direction de Cécile Tannier, Philippe Gerber et Pierre Frankhauser

Membres du jury :

Jean-Philippe Antoni, Professeur à l'université de Bourgogne

Eric Charmes, Directeur de recherche à l'université de Lyon, ENTPE, Rapporteur

Yves Crozet, Professeur Émérite à l'université de Lyon, IEP de Lyon, Rapporteur

Pierre Frankhauser, Professeur à l'université de Franche-Comté

Cyrille Genre-Grandpierre, Maître de Conférence HDR à l'Université d'Avignon et des pays de Vaucluse

Philippe Gerber, Chargé de recherches au Luxembourg Institute of Socio-Economic Reseach (LISER)

Cécile Tannier, Chargée de recherche CNRS

*À mon grand-père,
Charles Decaen (1924 - 2001)*

Avant-propos

Cette recherche doctorale a été financée par le Fond National de la Recherche Luxembourgeoise (COSMELUX, COunter urban Sprawl in the METropolitan area of LUXembourg : a spatial modeling application to reduce car dependence - AFR MARP n° 18).



Résumé

Une approche normative de l'aménagement au Luxembourg.

Évaluation par la simulation

Au Luxembourg, les pratiques de mobilité quotidienne des frontaliers et des résidents engendrent une forte dépendance à l'automobile. Ce processus favorise l'étalement urbain alors même que le pays a pour objectif de répondre à une demande en logements conséquente tout en limitant la consommation foncière. Dans ce contexte, l'objectif central de cette thèse est de donner de nouveaux éclairages sur la relation entre les formes du développement résidentiel et les mobilités quotidiennes qui y sont associées. Pour y parvenir, une démarche normative d'aménagement a été adoptée. Celle-ci consiste à proposer de nouvelles normes d'aménagement, en fonction d'un objectif donné. Des règles quantitatives sont les instruments de mise en application des normes.

L'application d'une telle démarche normative se fait en trois étapes dans la thèse : i) la conception de scénarios de développement résidentiel à l'horizon 2030. L'introduction d'une règle d'urbanisation fractale permet la simulation de formes de développement résidentiel réalistes ; ii) la simulation des scénarios de développement résidentiel, à l'aide de la plateforme de simulation MUP-City et iii) l'évaluation des configurations spatiales simulées en termes d'accessibilité spatiale aux aménités rurales et urbaines (calculs SIG), et de durabilité des comportements de mobilité quotidienne (simulations au moyen de la plateforme MobiSim).

Dans la plupart des scénarios, l'accessibilité spatiale à un large panel d'aménités (commerces, services, espaces verts et de loisirs, stations de transports en commun) est améliorée par rapport à la situation initiale observée en 2010. Les données de simulation des mobilités quotidiennes, par la prise en compte des comportements individuels des agents dans le modèle, confirment l'intérêt des scénarios simulés. La part modale de la voiture, qui est de 70% en 2010, diminue en effet dans tous les scénarios. Elle atteint 58% en 2030 pour l'un des scénarios. Parallèlement, les distances et le budget temps accordés à la marche à pied augmentent fortement.

Les résultats de ce travail de thèse montrent l'intérêt d'une démarche normative appliquée aux questions d'aménagement du territoire, notamment en ce qui concerne le développement résidentiel. Les résultats soulignent également l'intérêt d'une modélisation fractale des formes urbaines, tant au niveau local (quartier, commune) que global (région urbaine).

Mots-clés : aménagement, planification, mobilité quotidienne, formes urbaines, et simulations spatiales

Abstract

A normative planning approach for the Luxembourg.

Assessment based on spatial simulation

In Luxembourg, daily mobility patterns of both cross-border workers and residents lead to a strong car dependence. This process encourages urban sprawl. Meanwhile the country is faced to increasing housing needs but has to reduce land consumption. Within this context, the main objective of this thesis is to throw light about the relation between residential growth patterns and daily mobility behaviors. In this way, a normative planning approach has been adopted. This approach proposes new planning norms for achieving a series of planning objectives. Quantitative rules are the tools used to apply the norms.

Three steps have been done : i) conception of residential growth scenarios for 2030. By applying a fractal rule, we obtain realistic residential development patterns; ii) spatial simulation of residential growth scenarios, with the MUP-City platform and iii) assessment of simulated spatial configurations regarding both the spatial accessibility to rural and urban amenities (GIS calculations) and the sustainability of daily mobility behaviors (simulations with the MobiSim platform).

In most of the scenarios, spatial accessibility to a various range of facilities (retails, services, green spaces, leisures and public transport stations) is increased compared to the initial state observed in 2010. Simulated daily mobility, by taking into account individual behaviors of agents in the model, confirms the interest of the proposed scenarios. The modal share of car use, which was 70% in 2010, decreases in all cases. It reaches 58% in 2030 for one scenario. Simultaneously, the distances and the time-budget of pedestrians strongly raise.

This doctoral research shows the interest of a normative approach applied to spatial planning issues, particularly in terms of residential development. The results obtained also underline the interest of fractals for modelling urban forms, both at local (neighborhood, municipality) and global (urban region) scales.

Keywords : planning, prospective, daily mobility, urban forms, spatial simulation

Remerciements

Si d'aucun ont des aventures, il est possible d'affirmer que la thèse est une aventure. Le résultat de ce (long) parcours et qui fait l'objet des quelques pages suivantes n'aurait jamais pu ressembler à ce qu'il est sans les personnes et les évènements dont j'aimerais faire part ici.

Le projet de cette thèse est né lors de mon stage chez Roger White à Terre-Neuve, a pris forme à Besançon avant un départ pour le Luxembourg à Differdange, puis Esch-sur-Alzette, suivi d'un double aller-retour Thionville - Besançon - Thionville - Besançon. La fin de la rédaction, et ces derniers mots ont vu le jour à Paris.

Je tiens à remercier tout particulièrement Cécile Tannier, pour avoir cru en moi dès le début du projet, pour ses encouragements et la transmission de sa rigueur scientifique. Je remercie Philippe Gerber pour avoir bien voulu de moi au Luxembourg, et qui s'est occupé du suivi quotidien tout en permettant de précieux moments de réflexions ferroviaires. Je remercie également Pierre Frankhauser, pour son intérêt toujours grandissant pour mes travaux et sa hauteur de vue. Avec trois directeurs tels que vous, on peut vraiment dire que j'ai eu un encadrement fractal.

Je remercie Éric Charmes et Yves Crozet d'avoir accepté de relire cette thèse et d'avoir bien voulu être les rapporteurs de ce travail, tout comme Cyrille Genre-Grandpierre qui a bien voulu assurer la présidence du jury.

Je tiens à saluer Jean-Philippe, qui m'a accompagné dans cette bataille comme dans d'autres auparavant, et qui je l'espère, sera de celles à venir.

Je tiens également à remercier l'ensemble de mes collègues du LISER, anciennement CEPS/INSTEAD, tant au niveau de l'administration (Patrick, Evelyne, Mireille et Sonia) que Gaby pour ces précieux services, l'équipe MOBIL-T (Olivier, Sylvain, Marc), et mes camarades doctorants grand-ducaux (Omar, Nadja, Julien, Nora, Pierre et Jocelyn). Je pense également à l'équipe du projet MOEBIUS et à l'ensemble des partenaires du projet.

J'aurais également de nombreux remerciements à adresser à mes amis de ThéMA, premier laboratoire de France. Je pense notamment à Jean-Christophe aka John-Christopher Crazyhead, notre raïs à nous, à FP, pour son accueil à mon arrivée de Normandie et ses précieux conseils, et à Thomas pour les précieux moments de sagesse. Je salue bien bas ma famille bisontine (Emilie, Vincent,

Mehdi, Valentine, Yohan, Marc et Sophie). J'en profite pour embrasser l'AGFC et toute la clique des géographes comtois et bisontins. Au sein de ce joyeux petit monde, une grosse bise est adressée à mes partenaires de bureau, Joanne et Nicolas, parce que la bomba délivrée.

J'adresse mes pensées les plus sincères aux camarades aixois, à Samuel, Seb, Fred, Yohan, Lionel, Joël, Guillaume, Adèle, Claire et Marion. Je n'oublie pas non plus mes amis normands, vous me manquez bien souvent.

Je remercie Geoffrey Caruso pour les bons moments et les échanges passionnants au Luxembourg, en France ou en Italie. Je ne remercierai jamais assez Cyrille pour le coup de pouce salvateur.

Je remercie profondément Gilles, sans qui rien de tout cela ne serait possible.

J'aimerais partager une partie de ce travail avec Guillaume, mon ami, mon frère, pour sa force de tout instant et la passion qui a animé nos échanges.

Cette thèse n'aurait pas été possible sans le recours incessant aux CFL, à la SNCF, à la RATP et à l'ensemble des AOT de France et de Navarre. Elle n'aurait pas été possible non plus sans la fréquentation de certains bars, de leurs patrons, personnels et consommateurs, parmi lesquels le Kanal Bar, l'Excelsior, le Shamrock, le 1802 et le Bar de l'U.

J'aimerais enfin saluer mes proches, qui m'ont aidé, toujours soutenu, guidé et supportés dans mon parcours et dans mes choix. Merci à Claire et Jean-Baptiste, aux loulous Clément(ine), à Éliane et Léone, à mes parents et à mes sœurs, Marjolaine et Clarisse.

Mes derniers vœux, les plus sincères, les plus chaleureux et aussi mes plus plates excuses vont à Constance.

Table des matières

	Page
Avant-propos	3
Résumé	4
Abstract	5
Remerciements	6
 INTRODUCTION GÉNÉRALE	 19
 PREMIÈRE PARTIE : POUR UN AMÉNAGEMENT NORMATIF	 41
Introduction de la première partie	41
 Chapitre 1. Objectifs, normes et règles dans l'aménagement urbain	 43
1. La norme, entre l'objectif et la règle	45
1.1. L'objectif : un but	46
1.2. La norme : une construction socio-historique	47
1.3. La règle : un outil	50
1.4. La mesure de l'objectif, les indicateurs	51
2. Objectifs, normes, règles dans les utopies urbaines	53
2.1. La cité antique	56
2.2. L'utopie industrielle et le mouvement hygiéniste	60
2.3. La cité-jardin ou la ville à la campagne	66
2.4. L'idéal libertaire	73
2.5. Chez Le Corbusier	76
2.6. La Nouvelle Economie urbaine	79
2.7. <i>Transit-Oriented Development</i>	82

2.8.	<i>Smart Growth</i> et Nouvel Urbanisme	89
3.	La ville fractale, un modèle normatif	98
3.1.	La notion de fractalité	98
3.2.	La fractalité des villes	99
3.3.	Description du modèle de la ville fractale	101
4.	Conclusion du chapitre 1	108
Chapitre 2. Le Grand-Duché de Luxembourg et les particularités de son développement		
résidentiel 111		
1.	Présentation du Grand-Duché de Luxembourg	112
1.1.	La géographie physique du Luxembourg	112
1.2.	La géographie administrative du Luxembourg	114
2.	L'aménagement du territoire au Luxembourg, un bref historique	117
3.	Les grands objectifs de l'aménagement du territoire au Luxembourg	121
3.1.	Répondre à la demande en logements	121
3.2.	Limiter la consommation foncière	134
3.3.	Réduire la dépendance à l'automobile	143
4.	Les normes et les règles dans les documents de planification au Luxembourg	151
4.1.	Le découpage territorial et la hiérarchie des centres	151
4.2.	L'intégration du transport et du développement urbain ou rural	155
4.3.	La qualité de vie et l'accessibilité aux aménités	157
4.4.	La politique de développement local	157
4.5.	Une nouvelle politique de mobilité durable	160
5.	Conclusion du chapitre 2	165
Conclusion de la première partie		167
DEUXIÈME PARTIE : SIMULATION DE SCÉNARIOS DE CROISSANCE RÉSIDEN-		
TIELLE		171
Introduction de la deuxième partie		171

Chapitre 3. Conception de scénarios de croissance résidentielle pour le Luxembourg :	
proposition méthodologique.....	173
1. Les projections démographiques	178
2. La densité bâtie	181
3. Forme urbaine globale et forme urbaine locale	182
3.1. Forme urbaine locale	182
3.2. Forme urbaine globale	183
4. L'accessibilité aux aménités	184
5. Les restrictions de construction	185
6. Conclusion du chapitre 3	185
Chapitre 4. Modélisation fractale et normative de la croissance résidentielle	187
1. Positionnement du modèle MUP-City par rapport aux modèles existants	188
1.1. La recherche d'une solution optimale à l'aide d'analyses multicritères	189
1.2. Simulation des changements d'occupation du sol à l'aide d'automates cellulaires, les <i>LUCC</i>	192
1.3. Le choix de MUP-City	194
2. MUP-City, un outil d'aide à la décision basé sur l'application de normes d'aménagement à différentes échelles spatiales	195
2.1. MUP-City, un modèle cellulaire	195
2.2. Un modèle multi-échelles	197
3. La transcription des normes d'aménagement en règles dans le modèle	198
3.1. La règle d'urbanisation fractale	199
3.2. La règle de proximité aux espaces non-bâti	200
3.3. La règle de proximité à la route	202
3.4. La règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne, N1	203
3.5. La règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire, N2	207
3.6. La règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare, N3	210

3.7.	La règle d'accessibilité aux transports en commun	211
3.8.	La règle d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs, de fréquentation quotidienne N1, hebdomadaire N2 et mensuelle ou plus rare N3	212
3.9.	L'agrégation des différentes valeurs d'accessibilité en une valeur synthétique d'évaluation	214
4.	Les données nécessaires pour la simulation de scénarios de croissance résidentielle	217
4.1.	Les données géographiques de base	218
4.2.	Les données liées aux aménités	219
5.	La résolution spatiale	225
6.	La simulation de formes urbaines réalistes	227
7.	Mise en œuvre informatique	228
8.	Conclusion du chapitre 4	230
Chapitre 5. Évaluation de la pertinence des règles d'aménagement au regard des objec- tifs visés		233
1.	Evaluation de la situation initiale (2010) : accessibilité des bâtiments résidentiels aux aménités urbaines et rurales	234
2.	Les tests des règles de MUP-City	236
2.1.	Influence de la dimension fractale sur les cellules potentiellement urbanisables	236
2.2.	Influence des règles d'accessibilité sur les cellules identifiées comme potentiellement urbanisables	239
2.3.	Influence de la règle de proximité aux espaces non-bâti sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	241
2.4.	Influence de la règle de proximité au réseau routier sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	242
2.5.	Influence des règles d'accessibilité aux commerces et services sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	245
2.6.	Influence de la règle d'accessibilité aux transports en commun sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	249
2.7.	Influence de la règle d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	252

3.	Synthèse de l’Influence de la modification des seuils de distance acceptable sur l’évaluation des cellules potentiellement urbanisables	257
4.	Sensibilité des résultats de simulation à différentes priorités dans les règles d’accessibilité	260
4.1.	Favoriser l’accessibilité aux commerces et services	261
4.2.	Favoriser l’accessibilité aux transports en commun	262
4.3.	Comparaison des deux séries de pondérations	263
5.	Conclusion du chapitre 5	266
 Chapitre 6. Le Grand-Duché de Luxembourg à horizon 2030 : différents scénarios de croissance résidentielle		269
1.	Les scénarios de croissance résidentielle simulés avec MUP-City	271
1.1.	Le scénario IVL, dit scénario « de référence »	271
1.2.	Le scénario FOD - <i>Fractal Oriented Development</i>	274
1.3.	Les scénarios de variation des projections démographiques	278
1.4.	Le scénario de la densité	282
1.5.	Les scénarios de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle	285
1.6.	Le scénario de la disponibilité foncière	290
2.	Les scénarios issus du projet MOEBIUS	293
2.1.	Les 5 variables des scénarios MOEBIUS	294
2.2.	Les scénarios de croissance résidentielle de MOEBIUS	295
2.3.	Synthèse des résultats issus des scénarios MOEBIUS	297
3.	Conclusion du chapitre 6	299
 Conclusion de la deuxième partie		303
 TROISIÈME PARTIE : COMPARAISON ET ÉVALUATION DES SCÉNARIOS DE CROISSANCE RÉSIDEN- TIELLE		307
 Introduction de la troisième partie		307

Chapitre 7. Comparaison des scénarios à l'aide d'indicateurs d'accessibilité spatiale	311
1. L'accessibilité spatiale pour comparer les scénarios de croissance résidentielle	311
1.1. La distance de chaque cellule potentiellement urbanisable à l'aménité la plus proche	313
1.2. Le nombre moyen d'aménités localisées à une certaine distance de chaque cellule potentiellement urbanisable	322
1.3. La distance moyenne minimale de chaque cellule à un ensemble d'aménités différentes	328
2. Comparaison avec les résultats obtenus à partir des scénarios MOEBIUS	335
2.1. La distance minimale à la gare ferroviaire la plus proche	335
2.2. Le nombre d'arrêts de bus localisés à moins de 1 000 mètres de chaque cellule potentiellement urbanisable	337
2.3. La distance moyenne minimale de chaque cellule à chaque type d'aménité	338
3. Conclusion du chapitre 7	341
Chapitre 8. Comparaison des scénarios à l'aide d'indicateurs de mobilité quotidienne	345
1. Application d'un modèle économique d'allocation résidentielle	346
1.1. Le choix résidentiel	346
1.2. Principes de la maximisation de l'utilité d'une localisation résidentielle à l'aide d'un modèle d'enchère	347
1.3. Description méthodologique du modèle	350
2. Résultats du modèle d'allocation résidentielle	356
2.1. Le scénario IVL	357
2.2. Le scénario FOD	359
2.3. Le scénario des 23 communes	361
3. Application d'un modèle de simulation des mobilités quotidiennes, MobiSim - MQ	363
3.1. Génération, répartition temporelle et distribution des déplacements	364
3.2. La distribution des déplacements selon les motifs	365
3.3. Choix modal	372
3.4. Affectation des déplacements et calibrage du modèle de mobilité quotidienne	373

4.	Les résultats de la comparaison des scénarios en matière d'indicateurs de mobilité quotidienne	378
4.1.	Le nombre de trajets	378
4.2.	Le partage modal	379
4.3.	Les distances parcourues	386
4.4.	Le budget-temps moyen (par agent)	387
4.5.	La vitesse moyenne en voiture	391
5.	Conclusion du chapitre 8	394
	Conclusion de la troisième partie	397
	CONCLUSION GÉNÉRALE	401
	ANNEXES	411
	LISTE DES ILLUSTRATIONS	424
	LISTE DES TABLEAUX	435

INTRODUCTION GÉNÉRALE

PENSER la ville d'aujourd'hui, c'est caresser un idéal dans un futur incertain. Depuis des millénaires, pratiquement dès l'apparition du phénomène urbain, la conception urbaine, dans sa forme et dans son fonctionnement, fait l'objet de profondes réflexions et de remises en cause. Pourtant, à l'heure où désormais plus de 50% de la population mondiale vit en ville¹, il semblerait qu'aucune théorie de la ville ne fasse suffisamment l'unanimité pour asseoir des convictions quant au devenir des espaces urbains et à leur croissance. La ville s'est transformée au cours des grandes périodes de l'histoire, devenant tour à tour : néolithique, antique, médiévale, moderne, contemporaine voire futuriste ; elle prend des aspects différents selon les continents : africaine, asiatique, américaine, européenne, océanique. Souvent, on lui prête volontiers des couleurs : blanche (Tel-Aviv en Israël, La Rochelle en France, Essaouira au Maroc, Lisbonne au Portugal, Alger en Algérie, Casablanca au Maroc), bleue (Johdpur en Inde, Concarneau en France, Kōkeqota en Chine, Juzcar en Espagne), rose (Erevan en Arménie, Jaipur en Inde, Toulouse en France), noire (Angers² et Clermont-Ferrand en France), rouge (Le Mans et Limoges en France, Bologne en Italie, Marrakech au Maroc), jaune (Izamal au Mexique, Jaisalmer en Inde), grise (Brest en France, Hanovre en Allemagne, Aberdeen en Écosse) ou bien verte (Besançon en France, Vienne en Autriche, Bursa en Turquie, Brazzaville au Congo, Sarh au Tchad).

La ville porte une multitude d'adjectifs se rattachant ou non à des notions et des concepts géographiques : adaptable, carrée, circulaire, close, compacte, connectée, créative, creuse, dense, désirable, diffuse, disloquée, émergente, émietée, éphémère, étalée, éternelle, étudiante, fantôme, fédérale, fermée, fertile, fonctionnelle, fortifiée, franchisée, frugale, générique, globale, idéale, intelligente, invisible, impériale, jardin, jumelles, lumière, malléable, merveilleuse, miniature, mobile, moche, moderne, monocentrique, morte, musée, nature, neuve, nouvelle, nuage, numérique, optimale, oubliée, parfaite, passante, périphérique, polycentrique, poreuse, post-carbone, radieuse, reine, ronde, royale, sainte, satellite, sensible, sensuelle, sonore, souterraine, tampon, technologique, tentaculaire, tridiastatique, végétale, verte, verticale, vide, vierge...

Pour l'heure, il semblerait que la ville se développe essentiellement selon un modèle libéral montrant ses limites (?), de telle sorte qu'une crise de l'urbanisme semble émerger (???). La pro-

1. Même si pour Paola Viganò (2013), il s'agit surtout d'une urbanité diffuse.

2. Angers est également surnommée ville verte et ville blanche.

duction de la ville serait en panne, parce que les normes sur lesquelles elle s'appuie ne sont pas ou plus les bonnes. Fabriquer la ville passe par la mise en place de règles, et force est de constater qu'il n'en existe aucune qui ne fasse l'unanimité. Depuis la publication du rapport Bruntland en 1987, et surtout le sommet de la Terre à Rio de Janeiro en 1992, l'objectif est pourtant clair, il faut atteindre la ville durable. La durabilité appliquée à l'urbanisme, appuyée par les travaux précurseurs de l'écologie urbaine découlant de l'École de Chicago au début du XX^{ème} siècle (?), évolue même vers un paradigme. Le développement durable devient alors l'objectif principal, décliné en objectifs intermédiaires qui forment un relatif consensus : réduction des émissions de gaz à effets de serre, préservation des ressources naturelles ou encore limitation de la consommation foncière. Toutefois, de nombreux débats animent la communauté scientifique et l'ensemble de la société sur les conditions de réalisation de l'objectif de durabilité. La planification spatiale, « soutenue par une forte volonté de qualifier l'espace urbain » (?), se doit d'apporter des éléments de réponse aux problèmes soulevés par le modèle actuel de développement urbain et notamment résidentiel.

Dans cette introduction générale, nous reviendrons justement sur les déterminants de la croissance résidentielle actuelle, avec une attention particulière accordée au monde occidental et à la France plus particulièrement. Ceci nous conduira à détailler brièvement les problèmes engendrés par le modèle urbain dominant. Dans un second temps, un éclairage portera sur le lien entre la ou les formes de ce développement résidentiel et le fonctionnement de la ville. Enfin, le dernier volet de cette introduction présentera le questionnement adopté pour cette recherche doctorale, explicitera le positionnement scientifique retenu à l'aune de ce questionnement, pour finir sur une proposition méthodologique en vue de répondre, ou tout au moins de fournir des arguments, de manière à nourrir ces interrogations.

Les déterminants de la croissance résidentielle

Croissance démographique et augmentation du nombre de ménages

L'élément fondamental sur lequel repose la croissance résidentielle est l'augmentation de la demande en logements. Cette demande en logements provient de l'accroissement constant du nombre de ménages au cours des dernières décennies. La hausse du nombre de ménages est due à deux phénomènes principaux.

D'abord, une partie des pays européens ont une croissance démographique, en raison d'une balance positive des soldes naturels et migratoires. Pour la France ou l'Irlande, la croissance dé-

mographique est majoritairement due à une forte natalité. Pour un pays comme le Luxembourg, la croissance démographique provient d'un solde migratoire nettement excédentaire, du fait d'un attrait toujours fort pour la main-d'œuvre émigrée d'origine essentiellement européenne.

D'autre part, depuis la fin des années 1960 et le début des années 1970, la société connaît un certain nombre de changements qui conduisent inexorablement à la baisse généralisée de la taille des ménages et à l'explosion de leur nombre. L'espérance de vie a fortement progressé ; le taux de mortalité diminuant, le nombre de ménages comportant des personnes âgées, seules ou en couples, grandit. La diminution des taux d'union combinée à la hausse des taux de séparation génère un nombre plus important de ménages composés d'une seule personne ou de familles monoparentales (?). Les taux de fécondité, du fait du développement des méthodes contraceptives, baissent et les couples ont moins d'enfants qu'auparavant.

L'ensemble de ces dynamiques démographiques constitue donc le moteur de la demande en logements, toujours plus conséquente.

L'habitat individuel, une préférence des ménages

En France en 2006, 56,3% des logements étaient des maisons individuelles (?). D'après une enquête menée par le CREDOC en 2008 sur les *Conditions de vies et Aspirations des Français*, le pays compte 49% de propriétaires, la moyenne européenne surpasse ce seuil avec 65% de propriétaires et près de 80% dans les pays de l'est (Roumanie, Lituanie, Slovaquie...) (Eurostat, 2007). Près de la moitié (47%) des locataires et des logés à titre gratuit aspirent à la propriété individuelle. 83% de ces aspirations se tournent vers l'habitat individuel et pour une minorité, en faveur des logements collectifs. Aux États-Unis, l'idéal de la maison individuelle, avec un large terrain situé dans les zones périphériques est toujours préféré par une majorité de citoyens américains (?).

Derrière la notion de propriété, et a fortiori d'une maison individuelle, se cache des comportements sociétaux, comme la volonté d'accéder à un statut social, ou l'accomplissement personnel (ou du ménage) au travers d'un mode de vie. On peut affirmer que cette préférence est "absolue", dans la mesure où les ménages n'effectuent pas vraiment d'arbitrage en tenant compte d'autres paramètres, tels que les coûts de transports, la proximité à des commerces ou service ou l'éloignement potentiel au réseau social (?).

Depuis les années 1980, les surfaces habitables moyennes augmentent constamment, de 82m² en 1984 à 91m² en 2006. Cette hausse est essentiellement à mettre au crédit de la hausse des surfaces en maisons individuelles (de 96 à 111m² entre 1984 et 2006), alors que la surface des appartements est restée stable (65-66m²) (?). Comparativement, la surface moyenne habitable est de 85m² au Royaume-Uni, de 115m² aux Pays-Bas et de 137m² au Danemark (?).

De l'autre côté de l'Atlantique, le livre de Sarah ?, *The Not So Big House*, pose la question de la surface des logements aux États-Unis, en affirmant que vivre bien ne signifie pas vivre grand. La publication de cet ouvrage sera même suivie d'un mouvement éponyme, puis de son extension *Not So Big Life*, sorte de vision à l'encontre de la démesure et du consumérisme nord-américain.

Or, l'accession à la propriété en périphérie des villes, notamment en France, a encouragé le processus d'étalement urbain (?). Cette accession résulte d'une suite de mécanismes institutionnels qui conduiront peu à peu à un désengagement étatique dans la localisation des logements et la production de logements sociaux. Déjà en 1919, la loi Cornudet, en définissant les « plans d'aménagement, d'embellissement et d'extension » fixait le cadre juridique du lotissement. La loi Loucheur de 1928 a ensuite permis aux ménages les moins aisés d'accéder à des logements bon marchés (les HBM). Entre 1956 et 1964, le salaire des ouvriers augmentait de 25% et le salaire des employés de 32%. En 1969, Alain Chalandon, alors ministre de l'Équipement, fort d'un sondage sur les aspirations résidentielles des ménages intitulé *les désirs des Français en matière d'habitation urbaine*, qui ont accordé leurs faveurs à la maison à 72%, lance ce qui deviendra le Concours Chalandon. Ce concours national a pour objectif principal de « libérer l'urbanisme » afin d'augmenter le rythme de construction, de satisfaire un maximum de citoyens tout en diminuant les coûts de logements. Le résultat de cette opération se solde par un échec relatif et l'érection de seulement 70 000 maisons³, les *chalandonnettes*, mal jugées plus tard pour leur mauvaise qualité malgré une architecture moderne pour l'époque. La réussite du projet résidera tout de même dans la dynamisation du plan épargne logement, et constituera donc une possibilité supplémentaire pour les ménages d'accéder à la propriété.

En 1995, l'instauration du prêt à taux zéro, nouveau mécanisme financier instauré de manière institutionnelle, facilitera l'accession à la propriété des ménages les plus modestes. Ces nouvelles localisations des ménages s'effectueront aux marges des villes (?) voire du « front périurbain » (?), à l'encontre de l'effet de revitalisation des centres qui était escompté.

3. Contre une attente de plusieurs centaines de milliers.

Contrairement à la pensée proudhonienne, la propriété ne constitue pas un problème en soi face à la question du développement résidentiel. La surface dédiée à l'urbanisation (en hectares par habitant) a pratiquement triplé depuis 1970 (?), ce qui amène à penser que ce type de développement résidentiel consomme plus d'espace que nécessaire. L'autre enjeu majeur du processus de dispersion de la ville dans la campagne, formant un *tiers espace* (?) communément appelé périurbain, réside dans les modes de vie qui accompagnent ce mode d'habiter (?).

Parallèlement, on peut constater un certain nombre de conflits d'usages, par exemple entre les agriculteurs et les néo-ruraux, qui conduisent à la perte des identités villageoises ou l'avènement de la culture de l'entre-soi. Dans la campagne du sud de la France, entre Aix-en-Provence et Marseille, ? ont même affaire à de véritables « colons », car ces arrivants ne partagent pas le même mode de vie ni les mêmes valeurs que ceux qui les précédaient.

Un mode de vie automobile

L'*homo-suburbanus* (?) base son mode de vie sur une utilisation intensive de l'automobile, son logement étant loin de ses destinations quotidiennes : travail, commerces, services ou loisirs. Les espaces périurbains sont en effet généralement dépourvus de commerces ou services (?). Cause et conséquence de l'usage de l'automobile, la ville devient alors le siège d'une individualisation des comportements. Cet individualisme s'exprime dans les pratiques spatiales (?), il fait partie intégrante du *pack périurbain* (?). L'individualisation des comportement avait déjà été observé par le sociologue Georg Simmel à la fin du XIX^{ème} siècle, mais il était davantage dû au mode de vie urbain qu'à la voiture.

Les pratiques associées au mode de vie périurbain (?) nécessitent presque obligatoirement l'usage de l'automobile (?), entraînant le phénomène de dépendance automobile (?). Cette dépendance est à la fois une cause et une conséquence de la dispersion spatiale des lieux d'activités, dans la mesure où le modèle résidentiel caractérisé par l'étalement urbain résulte d'une fabrication par et pour la voiture. L'avènement de l'automobile comme moyen de transport entretient les conjectures de ? et ? qui, à partir d'une analyse des budgets-temps de transports, permettent d'affirmer que les temps passés dans les déplacements quotidiens n'augmentent pas depuis des décennies, voire des siècles. Ils totalisent en moyenne une heure, que ce soit à pied, à cheval, en bicyclette, en transports en commun ou en voiture. Ce sont les distances parcourues quotidiennement qui augmentent considérablement, de quelques centaines de mètres ou quelques kilomètres jusqu'à la première moitié du XX^{ème} siècle, la distance moyenne parcourue quotidiennement en France atteint 19 kilomètres et

aux États-Unis près de 43 kilomètres (?). On assiste donc à une dilatation de l'espace-temps, par la quête de la vitesse dans les déplacements qui pousse les individus à aller toujours plus loin, plus vite et plus souvent (??), tout en élargissant leurs champs des possibles (?). Le résultat final de l'équation spatiale et temporelle des familles périurbaines consiste en un éclatement des espaces de vie (?), accentué par un zonage fonctionnel des territoires.

D'ailleurs, l'automobile est plus qu'un mode de déplacement. Aux États-Unis, où le taux de motorisation est le plus élevé du monde, la voiture forme le marqueur de la réalisation individuelle, de l'idéal de liberté, de l'autodétermination et de la maîtrise de l'espace et du temps (?). L'automobile est source d'accomplissement. Avant l'apparition du covoiturage et de l'auto-partage, la voiture est une propriété, prolongement de l'habitat. En France, l'automobile constitue le deuxième poste de dépenses des ménages après le logement (?). C'est aussi un objet de fierté, de conquête, qui poussera Jean-Pierre Orfeuillat à affirmer : « Je suis l'automobile, ce formidable outil sans lequel les villes, leur image et leur pollution, les vacances et la redécouverte de la nature, les rêves des petits garçons comme les symboles notabiliaires des directeurs de tout acabit ne seraient pas ce qu'ils sont » (?). La voiture est également un loisir, une passion comme le montre le nombre d'activités qu'elle suscite : collection, tuning, courses de vitesse ou de régularité, rallye, l'entretien, la mécanique, les vacances itinérantes le long d'un parcours routier, etc.

Comme le développement résidentiel pavillonnaire, la dépendance automobile a longtemps profité d'un soutien institutionnel indéfectible, le temps du tout *bagnole*. Dès 1963 aux États-Unis, le rapport Buchanan conclut que la ville doit s'adapter à la voiture et non l'inverse. Cette affirmation formera par la suite le point de départ et de justification de l'urbanisme de dalle, dans lequel le niveau 0, le sol « naturel » est accordé à la voiture, les cheminements piétons ou les infrastructures de transports en commun se répartissant dans la verticalité. Toujours aux États-Unis, le réseau routier a intégralement fait l'objet de financements par l'État fédéral, ce qui tend à prouver une forme de soutien étatique du mode de transport individuel. En France, si les conditions de financement ne sont pas aussi simples, la loi de désenclavement, incluse dans la loi Pasqua de 1995, constitue un symbole de l'engagement gouvernemental à faciliter les déplacements automobiles. Le premier paragraphe de l'article 17 de la loi n° 95-115 du 4 février 1995 d'aménagement et de développement du territoire stipule : « en 2015, aucune partie du territoire français métropolitain continental ne sera située à plus de 50 kilomètres ou de 45 minutes d'automobile d'une autoroute ou d'une route expresse à deux fois deux voies en continuité sur le réseau national [...] ».

Ce type de dispositifs a fait émerger l'idée d'une France à vingt minutes (?) qui, partant de l'idée

louable de desservir le plus de population possible dans un minimum de temps (surtout vrai pour les équipements publics et de santé), entraîne également le mirage d'une quasi-ubiquité, en encourageant les déplacements longs et rapides pour rejoindre un maximum de lieux dans un temps de plus en plus réduit.

Avec le caractère inéluctable de la croissance résidentielle (à moins d'instaurer une politique contre la natalité ou une fermeture totale des frontières) et le modèle actuel de développement résidentiel (fondé sur les deux piliers que constituent l'habitat individuel et l'automobile), apparaissent de nombreuses conséquences dont le caractère néfaste devient de plus en plus unanime.

Les problèmes posés par la croissance résidentielle actuelle

Les principaux enjeux soulevés par les questions de croissance résidentielle sont multiples : sociaux, économiques ou environnementaux (?). En ce sens, les conséquences de la production contemporaine du développement résidentiel touche aux trois sphères du développement durable.

Les conséquences environnementales

Les premières conséquences, probablement les plus irrémédiables, concernent l'environnement (?). Le développement résidentiel, accompagné des infrastructures de transport, induit des pertes de connectivité écologique en modifiant l'habitat naturel d'un grand nombre d'espèces animales, bouleversant ainsi leurs cycles de vie, de reproduction ou d'alimentation, et perturbant par la même occasion une partie non négligeable de la chaîne alimentaire (??). De plus, le mitage urbain se localise principalement dans les franges rurales des agglomérations, et engendre des pertes d'espaces naturels, forestiers et agricoles.

Les conséquences de la circulation en ville sur la qualité de l'air sont indéniables (?); désormais, il ne fait aucun doute que l'étalement urbain aggrave ce phénomène (?). La pollution de l'air, notamment par les émissions de gaz à effet de serre et de particules fines engendre également des impacts de plusieurs niveaux. Les espèces vivantes, y compris les humains, en surface sont touchées par les gaz, non mortels instantanément mais provoquant de graves maladies respiratoires sur le long terme. Les gaz à effet de serre, parmi lesquels le CO₂, sont aussi à l'origine des changements climatiques constatés depuis plusieurs années. La présence de ces gaz dans l'atmosphère accentue également les effets des îlots de chaleur urbains, provoquant ainsi des hausses locales de

températures ayant des conséquences climatiques à l'échelle régionale (?).

La forme du développement résidentiel demeure fortement associée aux consommations énergétiques qui en dépendent. L'usage massif de la voiture par une grande partie de la population induit une production et une consommation de matières fossiles grandissante. En plus des matériaux nécessaires à la production des automobiles et des réseaux routiers, les besoins en carburants à l'échelle mondiale ne cessent de croître, malgré les innovations technologiques consacrées à l'amélioration du moteur à combustion et le développement de moteurs alternatifs (électrique, hybride, hydrogène...). Des formes urbaines plus compactes et plus denses conduiraient à des consommations énergétiques moindres (??), même si des résultats contradictoires lient la question des formes urbaines et des mobilités qui y sont associées et viennent modérer les avantages de la densité urbaine (????).

De même, les besoins sans cesse grandissant de confort spacieux (?) des logements ne facilitent pas les économies d'énergie, en gaz et en électricité notamment : malgré des normes de constructions de plus en plus drastiques, le marché du logement occasionne des rejets de gaz à effet de serre. Ainsi l'industrie manufacturière, la construction et le résidentiel tertiaire représentent un cinquième des sources d'émissions de gaz à effet de serre dans l'Union Européenne (?).

Enfin, le développement résidentiel possède des impacts conséquents sur les réseaux hydrographiques (?). D'abord, la croissance urbaine nuit à la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines en provoquant des rejets de polluants. Un développement urbain dispersé conduit automatiquement à une artificialisation des sols plus grande, ce qui bouleverse le cycle de l'eau en perturbant le ruissellement et en déviant le cours naturel des réseaux hydrographiques.

Les conséquences économiques

Le développement résidentiel a un coût économique qui ne semble pas être minimisé dans le cadre d'une urbanisation diffuse (?). L'étalement urbain pourrait toucher à l'efficacité, voire l'efficience, de ce qui concerne le bon fonctionnement de la ville. Ces effets sont relativement difficiles à démontrer, mais quelques travaux, notamment d'économistes, arrivent à approcher les bienfaits des économies d'agglomération sur les coûts de transports (individuels et de marchandises), tant pour les ménages que pour les entreprises (?). L'allongement des distances parcourues augmente mathématiquement les consommations énergétiques et l'usure des véhicules dans les déplacements.

ments.

Il existe également un coût économique issu des politiques publiques à mener dans le but d'offrir un niveau satisfaisant de services à la population. Le coût de ces infrastructures pourrait croître à mesure de l'éloignement au centre (?), ce qui touche un grand nombre d'aspect de la vie quotidienne : réseaux routiers, électriques, d'assainissement, d'adduction en eau potable, enlèvement des ordures ménagères, transports publics et ramassage scolaire. Ces services étant en partie financés par les contribuables, le coût croissant de ces services diminue par répercussion le budget des ménages. ? nuance ce propos en affirmant que les ménages des zones périurbaines paient davantage de taxes locales et assument donc une grande partie du différentiel économique des infrastructures.

Même s'il existe des déterminants économiques à l'étalement urbain de la part des ménages (?), le calcul reste cependant difficile à effectuer.

Un récent rapport américain, publié par l'organisme ? chiffre le coût total annuel de l'étalement urbain à mille milliards de dollars pour les États-Unis. Cette valeur, résolument symbolique, agite les sphères médiatiques et scientifiques dans l'optique de juger de la véracité des calculs. Il semblerait que l'absence de point de comparaison, du fait de l'absence de référentiel⁴, souligne la difficulté de l'exercice.

Dans une moindre mesure, l'excès de trafic automobile génère des inconvénients d'ordre pratique, consommateurs de temps et donc susceptibles d'avoir un impact sur le fonctionnement économique, tels que la congestion et les problèmes de stationnement.

Les conséquences sociales

Les conséquences d'un développement résidentiel mal maîtrisé se mesurent aussi au niveau social. La différence de prix des loyers et des biens immobiliers entre la ville centre, accessible aux plus aisés, et l'appel de la périphérie pour des raisons économiques, génère ostensiblement de la ségrégation socio-spatiale (??). Cette ségrégation s'exprime géographiquement par l'absence de mixité sociale et la précarisation des ménages les plus éloignés de leurs lieux d'activités du fait d'une plus grande sensibilité aux coûts de transports et l'obligation pour les ménages où les deux actifs doivent

4. Il n'existe pas de deuxième pays strictement identique en tout point qui applique un modèle inverse.

être le plus souvent bi-motorisés.

Les dérives les plus importantes de ces processus ont fait l'objet de plusieurs travaux, notamment sur des cas aux États-Unis de *gated communities*⁵, où la ségrégation est poussée à son paroxysme dans la recherche d'un entre-soi maximal. Ces formes résidentielles pourraient représenter 10 à 30% des nouvelles constructions aux États-Unis (?). Si ces villes-forteresses demeurent marginales en Europe, les exemples se multiplient depuis la fin des années 1990, comme dans le sud de la France autour des agglomérations de Toulouse et de Cannes (?).

Le choix de la forme urbaine conditionne aussi les questions d'équité et de justice sociale. En effet, la tradition d'égalité territoriale appliquée en France sous la forme d'une amélioration de l'accessibilité aux infrastructures routières, n'est pas toujours synonyme d'égalité sociale. Les personnes dans l'incapacité d'accéder à la voiture individuelle, pour des raisons économiques ou de santé, se retrouvent peu à peu écartées d'une offre territoriale en équipements, commerces, services ou loisirs qui est de plus en plus localisée en périphérie. Cet aspect forme le revers de la dépendance automobile, c'est-à-dire l'incapacité pour des individus ou des ménages d'accéder à la même offre que les individus ou les ménages motorisés (Dupuy, 1999).

Les conséquences sur la santé et la qualité de vie

L'augmentation de la circulation automobile conduit à d'autres effets inhérents à la qualité de vie et à des questions de santé parmi lesquels : l'accidentologie (proportionnelle au volume du trafic), les nuisances sonores (?) ou le lien établi entre le surpoids et l'obésité (notamment infantile) et la forme du développement résidentiel (??).

Les aspects esthétiques

Finalement, le développement résidentiel pavillonnaire peut générer une forme d'uniformisation paysagère, du fait d'un manque de variété architecturale dans les constructions. Dès 1953, Peter Blake, célèbre architecte américain, prônait une approche régionaliste de la construction, dans un pays où le patrimoine architectural contemporain est presque entièrement importé d'Europe. Ainsi, en France, dans une allocution datant du 20 octobre 1977, Giscard d'Estaing, alors président de la république, défendait une politique nationale de l'architecture tenant compte des spécificités locales du bâti (?). La fin des années 1970 en France marque alors le début d'une vague néo-régionaliste,

5. Communautés fermées

avec la reprise d'éléments symboliques et identitaires dans les détails architecturaux des habitations (colombages normands, maisons basques aux volets rouges).

Au niveau individuel, la recherche d'une intimité paysagère se matérialise souvent par la plantation de haies autour du terrain de manière à abriter le jardin de la vue des personnes extérieures à l'habitation. Cette même recherche d'intimité peut cependant être satisfaite par d'autres formes paysagères. Par exemple un arbre au premier plan visuel de l'habitation offre une impression de protection tout aussi appréciable. Ces formes paysagères alternatives, valorisées d'un point de vue esthétique (??), nécessitent un soutien, une incitation et une anticipation de la part des pouvoirs publics.

La relation entre forme du développement résidentiel et fonctionnement urbain

La question de la forme urbaine est primordiale dans l'appréhension du fait urbain. Pour autant, l'expression *forme urbaine* revêt un caractère polysémique (??). Certains auteurs abordent la forme par le contenant, d'autres en considérant à la fois des aspects relevant du contenu et du contenant. Dans cette thèse, le parti pris est de considérer le contenu comme relevant non de la forme, mais du fonctionnement urbain.

La forme urbaine, éléments de définition

La forme pour les mathématiciens est géométrie, c'est-à-dire la description des relations topologiques entre différents éléments. Albert ? définit ainsi l'analyse de la forme par l'analyse de la complexité du plan des villes. Les physiciens utilisent la notion de forme afin de décrire les arrangements des atomes dans les molécules ou les molécules entre elles. Les économistes ont une vision assez abstraite et souvent peu détaillée de la forme urbaine, en l'assimilant par exemple au gradient centre-périphérie de la densité de population ou de revenus par commune.

En géographie, la forme urbaine revêt un caractère multi-scalaire. Les matériaux de construction, la pierre, le béton, le goudron, les métaux, le bois et les végétaux sont les éléments constitutifs des bâtiments (des maisons, des appartements, des bureaux, des usines), des routes et des espaces verts (jardins et parcs) (?). Agencés ensemble, les bâtiments, les routes et les espaces verts délimitent des allées, des rues, des avenues. Un ensemble de voies constitue un îlot et plusieurs îlots dessinent un hameau, un village ou une ville voire une mégalopole. On considère donc que l'unité minimale

de la forme urbaine est le bâtiment, entouré par son espace vert, ou le tronçon routier dans le cadre d'analyses morphologiques du réseau. À partir des années 1950, et en provenance d'Italie, l'étude de la forme urbaine a débouché sur la morphologie urbaine (?). De fait, les chercheurs ont enrichi les approches architecturales par l'ajout des notions de site et de situation, ajoutant ainsi une dimension multi-échelle à la forme urbaine. La composition de la forme urbaine varie selon les auteurs. Progressivement, une théorie de la forme urbaine est apparue. ? en décrit les objectifs en déclarant que « la démarche de la théorie de la forme urbaine consiste donc à concevoir un niveau d'organisation abstraite sous-jacent à celui des formes architecturales observables ». Pour autant cette définition est assez controversée, et certains chercheurs tendent à nuancer les positions à adopter vis-à-vis de la forme urbaine. Cette dernière ne serait peut-être pas une théorie, mais tout au plus un concept, que l'on pourrait redéfinir comme la structure spatiale (?). La théorie (si elle existe) de la forme urbaine revêt un caractère assez normatif des patterns qui la compose contrairement à une approche qui en est purement descriptive.

Pour ?, la forme urbaine se compose de cinq éléments : le plan (la macro-forme ou le maillage, suivant l'échelle), le parcellaire, le site, le bâti et l'usage du sol. La forme urbaine caractérise donc ce qui relève du contenant. ? ajoute à sa définition de la forme des aspects de contenu, la forme urbaine comprend alors six éléments : les personnes et les activités, l'interaction sociale, le réseau de rues et les mailles viaries, le parcellaire, la topographie et le relief du site, l'usage du sol et la troisième dimension (vent, soleil, polluants, température...). Si un certain nombre d'items sont communs aux deux définitions (parcellaire, site, usage du sol), il subsiste des différences significatives. La forme urbaine telle que décrite par Salat semble comprendre plus d'éléments "extérieurs", puisqu'il ajoute les personnes et leurs liens, ainsi que des variables climatiques et naturelles. Il ne faut pas confondre non plus forme urbaine et tissu urbain. La forme induit la question de l'armature, du squelette, tandis que le tissu fait référence à la fois au contenant (tissu bâti), ou au contenu⁶ (tissu social). En ce sens le tissu urbain est un phénomène tandis que la forme reste un élément qui caractérise ce phénomène.

On constate donc que la notion de forme urbaine est vaste et qu'un certain flou existe dans sa définition. Peut-être que l'expression la plus à même de décrire l'objet de notre étude est celle que les anglos-saxons appellent le *design urbain* (?) et que Merlin et Choay (1988) ont défini, de façon un peu radicale, comme une réflexion autour d'une possible « mauvaise répartition et usage déficient des ressources foncières ». Nous admettons ainsi que nos recherches en matière de forme urbaine revêtent un aspect normatif.

6. On se rapproche ici davantage de la définition donnée par Salat, qui est celle du tissu urbain, avec ses activités.

Le fonctionnement de la ville

Si la forme urbaine se définit comme le contenant, le fonctionnement doit être vu comme le contenu de cette forme. Le contenant induit, permet, engendre des fonctionnements qui dépendent des caractéristiques de la forme urbaine.

La définition de la forme urbaine, telle que formulée par Kevin **?** introduit directement la question du fonctionnement ; « la forme urbaine résulte de l'organisation spatiale d'individus effectuant des activités, des flux spatialisés de personnes, de biens et d'informations qui en découlent, et des aspects physiques visant à contraindre ces actions, comme des clôtures, des revêtements, des voies, des atmosphères ou des objets ⁷ ».

? traitent de la construction de la ville (dans sa forme) dans ce qu'ils définissent comme un manuel du projet urbain. Ils soulignent, au travers de leur définition de l'urbanisme, l'enjeu principal de la création de formes urbaines en lien avec les modes de vie des résidents. « À l'échelle urbaine, c'est moins la forme des bâtiments ou leur style qui compte mais leur capacité à créer des tissus urbains compatibles avec [...] ce que nous savons des pratiques qui s'y rattachent ». Pour les deux architectes, sans négliger le contenant, c'est surtout le contenu qui importe, le lien entre forme et fonction apparaît non sans une certaine subtilité.

Les sociologues urbains font partie des premiers à avoir intégré ce lien entre la forme et le fonctionnement. **?**, dans son ouvrage *La production de l'espace* affirme que « l'espace social est un produit (social) », puis plus loin, il ajoute que « la pratique spatiale d'une société secrète son espace, elle le pose et le suppose dans une interaction dialectique. Elle le produit entièrement et sûrement en le dominant et en se l'appropriant ». En écrivant cela, Lefebvre prend le parti d'une pratique spatiale, d'un fonctionnement qui dépasse la forme, la transcende. On rejoint ici les théories anglo-saxonnes de la relation entre *space*, l'espace contenant, et *place*, le lieu intégrant à la fois le contenant et le contenu. Dix ans plus tard, son homologue Raymond **?**, dans un livre intitulé *La forme et le sens dans la société*, semble moins catégorique, il s'interroge : « la forme reçoit-elle un sens ou donne-t-elle un sens ? » Si la dualité des deux notions ne pose pas de problème majeur, la difficulté réside dans la capacité à définir précisément cette relation et mieux encore, à mesurer son intensité. Le couple *ville offerte / ville pratiquée*, tel que défini par **?**, résume assez bien la différence entre le po-

7. Traduction faite de « [...] settlement form is the spatial arrangement of persons doing things, the resulting spatial flows of persons, goods, and information, and the physical features which modify space in some way significant to those actions, including enclosures, surfaces, channels, ambiances, and objects ».

tentiel, une accessibilité à un service, proche de son domicile, et le fait de s'y rendre suffisamment fréquemment pour en déduire une pratique.

Le point de départ de la *Space Syntax* ? réside dans la conceptualisation de ce lien entre la société urbaine et l'espace qu'elle occupe. Il y a un déterminisme des trajets effectués par les individus résultant de leur angle de vision. Le triangle de ?, représente le rapport de l'intensité des interactions spatiales en fonction de la dispersion des activités dans l'espace et en fonction des caractéristiques des réseaux. Les auteurs suggèrent donc une approche de l'interaction entre transports et occupation du sol qui passe par les moyens technologiques de déplacements à disposition. La boucle de rétroaction de ? détaille à nouveau ce lien entre transports et urbanisme, sans pouvoir donner des pistes afin de mesurer ce lien. En guise de synthèse sur ce point, ? déclare « Nous tentons de trouver des lois pour l'urbanisme. Ce qui est clair jusqu'à maintenant est que les voies, les espaces et le dessin des bâtiments dépendent tous d'une certaine connectivité. Ces connexions essentielles sont très difficiles à décrire. ⁸ »

Dans notre cas, on limite la relation entre forme et fonctionnement au rapport de la répartition des activités urbaines (le développement résidentiel) et les pratiques spatiales qui en découlent, au travers de l'accessibilité spatiale ou des comportements de mobilité quotidienne. Nous avons vu plus haut que la conceptualisation de la forme urbaine induit une certaine normativité. Nous intégrons ce principe normatif au lien étudié entre la forme du développement résidentiel et le fonctionnement urbain. Ce positionnement implique une réflexion autour de la notion d'aménagement normatif.

Approche normative de l'aménagement

L'aménagement normatif dans le monde anglo-saxon

L'aménagement normatif, expression rarement utilisée en français, a déjà fait l'objet de quelques définitions, et constitue le sujet de plusieurs publications marquantes en aménagement dans le monde anglo-saxon (????). D'après l'introduction faite par Watson dans son article de 2002, il existe trois théories normatives de l'aménagement : la *communicative planning theory*, *The Just City*, et la *Multicultural theory*. Nous nous appuyons essentiellement sur la première, les deux suivantes n'étant que des déclinaisons plus ou moins radicales de ce courant. Ces mouvements, pour la plu-

8. Traduction effectué par Tannier (2009) de : « We are trying to find laws for urban design : what is clear so far is that paths, spaces, and the design of buildings all depend on some type of connectivity. These essential connections are very difficult to describe. »

part émergeant dans les années 1990, viennent en réponse à la vision de l'aménagement technocratique, rationalisante, et d'ingénierie des années 1950 et 1960 (?). L'aménagement était souvent politisé, puisqu'il s'agissait pour les aménageurs⁹ de convaincre les acteurs locaux du bien-fondé de leur démarche et de faire valider leurs plans (?). L'aménageur est un maillon de la chaîne d'acteurs impliqués dans la prise de décision. En conséquence, il est possible d'affirmer que l'aménageur tient une part de responsabilité dans le traitement de certains problèmes sociétaux (?). Norton ? avait déjà identifié ce processus, en écrivant que « la question n'est pas de savoir si l'aménagement possède une dimension politique mais plutôt de savoir quelles sont les politiques appliquées [...] ». Les plans sont en fait des programmes politiques [...] au sens large, puisqu'ils représentent des idéologies politiques, des moyens de mettre en place différentes conceptions d'une vie meilleure »¹⁰. Être aménageur, c'est de toute façon faire de la politique puisqu'il participe à la décision de « qui obtient quoi, quand et comment »(?). ? prolonge en affirmant que le travail de l'aménageur est de combler la distance entre les élus politiques et la société civile. L'aménageur est un expert, comme le médecin qui guérit, ou le magistrat qui défend la loi ; il y a derrière l'aménagement, l'idée de prescription. On retiendra ici la définition de l'aménageur donnée par ?, qui dit que « l'aménagement est le métier dont l'objectif majeur est de lier les connaissances théoriques avec les politiques publiques sur le terrain »¹¹.

Pour aller plus loin, d'après la *communicative planning theory*, le but de l'aménageur est d'arriver à faire discuter les individus autour d'une problématique, de générer de la discussion, et de permettre l'émergence d'un consensus, tant sur l'objectif que sur les moyens d'y parvenir. L'importance de la communication en aménagement est liée à l'existence d'un paradigme théorique, même si ce point de vue fait l'objet de contestations (?). L'approche normative constitue donc une solution à condition de résoudre certaines questions d'ordre éthique (?). Selon Habermas, et comme nous le verrons en introduction du premier chapitre, l'approche normative renvoie aux valeurs, à l'idée d'un bon, d'un bien ou d'un mieux (?). En s'inspirant des travaux en science de la communication d'Habermas, John Forester a établi que la communication est l'élément essentiel de l'aménagement (??). Le dialogue entre les différents acteurs semble être une solution afin de parvenir à des objectifs communs, par la forme d'un consensus. Pour obtenir ce consensus, il faut avoir le même système de références, partager les mêmes mots, phrases ou expressions ainsi que s'accorder sur les notions pouvant prêter à des interprétations différentes selon le contexte (?). Par exemple, la

9. L'aménageur est employé ici au sens général, c'est-à-dire qu'il englobe tout ou partie du système d'acteurs en charge de l'aménagement (chercheurs, techniciens, lotisseurs, bureaux d'études, urbanistes, etc.).

10. Traduction de « The question is not whether planning will reflect politics, but whose politics will it reflect. [...] Plans are in reality political programs. [...] In the broad sense they represent political philosophies, ways of implementing different conceptions of the good life. »

11. Traduction de : « Planning is that professional practice that specifically seeks to connect forms of knowledge with forms of action in the public domain. »

démarche de construction de scénarios d'aménagement forme un outils fondamental dans la communication entre les acteurs. Dans un souci d'objectivité, les instruments sont des outils à disposition des aménageurs qui permettent d'étayer leur proposition. Les modèles (économiques, économétriques, géographiques), les statistiques, la cartographie ou encore les systèmes d'information géographique sont autant de moyens que l'aménageur peut utiliser. Ils peuvent à la fois servir de support de discussion (produire de l'information pour faire réagir le public visé), d'outils d'aide à la décision, ou être directement source de décision. Pour autant, le choix et le paramétrage des outils n'est pas neutre et nécessite une justification de la part du scientifique ou de l'aménageur qui les utilise (?). Comme le rappelle ? *value-free planning is impossible*, l'aménagement « objectif » est impossible à atteindre.

L'aménagement normatif en Belgique

En langue française, l'aménagement normatif est une expression notamment utilisée en Wallonie¹². Elle désigne, par opposition à l'aménagement opérationnel, l'ensemble des normes et des règles qui « encadrent l'initiative humaine sur le territoire ». L'aménagement opérationnel (ou actif) désigne quant à lui « l'ensemble des mesures permettant aux pouvoirs publics d'agir [...] sur des parties du territoire qui nécessitent une intervention à caractère prioritaire », comme la rénovation urbaine, la reconversion des anciens sites industriels ou le développement rural¹³. Dans son ouvrage de 2004, Hagelstein prolonge l'idée législative du cadre normatif. « On peut définir la notion de réglementation d'urbanisme comme l'ensemble des mesures à caractère normatif qui régissent l'organisation et la composition spatiale du milieu urbanisé ; on se centrera ici sur la réglementation urbaine se rapportant principalement aux agglomérations et aux ensembles bâtis des villes et des villages. La réglementation d'urbanisme englobe par conséquent l'ensemble des règles et des plans qui régissent la composition urbaine. Mais elle inclut aussi les textes législatifs généraux qui instaurent l'urbanisme comme outil d'une action normative collective » (?). À l'aide de cette définition appliquée à la réglementation belge, Hagelstein relie l'aménagement normatif à la question de la forme urbaine et du contenant.

Les conditions d'application d'une démarche normative en aménagement

La vision de l'aménagement, a fortiori normative, ne saurait se résumer à l'application de textes officiels. La première étape de l'aménagement normatif est de définir l'objectif à atteindre, qui doit

12. L'aménagement normatif constitue le premier livre du Code wallon de l'aménagement du territoire, de l'urbanisme et du patrimoine, mise en œuvre par le Département de l'Aménagement du territoire et de l'Urbanisme.

13. Définitions données par l'Union des Villes et des Communes de Wallonie, www.uvcw.be

faire l'objet d'un consensus. Si la quête d'un développement durable ne laisse que très peu de place à la contestation, les moyens pour y parvenir ne semblent pas unanimes. L'aménagement normatif doit également contenir une part d'utopie critique. Partant du constat d'un essoufflement du modèle actuel de croissance résidentielle, notamment en ce qui concerne la production de logements et la planification de leur localisation, il s'agit de proposer une vision alternative. Cette dernière n'est pas forcément située en opposition totale face aux processus déjà en cours, mais doit au moins compléter le modèle existant dans une compensation d'une ou plusieurs de ses faiblesses observées. Parallèlement, l'aménagement normatif doit reposer sur l'utilisation d'instruments, d'outils, de mesures. Si l'aménageur doit être le plus objectif possible, il doit également justifier son ou ses propos par des données, indicateurs, statistiques ou cartes. L'emploi de tels outils implique forcément des choix, de paramètres, de modélisation, ce qui rend le travail d'expertise non neutre et orienté. Même si l'aménageur n'est pas à l'origine de la définition des objectifs, des normes et des règles, il y participe du fait de son expertise. L'aménageur n'est pas élu, donc ne décide pas mais doit tenir compte, dans son travail, de la demande sociale et des aspirations politiques. La mise en place effective d'une démarche normative d'aménagement nécessite donc la participation et la prise en compte de l'avis du plus grand nombre d'acteurs impliqués dans le projet et ne peut donc se concevoir sans communication ni démarche participative.

L'application d'une démarche normative en aménagement doit être l'objet d'une volonté politique forte, du moins pour la définition de l'objectif (des objectifs). Les responsables politiques de la mise en place de la durabilité doivent être élus démocratiquement, tout en étant mandatés par leurs électeurs (?). Le changement de normes ou leur redéfinition n'est pas un acte anodin et pose réellement la question du problème à résoudre et des moyens mis en œuvre pour résorber ce (ou ces) problème(s). Ces moyens peuvent être de nature législative ou financière mais peuvent également tenir du discours et des éléments de langage (voir le paragraphe sur les règles). L'adoption d'une approche normative doit se faire dans le respect des textes législatifs en vigueur et ne doit pas compromettre les droits civiques ou tout autre liberté fondamentale. Si l'aménagement normatif fait l'objet d'une politique nationale, voir internationale (pour l'objectif de durabilité), les normes et les règles peuvent différer d'un pays à un autre, ou d'une région à une autre. En effet, le choix de la forme urbaine (locale, pour le volet morphologiques, et global, dans le choix des zones à urbaniser en priorité) ne peut s'effectuer qu'en tenant compte des spécificités géographiques, sociales, politiques, religieuses ou institutionnelles de l'espace considéré. D'un cas à l'autre, la topographie, les infrastructures, les pratiques et comportements peuvent différer et nécessiteront la mise en place de règles spécifiques. L'approche normative appliquée à l'aménagement du territoire, et plus particulièrement à la croissance résidentielle, pose alors la question de la transposabilité spatiale des

objectifs, des normes et des règles. La spécificité des sites et situations des villes rend l'emploi d'une règle unique tout à fait impossible (?). Toutefois, il est possible de tenir compte des normes locales, en adaptant les règles et les seuils. Par exemple, dans la plupart des pays occidentaux, la circulation en automobile est une norme, mais elle assez différente entre la banlieue de Detroit aux États-Unis, où l'usage de la voiture est indispensable et par conséquent intensif, et le centre d'Amsterdam aux Pays-Bas, où la possession d'une voiture n'est pas à exclure mais son usage peut être moins indispensable au quotidien.

Critiques de l'approche normative

Depuis les années 1960, les démarches d'aménagement ont fait l'objet d'une profonde remise en cause, tant sur le plan théorique que pratique, pour leur rationalité trop normative (?). Fondées, ces critiques ont motivé l'émergence de pensées alternatives de la planification (??), allant parfois jusqu'à rejeter le principe normatif au profit d'autres modèles d'action prétendument plus ouverts à l'expérimentation et laissant plus de temps aux débats, au travers des démarches participatives (??). Ainsi, rapportant les propos de Lévy, Merlin (1988) révèle les inquiétudes de l'architecte suisse face aux discours basés sur les modèles de villes ou les utopies normatives essentiellement fondées sur un retour à la ville du XVIII^{ème} siècle. ? pense que certains objectifs de la croissance urbaine « doivent être replacés à l'intérieur d'une théorie de la composition urbaine pour éventuellement déboucher sur des propositions normatives constructives ». Pourtant, il est possible qu'il n'existe aucune « théorie globale de la morphologie urbaine capable d'offrir une base conceptuelle pour l'application à la planification »(?). En d'autres termes, il est probable qu'une « bonne » forme de ville existe, mais elle n'a pas encore été trouvée.

Proposition d'un modèle normatif du développement résidentiel

Comme le montre le schéma de la figure 1, l'adoption d'une politique normative d'aménagement doit être à même de satisfaire les besoins et les aspirations des ménages tout en répondant aux objectifs de l'aménagement du territoire, notamment en matière de durabilité. Dans les pays occidentaux, cette charge est déléguée aux grands groupes du secteur de la construction, aux bâtisseurs, qui n'ont pas pour but de concilier aspirations résidentielles et politique durable d'aménagement. Il existe des préconisations de formes de villes ; ce sont les utopies urbaines (?). Ces utopies nourrissent à la fois la pensée urbanistique et les aspirations sociales des individus, en se plaçant dans un contexte social, historique, technologique, institutionnel ou religieux donné. Entre utopies urbaines, aspirations des ménages et préconisations d'aménagement, une approche normative de l'aménagement urbain peut jouer un rôle d'interface (cf figure 1).

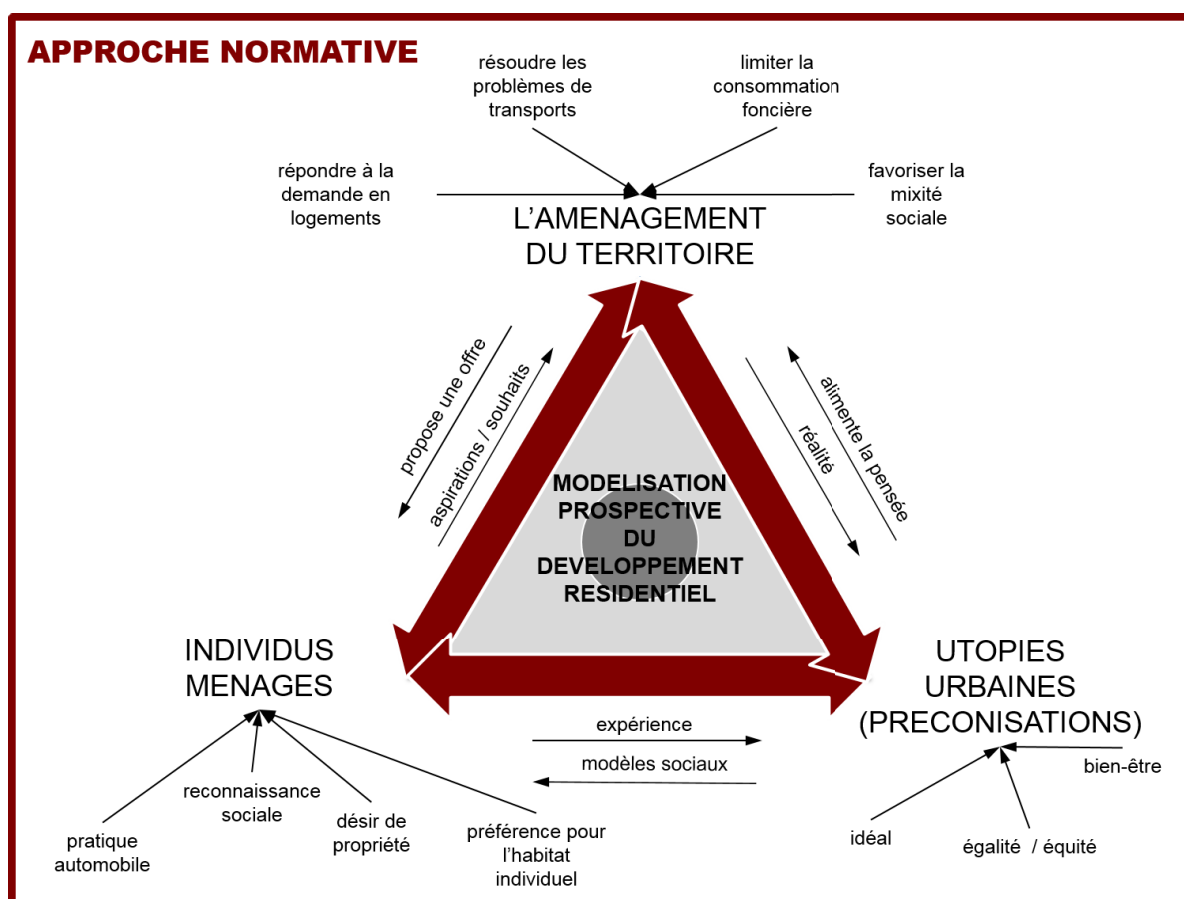


FIGURE 1 – L'approche normative, une interface entre les aspirations individuelles, les politiques d'aménagement et les préconisations de formes de villes

En combinant certaines normes et règles contenues dans les utopies urbaines et certaines préconisations actuelles d'aménagement, il est possible de faire des propositions alternatives de formes

de développement résidentiel dans une démarche prospective. L'imagination et la mise à l'épreuve de ces futurs possibles s'effectuent au travers d'une méthodologie basée sur la simulation spatiale. Une telle démarche s'inscrit dans l'idée que, de l'utopie à la prospective, il n'y a qu'un pas (?).

Il existe un grand nombre d'utopies urbaines et de modèles de villes théoriques, dont certains seront décrits dans le premier chapitre de la thèse (cité antique, utopies industrielles, utopies hygiénistes, cité-jardins, *Transit-Oriented Development...*). Parmi eux, le modèle de la ville fractale (Frankhauser, 1994) synthétise, de manière originale, différentes normes et règles d'aménagement a priori contradictoires. La ville fractale est multi-dimensionnelle, du fait de sa géométrie bien sûr, mais aussi par les multiples aspects dont elle tient compte. Le polycentrisme, dont le modèle s'inspire fortement au travers de la théorie des lieux centraux, permet la mise en place d'un modèle global en intégrant une hiérarchie urbaine faite de villes, d'agglomérations, de villages et de hameaux. Avec l'interpénétration des espaces bâtis et des espaces naturels environnants, le modèle fractal évite le caractère « fermé » des utopies traditionnelles (limitées par l'usage du cercle, de l'ellipse ou du carré). La ville fractale offre un accès aisé à une grande variété d'aménités (commerces, services, loisirs), tout en favorisant le report modal vers la marche à pied ou les transports en commun. Il est alors possible de répondre à une diversité de préférences des ménages en matière de choix résidentiels et de modes de vie.

La démarche de simulation prospective de scénarios de développement résidentiel adoptée dans la thèse nous permet de tester différentes normes et différentes règles d'aménagement, tentant de répondre aux enjeux de développement auxquels le Luxembourg doit faire face. Du fait de sa taille restreinte, de son organisation spatiale et politique, mais surtout des dynamiques démographiques qui le caractérisent, le Grand-Duché est un exemple intéressant sinon idéal, pour l'application de l'approche normative de l'aménagement adoptée dans notre recherche doctorale. Sur le plan méthodologique, cette démarche comporte deux grandes étapes : 1) la simulation de scénarios de développement résidentiel conçus sur la base d'un schéma conceptuel de construction de scénarios et 2) l'évaluation de ces scénarios en matière de fonctionnement urbain, d'une part au travers de mesures spatiales d'accessibilité et d'autres part d'indicateurs de mobilité quotidienne calculés à partir de simulations individu-centrées de ces comportements, à l'aide de la plateforme MobiSim.

**PREMIÈRE PARTIE : POUR UN
AMÉNAGEMENT NORMATIF**

Introduction de la première partie

« Si il n'y a pas de règle, le désordre s'installe, la nature égoïste prend le dessus et la vie devient une épreuve de force. »

Préambule du règlement intérieur du comité ouvrier du
logement de Pessac, 1949

NOUS venons de voir en introduction que la relation entre la forme urbaine et son fonctionnement pouvait être l'origine de nuisances de natures diverses et variées. Certaines de ces nuisances seraient causées par une inadéquation entre la localisation résidentielle des individus et la localisation de leurs autres activités (travail, loisirs...). Autrement dit, le mode d'habiter (?) d'un certain nombre d'habitants ne serait compatible avec leur mode de vie qu'au prix d'impacts négatifs sur l'environnement. Il s'agirait surtout des résidents de certains pays occidentaux, dont les déplacements quotidiens sont source de congestion, d'émissions importantes de gaz à effet de serre, de problèmes de stationnement... La remise en cause des modes de vie contemporains est d'ailleurs loin d'être récente. Les relations entre l'homme et son environnement, ainsi que les problèmes sous-jacents ont constitué un objet pour des géographes de la fin du XIX^{ème} et du début de XX^{ème} siècle, de Friedrich Ratzel à Paul Vidal de la Blache. Plus tard, ces analyses dépassent le cadre universitaire. Le rapport ? interroge la limite de la croissance démographique, économique et industrielle au regard de la taille limitée de notre écosystème (?). En France, ces conclusions sont également soulevées par l'ouvrage de Joël de Rosnay, *Le Macroscopie*, publié en 1970. De Rosnay fait état d'un système global (la Terre) dont l'humanité serait une partie et dont le fonctionnement perturbe l'équilibre de l'écosystème terrestre (?). Ces premières constatations forment les bases d'un nouvel objectif, le développement durable, qui sera formalisé en 1992 à la conférence de Rio. Rapidement, la ville, sa forme et son fonctionnement, deviendront une des préoccupations de la critique du développement telle que formulée dans les années 1970.

Dans les années 1980, la question de la forme urbaine est abordée dans le cadre de débats sur

l'aménagement du territoire, avec l'intérêt croissant pour une ville durable d'un point de vue environnemental (??). Les flux automobiles croissants, l'allongement des distances parcourues puis les émissions de polluants et les consommations de carburants constituent une préoccupation majeure. La question de la ville durable semble plus souvent abordée par la question des transports (voiture électrique, transports en commun, péages urbains...) que par celle des générateurs de trafic. Autrement dit, et nous en avons déjà parlé en introduction, la réponse aux problèmes liés à l'aménagement des territoire est souvent « technicienne ». Elle vise à résoudre les problèmes de transports par les transports, en changement de technologie (amélioration du moteur à combustion, moteur électrique, moteur hybride ou encore à hydrogène), par les politiques en faveur des transports en commun (le développement de nouvelles lignes et infrastructures, le retour du tramway dans les centres-villes), des politiques tarifaires (péages, stationnement). Sans sous-estimer l'importance de ces mesures, il est légitime de s'interroger sur la localisation des générateurs de trafic, plutôt que sur le trafic à proprement-dit. Nous considérons ici que la localisation des extensions résidentielles est une source de trafic importante, sans omettre qu'elle ne soit pas la seule (activités industrielles, commerciales, touristiques).

Dans la quête d'une « bonne forme urbaine » et d'un point de vue historique, avant la ville durable, nombre de modèles de ville ont été pensés conçus et parfois mis en œuvre, notamment au travers des utopies. Après quelques nécessaires éléments de définitions, le premier chapitre de cette thèse sera consacré à une lecture de différents modèles de ville. Cette analyse s'effectuera selon une grille composée de trois éléments que sont : le ou les objectifs à atteindre dans le contexte donné, les normes induites par le modèle de ville étudié et les règles à mettre en place afin d'atteindre le modèle de ville voulu et ainsi répondre à l'objectif fixé au départ. L'utopie urbaine est justifiée par la volonté de changer la norme, au travers du changement d'objectif. Elle est également, nous le verrons, l'occasion de définir de nouvelles règles.

Le deuxième chapitre ponctuera cette première partie par une présentation du terrain étudié, le Grand-Duché de Luxembourg. Notre grille d'analyse (objectifs, normes, règles), sera conservée afin d'identifier les objectifs et les grands enjeux de la croissance résidentielle au Luxembourg. Ce regard sera complété par l'analyse des documents de planification en vigueur au Luxembourg.

Chapitre 1

Objectifs, normes et règles dans l'aménagement urbain

« Comme si tout grand progrès de l'humanité n'était pas dû à de l'utopie réalisée! Comme si la réalité de demain ne devait pas être faite de l'utopie d'hier et d'aujourd'hui [...] ? »

André Gide, *Les Nourritures Terrestres*, 1897

DANS le contexte de la ville dite durable, la fonction principale de l'aménagement consiste à changer, ou du moins proposer des changements afin de régler tout ou partie des problèmes induits par l'inadaptation de la forme et du fonctionnement d'une ville face aux comportements des individus qui composent la société. Les défis posés à l'aménageur soulèvent deux questions. Tout d'abord, existe-t-il un consensus sur les problèmes à régler? La définition du problème à résoudre soulève celle de l'objectif global à atteindre, du but. Si le développement durable, bien qu'employé de façon intensive et parfois abusive n'entraîne pas vraiment de débat sur sa portée générale, il n'y a pas forcément de consensus sur les moyens d'y parvenir, comme le relève Theys dans un ouvrage de 2002, « on a déjà évoqué la faible capacité des recherches théoriques actuelles à dégager des règles normatives pratiques pour un aménagement durable » (?). Le récent éditorial de ? dans la revue *Journal of Environmental Policy & Planning* va également dans le sens d'une vision partagée de l'objectif de durabilité, mais un manque d'automatismes et de règles en matières de politiques publiques. De fait, la deuxième question subsidiaire à la première est celle des moyens à disposition pour régler ces problèmes. Cette double interrogation explique peut-être l'existence d'un des paradoxes du développement durable. Le développement durable est finalement un « principe normatif sans normes », ce qui forme probablement « une des raisons essentielles qui explique l'influence

[...] encore très modeste du développement durable sur l'aménagement du territoire » (?). Dans la quête de la ville durable, il existe une contradiction entre le partage de l'objectif global et les divergences multiples sur les moyens à disposition et à mettre en œuvre afin d'y parvenir. Sur la question des moyens, il est également possible de s'interroger sur le coût financier de certaines opérations d'aménagement. Même si le problème à résoudre (figure 1.1) est clairement identifié, et les leviers d'actions partagés, qu'est-ce qui peut parfois justifier une telle dépense monétaire, a fortiori d'argent public ? Il existe donc un arbitrage entre les différentes règles afin de parvenir à l'objectif.

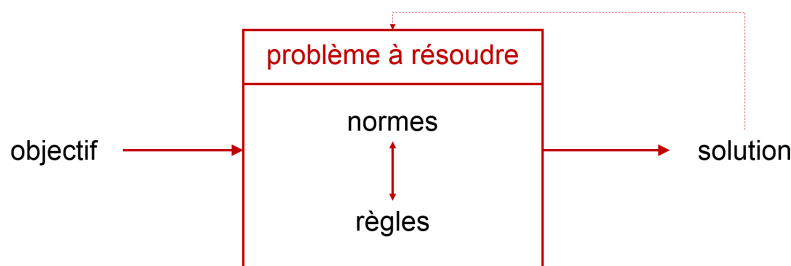


FIGURE 1.1 – Le problème à résoudre

La démarche proposée ici est d'appliquer un modèle normatif à la croissance résidentielle, de façon à reconsidérer les normes de production des extensions résidentielles. Du point de vue de l'aménageur, il ne s'agit pas de désigner directement les lieux de résidences des habitants potentiels ou existants. Nous proposons une démarche de planification normative, en définissant les localisations potentielles du développement résidentiel. L'aménageur peut également avoir une influence sur la forme locale de ces extensions en matière de densité de construction, de hauteur des bâtiments, de rapport entre densité bâtie et non bâtie (le coefficient d'occupation du sol dans la réglementation française). À l'heure où le marché du logement est saturé par les normes de construction (dimensionnement des bâtiments, couverture, isolation...), il n'existe pas ou plus de politique normative de l'aménagement, notamment en ce qui concerne la planification de la croissance résidentielle. Il semble que l'un des défis de l'aménagement soit justement de résorber ce fossé entre des normes techniques très (trop ?) strictes et l'absence de plan d'ensemble, et ce, malgré l'existence de documents de planification. À l'échelle de l'Union Européenne, une telle approche a déjà été envisagée. Par exemple, un rapport de l'ESDP (European Spatial Development Perspective)¹ indique « la mise en œuvre d'une approche normative du concept de ville polycentrique, basé sur l'argument que c'est une forme de développement spatial préférable est un principe fondateur dans l'accom-

1. L'ESDP est une structure en charge de définir, à l'échelle de l'Union Européenne, les principaux objectifs en matière d'aménagement. Dans cette optique, elle édicte certains principes sur lesquels devraient reposer ce développement. C'est également la structure à l'origine d'ESPON, l'observatoire européen des dynamiques spatiales.

plissement d'un développement régional équilibré à l'échelle de l'Union Européenne » (2) ².

1. La norme, entre l'objectif et la règle

Avant d'aborder spécifiquement la question de la norme appliquée à l'aménagement, il convient de s'interroger précisément sur sa définition, depuis l'origine du mot jusqu'à son application et son utilisation au sein des sciences sociales. La norme se situe entre l'objectif, qui est global et unanimement partagé, et la règle qui définit la manière de mettre en pratique les normes afin de répondre à l'objectif donné. L'aménagement normatif se positionne explicitement au niveau de la définition des normes et, seulement dans un deuxième temps, de règles. La relation entre les normes et les règles conduit à s'interroger sur la question des moyens, qui permettent ou non l'application des normes. L'articulation de ces éléments est présentée sur la figure 1.2, ci-dessous.

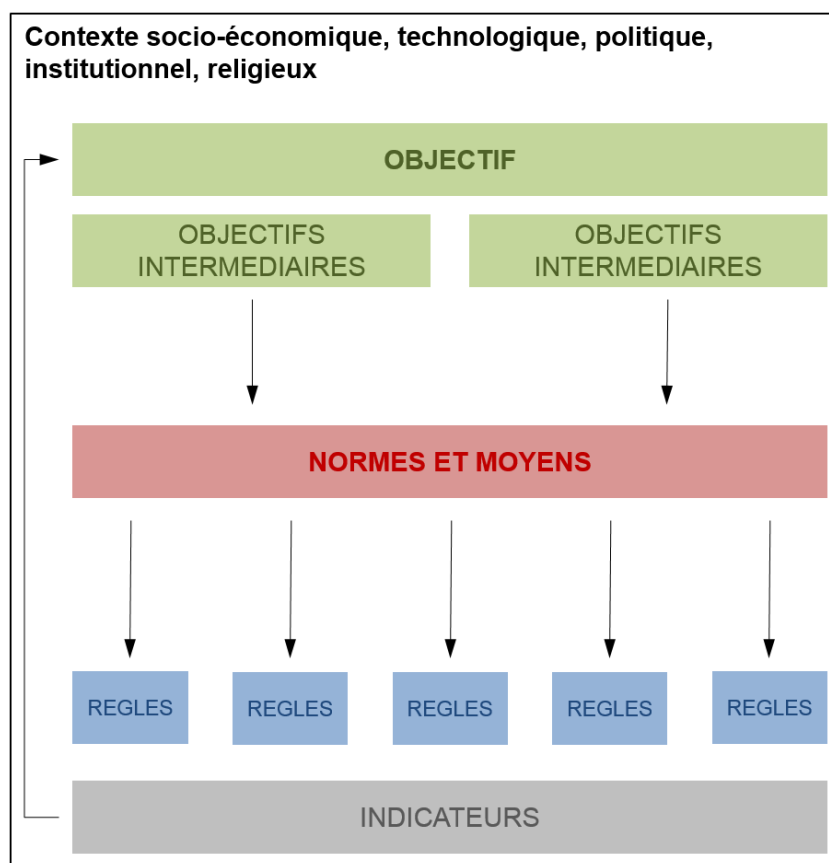


FIGURE 1.2 – De l'objectif aux règles, les normes

2. Traduction faite par l'auteur de « The ESDP takes a normative approach to the concept of polycentricity, advocating it as a preferred pattern of spatial structure and as a chief guiding principle for achieving regionally balanced development across the E.U. »

1.1. L'objectif : un but

D'après le Larousse (consulté en ligne), la notion d'objectif fait appel à l'idée d'un résultat vers lequel doit tendre l'action d'un groupe. Le groupe que l'on considère est la société dans son ensemble. Par conséquent, l'objectif est une notion d'ordre général, qui implique un consensus. Il ne peut être l'objet de débats, même si dans le cadre du développement durable, la définition d'un objectif commun est le fruit d'une longue concertation et d'une construction d'ordre historique. De fait, on a assisté à la création de ce que certains théoriciens appellent une *valeur nouvelle* (?). La notion d'objectif est directement reliée à celle des valeurs dans la mesure où ces notions réfèrent à l'idée de partage. Contrairement aux valeurs, qui font l'objet de jugements personnels via les perceptions individuelles (bon / mauvais, bien / mal), les normes peuvent prétendre à une *validité universelle* (?).

À ce titre, la quête de la ville durable est un objectif. Il est communément admis et n'est source d'aucune contestation (ce qui n'exclut pas des divergences sur sa définition et le moyen d'y parvenir). Il y a derrière la question de la ville durable, l'idée d'un intérêt général, d'un objectif rationnellement défendable et vérifiable empiriquement (par l'intermédiaire, entre autres, d'indicateurs)(?). À la suite de la conférence de Rio de Janeiro en 1992, la ville est devenue la *ville durable*. L'objectif global est de parvenir à un développement économique et social tout en préservant l'environnement (les trois sphères du développement durable). Le développement durable est « un objectif à atteindre à l'échelle mondiale », comme le souligne le rapport ?. Derrière ce que l'on peut considérer comme un nouveau paradigme (?), se cache une déclinaison d'objectifs, notamment ceux dont la ville est le sujet. Si la ville durable forme un objectif difficilement contestable de part sa définition, il est néanmoins possible de s'interroger sur les objectifs locaux (nationaux ou régionaux par exemple) nécessaires pour atteindre l'objectif global de la durabilité.

La notion d'objectif est sujette à la relativité de l'échelle à laquelle on se place. Contrairement aux espaces urbains, « le développement durable n'est pas fractal » (?). Autrement dit, il est vain d'essayer de compenser localement des impacts environnementaux spatialement distants, ce qui compte, c'est l'objectif global. Cependant, si la ville durable peut être considérée comme un objectif presque planétaire (tous les pays à de rares exceptions près sont confrontés au phénomène urbain et aux questions soulevées par l'urbanisation grandissante), la Terre n'est peut-être pas la meilleure des échelles d'intervention et d'observation. C'est aussi ce que rappelle ? dans son ouvrage sur le développement durable : « sur un plan spatial, la durabilité pure prend sens tout particulièrement à l'échelon global. En revanche, sur un territoire limité, l'enjeu de durabilité renvoie essentiellement à des normes sociales » (?). La pollution traversant les frontières, les grandes opérations de défo-

restations, les menaces chimiques ou technologiques, la raréfaction des ressources naturelles ou la diminution de la taille du biotope (par exemple) sont des problèmes globaux. Plus localement, il s'agit davantage de questions de justice sociale, de redistribution des ressources ou encore de mesures compensatoires (?).

1.2. La norme : une construction socio-historique

Le mot norme serait d'abord apparu en Angleterre au début du XIX^{ème} siècle sous sa forme actuelle *norm* (Oxford Dictionary). Le mot est issu du latin *norma* qui peut se traduire par un précepte, une règle, et désigne également l'équerre du charpentier. D'après le Larousse (consulté en ligne), la norme est une règle, un principe, ou un critère auquel se réfère tout jugement, par exemple « *se fonder sur la norme admise dans une société* ». Le Larousse va plus loin que le dictionnaire anglais en introduisant une définition sociologique de la norme qui est « l'ensemble des règles de conduite qui s'imposent à un groupe social ». Le dictionnaire historique de la langue française (2012) combine bien ces deux aspects de la définition. Dans cet ouvrage, la norme est à la fois une forme de « conformité au modèle majoritaire et de règle qu'il convient de suivre ». Il existe pourtant une distinction entre les notions de normes et de règles.

On rejoint ainsi la définition anglaise de la norme usuelle (*usual norm*), qui est un standard, une modalité, dans le cas d'un comportement social, qui est caractéristique ou même attendu, comme le fait de bien se comporter en société. La norme peut aussi inclure l'idée d'un pré-requis, d'un niveau à atteindre (l'alphabétisation, l'emploi, l'accès à l'eau potable, aux ressources numériques...). La norme se doit d'être rationnelle, c'est-à-dire fondée en raison (?).

Sur le plan sociologique, et avant de faire l'objet de nombreuses publications et de devenir un courant de sociologie à part entière³, le terme de norme a été repris et diffusé à partir de la fin du XIX^{ème} siècle, notamment dans les travaux de Durkheim. Il définit la norme à partir de ce qui peut être sanctionné moralement, puisque n'appartenant pas au système collectif de règles (1893). En sociologie, la norme serait donc établie, « par négatif », par ce qui n'est pas normal. D'ailleurs, la définition de la norme donnée par Christian Ruby et Michel Lussault (?) est orientée en ce sens puisque la norme est pour eux un « ensemble de règles et de prescriptions sociales, plus ou moins formalisées, engagées dans les pratiques des opérateurs sociaux, servant à discriminer des objets ou des attitudes ». La norme n'existerait donc que pour définir son contraire, l'anormal, le patholo-

3. La sociologie des normes au même titre que la sociologie urbaine, la sociologie de la famille, du travail, du droit, etc.

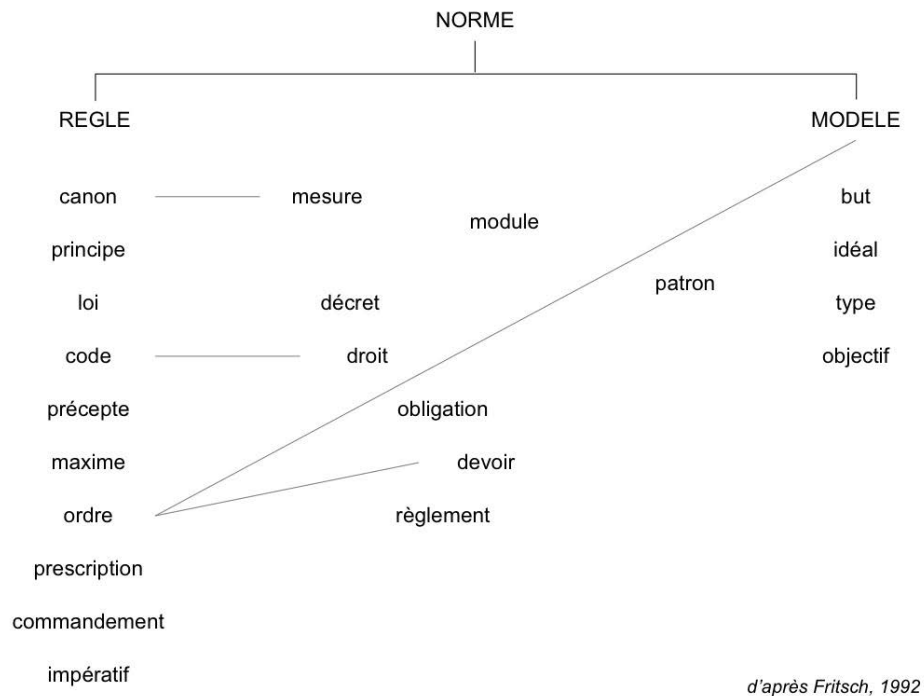


FIGURE 1.3 – Champ sémantique de la norme

gique, et non comme un moyen d'appréhender des phénomènes. C'est aussi l'idée comprise dans la définition de norme dans les *100 mots de la sociologie*, où le normal n'y est défini que par l'anormal, qui peut être sanctionné ou non (?). Dans le cadre du déterminisme social, les actions individuelles sont gouvernées par les normes sociales, qui sont sources de certaines obligations (?). C'est pourquoi la transgression systématique ou répétée des normes peut conduire à la notion de déviance. La norme est donc une manière de faire, de se comporter ou de penser, souvent majoritaire, socialement définie et sanctionnée selon un système de référence implicite (dans le cas de l'idéologie ou des valeurs). Derrière cette définition riche de sens, se cache l'idée que la norme est quelque chose d'externe à l'individu, mais plus ou moins intériorisé (?). La norme constitue donc la traduction concrète dans la réalité d'une valeur, partagée par un groupe donné.

Les normes sont nécessaires au bon fonctionnement de la société. Elles « [...] assurent essentiellement un rôle de coordination entre les acteurs » (?). Les droits civiques ou encore les libertés individuelles de notre société contemporaine sont basés sur des normes et codifiés par des textes (le Code Civil, le Droit du Travail...). Il existe pourtant une différence entre la norme et le droit, même si la notion de norme est employée dans le contexte juridique (?). La norme juridique serait, au même titre que la norme technique, une déclinaison formelle (rédigée et explicite) de la norme sociale (qui est implicite). À ce stade de la réflexion, il semble important de distinguer comme le fait Fritsch dans son ouvrage *L'activité sociale normative*, la production de normes qui est le fruit d'un

processus de normalisation de la société, et la norme comme un résultat de cette production. De fait, « la production de normes est une activité sociale, qu'elle soit affaire de "gourous", de prêtres ou de philosophes, de médecins, de juristes ou de politiques, ou plus généralement, qu'elle mobilise des experts et leurs savoirs scientifiques ou techniques » (?). Dans son rôle d'expert, l'aménageur participe au processus de normalisation de certains aspects de la société inclus dans son domaine de compétence et d'intervention.

Dans la conception des normes, et comme le rappelle Françoise Choay dans son ouvrage *L'urbanisme, utopies et réalités*, il existe l'arbitraire (?). Cette précision est essentielle car elle rappelle que la norme, définie ou construite socialement par un groupe d'individus est avant tout un seuil. La limite statistique du plus grand nombre, ou de la majorité, forme la norme (??). Au delà de ce seuil, on retrouve ce qui est anormal, déviant, presque contre-nature. La norme est donc une « standardisation des façons d'agir ou de réagir, partagées généralement par les membres d'une même communauté » (?). Appliquées à la ville (à sa forme notamment) ou aux comportements des individus, les notions de normes, de normalité, ou d'anormalité sont assez difficiles à manipuler. On peut se demander qu'est-ce que *la* ville normale, ou au moins *une* ville normale? Qu'est-ce qu'un comportement normal? D'après les sociologues, la norme est « ce que font et pensent la plupart des membres d'un collectif » (?). La norme renvoie donc aux notions d'usages, de coutumes, mais surtout d'habitudes sociales⁴, tout en apportant un jugement de valeur de l'ordre du « bon », du domaine de la prescription (?). Il y a derrière la norme, la question de la désidérabilité sociale. De fait, la norme, c'est le comportement du plus grand nombre avec la contrainte de l'utilité (?), c'est-à-dire que les intérêts de l'individu et du groupe social auquel il appartient doivent être orientés dans le même sens⁵. L'individu cherche à augmenter son utilité (personnelle : le bonheur, l'argent...), mais ne doit pour cela pas nuire à l'intérêt collectif, et écarter le groupe dans lequel il s'inscrit de l'objectif global vers lequel tend la société. La définition donnée par Germon et Marano (1983) va dans le même sens puisque la norme serait « la manifestation écrite du résultat d'un choix collectif raisonné en vue de servir de base d'entente pour la solution de problèmes répétitifs »

La norme est ancrée temporellement, elle n'est valable que pour un groupe donné d'individus à un instant précis, ce qui la rend mouvante. Au gré des évolutions sociales, les normes peuvent évoluer, parfois très rapidement, en quelques années. Par exemple, l'avènement des technologies de l'information et de la communication a permis la généralisation de l'usage des téléphones possédant un accès à Internet. Petit à petit, cet usage se démocratise (à l'heure actuelle près de la moi-

4. On peut voir ici un lien avec *l'habitus* développé par Bourdieu

5. On retrouve ici l'idée de bien-commun, qui est commune avec la notion de l'objectif.

tié de la population française est équipée de ce type d'appareil), ce qui change la conception de la société, dans la façon de communiquer, d'interagir avec son environnement (applications touristiques, paiement numérique, billetteries en ligne...), et donc la norme devient la possession et l'usage de ce type de terminal. Il est possible de rompre avec la norme, parce que l'objectif a changé ou parce que la manière d'y parvenir, c'est-à-dire les règles qui ont été appliquées, ne conviennent plus.

Cette question relève des moyens mis en œuvre pour mettre en application de nouvelles normes. En effet, la norme fixe la limite entre le souhaitable (l'objectif), le possible, qui est dans les moyens, et l'impossible, qui ne peut pas être atteint. Par exemple, les questions financières sont du ressort des moyens. Le budget des ménages est un cadre normé, entre ce à quoi le ménage peut avoir accès (comme moyen de transport ou possibilité de localisation résidentielle) ou ne peut pas. Là encore, les moyens, comme les normes, peuvent varier dans le temps. Ce qui était une contrainte, hors de moyen il y a des années, ne l'est peut-être plus à l'heure actuelle. La norme, comme moyen ou levier d'incitation, est reconnue ou acceptée dans une société donnée, à un moment donné.

1.3. La règle : un outil

Toujours en repartant de la définition générale du dictionnaire Larousse (consulté en ligne), la règle désigne « une prescription, de l'ordre de la pensée ou de l'action, qui s'impose à quelqu'un dans un cas donné ». La règle peut également être « propre à une science, une technique, une activité déterminée et qu'il importe de suivre ». D'après le dictionnaire historique de la langue française (2012), le mot « règle » tire son étymologie du mot latin *regula*, qui désigne « l'instrument servant à mettre d'équerre » ou encore « l'étalon permettant de juger, de corriger ». On retrouve ici un lien assez évident avec la *norma*, les deux constituant finalement les deux outils du charpentier. Dans notre cas, la règle est considérée comme l'outil à disposition de l'aménageur, qui permet de définir les modalités d'application de la norme en vue d'atteindre l'objectif qui est fixé. En ce sens, la règle appartient au domaine du possible.

Les règles, autrement dit les mécanismes de régulation, de la croissance résidentielle sont nombreux et dépendent du contexte géographique de l'espace considéré. À partir des travaux publiés par ?, basés sur l'expérience des États-Unis en matière de maîtrise de la croissance urbaine, on peut relever quatre types d'outils à disposition des politiques publiques. D'abord, les mécanismes de régulation forment le levier d'action principal. Ils découlent de la législation et de la planification. Le texte de loi, et son ou ses décrets de mise en application, permettent d'influer sur les possibilités ou

les interdictions en vigueur sur le territoire. À ce titre, les règlements, comme les cartes communales et les plans locaux d'urbanisme en France, sont les outils majeurs de l'aménagement du territoire. Ensuite, les documents de planification stratégiques sont également importants. Aussi, l'acquisition ou la réquisition d'un terrain ou d'un ensemble de terrains est un mécanisme qui permet la réalisation d'un projet, ou la conservation d'un espace vert. Les incitations financières aux propriétaires, la subvention ou la contrepartie sont aussi des moyens de forcer ou de contraindre la réalisation d'un projet. Enfin, l'information, la communication et la sensibilisation du public forment une autre règle à disposition des aménageurs pour sensibiliser les individus et leurs représentants face à des enjeux territoriaux, qu'ils soient locaux ou globaux.

L'un des problèmes des règles résiderait dans la multiplicité des acteurs qui les dessinent et les appliquent. La plupart du temps, les garants de la législation sont élus, députés ou sénateurs pour le cas français. Comme dans de nombreux régimes parlementaires, les scrutins directs ou indirects sont fondés sur le principe de la majorité, qu'elle soit absolue ou des 3/5^{ème}. Sans rentrer dans le détail du fonctionnement de nos institutions, il est assez aisé de comprendre que leur fonctionnement repose généralement sur une forme de consensus. Pour qu'un texte de loi soit adopté, qu'une réforme soit mise en place, ou qu'un décret d'application soit promulgué, il est nécessaire d'avoir une majorité de voix au sein de l'assemblée en question. Pour obtenir cette majorité, et donc « plaire au plus grand nombre », il convient d'adopter des textes relativement mesurés afin de rallier un maximum d'élus à la cause défendue, indépendamment des jeux politiques de coalitions ou d'oppositions. De fait, les interactions entre les différents acteurs limitent leur action, et génèrent le plus souvent de la stabilité, c'est ce qui formerait l'un des principes de la gouvernance (?). Mécaniquement, plus les acteurs sont nombreux, entre l'instance législative et l'autorité qui détient la compétence de son d'application, plus grand est le jeu d'acteur et plus le consensus croît. Dans ce contexte, la mise en place de règles strictes peut s'avérer plus compliquée.

1.4. La mesure de l'objectif, les indicateurs

L'objectif se doit d'être tangible, se mesurer (avec plus ou moins de facilité) afin d'en déterminer l'accomplissement. C'est le rôle de l'indicateur. D'après ?, un indicateur est « la traduction d'un concept ou d'un phénomène sous la forme d'un signal ou d'un chiffre ». La portée du signal ou du chiffre est fortement dépendante du niveau d'agrégation de l'indicateur. Partant de la donnée brute (matériau de l'expert), on peut obtenir un indicateur simple, plutôt destiné aux décideurs, ou par agrégation, un indicateur synthétique, afin d'informer ou de sensibiliser le grand public (?). Il existe une certaine différence entre, par exemple, le nombre de véhicules circulant sur un tron-

çon routier dans une journée, et certains indicateurs de développement, tels que l'HWI (*Human Well-Being Index*) ou encore l'indicateur de bien-être économique et social. Ces deux derniers sont construits sur la base de nombreuses variables et suscitent régulièrement des interrogations quant à leur construction et leurs applications (?).

L'indicateur sert à quantifier l'évolution d'un phénomène ou d'un processus. Par exemple, la réduction de la dépendance à l'automobile peut se mesurer en termes de kilomètres parcourus quotidiennement, ou encore en nombre de trajets journaliers effectués par un individu ou un groupe. La limite de la consommation foncière peut se mesurer en surface consommée. Les émissions de polluants peuvent également être déterminées à l'aide de capteurs.

Un même indicateur permet plusieurs actions. Il est possible de suivre une population (au sens statistique) dans le temps et dans l'espace. De même, l'indicateur apporte des informations quantitatives sur cette population tout en fournissant des repères sociaux et spatiaux. Souvent, un indicateur est utile aux autorités dans la mesure où il fournit une lecture, une grille de lecture, une aide à la décision des politiques menées ou à mener. L'indicateur possède un rôle dans le pilotage des politiques publiques voire de leur gestion. De manière diachronique ou prospective, l'indicateur est un moyen d'évaluer ces politiques publiques. De part sa construction et les choix qui en résulte, un indicateur possède une dimension subjective variable.

Comment mesurer le développement durable ? Comment mesurer le degré de durabilité d'une ville ? Le caractère multi-dimensionnel du développement durable doit nécessairement passer par la construction d'un indicateur composite, ne serait-ce qu'au regard des différentes dimensions du développement durable (économique, sociale et environnementale). La construction d'un tel indicateur fait l'objet de choix, dans la méthode de construction, les variables retenues, les seuils définis... De fait, la mesure d'un objectif pose la question des données à disposition et des indicateurs à même de rendre compte de sa réalisation. La collecte, la production et l'analyse de données quantitatives relatives à de nombreux aspects de la vie quotidienne sont indispensables afin d'évaluer et de quantifier l'atteinte ou non d'un ou plusieurs objectifs.

2. La déclinaison spatiale d'objectifs, de normes ou de règles dans des modèles de villes ou des utopies urbaines

L'objectif ici n'est pas de dresser un inventaire exhaustif et chronologique des utopies urbaines (travail effectué à plusieurs reprises, notamment par Françoise Choay (1965), mais aussi par Michel Ragon (1986), Michel Anthony (1995) et bien d'autres), mais d'interroger les utopies « anciennes » au regard de notre questionnement. Il s'agit de comprendre dans leurs fondements, le contexte qui a poussé le ou les auteurs à proposer un objectif différent, un changement de norme ou encore de nouvelles règles à adopter. L'utopie urbaine doit être comprise dans ce sens, une critique du modèle en vigueur (de fabrication de la ville, des modes de vies) et la recherche d'un « idéal » dans une démarche prospective. L'idéal se doit d'être un *possible*, conformément à la définition de l'objectif donnée précédemment.

Les utopies urbaines viennent en réponse à un objectif qui peut varier dans le temps et dans l'espace. Si la ville modèle n'existe pas, les utopies contribuent à l'avancée de la pensée scientifique, et à l'évolution de la société dans son ensemble. La notion d'utopie a été formulée par Thomas More dans son ouvrage *L'Utopie* publié en 1516. Dans ce récit fondateur, l'auteur imagine une société égalitaire et insulaire, critique de la société anglaise de l'époque. Il en profite pour donner sa vision de la cité idéale, régie par des lois mathématiques. Dès le départ, le terme d'utopie possède une définition ambivalente. Etymologiquement, le mot est formé du préfixe grec *u* et de *topos*, le lieu. Le *u* peut être interprété de deux façons différentes. Il peut se traduire par *eu*, pour former *eutopia*, un lieu agréable, c'est-à-dire la volonté pour l'auteur d'accéder à un monde meilleur, en tous cas meilleur que celui dans lequel il vit. Le *u* peut également être compris comme le préfixe *ou*, privatif de lieu, qui voudrait dire de nul part. Toutefois, comme le rappelle Reinhold Martin « l'utopie doit être prise au sens littéral du terme, comme le "non-lieu", contrairement à ses origines étymologiques que sont le nulle-part non parce que elle est idéale et inaccessible, mais parce qu'au contraire, elle est "partout" »⁶. D'après ?, J.-J. Wunenburger « définit l'utopie par ses limites, inférieure, qui est le mythe, et supérieure, formée par le projet ou la prospective urbanistique. Dans cet intervalle, l'utopie est la quête du possible » (?). Cette dualité est également présente dans la définition donnée par Thierry ? où l'utopie est « un territoire imaginaire, parfaitement organisé, où règne la concorde entre les habitants; par extension, modèle et/ou projet révolutionnaire, audacieux et idéal ». Dans notre cas, nous retiendrons davantage le deuxième aspect de la définition, en insistant moins sur le côté fictionnel et idéaliste et en privilégiant davantage l'idée d'un modèle alternatif.

6. Traduction de la phrase originale suivante : « *Utopia must be read literally, as the "non-place" written apart into its etymological origins that is "nowhere" not because it is ideal and inaccessible, but because, in perfect mirrored symmetries, it is also everywhere.* » (?)

En effet, l'utopie se traduit par une volonté de rompre avec l'ordre établi, et le souhait d'une transformation profonde de la société. De fait, il s'agit d'une proposition afin de modifier les objectifs à atteindre, les valeurs auxquelles la société se raccroche. Souvent, le passage par la fiction littéraire, le roman, a été utilisée afin de ne pas ancrer l'utopie spatialement (retour à la définition première de Thomas More) et temporellement (d'où un usage de l'anticipation). Il y a derrière l'utopie, l'idée d'une situation « dans une abstraction du temps et de l'espace, au delà de l'ici et du maintenant » (?). L'utopie peut être comprise comme la définition d'un modèle (social, urbain...) en rupture avec les normes du cadre dans lequel elle s'inscrit. L'utopie peut également être l'objet ou comporter de nombreuses règles, comme les principes mathématiques avancés par Thomas More.

Dans les utopies, la volonté de redéfinir l'objectif ou la norme est variable dans la mesure où elle peut être portée par différentes idéologies. Les objectifs principaux des utopies changent plus ou moins radicalement d'un auteur à un autre, et d'un mouvement, d'une époque à une autre. À ce titre, *L'utopie* de Thomas More est basée sur une égalité parfaite entre les citoyens, égalité rendue possible par l'usage intensif des mathématiques. Le bien-être, l'ordre, la logique ou l'esthétisme sont autant de buts à atteindre des auteurs d'utopies. Ainsi, l'utopie de Charles Fourier résulte de l'alliance de trois associations (?) que sont : le beau et le bon, autrement dit, l'agréable (qui est un besoin naturel) et l'utile ; le besoin individuel et le besoin collectif ; la ville et la campagne, en alliant les plaisirs de la ville dans un cadre champêtre⁷.

Contrairement au sens populaire répandu, l'utopie n'exclut pas la réalisation. Déjà au cours de l'Antiquité, la *Cité idéale* de Platon traduisait le passage d'une élaboration conceptuelle à une construction matérielle. L'utopie urbaine s'est souvent traduite par des expériences communautaires qui ont eu un réel apport sur la pensée urbaine (?). L'installation de la colonie de New-Harmony (États-Unis), par Owen, à partir de 1824 et jusqu'à 1828, a permis d'expérimenter ses théories sur le changement social. Au XIX^{ème} siècle, les États-Unis forment encore une terre relativement « vierge » et éloignée, propice à l'installation de communautés et à l'expérimentation. Victor Considérant, fort de l'expérience fouriériste de Condé-sur-Vesgres (1832) a également profité des terres américaines pour fonder une communauté phalanstérienne (nommée *Réunion*) à côté de ce qui deviendra la ville de Dallas (qui compte 300 habitants en 1854). Financé en partie par Godin, Considérant a contribué à l'exportation et à l'expérimentation du modèle de Fourier. Plus tard, en URSS, le régime soviétique a pu permettre la mise en place d'utopies urbaines socialistes.

7. Cette dualité ville/campagne ou plutôt d'une ville à la campagne s'orienterait aussi vers une quête de plaisir par les sens, au nombre de douze chez (Fourier, 1849).

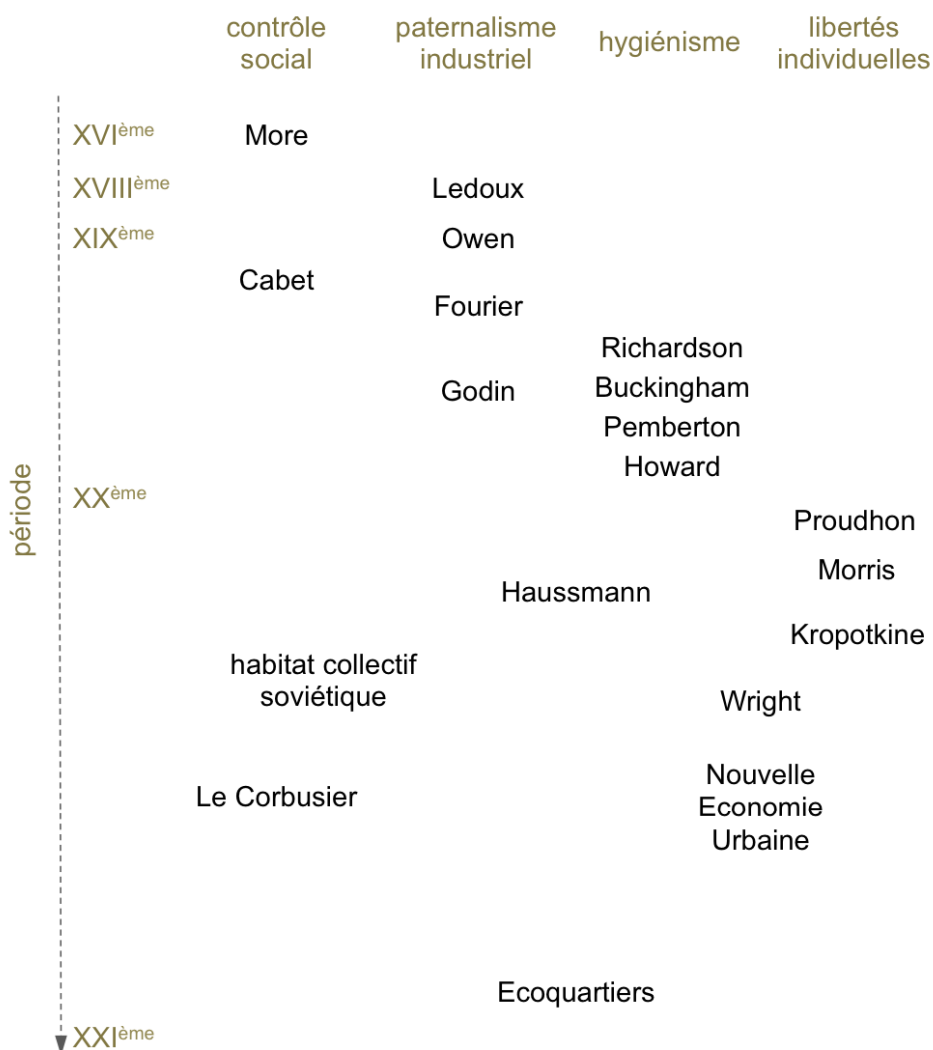


FIGURE 1.4 – Repères historiques de quelques auteurs et utopies

Parfois, les utopies urbaines sont définies de façon explicite par des règles spatiales strictes. Il s'agira alors d'identifier les conséquences spatiales de telles règles, et de ce qu'elles apportent dans notre quête actuelle de la ville durable. Nous verrons que la question de la limite de la ville est un enjeu majeur de l'utopie. Très souvent, le dessein utopique est limité, dans le temps et / ou dans l'espace, parce que porté par une définition concise du projet. Ces limites dans les modèles utopiques sont de nature démographiques (une quantité de population maximale) et spatiales (une emprise, par nature délimitée). Les utopies nous permettent de questionner une approche normative de la limite de la ville. Les utopies urbaines sont le plus souvent des projets conscrits, comme si la quête du bien-être, du bonheur ou de l'avenir radieux n'était réservé qu'à un nombre restreint d'individus ou à une portion restreinte de territoire. Dans les faits, les théories déployées par les auteurs sont naturellement bornées pour faciliter le raisonnement et la pédagogie.

Un grand nombre de modèles décrits sont basés sur la rationalité mathématique, et donc sur un usage intense du nombre ou de la géométrie. Dans les textes, tout est mesure ; le nombre d'habitants, le nombre de personnes dans le ménage, la taille de la maison, celle de ses fenêtres et l'inclinaison de son toit. L'analyse de ces règles nous permet de comprendre le cheminement des auteurs dans leur proposition pour une ville nouvelle, ce en quoi elles diffèrent du cadre établi, et en quoi ces règles de disposition et de construction définissent de nouvelles normes de fonctionnement urbain.

Si on retrouve des règles de taille ou de distance dans de nombreuses utopies, la séparation des fonctions est bien souvent une autre des caractéristiques fondamentales des modèles de cités idéales. La délimitation de la ville en zones aux fonctions bien définies a peut-être été employée à des fins pédagogiques afin d'appuyer la démonstration faite par leurs auteurs. Toutefois, il ressort des textes que la dissociation des activités anthropiques dans l'espace est source de bon fonctionnement ce qui, à l'heure actuelle de la mixité fonctionnelle, peut soulever quelques interrogations.

Les huit points suivants seront consacrés à la présentation de différents exemples, qui ont été sources d'objectifs, de normes et de règles. Même si dans les textes, ou dans les analyses qui ont été faites à la suite de ces mouvements, cette déclinaison n'a pas toujours été explicitée comme telle, c'est la grille de lecture qui a été retenue. Cette grille mettra en perspectives notre problématique du contexte historique conséquent en matière de recherches et d'expériences urbaines.

2.1. La cité antique

Les conditions d'apparition de la cité antique sont complexes et font encore l'objet de nombreuses études, complétées par les découvertes archéologiques. Il est possible d'affirmer que c'est au cours de l'Antiquité, aux alentours des VI^{ème} et V^{ème} siècles avant J.-C. que la civilisation romaine est confrontée au phénomène urbain. Ce dernier résulte d'une concentration inédite d'individus et de fonctions. Du fait d'une nouvelle organisation sociale, politique et religieuse, la cité s'est formée à la suite d'un regroupement des familles en phratries, puis en tribus. C'est la fusion de deux tribus qui a donné naissance à la cité, en tant que groupe humain partageant les mêmes croyances religieuses et la même organisation politique (?). La ville antique naquit ainsi, et il a fallu, du fait de cette nouvelle organisation sociale et religieuse, réfléchir à la forme de ces nouvelles villes. Le caractère programmé de la cité antique vient du fait que les villes sont créées de toute pièce, sans processus d'agglomération dans la durée (une ville n'est pas un gros village). Quand deux tribus venaient à fusionner, il fallait décider de l'implantation de la cité et jeter les bases de cette nouvelle

ville.

La notion de site semble donc prédominante dans l'établissement humain au cours de l'antiquité. Les Grecs et les Italiens croyaient à l'inspiration divine et à l'oracle dans le choix de localisation de leur ville (?). Pourtant l'analyse des textes de l'architecte romain Vitruve par ? nous indique une réelle réflexion dans le choix des sites destinés à accueillir une ville, laissant peut-être moins de place à la volonté divine. Vitruve, dans l'un de ses *Dix Livres d'architecture* s'interroge sur la « particularité des emplacements », et aussi sur le « choix des emplacements pour l'usage commun de la population », ou encore la « disposition pour que les souffles nuisibles des vents soient évités ».

Concernant les questions de forme urbaine, au V^{ème} siècle avant notre ère, Hippodamos propose un plan rectiligne composé de rues orthogonales pour la construction de Milet, sa ville grecque natale, comme le montre la figure 1.5. La cité idéale se compose de 10 000 citoyens, « répartis en trois classes correspondant à trois fonctions : les artisans, les agriculteurs et les guerriers ». De même, l'espace est divisé en trois catégories : « le sacré, domaine des dieux, [...], le public, réservé aux guerriers [...] et le troisième est privé, attribué aux agriculteurs » (?). On assiste ici à ce qui peut ressembler à un zonage fonctionnaliste. Cette quête de la rationalité, reprise et documentée par Aristote, conduira à l'utilisation du *cardo* et du *decumanus* dans les plans des villes romaines. L'intersection de cette croix, d'orientation nord-sud et est-ouest formerait le centre de la cité. La ville romaine (mais aussi dans une grande partie du monde antique), est donc « ordonnée suivant un schéma simple de voies établies orthogonalement » (Bayard et Massy, 1983). La limite de la ville, le *pomoerium*, est une notion qui apparaît dans les textes évoquant la fondation de Rome par Romulus et Remus. Romulus aurait tracé un sillon circulaire⁸ à la charrue établissant ainsi un périmètre sacré infranchissable (?). Les Etrusques ont peuplé une partie du Nord de l'Italie selon les principes hérités d'Hippodamos. En plus du plan en damier, ils ont ainsi fixé la limite démographique de la ville entre 8 000 et 12 000 habitants, afin de rentabiliser les infrastructures liées à l'adduction et à l'évacuation des eaux (?). La ville occupait alors une surface comprise entre 1 et 2,5km², ce qui conduit à une densité de 100 habitants par hectare, ce qui est relativement élevé, surtout pour l'époque considérée. La question du plan en damier serait également la construction dominante en Chine dans la même période. On y retrouve l'utilisation des quatre points cardinaux, l'orientation des voies de circulation, ainsi que leur intersection à angle droit (?).

Avec ce premier exemple de la genèse de la cité antique, et à l'aide de notre grille de lecture, on peut constater l'apparition d'un nouvel objectif, celui d'une nouvelle cité permettant le bon fonc-

8. Bien que le carré fut plus souvent utilisé dans le plan des villes romaines (?).

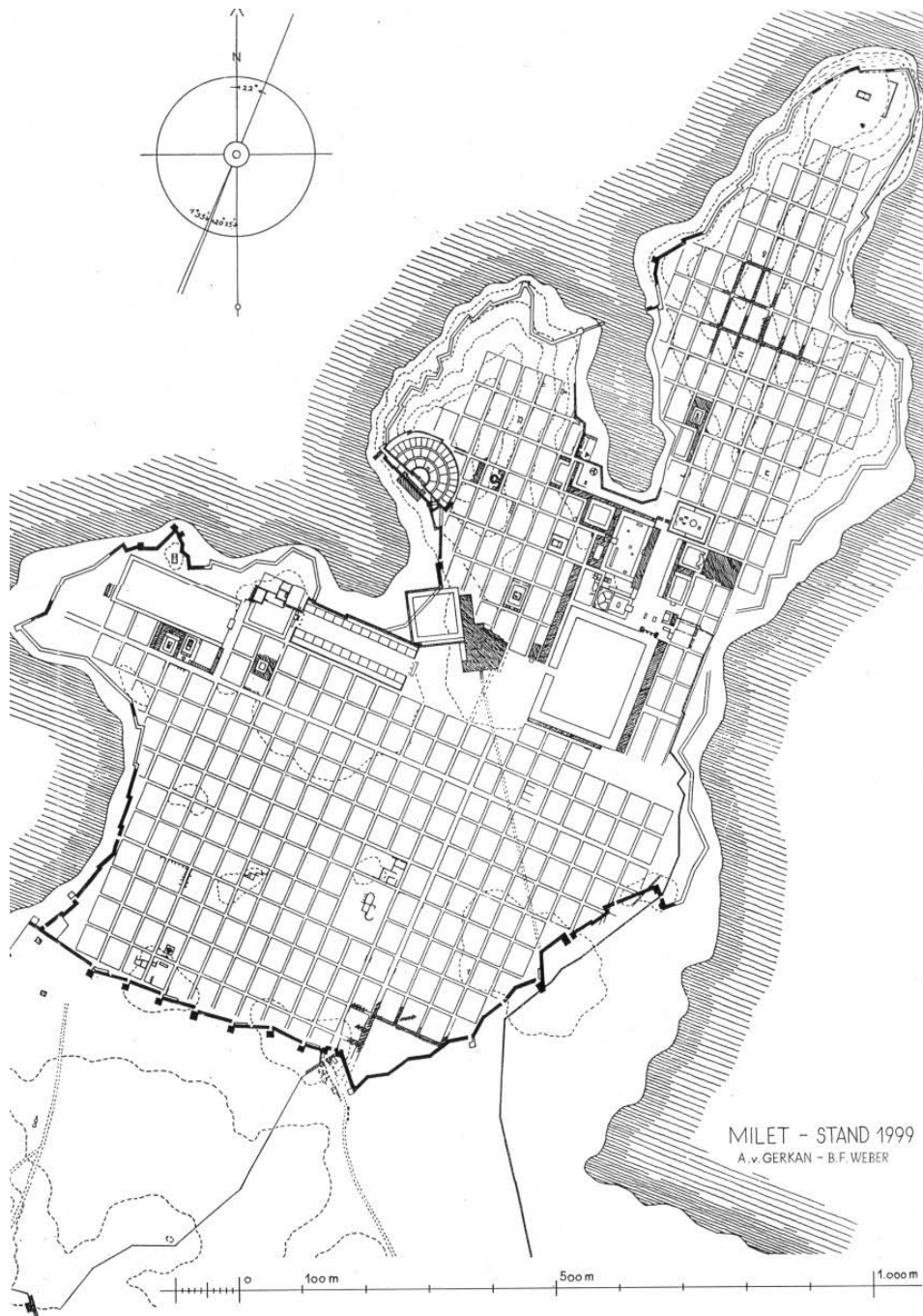


FIGURE 1.5 – Le plan de Milet par Hippodamos, illustration de B.F. Weber, 1999, d’après un original de À. von Gerkan, 1935

tionnement d’un nouveau groupe d’habitants. Cette dernière découle à la fois d’un changement de structure sociétale (le passage de la famille à la cité), mais aussi d’un changement de croyances (religieuses), et la forte croissance des échanges marchands. Le résultat de ces changements est le dessin de nouveaux modèles, plus ou moins théorisés⁹, mais qui ont en commun une volonté de rationalité. Cette dernière devient ainsi une norme, et des règles relativement strictes concernant

9. Le caractère ancien des textes antiques confère aux théories une certaine subjectivité qui découle de l’interprétation des textes, de leur traduction et de leur contextualisation.

l'établissement de ces villes apparaissent. Leur taille démographique est contrôlée, tout comme leur plan, leur orientation et sans nul doute leur localisation géographique. Aujourd'hui encore, certaines villes européennes ou asiatiques portent des marqueurs de leur développement ancien, notamment en ce qui concerne l'organisation du bâti et de la voirie, ce que certains appellent la ville *palimpseste* (?).

Objectif	Créer une nouvelle cité permettant le bon fonctionnement économique, religieux et politique du groupe humain considéré
	Importance du site
Normes	Séparation des fonctions
	Recours à la géométrie rectiligne (absence de courbes)
	Choix « divin » du site
	Trois fonctions : le sacré, le public, le privé
Règles	Frontière de la cité marquée par une enceinte
	Limite de population fixée entre 8 000 et 12 000 habitants
	Orientation des rues principales sud-est - nord-ouest et plan en damier

Tableau 1.1 – Objectif, normes et règles de la cité antique

2.2. L'utopie industrielle et le mouvement hygiéniste

Les utopies industrielles ou hygiénistes, ont également abordé la question de la forme urbaine et posé, souvent de façon très franche, la question de la limite entre l'urbain et le rural. L'objectif premier a souvent été de tendre vers un monde meilleur et de proposer le bonheur individuel au plus grand nombre. À cette époque, il est probablement difficile de parler d'urbanisme, le terme d'*urbanisme* étant postérieur à son œuvre, puisqu'il a été inventé dans la deuxième moitié du XIX^{ème} siècle à partir de l'*urbanización* de Cerda en 1867. L'urbanisme désigne une « discipline nouvelle, la science de l'organisation spatiale » (?). Les premiers signes de l'apparition de la discipline remonteraient à la Renaissance, avec le traité d'Alberti (publié en 1485), mais ne concerne que quelques rares travaux jusqu'à la fin du XIX^{ème} siècle (??).

« La moitié des ouvriers du *Strand* sont déjà obligés de faire une course de deux milles¹⁰ pour se rendre à leur atelier » (?). Le constat de Marx sur l'Angleterre du XIX^{ème} siècle justifie à l'époque une partie de l'intérêt pour les utopistes d'améliorer les conditions de vie des habitants. Cette quête du bien-être, parfois chapeauté de paternalisme industriel (avec plus ou moins de bienveillance), pose la question de l'accessibilité, aux lieux de travail et de loisirs, et de la forme urbaine en général. À la moitié du XIX^{ème} siècle, la révolution industrielle bat son plein, notamment en Europe occidentale. Les paysans français et anglais sont nombreux à quitter la misère rurale pour travailler dans les nouvelles industries, localisées à proximité des grandes villes (?). Très vite, les conditions de logements de ces ouvriers se dégradent, du fait du caractère insalubre de beaucoup de logements, et d'une surpopulation dans certaines constructions. La main-d'œuvre est concentrée dans les espaces urbains et la production de logements n'a pas été en adéquation avec cette explosion démographique. Parfois, le caractère urbain de certaines agglomérations (Le Creusot ou Uckange pour la France) provient de la concentration des ouvriers et de la production.

La construction des habitations est laissée à l'initiative des industriels, dont l'objectif premier est de minimiser les coûts de la production industrielle (?). L'amélioration des conditions de logements des ouvriers est également importante pour éviter le départ de ces derniers vers d'autres lieux de production. La naissance du prolétariat, et un accroissement du sentiment de révolte des ouvriers vont conduire les employeurs à trouver des solutions pour limiter les mouvements sociaux, tout en gardant une forme de contrôle social. C'est dans ce contexte que sont nées les utopies industrielles dont les exemples suivants sont issus. Nous verrons comment les architectes, urbanistes,

10. Soit à peine plus de 3 kilomètres, une valeur qui semble loin des distances parcourues aujourd'hui pour se rendre sur son lieu de travail. Sachant que cette distance était le plus souvent parcourue à pied, à une vitesse approximative de 4 km/h, il fallait tout de même jusqu'à 3/4 d'heures de marche aux ouvriers pour se rendre sur leur lieu de travail.

ingénieurs, médecins et penseurs, dès le XVIII^{ème} siècle, ont proposé des utopies en grande partie basées sur une nouvelle forme urbaine. Les objectifs pouvaient être multiples : simple quête du bonheur universel, organisation harmonieuse des activités humaines, amélioration de la condition ouvrière, mais aussi participation à l'ordre public et au contrôle social. Certains industriels ont aussi utilisé les utopies afin d'apaiser les tensions sociales grandissantes tout en garantissant le maintien de la production industrielle. Si les normes varient entre les différents projets (industriels ou hygiénistes), la limite nette entre ville et campagne est une des règles communes à ces utopies.

2.2.1. Les utopies industrielles

Au sujet de Claude Nicolas Ledoux, Michel **?** parle de « l'art d'aménager les villes »¹¹. Son projet pour la Saline Royale d'Arc-et-Senans est intéressant, tant dans la forme que dans la démarche de construction. En 1774, à proximité de la vaste forêt de Chaux (en Franche-Comté), Arc-et-Senans doit accueillir la Saline Royale. Ledoux propose alors un projet au Roi Louis XV, qui en accepte la réalisation. Nous sommes ici aux prémices de la première révolution industrielle et ce projet est d'une envergure considérable pour l'époque. L'architecte conçoit ce qu'on pourrait appeler l'une des premières cité ouvrière, en rassemblant sur un même site, géométriquement délimité (un demi cercle de 370 mètres), la production, la direction de l'usine (le symbole central de la Maison du Directeur) et le logement des ouvriers (voir le plan général sur la figure 1.6). L'objectif principal de ce projet est de rationaliser le travail des ouvriers à l'usine afin d'en augmenter la productivité et de réduire au minimum le temps nécessaire aux déplacements entre la ville et l'usine. On peut également y voir une forme de contrôle social par la mise en place d'une architecture facilitant la surveillance par la formation d'un espace « clos ». Il y aussi derrière le projet de Ledoux un objectif d'inscrire la ville dans son environnement, comme en témoigne la ceinture verte qui délimite le tracé.

Un demi-siècle plus tard, Robert Owen, utopiste précurseur, a proposé un modèle de ville basé sur le regroupement de 500 à 3000 personnes. Dans son projet de ville idéale, le plan est régulier et composé de carrés, semblables à des quartiers et pouvant accueillir jusqu'à 1 200 habitants. Les carrés sont découpés selon l'emplacement des édifices publics. La ville proposée par Owen est bien délimitée, puisque « derrière les maisons, tout autour des carrés, on trouve des jardins, entourés par des routes ». Cette délimitation est probablement inspirée de l'*Utopia* de Thomas More, dont les habitants logent dans des maisons identiques, avec « une entrée sur la rue et un jardin à l'arrière » (**?**). Fort de son expérience avec l'usine textile de New Lanark, qu'il a entièrement remodelée, Owen décide de fonder en 1824 une expérience communautaire aux États-Unis, *New Harmony*. Cette uto-

11. Bien qu'il soit parfois difficile de devoir positionner la discipline entre la science et l'art...

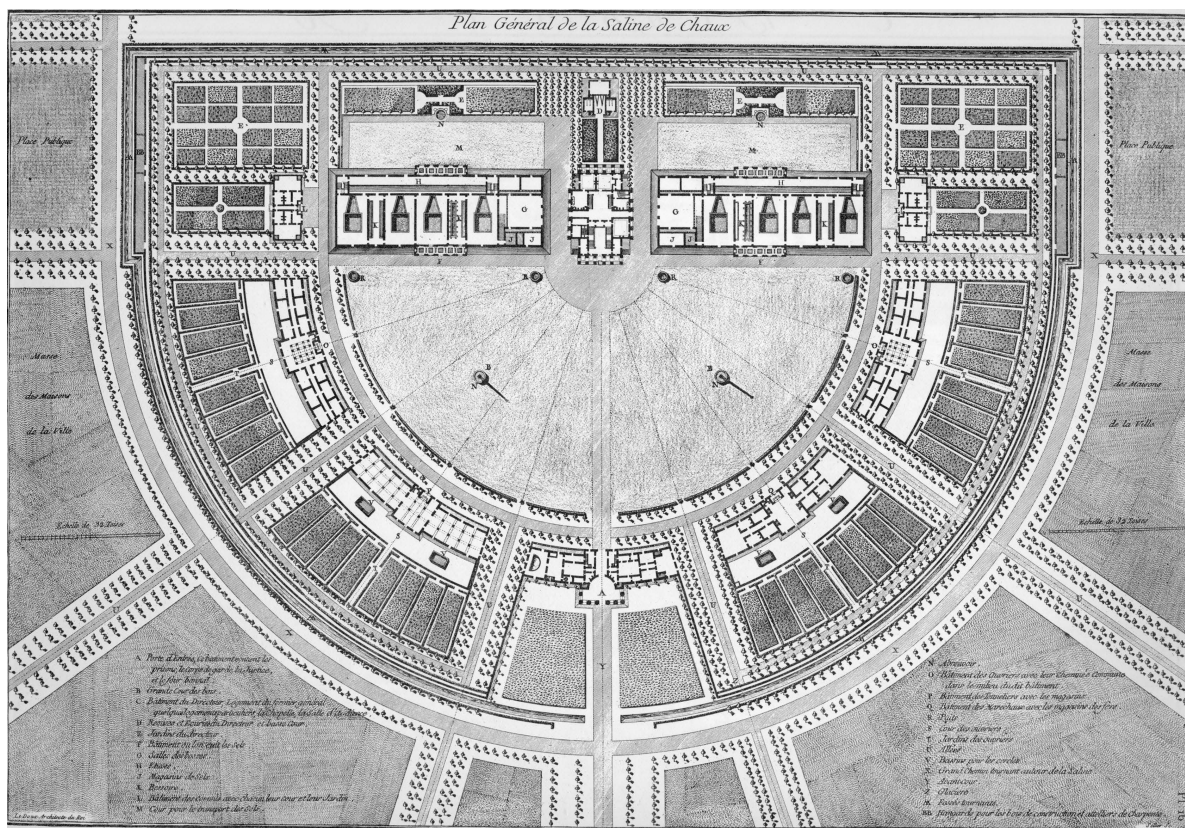


FIGURE 1.6 – Plan Général de la Saline Royale de Chaux, à Arc-et-Senans, par Claude Nicolas Ledoux, 1774, les éléments de légendes, non lisibles, détaillent les fonctions des bâtiments.

pie ne durera que quatre ans et n'aura rassemblé que 800 habitants au maximum.

De ces deux premiers exemples d'utopies industrielles, on retiendra leur caractère fortement délimités et les règles que leurs mises en place nécessitent.

Dans ses travaux du début du XIX^{ème} siècle, Charles Fourier trace une limite nette entre la ville et les communes environnantes. L'œuvre du philosophe peut être vue comme une proposition pour un système de peuplement à deux unités : la ville et la phalange. La ville est composée de trois enceintes : la cité centrale, les faubourgs et grandes fabriques, et les avenues et la banlieue. Chacune de ces enceintes doit être séparée par « des palissade, gazons et plantations ». Chaque maison qui compose la cité doit avoir « au moins autant de terrain vacant qu'elle en occupe en surface de bâtiment ». Dans la deuxième couronne, cet espace vacant sera double, et triple dans la troisième couronne. On obtient ainsi un gradient décroissant de densité de construction. Chaque construction se doit d'être isolée, sans mitoyenneté, afin de satisfaire des critères de salubrité. Cependant, l'isolement de l'habitat (dont le détail des règles d'espacement et de construction en hauteur et en largeur est très précis) est compensé par le souci d'économie collective, de telle sorte que chaque maison doit permettre d'accueillir une centaine de ménages, soit 500 personnes environ. D'après Fourier, le

regroupement d'une centaine de ces maisons serait à même de susciter l'émulation économique de la ville, qui totaliseraient donc 50 000 habitants. Si les changements de la ville préconisés par Fourier sont drastiques, c'est dans les campagnes que le bouleversement serait le plus grand. Derrière le concept sociétaire de la phalange, il propose une réorganisation du « chaos de maisonnettes » qui compose les bourgades en un édifice régulier pour chacune d'entre elles, le phalanstère¹². Ce dernier est à même de loger 1620 habitants (précisément 830 hommes et 790 femmes). Le phalanstère est organisé autour d'une cour d'honneur, d'un bâtiment central et de deux ailes latérales. Son étendue est fixe (bien qu'extensible ponctuellement), avec 600 toises¹³ de largeur et 150 toises de longueur pour les ailes, soit une surface approximative de 25 hectares (voir figure 1.7). En considérant la surface du phalanstère et sa population, on obtient une densité de population d'environ 64 habitants à l'hectare. L'idée du phalanstère, reprise par Godin, industriel, ou Considérant, philosophe, a fait l'objet de nombreuses applications en France et aux États-Unis avec une réussite relative qui n'a pas souvent résisté aux épreuves du temps.

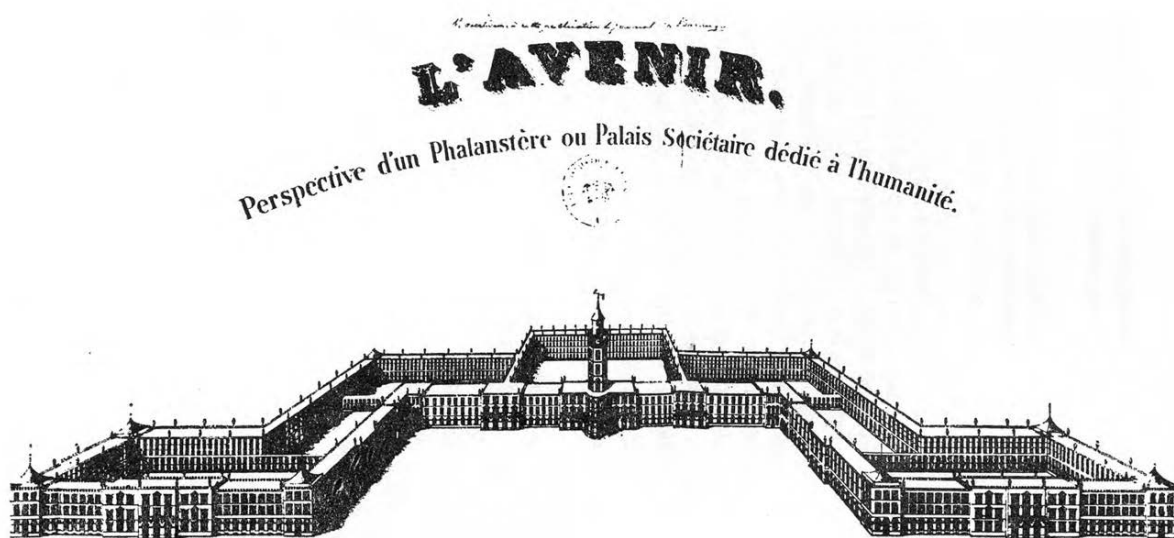


FIGURE 1.7 – Vision d'ensemble du projet de Phalanstère, par Charles Fourier, 1876

L'Icarie de Cabet (1845), décrite par le narrateur du récit, est une « ville presque circulaire ». Sur l'île imaginaire, où règne la symétrie et les objets rectilignes, la cité est traversée par un cours d'eau endigué de façon rectiligne et possédant une île « artificielle » en son milieu (cet îlot a une vocation de centralité symbolique). Le plan est découpé selon cinquante rues parallèles et cinquante rues perpendiculaires, et la ville est composée de soixante quartiers. Les rues sont en tous points identiques et on y dénombre seize maisons de chaque côté de la rue. Le plan en damier a également été

12. Pour une description minutieuse du phalanstère, voir l'œuvre de Victor Considérant, auteur d'une perspective du phalanstère.

13. Une toise contient six pieds, soit 1,80 mètre environ.

repris par Cabet, qui va plus loin dans la description des rues de son île utopique. La centaine de rues que comporte *Icarie* est classée : les noires sont les boulevards bordés d'arbres, les dix grandes rues rouges sont des « rues de fer » (pour relier les ateliers aux grands magasins par des trains), les jaunes sont des « rues à ornières artificielles » (pour faciliter la circulation des voitures à cheval et limiter la poussière), et les bleues des « rues à canaux ».

Objectif	Loger les ouvriers à proximité de leur travail, garantir une forte production industrielle et limiter les tensions sociales
Normes	Hiérarchie entre la ville, la cité industrielle et la campagne, notamment pour Fourier Recours à la géométrie par le cercle (Cabet), l'ellipse (Ledoux) ou le carré (Owen et Fourier) Habitat collectif (Ledoux, Fourier) ou individuel (Owen) Minimiser les distances à parcourir, à pied pour les déplacements domicile - travail (Ledoux, Owen et Fourier), en train, en cheval ou en bateau entre les différents lieux de production, (Cabet)
Règles	Espace clos pour faciliter le contrôle social (notamment chez Ledoux), enceintes chez Fourier Rues rectiligne et orthogonales (Owen et Cabet) Limite de population (1 200 hab. pour Owen, 1 620 pour Fourier) Nombreux espaces verts (Owen, Fourier), de surfaces équivalents aux surfaces construites Densité de 65 hab./ha, soit 20 logts./ha en moyenne pour le phalanstère de Fourier et selon un gradient décroissant de densité dans la ville

Tableau 1.2 – Objectif, normes et règles de l'utopie industrielle

2.2.2. Le mouvement hygiéniste

Parmi les symboles de l'utopie urbaine au XIX^{ème} siècle, le mouvement hygiéniste avait pour objectif principal de fournir au plus grand nombre un logement « décent » pourvu de lumière, de circulations d'air et où la distribution d'eau potable et l'évacuation des eaux usées étaient facilitées (?). Cette vision est à mettre au regard des conditions de logement dans les villes du XIX^{ème} siècle, où les ouvriers s'installent en masse dans des cités vites devenues insalubres. Afin de lutter contre la prolifération des maladies et d'améliorer les conditions de logements, un certain nombre d'ingénieurs et de médecins vont s'associer pour proposer de meilleures conditions de logements aux travailleurs.

La ville hygiéniste du médecin anglais Benjamin Ward ?, *Hygeia*, comporte 100 000 habitants répartis dans 20 000 maisons individuelles (?). La surface occupée par la ville est de 4 000 acres (16 km²), ce qui donne une densité de 25 habitants par acre, soit 10 habitants par hectare. En moyenne, chaque maison devrait occuper 800m² avec son terrain, ce qui fait une ville très aérée. Les bâtiments, d'une hauteur de 3 à 4 étages maximum ne peuvent dépasser 60 pieds (moins de 20 mètres) afin de lutter contre l'insalubrité causée par la densité extrême et les grandes hauteurs. Richardson suggère même la construction d'un hôpital pour 5 000 habitants. Au cœur d'*Hygeia*, la séparation fonctionnelle est à l'œuvre. Richardson préconise des « zones spéciales » dans la ville pour héberger les artisans, afin « d'isoler la famille du travail ». Il y a derrière cette volonté de séparation, deux objectifs principaux que sont : le souci d'hygiène (isoler le ménage des nuisances sonores, des poussières, des saletés, induites par l'activité) et une question de repos du corps et de l'esprit, en dissociant lieu de travail et lieu domestique. Le projet de Richardson ne sera pas réalisé mais a eu le mérite de théoriser précocement les travaux hygiénistes sur quoi s'appuieront de nombreux autres travaux.

Objectif	Loger les ouvriers en préservant leur santé
Normes	Bonne circulation de la lumière, d'air, de l'eau et l'évacuation des déchets
	Ville monocentrique
	Habitat individuel
Règles	Séparation des fonctions urbaines (habiter et travailler)
	Seuil de population de 100 000 habitants
	800m ² de jardin par maison
	Densité de construction faible, 10 hab/ha
	Petites hauteurs de construction (moins de 20 mètres)
	Un hôpital pour 5 000 habitants

Tableau 1.3 – Objectif, normes et règles du mouvement hygiéniste

2.3. La cité-jardin ou la ville à la campagne

Le mouvement des cités-jardins ont par la suite prolongé certaines tendances hygiénistes tout en permettant l'interpénétration entre ville et campagne. À la fin du XIX^{ème} et du XX^{ème} siècle, les premières formes de lotissement apparaissent, la propriété individuelle se développe pour les ouvriers qui acquièrent de petites maisons pourvues de jardins à proximité des usines. L'objectif de ce courant, toujours initié par les industriels, est multiple. L'objectif principal est sûrement de loger de façon décente les ouvriers et d'apaiser les tensions sociales naissantes. En fournissant un jardin privatif aux ouvriers, les responsables d'entreprises pensent ainsi défendre l'ordre social, en occupant le temps libre des travailleurs, et en empêchant le rassemblement ouvrier par un retour à l'individualisme centré autour du foyer domestique. Aussi, le potager cultivé permet au ménage de s'approvisionner en fruits et légumes, ce qui permet aux employeurs d'alléger les salaires (?).

Dès la fin du XVII^{ème} siècle, William Penn, fondateur de la province de Pennsylvanie (qui deviendra plus tard l'état américain éponyme), propose avec Thomas Holme, géomètre, un découpage de la région en comté, cantons et terrains. Sur sa carte de 1682 (voir figure 1.8), Holme propose également un plan pour la capitale Philadelphie. L'intention de Penn était de ne surtout pas reproduire la ville de Londres, qui connaît durant cette période de grandes épidémies et des incendies dévastateurs. Encadrée par les deux rivières (la *Schuylkill river* à l'ouest et la *Delaware* à l'est), la ville est rectangulaire, de dimension assez modeste (3,5 kilomètres de longueur et la moitié en largeur), et

pourvue de larges voies de circulation (d'une trentaine de mètres de largeur). Les terrains ont vocation à être assez grands (entre 2 et 4 000 m²), afin d'y aménager des espaces verts. Pour des questions de spéculation foncière, ce plan ne sera que partiellement adopté, les terrains ayant été découpés afin d'y construire davantage d'habitations (?). La différence majeure entre le projet de Penn et le mouvement hygiéniste décrit précédemment se situe au niveau de la limite entre la ville et la campagne. L'idée de Penn était de fournir plus qu'un logement aux nouveaux migrants américains, mais de construire un mode de vie partagé entre la ville et la campagne.

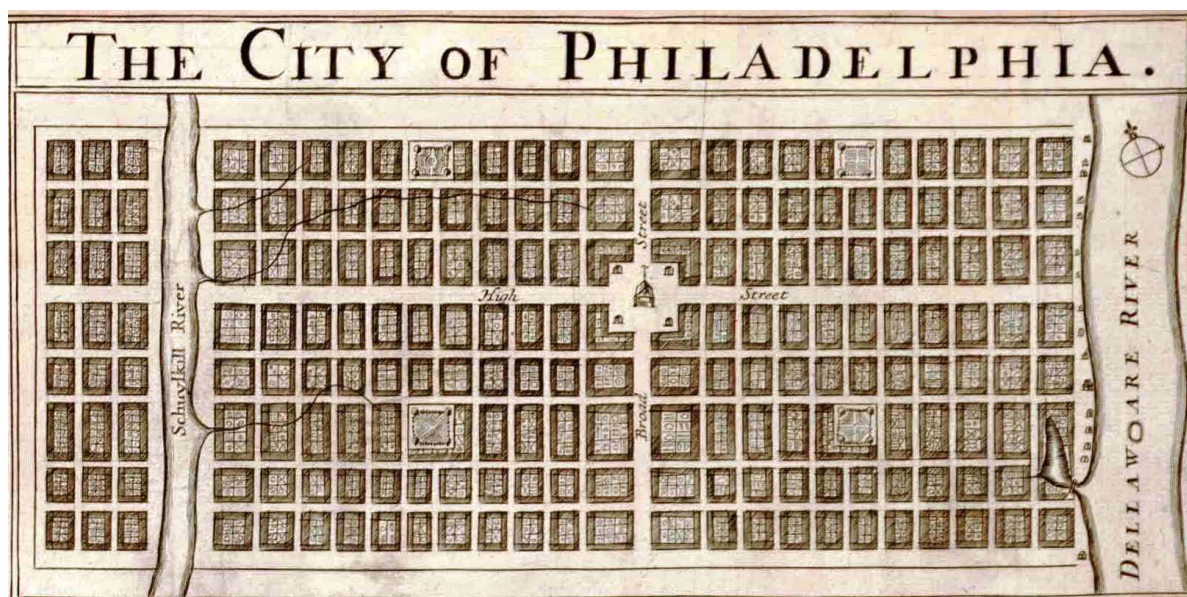


FIGURE 1.8 – Plan pour la ville de Philadelphia, par Thomas Holme, 1682

Inspiré par les utopies d'Owen et de Fourier, James Silk Buckingham, dans son ouvrage *National Evils and Practical Remedies, with The Plan of a Model Town*, de 1849, imagine lui les contours de la ville de *Victoria*¹⁴. Le plan de la ville est géométrique, carré et symétrique (verticalement, horizontalement et dans les diagonales, voir figure 1.9). Elle permet d'accueillir 10 000 habitants sur 400 hectares, ce qui en fait une ville assez peu dense avec 25 habitants à l'hectare¹⁵. Chaque côté du carré mesure précisément un mile (1,6 km)¹⁶. Toute rangée d'habitations est séparée par l'alternance de « bandes » de 30 mètres : de jardins, d'une galerie couverte et vitrée et à nouveau de jardins. Plus on s'approche du centre (occupé par une grande place à colonnades), plus les dimensions des bâtiments et l'importance architecturale des constructions augmentent. Une large place est faite à la voirie qui sépare chaque « bande » et découpe le plan en huit parties à l'aide d'avenues radiales à

14. En hommage à la souveraine, la Reine Victoria.

15. Avec 25 logements à l'hectare la ville de Buckingham se situe à mi-chemin entre le phalanstère de Fourier et le plan d'Hygeia de Richardson.

16. Pour un commentaire détaillé du plan de *Victoria*, voir l'analyse du Pr. Repts, disponible à l'adresse suivante : <http://urbanplanning.library.cornell.edu>

45 degrés. En détaillant le prix des loyers des bâtiments résidentiels, croissant vers le centre, Buckingham propose une séparation socio-économique des habitants. Avec son cadre bucolique, propre aux textes classiques de l'Angleterre de l'époque (?), et le souhait de mettre les ouvriers à proximité de leur travail et de la campagne, *Victoria* devient l'une des premières ville à la campagne. Dans la cité modèle de Victoria, le plan carré ne tient pas compte de l'industrie et des activités agricoles, exclues du projet de Buckingham et repoussées par delà les limites de la ville. On assiste donc à une séparation fonctionnelle de l'espace. Dans son utopie *Victoria*, l'auteur exprime également le souhait de maximiser l'accessibilité aux commerces et services qui sont présents dans la ville (?), ce qui constitue une norme nouvelle au regard des projets décrits précédemment. En abordant un grand nombre de thématiques encore très actuelles et en définissant des règles assez strictes tant sur le plan de la forme urbaine que de l'organisation sociale¹⁷, la proposition de Buckingham, bien que n'ayant pas aboutie, demeure un texte inspirant dans le cadre de notre réflexion sur la ville contemporaine.

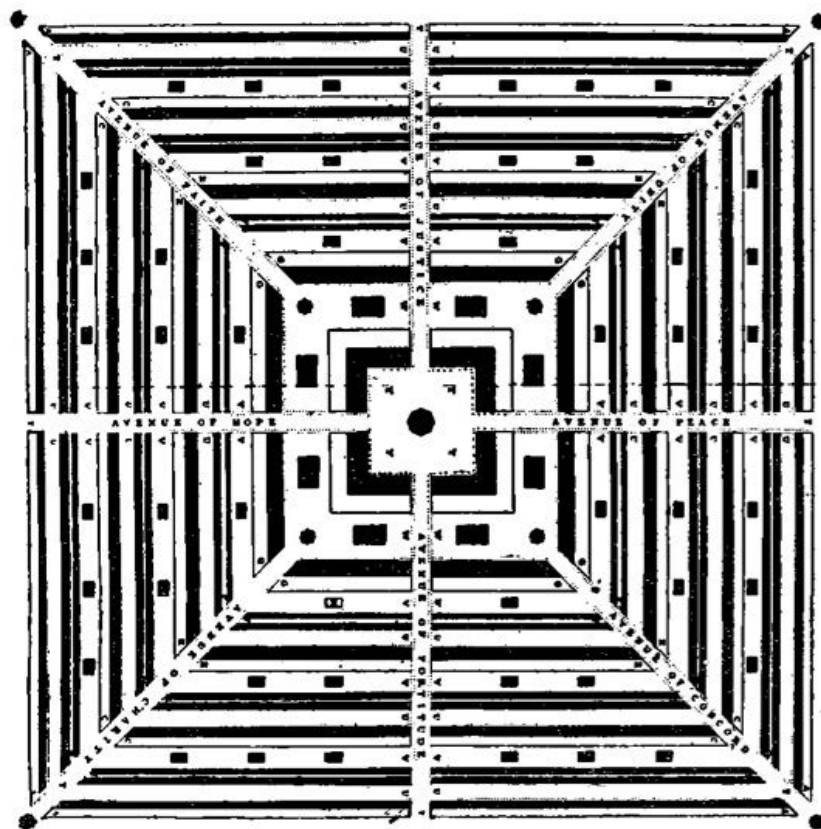


FIGURE 1.9 – *Victoria, Plan for a Model Town*, par James Silk Buckingham, 1849

En 1854, Robert Pemberton écrit *The Happy Colony*, qui est l'exact reflet de l'influence de ses pays de résidence (la France et l'Angleterre), puisque son plan, bien que circulaire découle très for-

17. Les deux aspects étant très liés dans l'œuvre de Buckingham selon ?

tement de l'ovale de Chaux imaginé par Ledoux, et des idées d'Owen¹⁸. Si la *New Harmony* de ce dernier était de conception rectangulaire, Pemberton réfute les angles droits au profit des courbes, qu'il juge plus adaptées à « l'harmonie du mouvement ». Le projet de l'anglais est ambitieux, et doit s'établir en Nouvelle-Zélande, où le prix du terrain est abordable, pour loger des ouvriers migrants britanniques. Pemberton projette la création de 10 districts de 20 000 acres chacun (soit 80 km² par district). La ville modèle est composée d'un centre (*Queen Victoria Town*), qui concentre une ferme miniature, quatre collèges universitaires ainsi que d'autres services. De là partent huit avenues radiales afin de desservir les autres cercles, jusqu'au dernier formé par le parc et d'une largeur de trois miles (5 km environ). L'auteur n'est pas très explicite sur les conditions de logement de ses habitants mais la volonté de « concentrer travail, art, science et éducation »¹⁹ en harmonie avec la nature en fait une utopie de la ville à la campagne à part entière (?).

Née de l'esprit de son fondateur, le socialiste anglais Ebenezer Howard, la cité-jardin (ou *garden-city*) est un projet très détaillé. À partir d'un ouvrage paru en 1898, *À Peaceful Path to Social Reform*²⁰, le mouvement est devenu l'Association des Cités-jardins. Les réalisations sur les communes britanniques de Letchworth et de Welwyn (à proximité de Londres) peuvent être vues comme des cités-jardins. Basée sur le principe du magnétisme entre la ville et la campagne, la cité-jardin combine « les avantages de la vie de ville la plus active et toute la beauté et les délices de la campagne »²¹. La description donnée par Howard est géométriquement très précise dans son dimensionnement. Le projet se doit d'être réalisé sur une superficie de 2 400 hectares, sachant que la cité, la *Ville-Jardin* en occupe 400 hectares. La forme « de préférence » circulaire²², possède un rayon de 1 130 mètres (soit 3/4 de mile environ), de sorte que tous les habitants de la ville soient localisés à moins de 550 mètres du parc public central. Ce dernier d'une surface de 2 hectares, est délimité par le *Crystal Palace*, large galerie d'arcades vitrées qui permet à la population de s'abriter des intempéries. La Cité-Jardin fait l'objet d'une forte séparation fonctionnelle. Si les bâtiments publics sont localisés au centre, les logements sont situés autour jusqu'à la limite de la ville car sur la ceinture extérieure de la ville, s'échelonne des manufactures, des magasins, des marchés. Au delà de la voie ferrée circulaire, s'étendent les espaces cultivés ainsi que les grands espaces naturels. Sur le plan de la voirie, la Cité-Jardin se compose de six boulevards radiaux, d'une largeur de 36 mètres, qui découpent la ville circulaire en 6 quartiers et donnent sur un espace vert de 2 hectares. Autour de cet espace central, on retrouve les « plus grands bâtiments publics : hôtel de ville, salle de concert et de lecture, théâtre,

18. Pemberton se situe, au même titre que Buckingham, dans le prolongement des idées d'Owen (??)

19. <http://quadralectics.wordpress.com>

20. Réédité en 1902 sous le titre *Garden Cities of Tomorrow*

21. On rejoint ici quelque peu les préceptes de la ville de Pemberton, qui pourrait être une des sources d'inspiration d'Howard (?).

22. Dans son esquisse originale du plan de la Cité-Jardin, E. Howard avertit le lecteur du caractère indicatif de ce plan, la version finale ne pouvant être dessinée qu'après sélection du site.

bibliothèque, musée, galerie de peinture et hôpital. La position des commerces et des industries, en bordure urbaine mais à proximité de la voie ferrée circulaire, facilite le chargement et le transport de marchandises, tout en évitant le "fret" dans la partie centrale de la ville ».

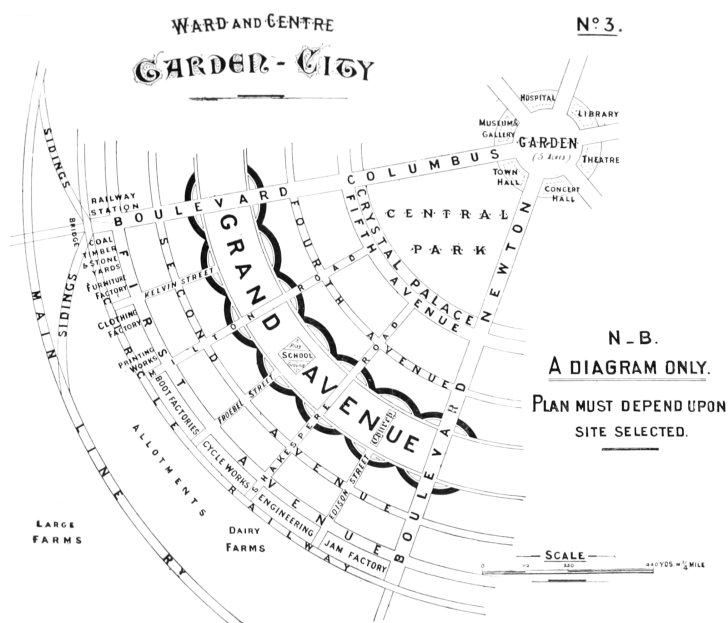


FIGURE 1.10 – *Garden-City, Grand Avenue*, par Ebenezer Howard, 1902

Les maisons qui composent le centre sont posées sur de « spacieux terrains », et orientées sur les boulevards ou sur les avenues, qui sont concentriques²³ (voir l'illustration 1.10). Le nombre d'habitants de la Cité-Jardin est fixe, dépendant du rayon du cercle délimitant le projet et de la taille des 5 500 terrains à construire. Sur ce point, Howard fait une fois encore preuve d'une grande rigueur puisque les dimensions minimum sont fixées à 6,5 mètres x 33 mètres et la moyenne à 6,5 mètres x 44 mètres. Avec une surface de terrain de moins de 300m² par habitation, la ville est relativement dense. Elle permet de loger 30 000 habitants dans la ville et 2 000 dans les fermes alentours. La ville aurait donc une densité de 75 habitants à l'hectare, ce qui en fait un projet assez dense pour l'époque. Cette densité correspond à environ 45 logements par hectare, d'après les calculs de l'URBED²⁴ (?). Cette valeur est en tout cas supérieure au 64 logements à l'hectare du phalanstère fouriériste. À l'inverse, la campagne est très peu dense, puisque les 2 000 habitants de l'espace rural sont dispersés au sein des 2 000 hectares restants, soit une densité d'un habitant à l'hectare.

23. Il est d'ailleurs notable que la distinction entre avenue et boulevard soit légèrement inversée selon la dénomination usuelle française, où les avenues sont généralement radiales, boisées et mènent à des places ou monuments, et les boulevards concentriques de façon à faciliter la circulation entre les quartiers tout en évitant le centre.

24. L'URBED est une fondation britannique qui désigne l'*Urban and Economic Development Group*

Toujours très complet dans la description de son utopie, Howard interroge son modèle au regard d'une possible croissance urbaine. Catégorique, il réfute l'idée d'une « périurbanisation » qui viendrait empiéter « sur la zone des terrains agricoles ». La propriété des terrains est communautaire pour éviter ce qu'il appelle un « résultat désastreux si le terrain entourant la ville était, comme le terrain autour de nos villes actuelles, propriété individuelle d'hommes soucieux d'en tirer profit. Car alors, dès l'instant où la ville serait bâtie, le terrain agricole se trouverait "mûr" pour la bâtisse ». La mise en place d'un mécanisme financier de régulation foncière constitue une nouvelle règle qui vient en opposition avec l'économie industrielle et les prémisses du capitalisme moderne.

À propos de la croissance des villes, il ajoute qu'elle est comparable à celle « d'une fleur, d'un arbre ou d'un animal qui, à chaque étape de leur croissance, doivent posséder une unité, une symétrie, une intégralité, que la croissance ne doit jamais pouvoir détruire, mais lui donner un sens plus grand, de ne pas atténuer cette symétrie, mais au contraire de la renforcer »²⁵. La norme suggérée par ces écrits est donc de s'appuyer sur une croissance naturelle des villes, harmonieuse, à même de permettre un bon fonctionnement urbain.

Howard suggère donc de ne pas étendre la ville une fois le seuil des 32 000 habitants atteints, mais d'en construire une deuxième, reliée par un « moyen rapide de transport ». Ce principe a vocation à être maintenu jusqu'à l'obtention d'un groupe de villes, une région urbaine, comme le montre la figure 1.11. L'ensemble de ville qui forme la région urbaine est relié par des voies ferrées.

Raymond Unwin et Barry Parker seront les constructeurs des cités-jardins en Angleterre. Entre 1903 et 1904, ils dessinent les plans et fondent trois communes : Hampstead Heath, Welwyn et Letchworth, situées respectivement à 8, 40 et 60 km du centre de Londres. L'architecte Unwin, dans son ouvrage *Town planning in Practice* publié en 1909, relate son expérience et interroge la limite de la ville. Il juge d'ailleurs difficile de combiner le charme de la ville et de la campagne, les principaux essais ayant conduit à la destruction des deux (Unwin, 1909). Il prolonge l'idée du seuil d'habitants d'Howard en affirmant qu'il ne faut plus limiter la ville par des murs (comme dans la ville médiévale), mais qu'aux franges des villes on doit trouver des ceintures vertes, composées de « parcs, terrains de jeux ou même de zones agricoles » (?) et ce, afin d'éviter « cette marge irrégulière d'amas, de décombres et de masures qui déshonore les banlieues de presque toutes les villes modernes » (?).

25. « À town, like a flower, or a tree, or an animal, should, at each stage of its growth, possess unity, symmetry, completeness, and the effect of growth, should never be to destroy that unity, but to give it greater purpose, nor to mar that symmetry, but to make it more » (traduction fait par l'auteur de la thèse).

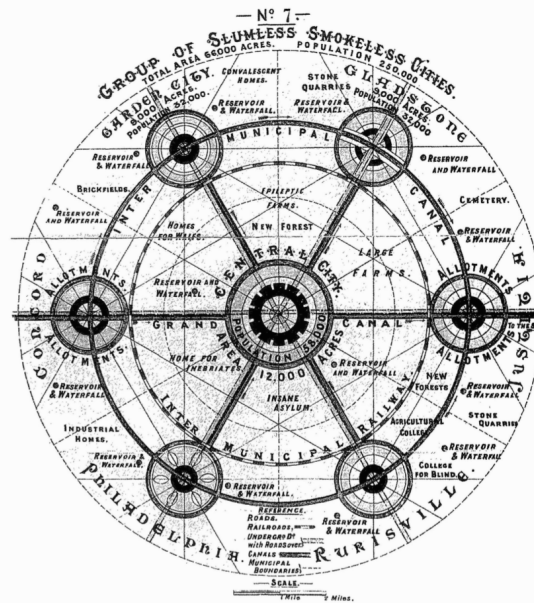


FIGURE 1.11 – *Garden-City*, Organisation schématique d'un groupe de villes, une région urbaine, par Ebenezer Howard, 1902

Avec les réalisations belges²⁶, britanniques, françaises²⁷ et autres de la suite du XX^{ème} siècle, la cité-jardin perd peu à peu son caractère utopique (en tant que projet global) pour ne former que des extensions résidentielles, « des lotissements modèles, par leur faible densité, étroitement dépendants de la ville centre, insérés dans les mailles du tissu urbain » (?).

26. Les cités-jardins du Logis et de Floréal, à Bruxelles, ont été réalisées par l'architecte paysagiste Van der Swaelmen (?).

27. On pense notamment aux cités-jardins de Suresnes ou de Champigny-sur-Marne, de 1921 à 1956, créées sous l'impulsion du maire Henri Sellier (pour le compte de l'Office public d'habitations à bon marché) et avec l'aide des architectes Alexandre Maistrasse, Julien Quoniam, Félix Dumail et Léon Bazin.

Objectif	Loger les ouvriers, les agriculteurs et apaiser les tensions sociales
Normes	<p>Ville monocentrique (Penn, Buckingham) ou polycentrique, sous forme de régions urbaines (Pemberton, Howard)</p> <p>Recours à la géométrie, rectangle (Penn), carré et symétrie (Buckingham), « courbes » (Pemberton et Howard)</p> <p>Accès à la propriété individuelle</p> <p>Accès à un jardin privatif (potager) et à des espaces verts public</p>
Règles	<p>10 districts autour d'un centre (Pemberton), 6 villes autour d'un centre (Howard)</p> <p>Surfaces de ville assez restreinte, 6km² pour Penn, 4km² pour Buckingham et Howard</p> <p>Artères radiales chez Buckingham et Howard</p> <p>Seuil de 10 000 habitants (Buckingham) à 32 000 habitants (Howard)</p> <p>25 logts / ha pour Buckingham, 45 hab. / ha pour Howard (environ 25 log. / ha également)</p> <p>Grands jardins de 2 à 4 000² chez Penn</p>

Tableau 1.4 – Objectif, normes et règles de la cité-jardin

2.4. L'idéal libertaire

À l'opposé du modèle progressiste et industriel, on trouve les idées des libertaires qui ont également une certaine idée de la cité idéale. Même si l'objectif principal est avant tout l'accomplissement individuel et le bonheur personnel, il transparaît parfois dans les écrits des règles assez précises quant à un changement de politique de planification. En effet, deux modèles de ville se font face dans les idées libertaires. Certains auteurs n'hésitent pas à parler de ce que ? repris par ? appellent le *désurbanisme*, autrement dit l'absence totale de planification, comme nouvelle norme dans la production de la ville²⁸. Ces idées viennent en réaction à un État qu'ils jugent trop centralisateur. À contrario, quelques auteurs (plutôt minoritaires) prônent comme nouvelle norme une planification forte, non sans une certaine contradiction avec les libertés sociales qu'ils défendent. Il est curieux de voir que l'absence de modèle, leitmotiv des libertaires, se transforme parfois en une sorte « d'urbanisme rural », c'est-à-dire la création de logements dans la campagne (afin de rapprocher l'homme de la nature), selon des règles bien précises.

28. On rejoint ici les idées anarchistes telles que celles de Fortuné Henry, dont le géographe Elysée Reclus s'est inspiré.

Parmi les premiers défenseurs d'un modèle alternatif de la ville, Proudhon, en 1865, défend l'idée d'une agglomération de « mille petits propriétaires logés chez eux »²⁹. Dans ses écrits, il se positionne contre l'idée de l'habitat en ville, lui préférant les attributs bucoliques du monde rural. À ce titre, toujours en 1865, il écrit, « je donnerai le musée du Louvre, les Tuileries, Notre-Dame [...] pour être logé chez moi, dans une petite maison faite à ma guise, que j'occuperai seul, au centre d'un enclos d'un dixième d'hectare, où j'aurais de l'eau, de l'ombre, de la pelouse et du silence ». Conformément aux conclusions établies par Michel ? à propos de Proudhon, on peut dire qu'il défendait surtout une utopie pavillonnaire, où la norme est une réelle absence de planification.

Contre tout modèle, le géographe anarchiste russe Pierre Kropotkine critique vivement l'ensemble des modèles d'utopies urbaines, surtout lorsqu'à l'instar de *L'icarie* de Cabet, ils se veulent régulés jusqu'à l'intérieur des habitations (?). Pour Kropotkine, les établissements humains doivent s'établir le plus naturellement possible et sans limite de taille ou de durée. Dans cette optique, l'habitat collectif est une aberration, seules des maisonnettes regroupées au sein de villes sont à même de fournir un épanouissement personnel indispensable à l'individu. La forme urbaine ainsi défendue se rapproche davantage de la pensée de Proudhon que du modèle collectif des utopistes industriels. Les homologues de Kropotkine, Boukharine et Préobrajensky vont dans ce sens au lendemain de la révolution russe (1919). Sans proposer concrètement de solution, les deux militants affirment que les nouvelles constructions devront « contribuer à la dispersion des citadins dans les banlieues et ne plus permettre l'entassement de millions de gens [...] ». Contre les règles trop contraignantes des modèles, le russe Kropotkine est l'un des premiers utopistes à défendre une certaine idée de la mixité fonctionnelle. Pour lui, l'agriculture et l'industrie doivent être localisées à proximité l'une de l'autre, afin que la première bénéficie d'une croissance de la mécanisation notamment.

Le phalanstère de Fourier est critiqué peu de temps après sa conception (1891) par William Morris, lequel reproche à l'œuvre de Fourier de n'être qu'une solution temporaire à la pauvreté, notamment rurale. Morris prône à la fois une ville compacte, dense et bien limitée (donc planifiée) tout en faisant l'apologie de la suppression de la limite entre la ville et la campagne. Selon Morris, le bonheur et la réussite pourraient être atteints en adoptant un mode de vie rural, notamment par une population ayant « l'esprit alerte des gens élevés dans les villes ». Même si pour Friedrich Engels, le problème du logement à la fin du XIX^{ème} siècle n'est qu'une des conséquences du capitalisme bourgeois, il milite également dans le sens d'une suppression de la limite entre la ville et la campagne.

29. Cette conception de la propriété d'un logement va d'ailleurs à l'encontre de l'héritage de sa pensée, Proudhon ayant déclaré « la propriété, c'est le vol » (?)

Le modèle de la *Broadacre City*, imaginée en 1935 par Frank Lloyd Wright constitue sans nul doute le paroxysme de la suppression de la limite entre ville et campagne. Bien qu'il ait défendu auparavant l'extrême densité avec une proposition d'un immeuble d'une hauteur symbolique d'un mile anglais (1,6 km), Wright se ravise peu à peu et imagine ce qu'il appelle « la cité naturelle de la liberté dans l'espace ». La cité est d'ailleurs sans limite, puisque l'architecte américain l'imagine très vite recouvrir le pays tout entier, puis le monde. Réfutant le principe du modèle, Wright est pourtant un utopiste et désigne quelques règles, comme celle du minimum d'un acre par habitant de la cité (4 000m²), et parle souvent d'unité(s) : unité urbaine, unité fonctionnelle, unité de logements. Ces unités, son fameux plan en damier, sa vision de la ville idéale forment une pensée assez paradoxale au regard de ses convictions. Il serait ce qu'Helen ? appelle un *planificateur anarchiste*. De même, Wright, qui propose déjà de disperser les résidences dans l'espace, est favorable à une certaine mixité fonctionnelle. Le travail peut être localisé à proximité de l'habitation (en ce qui concerne les ateliers ou les bureaux individuels) mais aussi être regroupé en « petits centres spécialisés » (?).

L'idéal libertaire, qui s'est manifesté au XIX^{ème} siècle, s'est poursuivi au XX^{ème} siècle, notamment avec la mise en place des mouvements urbanistiques utopiques de la démocratie participative. À ce titre, l'exemple de Porto Allegre, dont le premier budget participatif a été voté en 1989, constitue un bon exemple.

Objectif	Accomplissement individuel, quête du bonheur
Normes	Selon les auteurs, planification ou absence de planification
	Interpénétration de la ville dans la campagne
	Selon les auteurs, mixité fonctionnelle (Kropotkine, Wright) ou non (Morris)
Règles	Habitat individuel (Proudhon, Kropotkine, Wright), rarement collectif (Morris)
	Plan en damier pour Wright
	Pas de séparation ville / campagne, pas d'enceinte, mur, ou de limite à la ville
	Pas de seuil de population maximale
	Terrain individuel de 1 000 m ² pour Proudhon, 4 000 ² pour Wright

Tableau 1.5 – Objectif, normes et règles de l'idéal libertaire

2.5. Chez Le Corbusier

D'après les textes publiés sur la forme de la Charte d'Athènes (?), il existe une « bonne forme urbaine », universelle, susceptible d'apporter le bonheur, le soleil et l'air pur dans des Cités Radieuses, pour l'Homme Nouveau du Meilleur des Mondes (?). Cette affirmation, formulée sous la forme d'un postulat, constitue le point de départ de l'œuvre de Charles-Edouard Jeanneret dit Le Corbusier. De par son travail, notamment celui, plus théorique, qu'il décrit dans ses ouvrages, Le Corbusier peut être vu comme un héritier des utopistes du XIX^{ème} siècle. À ce sujet, ? affirme même que la *Ville Radieuse* du Corbusier est une sorte de « projection verticale » de la pensée de Fourier et de son *phalanstère*.

Auteur de nombreux plans directeurs, Le Corbusier a conçu en 1922 un plan « pour une ville contemporaine de trois millions d'habitants ». Cette ville se compose de 24 grattes-ciel de 60 étages, qui peuvent contenir de 10 000 à 50 000 employés. Plus tard, cette utopie est devenue le *Plan Voisin de Paris* (1925). Les hauteurs sont encore plus radicales puisqu'en lieu et place de l'actuelle capitale, Le Corbusier propose l'érection de 18 tours de 200 mètres de haut.

L'archétype du fonctionnalisme urbain est sans aucun doute à mettre au crédit de Le Corbusier, qui définit quatre fonctions urbaines : « habiter, travailler, se recréer [...], circuler » (?). Pour lui, « le cycle des fonctions quotidiennes sera réglé par l'urbanisme dans l'économie de temps la

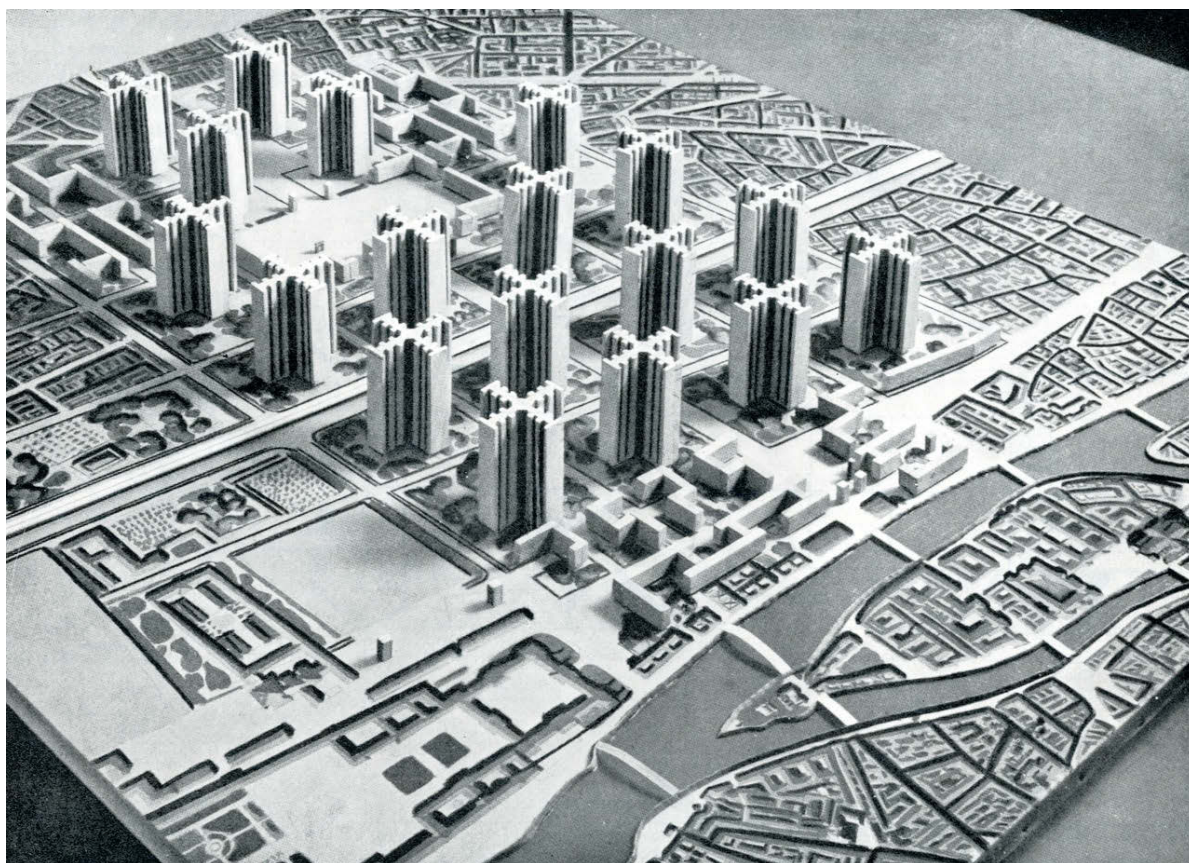


FIGURE 1.12 – *Le plan Voisin de Paris*, par Le Corbusier (1925), maquette du site d'implantation, Fondation Le Corbusier, Paris

plus stricte », c'est-à-dire que la fonction « circuler » sera suffisamment optimisée pour permettre le bon fonctionnement des trois autres activités. La Charte d'Athènes (1933), où il est stipulé que le zonage est consisté à « attribuer à chaque fonction et à chaque individu sa juste place » conduira d'ailleurs Le Corbusier à publier en 1941 son ouvrage *La ville fonctionnelle*. La séparation des fonctions urbaines sera aussi un des piliers de la cité industrielle de Tony Garnier qui sépare la cité en trois espaces, l'usine, la ville et les établissements pour malades³⁰ (?). Pour Le Corbusier, les déplacements peuvent nuire au quotidien dans la mesure où ils empêchent de profiter du temps libre, la circulation se doit d'être optimisée et l'accessibilité renforcée. La ville *corbuséenne* est donc dessinée pour le déplacement, avec de très larges artères, destinées à la circulation automobile. Des héliports et des pistes d'atterrissage sont même développées dans de multiples points de la ville, l'architecte ayant pour vision le développement et la démocratisation des transports aériens. À l'inverse de l'apologie des déplacements motorisés, la construction d'immeubles sur pilotis traduit la réflexion de Le Corbusier sur les déplacements piétons. En plus de la séparation fonctionnelle de la ville, Le Corbusier sépare les modes de déplacements dans l'espace.

30. On peut constater ici les influences industrielles (Fourier, Ledoux...) et hygiéniste avec l'importance accordée aux établissements de soins.

Même si les projets urbanistiques de Le Corbusier ont davantage vu le jour sous la forme de réalisations ponctuelles que de grands plans d'ensemble, il y a derrière le radicalisme de son propos des éléments intéressants quant à la production de nouvelles normes. Son objectif principal était la quête de la rationalité à tous points de vue. Probablement à cause de sa vision globale de la société, Le Corbusier a souvent été diabolisé par ses détracteurs. Malgré de très nombreuses réalisations ponctuelles (de la maison au lotissement en passant par des édifices publics), et la reprise du plan de Chandigarh, aucun autre de ses plans de ville ou d'agglomération n'a été intégralement appliqué. Toutefois, sa pensée fait encore aujourd'hui l'objet de nombreuses publications ou expositions.

Objectif	Quête du bonheur collectif par la rationalité des comportements individuels
Normes	Bonne circulation de la lumière, d'air
	Habitat collectif
	Facilité de circulation pour différents modes de déplacements, notamment individuels : aérien (hélicoptères ou avions), automobile, piéton
	Séparation des fonctions (habitat, travail, loisirs, circulation)
Règles	Immeubles sur pilotis
	Immeubles de très grande hauteur (entre 180 et 200m) et peu nombreux (une vingtaine)
	Grande largeur des artères de circulation
	Zonage strict de la ville

Tableau 1.6 – Objectif, normes et règles de la ville du Corbusier

2.6. La Nouvelle Economie urbaine

Les utopies urbaines ont souvent proposé de nouvelles règles afin de définir les limites ou le plan de la ville, la distribution des fonctions urbaines ou encore les règles d'accessibilité, et ce dans l'optique de changer les normes en vigueur et avec un objectif donné. Le courant de la nouvelle économie urbaine s'est également intéressé aux mécanismes de production de l'espace urbain et il semble intéressant de voir à quel point les modèles issus de cette discipline intègrent également des normes (et des règles) et s'en inspirent. Il n'est pas question dans cette section de refaire l'histoire complète de l'économie urbaine. Néanmoins, il semble intéressant de s'interroger sur les apports de cette discipline à la réflexion sur la ville et à notre propre questionnement.

L'objectif principal de la Nouvelle Economie Urbaine est plus ou moins directement la quête du bonheur individuel. Ce bonheur est considéré comme la capacité des individus à acquérir des biens économiques, souvent résumée par la notion de maximisation de l'utilité (?). La notion d'utilité est largement antérieure au courant de la Nouvelle Economie Urbaine puisque dès la fin du XVIII^{ème} siècle, Jeremy Bentham (1789) écrit ; « Par le principe d'utilité, on entend ce principe qui approuve ou désapprouve toute action quelle qu'elle soit, selon la tendance qu'elle semble présenter d'augmenter ou de diminuer le bonheur de celui ou de ceux dont l'intérêt est en jeu ; en d'autres termes, de promouvoir ce bonheur ou de s'y opposer ». Il y a également un intérêt à identifier les structures spatiales et les tailles de villes efficaces, autrement dit qui permettent de maximiser l'utilité globale, de telle sorte à analyser les règles qui permettent de parvenir à cet objectif (?).

Avec un modèle circulaire et une séparation fonctionnelle relativement marquée, on constate qu'Alonso (1964) et ses successeurs sont les héritiers de Von Thünen (1826), même si certaines ruptures entre les travaux ont été identifiées (?). Von Thünen, dès la première moitié du XIX^{ème} siècle, cherchait le moyen d'organiser de manière optimale et théorique l'espace agricole autour d'un centre. Avec sa tentative de définition d'un modèle d'équilibre général, Alonso défend une organisation concentrique de la ville basée sur le comportement individuel d'optimisation de l'ensemble des acteurs (ménages, agriculteurs, promoteurs, entrepreneurs) (?). À l'aide de démonstrations mathématiques et le calcul des dérivées de l'utilité et du revenu, Alonso a réussi à mettre en évidence les conséquences spatiales du comportement d'optimisation dans le cadre d'une ville monocentrique (?). La norme principale qui est défendue par le modèle de la Nouvelle Economie Urbaine passe par la mise en application de la fonction d'utilité qui résulte d'un arbitrage des individus entre les coûts de transports et l'accessibilité à différentes aménités. Le résultats de cet arbitrage s'exprime par la capacité des individus à acheter des biens économiques, le panier du ménage. Des pondérations sont possibles entre les différents coûts inclus dans le modèle, par exemple en fonction des types de

ménages (aisés ou en situation de précarité économique).

Une expérience basée sur le test de différents comportements d'optimisation a également été effectuée par ? . Les conclusions des auteurs montrent qu'il est possible d'effectuer une comparaison entre les villes américaines et européennes, alors même qu'elles sont organisées selon des logiques spatiales radicalement différentes. Aux États-Unis, les ménages aux revenus les plus élevés sont localisés en périphérie tandis qu'en Europe, les ménages aux revenus supérieurs habitent généralement à proximité du centre de la ville. Il existe pourtant un modèle, basé sur la maximisation de l'utilité qui explique cette différence de localisation, en intégrant en plus de la proximité au centre-ville et de la superficie occupée, les aménités. Brueckner définit trois types d'aménités : naturelles (les cours d'eau et les espaces boisés principalement) ; historique (les monuments ou curiosités architecturales), et les aménités dites sociales (restaurants, équipements sportifs...). La forte présence d'aménités au centre de Paris, notamment historiques, dont la valeur décroît fortement avec la distance, conduit les ménages les plus aisés à habiter à proximité du centre-ville. En revanche, à Detroit, les aménités sont surtout localisées en périphérie, où leur valeur décroît peu en fonction de la distance, d'où une localisation des ménages aisés dans ces mêmes espaces périphériques. Le voisinage social joue donc un rôle important dans la localisation et le maintien des ménages au sein d'un espace. Cet effet « pair » est une norme. Les ménages tiennent compte d'une qualité de vie dans leur choix de localisation. La qualité de vie peut être symbolisée par la présence d'aménités pouvant alors accroître l'attractivité d'un lieu (?).

L'organisation spatiale de la ville de la Nouvelle Economie Urbaine émerge des comportements des individus. Ces derniers forment le niveau de définition des objectifs, normes et règles. Cette intégration au niveau individuel s'appelle l'*individualisme méthodologique*. C'est sur l'interaction entre les individus dans l'espace que reposent les fondements de l'économie urbaine (?). La notion d'interaction fait appel ici à la notion de proximité, primordiale en géographie³¹, et en économie. « La proximité géographique [...] suscite l'apparition d'une autre forme de proximité, dite "relationnelle", entre les agents, qui apporte une meilleure qualité des contacts. En effet, la proximité géographique permet l'émergence de règles, normes ou conventions formelles et informelles qui régulent la concurrence et la coopération [...] » (?). Le résultat de ce jeu de concurrence et de coopération est visible sous la forme d'un arbitrage. En effet, comme le rappelle Jean Cavailhès, le processus de localisation résidentielle est le fruit d'un « arbitrage entre l'accessibilité à la ville (emplois, services, biens publics), le coût du logement (qui diminue avec l'éloignement) et la présence de nuisances

31. Comme le souligne la première loi de géographie, selon laquelle « Tout interagit avec tout, mais deux objets proches ont plus de chances de le faire que deux objets éloignés » (?).

ou d'aménités» (?).

Dans la Nouvelle Economie Urbaine, l'espace est vu au travers du prisme de la formalisation mathématique, il est souvent de forme circulaire, mais peut également être considéré par une simple droite, ou un carré. La rationalité géométrique est au service du raisonnement formel et de l'organisation socio-économique (?). Comme le rappellent ?, « la représentation circulaire et monocentrique de l'espace urbain est liée d'une manière particulière à la recherche d'une explication micro-économique de la ville ». La formalisation de l'espace par la géométrie est un point commun entre les modèles de la Nouvelle Economie Urbaine et les utopies traditionnelles des XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècle. Cette analogie s'établit tant d'un point de vue spatial (dans la construction des modèles) que d'un point de vue formel (l'agent économique rationnel et l'idée de maximisation de l'utilité). Il serait donc possible de faire un parallèle entre des modèles urbains plutôt issus de l'économie et des modèles de ville spatialisés, tels que décrits par certains utopistes (???). La ville circulaire d'Alonso (1964) ne serait-elle pas le pendant économique de l'*Utopia* de More, ou encore l'Atlantide de Platon (?), à savoir une île théorique, entourée d'eau ? Ce parallèle pose d'ailleurs la question des limites géographiques et des frontières, des délimitations. La ville vue par les économistes n'a pas de limite a priori, la frontière apparaît à la lumière d'une différence entre la rente urbaine et la rente agricole (Gilli, 2001), dans un système fermé de la ville.

Ce qui change entre la Nouvelle Economie Urbaine et les utopies industrielles, c'est l'angle sous lequel la rationalité est abordée. Là où More, Cabet et les autres cherchaient dans la rationalité une meilleure organisation sociale, la Nouvelle Economie Urbaine défend surtout une approche individuelle, centrée sur l'individu. Dans cette optique, le concept d'*homo-economicus* a émergé. Par son comportement rationnel, il symbolise l'idée de maximisation, et permet de modéliser sous la forme d'équations mathématiques, une utilisation optimale des ressources. Même si depuis, un grand nombre d'économistes ont remis en cause cette approche et l'utilisation de l'*homo-economicus*, il s'avère que cet objet demeure fort utile dans l'appréhension et l'explication de processus décisionnels complexes réalisés à l'échelle individuelle.

La maximisation de l'utilité individuelle est certes le modèle dominant en économie, mais il n'est pas le seul. Des modèles alternatifs existent. Par exemple, le bien-être social (*social welfare*) est également une notion importante en économie. Ce bien-être découlerait de la somme des utilités individuelles, et la maximisation de cette somme d'utilités individuelles formerait l'objectif collectif (?). Cette approche relève également de l'individualisme méthodologique mais intègre, au niveau individuel, une norme de recherche du bien-être collectif. C'est le cas par exemple dans les modèles

économiques de fiscalités locales où le comportements des élus est modélisé dans l'objectif global d'augmenter le bien-être de leur population (?).

Objectifs	Maximisation de l'utilité individuelle sous contrainte budgétaire
	Dans certains cas, recherche du bien-être collectif
Normes	Ville mono-centrique (Von Thünen, Alonso) et parfois polycentrique
	Comportement d'optimisation, rationalité de l'agent
	Séparation fonctionnelle (Von Thünen, Alonso)
Règles	Pas de limite a priori de la ville : émergence
	Rentes différents à la ville et à la campagne
	Arbitrage entre accessibilité, coûts de transports et coût de logement (avec ou sans pondération)
	Le bonheur se mesure par le résultat de cet arbitrage, la capacité à acheter des biens

Tableau 1.7 – Objectif, normes et règles de la Nouvelle Economie Urbaine

2.7. *Transit-Oriented Development*

Le *Transit-Oriented Development*, couramment désigné par son acronyme TOD, est un modèle de ville décrit par Peter Calthorpe en 1993, dans son ouvrage *The Next American Metropolis*, sous titré *Ecology, Community, and the American Dream*. Dans cet ouvrage, Calthorpe part du constat d'un dysfonctionnement de la ville contemporaine aux États-Unis, pour arriver à une nouvelle proposition de forme urbaine³². Pour lui, la ville doit s'organiser autour de trois grands principes. Tout d'abord, le niveau urbain régional (qui comporte plusieurs agglomérations), doit suivre la croissance du réseau ferroviaire ou bus express (le *transit*), et arborer une forme plus compacte que celle observée. Ensuite, il faudrait remplacer le zonage monofonctionnel (séparation des principales fonctions urbaines, habiter, travailler, se déplacer, faire des achats, des loisirs) par une mixité des usages, tout en favorisant la marche à pied (*walkable neighborhoods*). Enfin, à un niveau plus local, cette mixité fonctionnelle s'appuie sur l'architecture en étant davantage tournée vers les espaces publics et en se rapprochant de l'échelle humaine, plutôt que d'être tournée vers la sphère

32. À ce sujet, Calthorpe déclare d'ailleurs que la Seconde Guerre Mondiale marquerait la fin des utopies (Le Corbusier, Wright...) pour conduire à des recommandations de développement (*guide development patterns*).

privée (habitat individuel et voiture particulière) et dessinée par et pour l'automobile. À ce titre, la généralisation et la démocratisation de l'usage de la voiture forme un changement social fondamentale dans l'approche urbaine. Comme chez Le Corbusier, la pensée de Calthorpe est multi-échelle, dans la mesure où la conception du TOD intègre le niveau régional avec l'extension des villes existantes, l'émergence de villes nouvelles et le niveau local, avec la prise en compte des mobilités piétonnes.

Au niveau régional, le plan de la ville doit être pensé au regard de la limite de l'espace urbain. Si les infrastructures de transports, notamment les autoroutes, ont sans cesse repoussé cette limite, il semble indispensable pour l'auteur de reconsidérer l'avancée du front urbain. Calthorpe recommande donc, à l'aide d'une vision à long-terme des besoins de croissance urbaine, de s'appuyer sur des limites physiques de l'environnement (versants de montagnes, grandes plaines agricoles, cours d'eau et plaines inondables...), comme le montre la figure 1.13. Dans sa réflexion sur la création des villes nouvelles, un rapprochement est possible avec la pensée d'Howard. En effet, le développement (de population et d'emplois) peut ne pas être absorbé par une ville existante si ce processus est susceptible de nuire à son caractère de petit bourg. Il faudra donc dans de rares cas, recourir à la création d'une ville nouvelle, suffisamment éloignée de la ville existante afin de maintenir une ceinture verte. De même, un équilibre dans la répartition des emplois et des habitants devra être trouvé.

Une partie de l'ouvrage de Calthorpe forme un guide de recommandation pour la création et l'extension de tissus urbains à une échelle plus locale. L'ensemble de ces recommandations sont composées de règles relativement détaillées et illustrées qui concernent un certain nombre d'aspects que l'aménageur doit prendre en compte (densité résidentielle, mixité fonctionnelle, réseaux de transports, mais aussi protection de l'environnement, parcs urbains...). Sans rentrer dans le détail de chacune d'elles, il semble intéressant de présenter et de commenter certaines règles.

Peter Calthorpe définit le TOD comme « un espace de mixité fonctionnelle, situé à une distance approximative de 600 mètres d'un noeud de transport en commun et d'un noyau commercial. Le TOD mélange du résidentiel, des commerces, des bureaux, des espaces ouverts et des espaces publics dans un environnement piéton, le rendant pratique d'accès en transports en commun, bicyclette, à pied ou en voiture pour les résidents et les employés ». Le caractère piéton et la proximité sont les éléments clés du TOD, et font suite aux réflexions menées dans le cadre de la poche pédestre (*pedestrian pocket*), initiées à la fin des années 1980 (?). Le seuil de 600 mètres correspond à une distance jugée acceptable en marche à pied pour une grande partie de la population (environ

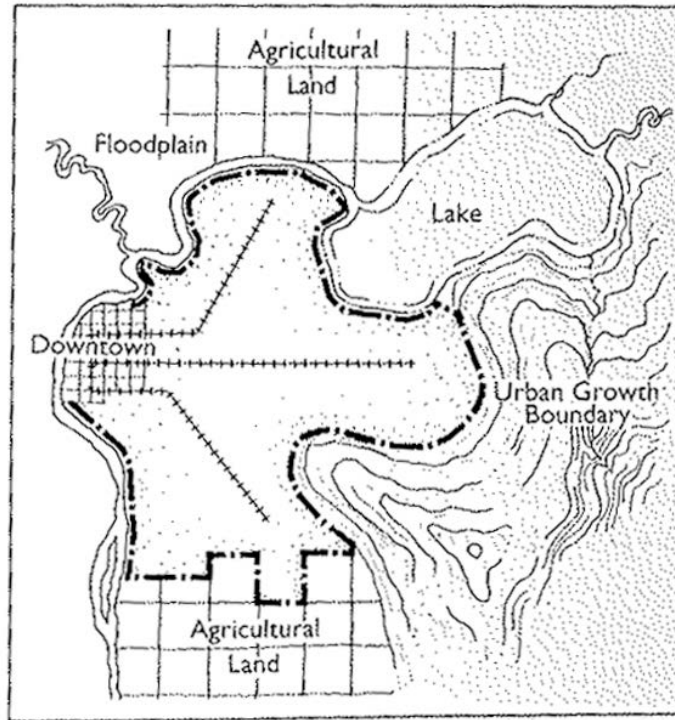


FIGURE 1.13 – Forme régionale du TOD, par Peter Calthorpe, 1993

10 minutes), mais il est possible de le faire évoluer en fonction des sites, de leurs contraintes topographiques ou climatiques.

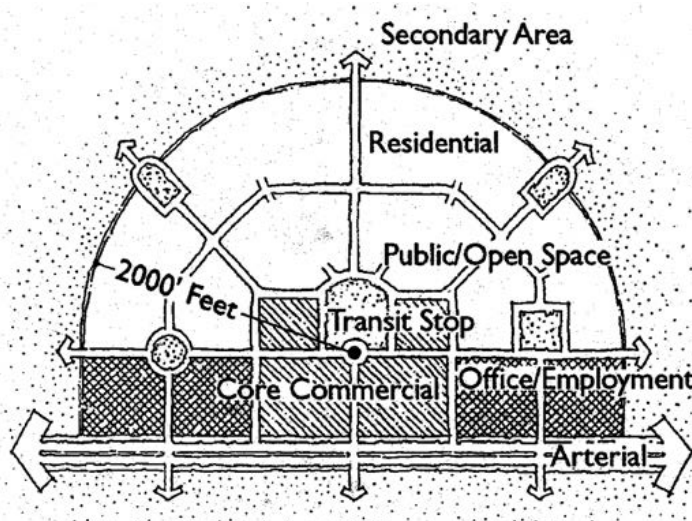


FIGURE 1.14 – Plan général du TOD « urbain », par Peter Calthorpe, 1993

Deux niveaux de TOD sont possibles, le TOD « urbain » (figure 1.14) et le TOD « de voisinage », qui respecte sensiblement le même plan que le premier, tout en ayant une dimension plus restreinte. En effet, le TOD « de voisinage » est destiné aux arrêts de bus moins importants des lignes collectrices,

c'est-à-dire conçues pour rabattre le trafic sur le réseau principal. Les densités (de population, d'emplois) sont moindres mais permettent aussi des coûts de logements plus réduits, facilitant ainsi la mixité sociale. Ces différents niveaux de TOD permettent une certaine adaptation du modèle selon les sites d'implantation et les contextes locaux.

Les noyaux commerciaux forment une composante essentielle du TOD. Ces noyaux doivent être localisés à proximité immédiate de l'arrêt de transports en commun. Au minimum, comme pour le TOD « de voisinage », cet ensemble de commerces doit contenir un ou plusieurs commerces de proximité (une épicerie par exemple), et quelques services (distributeur de billets, poste...). Au niveau urbain, le noyau commercial peut contenir des surfaces plus importantes, un supermarché, des bars, restaurants, cinémas. Ces espaces dédiés à la mixité fonctionnelle sont également à même d'accueillir des bureaux ainsi que de l'industrie légère.

Les espaces résidentiels sont répartis tout autour de l'arrêt de transport en commun, avec un double gradient décroissant, de mixité avec les activités commerciales et de densité de construction. Peter Calthorpe propose une densité de construction moyenne de 7 logements par hectare, avec 10 logements par hectare au plus près du centre et une densité décroissante jusqu'à 4 logements par hectare. Il faut bien entendu replacer ces seuils de densité dans le contexte de la ville nord-américaine de la fin des années 1990. Comme le montre la figure 1.15, une densité de 4 log/ha correspond à une prédominance de maisons individuelles tandis qu'une densité de 10 log/ha se rapproche davantage des maisons de villes, comme dans les années 1930 aux États-Unis. Quoiqu'il en soit, la densité n'est pas le seul levier d'action au niveau très local et la forme des habitations joue également un rôle prépondérant. Ainsi, Calthorpe recommande de varier la nature des constructions, en mêlant maisons individuelles, maisons jumelées, immeubles en copropriétés et autres appartements.

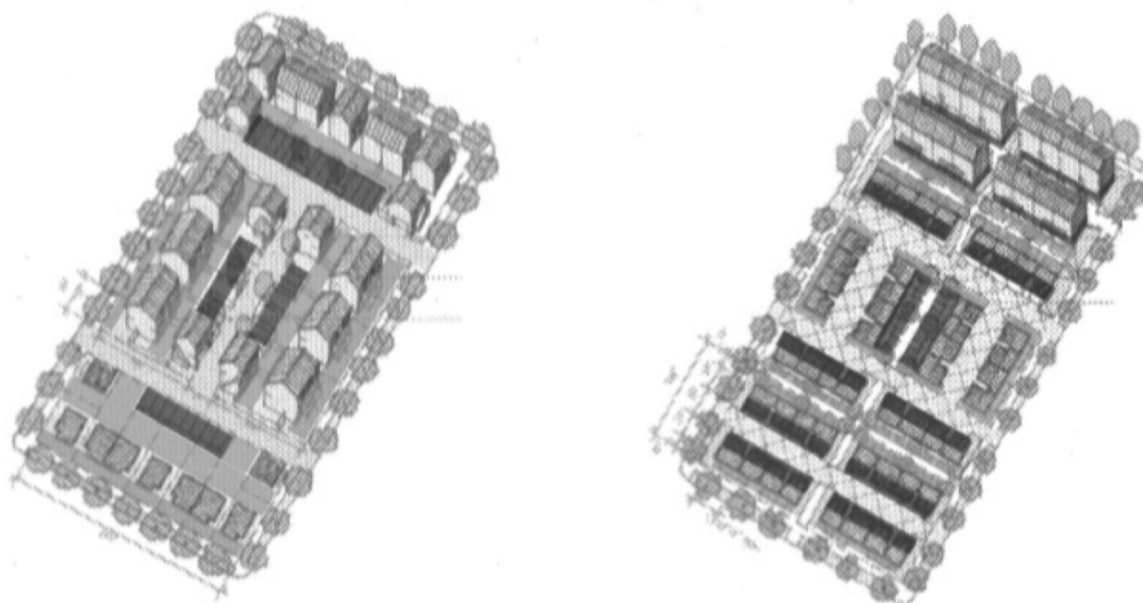


FIGURE 1.15 – Exemple de deux densités de construction. À gauche, 4 logements par hectare. À droite, 10 logements par hectare, illustrations de John Ellis

Les espaces publics ont également un rôle important dans le TOD. Le modèle de ville recommande le développement d'espaces verts, de pelouses, de bâtiments publics afin d'améliorer le lien social et la convivialité. Dans cette optique, un parc doit être situé à proximité du centre, de commerces ou encore d'une bibliothèque, tout en étant bien visible depuis la rue. Les parcs ne sont pas des interstices, ou l'espace entre la rue et une construction, mais le fruit d'une démarche volontaire d'aménagement. De même que pour la densité, des recommandations de seuils sont données, l'ensemble des espaces verts devant rassembler 10 à 15% de la surface totale du projet.

Le TOD a rapidement eu un certain succès, notamment dans les pays anglo-saxons. De nombreux travaux visent à prolonger le guide de recommandations de Calthorpe par des retours d'expériences³³. Le TOD fait donc partie intégrante des documents de planifications de Montréal (Canada), Calgary (Canada), Melbourne (Australie), San Diego (Californie, États-Unis), Sacramento (Californie, États-Unis), Portland (Oregon, États-unis), mais aussi Curitiba (Brésil) ou encore Stockholm (Suède).

Depuis la publication de l'ouvrage et les premières recommandations, il semblerait que les densités de construction de certaines réalisations soient plus élevées que ces seuils. Le Plan Métropolitain d'Aménagement et de Développement (PMAD) de l'agglomération de Montréal au Canada a pour objectif de localiser 40% des nouveaux ménages dans des zones TOD³⁴ (?). Le gradient de den-

33. Pour une revue de littérature complète sur le TOD, le rapport du *California Department of Housing and Community*.

34. Soit près de 200 000 ménages d'ici 2030

sité proposé pour Montréal va de 30 à 150 logements à l'hectare, tout en conservant le principe de densité décroissante au fur et à mesure de l'éloignement au centre.

Le TOD semble avoir connu un réel essor en Californie, si bien qu'il existe même sur Internet un moteur de recherche qui permet d'identifier les projets pouvant appartenir à ce modèle³⁵. Toutefois, la multiplication des projets et les effets de mode conduisent inévitablement à une perte de la substance originale. En l'absence de label officiel certifiant la dimension TOD du projet, les principes et recommandations de Calthorpe sont peu à peu adaptées, voire modifiées. Des projets urbains sont identifiés par des étiquettes *Transit-Based Development* ou *Transit-Adjacent Development* et sont parfois confondues avec du TOD en raison d'une proximité à une ou plusieurs infrastructures de transports en commun. Ces projets, assez éloignés du modèle théorisé par Calthorpe, ne peuvent pas être considérés comme apparentés au TOD.

35. <http://transitorienteddevelopment.dot.ca.gov/>

Objectif	<p> limiter l'étalement urbain et favoriser les modes doux ou les transports en commun</p>
Normes	<p> Hiérarchie entre la région, la ville et le quartier (multi-échelle)</p> <p> Deux niveaux de TOD possibles (urbain et voisinage)</p> <p> Mixité fonctionnelle</p> <p> Accès aisé aux commerces et services, à pied ou en transports en commun selon la fréquence de recours</p> <p> Diversité des types d'habitations et des coûts de logements (de l'individuel au collectif)</p> <p> Accès aisé aux espaces verts, à pied ou en transports en commun selon la fréquence de recours</p>
Règles	<p> Limiter la ville à l'aide des contraintes géographiques</p> <p> Équilibre nombre d'habitants / nombre d'emplois</p> <p> Distance de 600 mètres d'un nœud de transports en commun et d'un noyau commercial</p> <p> Fréquence de recours des commerces ou services en fonction du niveau de TOD</p> <p> Gradient décroissant de densité de construction (de 4 à 150 log/ha, soit de 10 à 450 hab/ha)</p> <p> Gradient décroissant de mixité fonctionnelle</p> <p> 10 à 15% d'espaces verts par projets</p>

Tableau 1.8 – Objectif, normes et règles du *Transit-Oriented Development*

2.8. *Smart Growth* et Nouvel Urbanisme

La *Smart Growth* que l'on pourrait traduire par « croissance intelligente », est un mouvement américain issu du monde des aménageurs en réponse aux conséquences néfastes de l'étalement urbain dans les années 1990 (?). Les objectifs principaux de la *Smart Growth* (dont l'intitulé forme l'objectif global) sont multiples. Tout d'abord, il faudrait limiter l'extension urbaine en adoptant une croissance plus compacte pour préserver les espaces naturels. Il semble également important d'augmenter les densités à la fois dans les nouvelles constructions et dans les quartiers existants. Parallèlement, une augmentation de la mixité fonctionnelle en favorisant les mobilités piétonnes devraient permettre de minimiser l'usage de la voiture pour les courtes distances. La *Smart Growth* encourage aussi la redistribution des coûts publics d'infrastructures en augmentant les frais en direction des principaux bénéficiaires, c'est-à-dire les propriétaires des terrains visés par un urbanisme plus compact. Il est également question de développer les infrastructures de transports en commun pour limiter l'usage de l'automobile. Enfin, il est question d'une revitalisation des quartiers anciens déjà existants (Downs, 2005). Les défenseurs de la *Smart Growth* suggèrent donc qu'une réflexion sur les formes du développement résidentiel permettrait de réduire les effets négatifs de l'étalement urbain (?). Il s'agirait, par le biais de nouvelles règles concernant l'aménagement et l'urbanisme, d'aboutir à une densification « bien faite » (*well-designed*) (?). Dans cette optique, un code des bonnes pratiques a été rédigé, *The Smart Growth Manual* (2010). Une charte reprenant ces principes a également été ratifiée par l'*American Planning Association*³⁶ en 2002 et éditée dix ans après (?).

Le Nouvel Urbanisme (*New Urbanism*) est aussi une alternative contemporaine au modèle prédominant de croissance résidentielle des villes américaines. C'est un mouvement formalisé, organisé autour d'une institution (*the Congress for New Urbanism*) qui regroupe plus de 2 500 membres, et qui tient régulièrement des conférences. Les principes du Nouvel Urbanisme sont rassemblés autour d'un ouvrage fondateur : the Charter of the New Urbanism, qui n'est pas sans rappeler la Charte d'Athènes et le mouvement des CIAM (?). Si des projets antérieurs ont été définis comme appartenant à ce courant, l'expression *New Urbanism* a été employée pour la première fois en 1991, avec la publication des Principes d'Awahnee³⁷ (?). Le Nouvel Urbanisme serait donc, dans sa formulation, légèrement antérieure au TOD. Le Nouvel Urbanisme prend sa source dans les années 1980, suite aux travaux du cabinet d'architectes DPZ, formé d'Andres Duany et d'Elizabeth Plater-Zyberk, conjointement au travail de Peter Calthorpe (?). Une influence croissante de ce mouvement a été identifiée au cours des années 2000 (??). Ce mouvement peut être considéré comme une approche

36. L'Association des Aménageurs Américains

37. En anglais *Awahnee Principles*, d'après le nom d'un hôtel dans le parc national Yosemite

post-moderne de l'architecture avec pour point de départ les premières conséquences néfastes de l'étalement urbain, notamment aux États-Unis. La solution proposée pour endiguer le phénomène est l'application d'une approche néo-traditionnelle de l'urbanisme (?). Le Nouvel Urbanisme provient de deux approches traditionnelles de l'aménagement : l'esthétique urbaine et l'utopie socialiste (?). D'une part, il s'agit de retrouver une forme de culture du « beau », comme le suggère ?, la mixité fonctionnelle requiert une certaine approche pragmatique dans la recherche d'une harmonie architecturale. Autrement dit, il ne s'agit pas de juxtaposer spatialement des maisons et des commerces pour faire de la mixité, mais il faudrait tendre à un ensemble cohérent. D'autre part, le Nouvel Urbanisme s'insère pleinement dans la mouvance des utopies socialistes, telles que déjà proposées par Owen, Fourier ou Howard. L'un des enjeux majeurs du mouvement serait de replacer l'homme dans un contexte davantage naturel que celui dans lequel il évolue (??). Cette relation harmonieuse entre l'homme et son environnement aurait déjà existé, d'où la dénomination néo-traditionnelle (?). Les principes³⁸, sur lesquels repose le Nouvel Urbanisme sont : la mobilité piétonne³⁹, la connectivité (notamment écologique), la diversité et la mixité fonctionnelle, la mixité sociale, la qualité architecturale et le design urbain, une structure traditionnelle locale, une augmentation de la densité de construction, des modes de transports doux et finalement la qualité de vie. Comme indiqué sur la couverture de la première édition de la Charte, la pensée du Nouvel Urbanisme est multi-échelle. Elle peut s'établir au niveau régional, métropoles, villes et localités, à l'échelle du quartier, district ou corridor, et d'un niveau encore plus fin (l'îlot, la rue et le bâtiment).

2.8.1. La fusion de la *Smart Growth* et du Nouvel Urbanisme

Bien que d'origine légèrement différentes (sur le plan des acteurs défendant les idées), la *Smart Growth* et le Nouvel Urbanisme ont assez rapidement fusionné (?). Dans un objectif de durabilité, les aménageurs, architectes et universitaires ont combiné la sensibilisation environnementale et sociale contenue dans le Nouvel Urbanisme avec les pratiques suggérées dans le *Smart Growth Manual*. Il n'y aurait donc plus de réelle différence entre *Smart Growth* et Nouvel Urbanisme, le premier désignant plutôt le courant dans son ensemble et le second un concept d'urbanisme (?). Ces réflexions ont été récemment rassemblées au sein du SmartCode (?), édité la première fois par le CATS (Center for Applied Transect Studies). C'est un ouvrage libre de droit et disponible sur Internet⁴⁰. Les exemples de règles qui suivront sont issues de la version 9.2, publiée en 2012. Ces exemples seront analysés conjointement à quelques règles issues du Nouvel Urbanisme, et décrites dans la Charte (?). Pour cela, nous utiliserons les différentes échelles abordées dans les textes, la région, le

38. Liste obtenue sur www.newurbanism.org

39. En l'absence de traduction possible de *walkability*

40. www.smartcodecentral.org et www.transect.org

quartier et la rue ou le bâtiment.

2.8.2. Normes et règles à l'échelle régionale

Le niveau régional est utile dans la mesure où c'est le niveau des objectifs et de la mise en place des politiques publiques. À ce sujet, la Charte indique que « les stratégies et la coordination régionale doivent guider les politiques pour une diminution du changement climatique, un contrôle de la pollution, une préservation des ressources naturelles, le développement économique, le logement et le transport » (?). Le *Smart Growth Manual* synthétise les principes d'aménagement régional en quinze points que sont : 1) l'inévitabilité de la croissance⁴¹, 2) adopter une politique d'aménagement régional, 3) impliquer les résidents, 4) utiliser la logique de transect dans la planification⁴², 5) planifier intégralement l'ensemble des quartiers, 6) définir des priorités pour les investissements, 7) tendre vers un logement plus abordable, 8) localiser à l'échelle régionale les infrastructures ayant un impact négatif sur l'environnement résidentiel, 9) faire en sorte de maintenir une agriculture de proximité, 10) distribuer équitablement les revenus des taxes foncières, 11) faire le lien entre les politiques nationales et les politiques locales en étant le niveau intermédiaire, 12) identifier les politiques nationales qui nuisent à la lutte contre l'étalement urbain, 13) légiférer pour faciliter la mise en place de la *Smart Growth*, 14) prendre en compte l'accès à la ressource à l'eau potable dans la localisation des extensions urbaines et enfin 15) intervenir dans la planification des villes qui se dépeuplent⁴³ sous l'effet de la crise économique.

Le transect est un plan défini à l'échelle régionale qui établit un lien entre l'organisation de l'agglomération et le contenu des différents quartiers. Le transect est une approche transversale de l'espace, du rural vers l'urbain. Il s'agit d'établir une séquence de différents types d'espaces, allant de l'espace naturel (et agricole) à l'espace urbain le plus central, comme le suggère l'exemple de la figure 1.16. Le transect est une approche issue de l'écologie et qui permet d'analyser conjointement une succession d'habitats aux caractéristiques (végétation, espèces) différentes (?). Appliqué à l'aménagement, le transect permet de définir une échelle d'intervention où les règles de composition doivent être cohérentes. À l'intérieur d'une même zone, les règles de densité, mixité, de ratio d'espaces verts sont identiques. Les espaces suburbains (T3 sur la figure 1.16), sont monofonctionnels et dotés d'une densité moyenne de 7 logements par hectare, principalement des maisons individuelles. À l'inverse, les centres urbains (T5 sur la figure 1.16) contiennent des bâtiments

41. Aux États-Unis, la plupart des projections démographiques indiquent une croissance démographique de 30 millions d'habitants d'ici à 2035.

42. Cette démarche, fondamentale dans ces modèles de villes, sera présentée par la suite

43. Les *shrinking cities*

collectifs résidentiels (26 logements par hectare) et commerciaux.

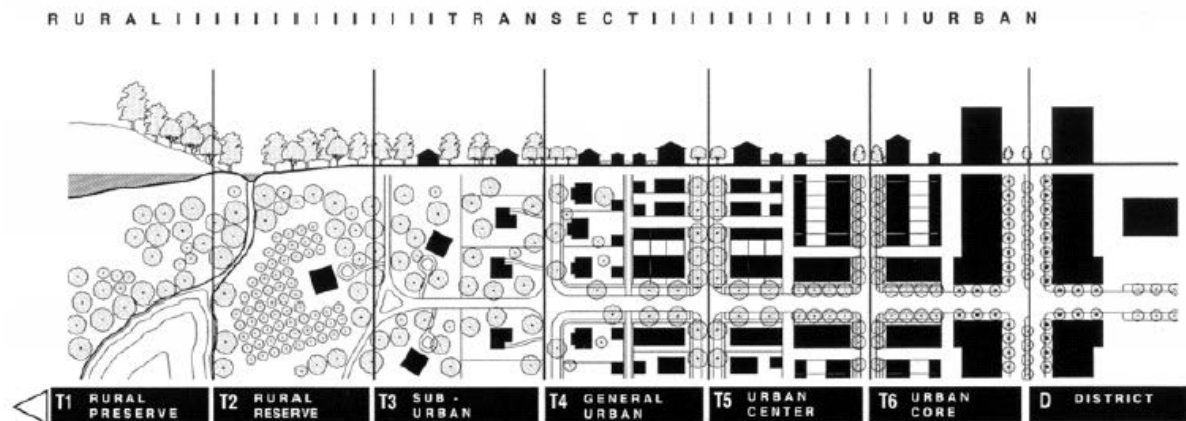


FIGURE 1.16 – Le concept de transect appliqué à la *Smart Growth*, d'après Duany Plater-Zyberk & Company

2.8.3. Normes et règles à l'échelle des quartiers

Niveau intermédiaire du Nouvel Urbanisme, le quartier est l'échelle fondamentale de l'urbanisme contemporain (?). La Charte et le SmartCode sont assez explicites quant à la structure des quartiers. Les dimensions d'un nouveau quartier doivent être contenues dans un rayon d'environ 400 mètres, soit 5 minutes de marche à pied. Le quartier est donc plus petit que dans le cadre du TOD. Il n'a pas de géométrie très précise mais intègre les caractéristiques physiques du site. Toutefois, le quartier doit être pourvu d'un centre, et de limites, de façon à définir les limites fonctionnelles et sociales du voisinage. Le centre a une vocation symbolique (une place, un parc, un monument) mais aussi fonctionnelle (bâtiments administratifs, commerces...). La limite du quartier dépend de sa nature. Dans un milieu urbain, la limite pourra être constituée d'un boulevard, ou d'une artère bordée de commerces. Dans les espaces plus ruraux, la limite du quartier pourra être formée par des habitations ou des exploitations agricoles. Les auteurs recommandent que chaque habitation soit localisée à moins de deux minutes d'un parc ou d'un espace vert. Ils n'ont pas besoin d'être très étendus, 1 000 m² semble être une surface suffisante pour contenir un minimum d'équipements (jeux pour enfants, bancs...). En fonction des quartiers, une certaine diversité peut être apportée dans la nature des espaces verts, leur taille et leur fonction (récréatif, production alimentaire...). Dans le zonage du quartier, il faudrait accorder davantage d'importance à la taille des bâtiments qu'à leur fonction. Il serait donc utile d'organiser le quartier (et la ville) selon un gradient décroissant de la surface et de la hauteur des bâtiments, ainsi que du taux de remplissage des parcelles. Cette organisation s'appuie sur le transect, dans les zones denses, les bâtiments sont étendus et hauts, occupant une majeure partie de la parcelle. Loin du centre, les constructions sont de taille

plus modeste et les espaces libres sont plus fréquents (voir figure 1.16). Pour former une certaine harmonie, il serait également nécessaire que ce principe soit appliqué de façon symétrique en fonction des axes de circulation⁴⁴. De chaque côté d'une même rue, on trouve des bâtiments de même taille, et la séparation entre deux zones contenant des bâtiments de tailles différentes s'effectue à l'intérieur des îlots, de façon non visible. Les quartiers forment aussi une échelle intéressante pour l'organisation des transports en commun. Le caractère piéton des quartiers permet aux résidents d'être situés à proximité d'un arrêt de bus ou de train. Le bus permettrait de relier les quartiers entre eux tandis que le train serait situé à la jointure de plusieurs quartiers. Cette jointure serait alors un espace de plus grande densité et de mixité fonctionnelle accrue.

2.8.4. Normes et règles à l'échelle de la rue ou du bâtiment

La rue et les bâtiments qui la composent forme l'un des niveaux les plus fins d'analyse de la ville, au plus proche de l'humain (?). La Charte du Nouvel Urbanisme et le SmartCode ayant tous deux été en très grande partie rédigés par des architectes, il est assez normal que ce niveau soit le plus détaillé en matière de règles. Là encore, il ne s'agira pas de les présenter de manière complète et exhaustive, mais de regarder quelques exemples de règles à une échelle spatiale très fine. Le réseau de voirie est un élément prépondérant du quartier, il doit permettre toutes formes de mobilité en privilégiant néanmoins les mobilités piétonnes. Le réseau se doit d'être également organisé et hiérarchisé. Les artères les plus importantes relient les quartiers entre eux, tandis que les rues les plus étroites favorisent les déplacements de proximité, à pied ou en modes doux. Pour favoriser la marche à pied, il est important d'éviter au maximum les impasses pour privilégier une approche interconnectée⁴⁵. Dans la même optique, il est indispensable d'anticiper l'extension du tissu urbain en réservant toujours la possibilité de connecter les réseaux de voiries et éviter de générer d'immenses voies sans issues. Si les rues courbes ont été relativement à la mode pendant des années dans le dessin de zones résidentielles, le Nouvel Urbanisme recommande de recourir à davantage de lignes droites pour faciliter l'orientation, tout en tenant compte des particularités topographiques. Les voiries doivent également être conçues pour le partage modal, avec des réseaux séparés et sécurisés pour la pratique des modes doux. De même, les vitesses intra-urbaines doivent être limitées afin de réduire les risques d'accidents. Un certain nombre d'autres règles concernent les trottoirs et les stationnements.

44. Cette organisation symétrique n'est pas sans rappeler l'œuvre antique d'Hippodamos de Milet.

45. Face aux conséquences néfastes des culs-de-sacs (itinéraires difficiles, mauvais partage de la route entre automobilistes et piétons, problèmes d'accès aux véhicules de secours, manque de lien social entre les résidents qui ne se croisent que très peu...), la municipalité de Charlotte (Caroline du Nord, États-Unis) les a tout simplement rendus illégaux.

En matière de bâtiments ou de constructions, le point de départ de la *Smart Growth* est le code basé sur des formes⁴⁶. Il s'agit dans ce cas de remplacer les indicateurs statistiques usuels pour la réglementation en urbanisme, tel que l'équivalent du coefficient d'occupation du sol en France, par un dispositif réglementaire, validé par la municipalité, qui garantit la configuration géométrique des bâtiments et leur position sur la parcelle. La ville de Seaside, ville nouvelle créée dans les années 1960 a été l'une des premières à mettre un tel code en place, comme le montre la figure 1.17 et son détail de la figure 1.18. Ce type de code permet de maintenir une certaine cohérence et d'éviter, dans le respect des indicateurs d'occupation de terrains et de hauteurs, des constructions ne s'intégrant pas spécialement dans l'alignement de la rue et le quartier. Sur le plan architectural justement, l'idée majeure du Nouvel Urbanisme et de la *Smart Growth* est la recherche d'une cohérence d'ensemble, et d'esthétique, ce que certains appellent l'approche néo-traditionnelle. Il s'agirait donc avant tout de rechercher les spécificités historiques et locales au détriment de l'uniformisation contemporaine des formes d'habitations et des lieux d'emplois (?). De fait, le Nouvel Urbanisme a des racines très européennes, et les règles issues de la Charte révèle une quête de la ville américaine traditionnelle (?). Au regard des différentes normes et règles incluses dans le Nouvel Urbanisme et la *Smart Growth*, il y aurait une volonté de certains aménageurs de lutter contre l'étalement urbain par un retour à la ville traditionnelle (mais de quelle époque?) européenne notamment. Certains projets européens se réclament également du Nouvel Urbanisme, comme le projet Val d'Europe, extension de la ville nouvelle de Marne-la-Vallée en région Parisienne⁴⁷.

2.8.5. Applications et critiques

Les règles contenues dans la Charte du Nouvel Urbanisme ou dans le SmartCode de la *Smart Growth* sont relativement nombreuses et touchent un grand nombre d'aspects de l'aménagement. L'un des problèmes majeurs de ce ou ces modèle(s) est qu'ils forment plus souvent une liste de choix qu'une utopie complète et bien délimitée. Il suscite souvent auprès des aménageurs une interprétation personnelle (?). Les règles sont nombreuses, mais peu précises, voire floues sur certains critères. Ces imprécisions éloignent la démarche d'une approche normative, même si Emily ? insiste sur le fait que les aménageurs, dans le cadre du Nouvel Urbanisme, devraient appliquer et implémenter un cadre normatif pour une « bonne » conception de la ville. De fait, la définition d'un nouveau modèle urbain doit passer par la définition de règles précises ainsi que de « labels » permettant d'identifier l'appartenance d'un projet à ce modèle. Dans le cas contraire, si l'utopie a été

46. Le code basé sur les formes est la traduction littérale de *form-based code*, pour plus d'information, <http://formbasedcodes.org>

47. Lu le site de Val d'Europe : <http://www.avenirdualdeurope.fr/?p=1084>

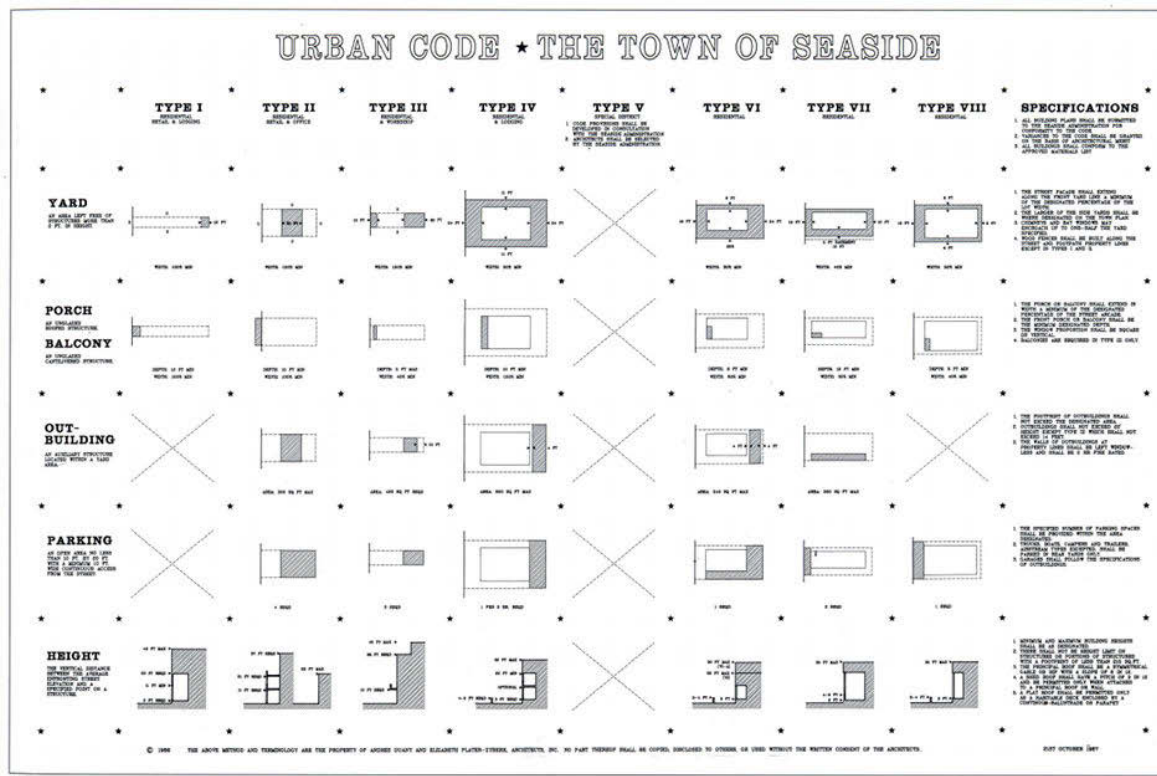


FIGURE 1.17 – Le code basé sur les formes, exemple pour la ville de Seaside (Floride, États-Unis), d’après Duany Plater-Zyberk & Company, 1986

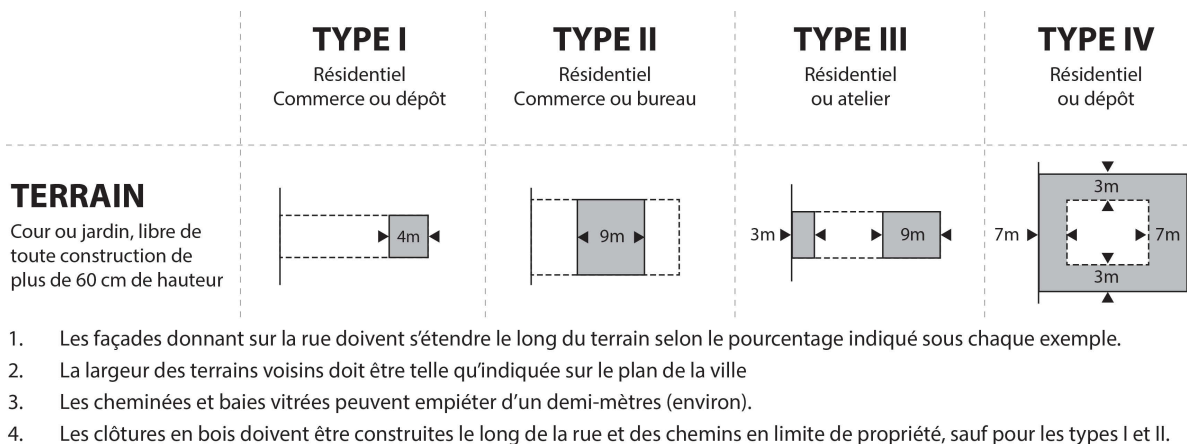


FIGURE 1.18 – Extrait du code basé sur les formes, d’après Duany Plater-Zyberk & Company, 1986

appliquée de manière incomplète ou partielle, il semble difficile de mesurer l’atteinte d’un objectif.

L’application de tels modèles pourrait poser quelques problèmes (?). L’objectif de redistribution financière annoncée dans la Charte serait difficile à atteindre, du fait d’un modèle compact qui accroît les inégalités entre les bénéficiaires du projet et ceux qui auraient éventuellement pu en bénéficier (notamment entre les propriétaires de terrain à proximité des centres urbains et les

propriétaires de terrains plus éloignés) (Downs, 2005). La *Smart Growth* soulève également des questions politiques, en matière de compétences. L'application d'un tel modèle d'urbanisation est conditionnée par la détention de la compétence d'aménagement du territoire au niveau régional. Or, aux États-Unis comme en Europe, cette compétence est surtout détenue par les élus locaux, ce qui complique l'application d'un tel modèle de ville (Downs, 2005). L'augmentation de la densité, souhaitée dans la Charte, ne serait pas facile à atteindre, due à l'apparition régulière de mouvements *NIMBY*⁴⁸. Aux États-Unis (Downs, 2005) et au Canada (?), les objectifs de report modal de la voiture vers les transports en commun ne seraient pas remplis, pour deux raisons. La première raison est que les améliorations des infrastructures de transports en commun profitent surtout à ceux qui utilisaient déjà ce mode de transport (le passage du bus au train / tramway, pour des questions de gain de temps). La deuxième raison est que l'inévitable croissance démographique génère chaque jour plus de nouveaux déplacements individuels motorisés parallèlement aux efforts des politiques publiques pour favoriser le report modal. Une autre conséquence assez négative de ces modèles est la tendance à l'augmentation des prix immobiliers, malgré un objectif contraire. Même si l'effet spécifique de la *Smart Growth* sur les prix immobiliers est difficile à mesurer, indépendamment de la croissance structurelle des prix immobiliers dans les pays occidentaux depuis les années 1990, il semblerait qu'une augmentation des prix dans ces nouveaux quartiers soit constatée, probablement pour des questions de gentrification⁴⁹ (Downs, 2005). Enfin, un des aspects qui pourrait paraître anecdotique mais qui est également soulevé par Downs, (2005) est le volume croissant des tâches administratives à réaliser. Le passage à un modèle contrôlé de croissance résidentielle passe par la rédaction de nombreux documents (protections architecturales, impacts environnementaux, espèces menacées...) qui compliquent considérablement les démarches, tant pour les autorités locales que pour les entreprises en charge de la planification ou de la construction. L'une des conséquences premières de l'augmentation de la charge administrative est l'impossibilité pour des petites entreprises n'ayant pas les ressources suffisantes d'être impliquées dans le processus, laissant ainsi plus de possibilités pour les grands groupes de promoteurs et de constructeurs immobiliers.

48. *Not In My BackYard*, littéralement « Pas Dans Mon Jardin », mécanisme social qui empêche certain projets de se réaliser en raison d'une opposition des riverains, qui ne souhaitent pas de modification de leur environnement résidentiel par l'arrivée d'autres résidents, d'une installation, d'une infrastructure...

49. En effet, une amélioration des conditions de logement et de l'environnement résidentiel, conduit invariablement à une augmentation des prix des loyers et d'achats de logements, et donc à un changement de structure sociale dans ces quartiers.

Objectif	Limiter l'étalement urbain et opter pour une ville plus durable
	Harmonie entre l'homme et son environnement
Normes	Hiérarchie entre la région, la ville, le quartier, l'îlot et la rue (multi-échelle)
	Forme urbaine compacte
	Proximité aux transports en commun
	Mobilité douce, notamment piétonne
	Mixité fonctionnelle
	Mixité sociale
	Qualité architecturale, revitalisation des quartiers « anciens »
	Utilisation du <i>transect</i> pour différents niveaux de règles
	Limite de quartier, de ville
	Accessibilité en 5 minutes, ou 400 mètres, aux commerces et services de proximité
Règles	Densité de construction assez élevée, de 7 à 26 log/ha, selon un gradient décroissant depuis le centre
	Symétrie des bâtiments le long d'un axe de circulation
	Code municipal de formes locales pour les constructions
	Hiérarchie des voies de circulation (des grandes artères aux rues les plus étroites, en évitant les impasses et en étant les plus rectilignes possibles)
	Espace verts d'au moins 1 000 ² à moins de deux minutes à pied

Tableau 1.9 – Objectif, normes et règles de la *Smart-Growth* et du Nouvelle Urbanisme

3. La ville fractale, un modèle normatif

3.1. La notion de fractalité

Comme nous l'avons vu précédemment, les auteurs des utopies urbaines ont depuis longtemps employé la géométrie euclidienne dans la description de leurs modèles, que ce soit à l'aide du cercle, du carré ou des lignes droites. Partant du constat que les villes existantes ne possèdent pas de caractère géométrique simple, des travaux ont été menés afin d'employer les découvertes sur les fractales de \mathbb{R} . La fractalité est la propriété pour un objet donné, de posséder une invariance d'échelle. Quelque soit l'échelle à laquelle l'objet est regardé, on constate un motif similaire (mais pas forcément identique). À ce titre, l'exemple le plus probant est peut-être celui de la feuille de la fougère⁵⁰ (figure 1.19). Soit une feuille de fougère, dont le niveau global, la feuille tout entière, est n . Lorsque l'on effectue un zoom sur le niveau inférieur, en $n - 1$, on retrouve exactement la forme générale de la feuille de fougère entière n . Si on effectue encore un zoom au niveau $n - 2$, on retrouve le motif des niveaux $n - 1$ à n , et ainsi de suite pour l'ensemble des niveaux d'échelle que comporte l'objet. Les fractales sont donc multi-échelles, par nature et par construction, ce qu'induit la notion d'auto-similarité (\mathbb{R}).

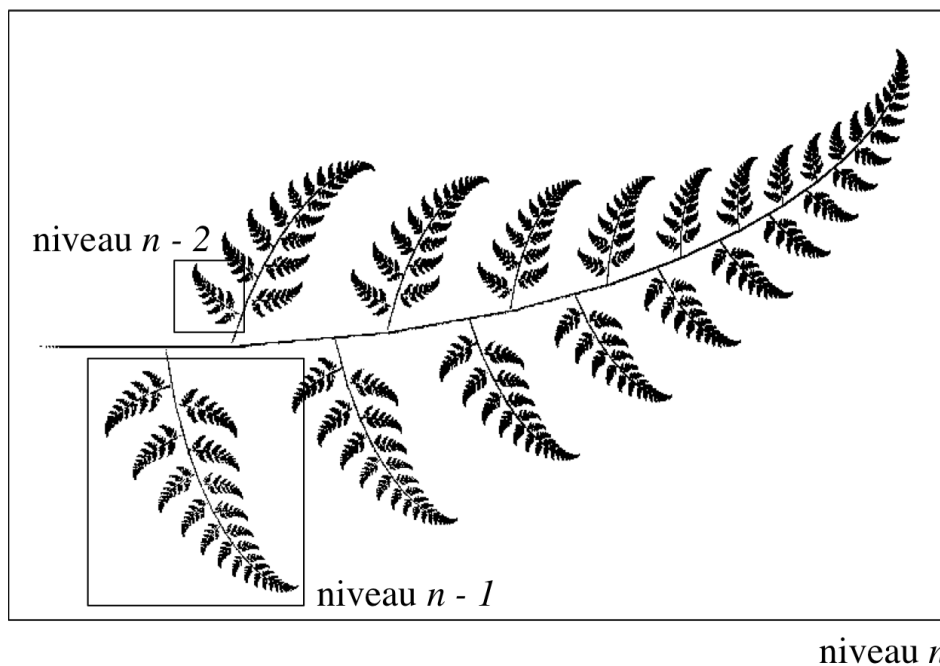


FIGURE 1.19 – Les niveaux d'échelles dans la fougère, un exemple fractal, d'après Barry G. Adams (Laurentian University), 2010

50. Exemple notamment développé par le mathématicien Barnsley, qui a développé l'algorithme permettant de produire une fougère théorique.

Les travaux de Mandelbrot ont conduit à l'émergence d'indicateurs descriptifs afin de caractériser ces formes. Ces indicateurs sont basés essentiellement sur la notion de dimension (?). La dimension fractale, qui peut être calculée selon plusieurs méthodes (*box counting*, dilatations, analyses radiales, corrélations, méthodes de lissage), permet de mesurer l'homothétie interne des objets géométriques complexes, c'est-à-dire la répartition de la densité de matière à travers les échelles (?). Pour autant, la mesure de la fractalité ne possède aucun rapport avec la mesure de la densité, comme le montre la figure 1.20 (?). La densité de la figure de gauche (Tapis de Sierpinski) est identique à la densité de la figure de droite, la fenêtre de travail étant constante. Pourtant, la dimension fractale à gauche est de 1,89 et à droite de 2,00. Dans le modèle de simulation de villes fractales, la dimension est considérée comme une règle, introduite par la définition d'une variable exogène.

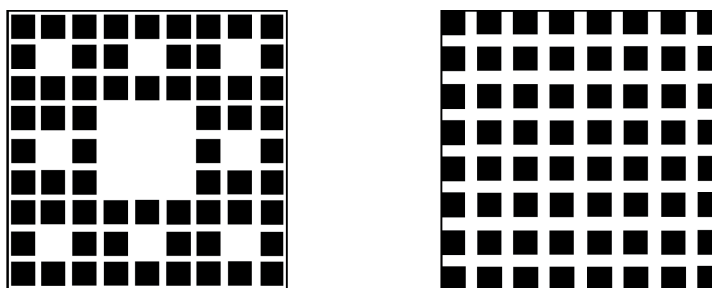


FIGURE 1.20 – Illustration du lien entre mesure de la densité et mesure de la fractalité, à l'aide de deux formes composées de 64 carrés, d'après Thomas et al, 2008

Les fractales ont également fait l'objet de nombreuses applications thématiques, en musique, dans la finance (pour étudier les fluctuations des marchés boursiers), en géomorphologie (?) ou encore en architecture (?).

3.2. La fractalité des villes

Les villes ne sont pas des objets géométriquement simples. En observant le plan d'une ville, à l'échelle de son agglomération, et en ne distinguant que les espaces bâtis des zones non bâties, on constate que les villes sont faites de pleins (bâtiments et réseaux) et de vides (places, de parcs ou espaces verts). Ces pleins et ses vides sont représentés par la 1.21. Les pleins, les agrégats bâtis, sont de tailles différentes. Le centre de la carte est constitué d'un agrégat plus conséquent, ce centre est entourée d'une ceinture d'agrégats plus petits, eux-mêmes cernés d'une constellation de petits agrégats et ainsi de suite. On pourrait également avoir la démarche inverse, et s'intéresser au blanc de la carte. Tout autour de l'agrégat principal, on observe généralement une grande étendue non construite, et à mesure qu'on se rapproche du centre, les espaces blancs deviennent plus petits, se font plus rares, mais ne disparaissent pas complètement. Jusqu'à l'intérieur de la tâche principale,

on distingue de petites aspérités. L'analyse fractale permet justement de comprendre scientifiquement, de mesurer, l'organisation spatiale des agrégats et des espaces non construits. Peu importe la localisation géographique et l'échelle considérée, il est possible de mesurer la dimension fractale d'une ville. Il y a un lien entre la forme locale (le bâtiment, l'îlot) et la forme globale (l'agglomération, la ville) (??). Ce phénomène ne veut pas dire que la ville (fractale) est composée d'une répétition de formes identiques (comme l'auto-similarité stricte des modèles théoriques), mais d'une même logique de disposition, c'est la quasi-auto-similarité (Tannier, 2009).

Parmi les premières analyses, on peut retenir celles de ? qui ont servies à différencier les espaces urbains des espaces périurbains sur des cartes issues d'automates cellulaires. ? ont adopté une démarche similaire pour étudier les formes du développement résidentiel à la sortie de leur automate cellulaire. ? a établi une comparaison à l'aide d'indicateurs de fractalité d'une vingtaine de villes américaines, montrant qu'il existe un lien entre la taille de ces villes en population et leur dimension fractale. Assez rapidement, quelques chercheurs ont utilisé l'analyse fractale afin d'appréhender le fait urbain sous l'angle de la complexité (????). Les analyses fractales ont également une utilité dans l'analyse des réseaux (routiers, hydrographiques, électriques...). En France, ? a été l'un des premiers à montrer, à partir d'une analyse du réseau routier franc-comtois, que les fractales pouvaient être intéressantes afin de mesurer une desserte spatiale des infrastructures. ? a utilisé des indicateurs de fractalité pour analyser la configuration géométrique des bâtiments et de la voirie pour analyser les dispersions de polluants atmosphériques. Des analyses ont également été menées en Belgique pour comparer la fractalité du réseau conjointement à celle du bâti (?). De Keersmaecker et al (2004) ont également effectué un travail comparatif dans les espaces périurbains de Bruxelles, en soulignant le fait que ces espaces répondent à des logiques précises en matière d'organisation de l'espace. Ce travail fait partie d'une suite de travaux visant à comparer les dimensions fractales de nombreuses villes d'Europe (??). Ce travail de comparaison a également été produit de façon diachronique pour une même ville, afin d'identifier des processus d'évolution de la fractalité urbaine. Ainsi d'après Frankhauser (2007) et des analyses comparatives sur les agglomérations de Bâle, Montbéliard, Dole ou Strasbourg, on assiste progressivement à une augmentation de la dimension fractale des espaces urbains. Une telle augmentation traduit une uniformisation du tissu urbain, en partie due à l'étalement urbain, les quartiers résidentiels ou lotissements ayant une homogénéité forte.

Ainsi le modèle de la ville fractale émerge à la suite d'observations et d'analyses descriptives de la morphologie du tissu urbain existant. Toutes les villes étant plus ou moins fractales, il existe par ailleurs un argument naturaliste à l'application de ce modèle à l'aménagement urbain. La section suivante sera consacrée à la description de ce modèle en termes d'objectifs, de normes et de règles.



FIGURE 1.21 – Les espaces bâtis (en noir) et non bâtis (en blanc) dans l’agglomération de Luxembourg

3.3. Description du modèle de la ville fractale

L’objectif principal de la ville fractale est le même qu’un certain nombre de modèles contemporains (TOD, Nouvel Urbanisme, *Smart Growth*). Il s’agit de trouver « des réponses réalistes au défi de l’étalement urbain » (?). Parmi les problèmes que soulèvent la question de l’étalement urbain, le nombre et la longueur des déplacements automobiles ont une place majeure (Tannier, 2009). L’application d’un modèle de ville de type fractal permettrait de réduire le nombre et la longueur de ces déplacements. Elle encouragerait également la pratique des modes doux, du fait de déplacements de longueurs « acceptables » pour la marche à pied ou l’usage de deux-roues non-motorisés. Du fait de sa géométrie, la ville fractale permet également d’éviter la fragmentation des espaces naturels. Elle est également utile, nous le verrons, dans la ventilation des centres urbains grâce à la pénétration de coulée vertes dans les centres. Cet objectif est à rapprocher des théories issues de l’hygiénisme au XIX^{ème} siècle.

3.3.1. Hiérarchie urbaine et renforcement des centralités

La théorie des lieux centraux, telle que développée par **?** présente un intérêt certain dans la définition d'une hiérarchie urbaine (Tannier, 2009). Ce modèle est issu d'une « optimisation économique sous contraintes de distance ». En d'autres termes, la répartition de la taille des villes, et donc leur importance respective, doit s'effectuer de manière à optimiser les liaisons entre celles-ci. L'hypothèse principale derrière cette théorie est qu'il existe, de façon empirique, une hiérarchie dans le système urbain avec différentes tailles de villes qui ont des niveaux de fonctionnalité différents en fonction de leur position dans la hiérarchie. La hiérarchie urbaine et les relations possibles entre les différentes villes sont présentés sur la gauche de la figure 1.22.

La norme de hiérarchie fonctionnelle dans le modèle de la ville fractale, telle que développée par **?**, est inspirée des travaux de Christaller. Elle est présentée sur la partie droite de la figure 1.22. D'un point de vue théorique, le couplage entre ville fractale et lieux centraux s'effectue en « intercalant à différentes échelles des zones vertes entre les axes de transport » (**?**). Ce modèle permet ainsi de relier les espaces urbanisés, regroupés en villes de différentes tailles, avec les espaces non urbanisés, également de différentes tailles (forêts, zones agricoles, parcs, jardins...). Ce lien s'effectue aussi selon le système de transport, chaque centre urbain étant, en fonction de sa position dans la hiérarchie, un nœud de communication plus ou moins important.

Dans des travaux exploratoires, **?** a calculé l'accessibilité au centre pour trois modèles de villes théoriques : compacte, fractale (sous la forme d'un tapis de Sierpinski) et linéaire. On considère ici trois niveaux de centralité (principal, intermédiaire, de proximité). L'accessibilité au centre est au moins deux fois plus élevée dans le cadre de la ville fractale que de la ville compacte, mais elle est également 20% meilleure que dans le cadre de la ville linéaire.

Si la ville géométriquement simple des utopies anciennes ou de la Nouvelle Economie Urbaine était au service de la rationalité des comportements individuels (**?**), la géométrie complexe des villes fractales est le support de modes de vie de plus en plus complexes (**?**). En effet, le modèle monocentrique circulaire a longtemps été justifié du fait d'une organisation urbaine tournée vers un seul centre. À l'heure actuelle, cette centralité unique a explosé en plusieurs centralités fonctionnelles. Les emplois ne sont plus seulement concentrés dans le centre mais aussi dispersés dans les zones d'activités périphériques. Il en va de même pour la structure des commerces, des services ou encore des loisirs. Il est donc nécessaire de répondre aux aspirations du plus grand nombre de ménages, qu'ils soient urbains, périurbains ou ruraux.

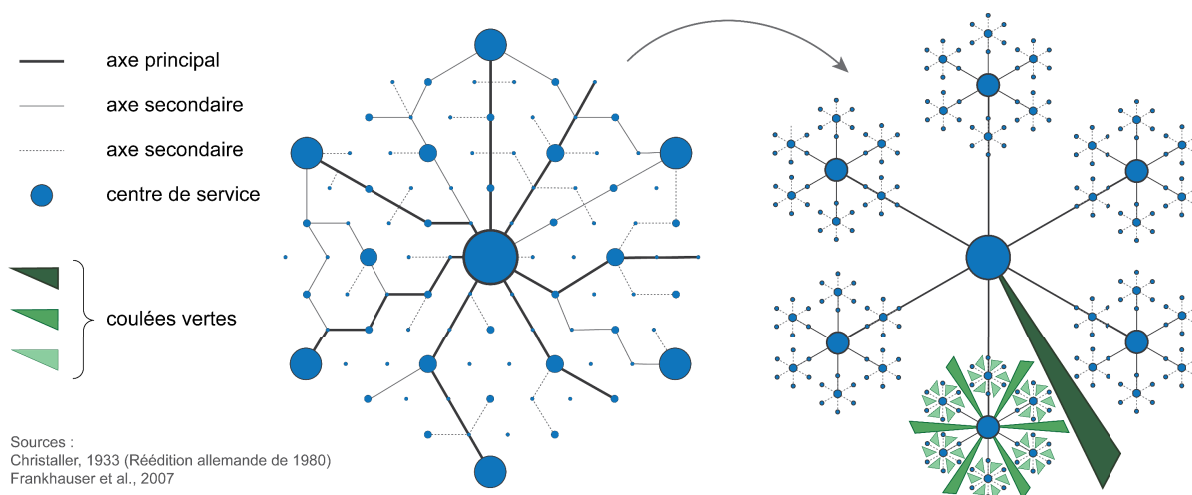


FIGURE 1.22 – Représentation de la théorie des lieux centraux selon Christaller, 1933 et de son adaptation au modèle fractal d’urbanisation par Frankhauser et al., 2007

3.3.2. Maximiser les interactions ville-campagne

Comme évoqué dans l’introduction générale, une partie des ménages intègrent dans leur choix résidentiel la proximité à une certaine variété d’aménités, dans le but de concilier mode de vie urbain et proximité aux espaces naturels (?). Dans un objectif de limitation des distances parcourues et d’amélioration de l’accessibilité à une variété d’aménités, le modèle fractal constitue une alternative possible. À ce sujet, ? précise que « l’efficacité structurelle du système urbain est maximale lorsque celui-ci est configuré selon une structure fractale ».

Dans la ville compacte, le rapport entre le périmètre de la ville et sa surface est limitée. Partant du principe que de nombreux ménages souhaitent s’installer en bordure des villes pour profiter de la proximité à un paysage ouvert (?), il serait souhaitable de pouvoir allonger la longueur du périmètre de la ville tout en conservant une surface occupée identique. Cette propriété peut être illustrée par un objet fractal théorique, le *téragone*. Le téragone (?) est un objet construit selon une règle relativement simple. Le motif initial est un carré, le *générateur*, de côté L , et la règle d’*itération* est telle que le côté de l’itération suivante est $l = \frac{1}{4} \times L$. Pour placer les 16 éléments (4^2), on utilise la disposition illustrée par la figure 1.23. L’étape d’itération suivante est obtenue de façon similaire.

Comme le montre la figure 1.23, quelle que soit l’itération, la surface bâtie (dans les limites épaisses noires) est identique. On a bien le même nombre de petits carrés aux traits fins. En revanche, le périmètre, symbolisé par le trait noir épais, a une longueur croissante avec le nombre d’itérations. Cette longueur tend vers l’infini au fur et à mesure des étapes de constructions. Par analogie, le périmètre du téragone peut donc être assimilé à la bordure urbaine. Dans ce cas, le

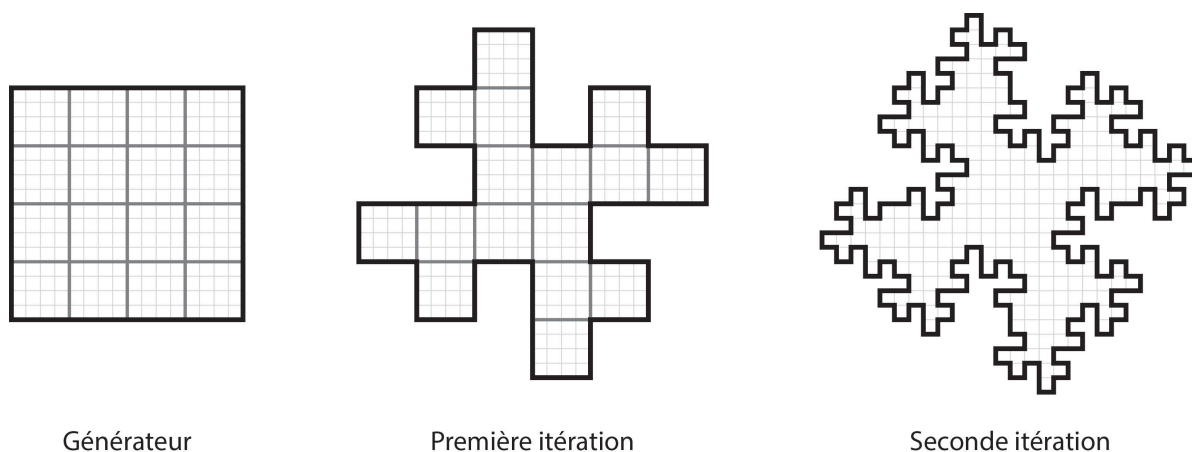


FIGURE 1.23 – Le téragone, exemple des deux premières étapes d'itérations, d'après Frankhauser, 2000

nombre de constructions ayant un accès aux espaces ouverts augmente en même temps que l'aspect tentaculaire de cette bordure. En reprenant les calculs d'accessibilité théorique effectués par ? , pour une valeur moyenne de 100 pour chaque petit carré du générateur, on obtient une valeur de 56 en deuxième étape d'itération et de 51 en deuxième étape, on a donc bien une diminution de la distance d'accessibilité à la bordure urbaine avec l'augmentation de la fractalité.

Dans leurs travaux, ? ont généré une série de scénarios fractals et non fractals pour l'agglomération de Besançon. Pour chaque scénario, une série d'indicateurs d'accessibilité spatiale a été mesurée, notamment deux indicateurs qui concernent l'accessibilité aux espaces ouverts. Il s'agit du nombre moyen de cellules non construites (considérées comme les espaces ouverts) dans le voisinage de toutes les cellules potentiellement urbanisables, et la proportion de cellules potentiellement urbanisables dans le voisinage proche de la bordure urbaine. Selon certains scénarios, le nombre de cellules non construites dans le voisinage des cellules potentiellement urbanisables augmente de 5% à 15%, ce qui traduit bien une amélioration de l'accessibilité aux espaces ouverts dans le cadre d'un modèle fractal d'urbanisation. De la même manière, le modèle fractal de croissance résidentielle permet d'augmenter nombre de cellules potentiellement urbanisables à proximité immédiate de la bordure urbaine, ce qui traduit à la fois une augmentation de l'accessibilité aux espaces ouverts (il y a plus de cellules proches de la bordure, donc une forme moins compacte), et aussi une limite de l'étalement urbain (il y a davantage de cellules potentiellement urbanisables autour des cellules déjà bâties).

Ces quelques résultats confirment ceux obtenus par les calculs théoriques effectués sur le téragone (?). Un allongement de la bordure urbaine par augmentation de la fractalité du tissu urbain permet de générer une meilleure accessibilité aux espaces ouverts tout en minimisant la surface

consommée.

3.3.3. Accessibilité aux commerces et services

Dans le modèle de la ville fractale, la répartition des commerces et services suit la logique de Christaller et sa théorie des lieux centraux. À chaque niveau hiérarchique correspond un nombre et une importance des commerces et services (??). C'est dans la ville centre que le nombre de commerces et services est le plus important. On y trouve des aménités de fréquentation mensuelle ou plus rares, tels que de grands équipements (culturels, sportifs...) ou des administrations (préfectures, centre d'impôts...).

Dans le cadre de la ville fractale, la norme d'accessibilité aux commerces et services est fonction de la fréquence de recours à ces aménités. Plus le recours potentiel est fréquent, quotidien ou presque (boulangeries, établissements scolaires...), plus la distance à parcourir depuis le domicile doit être courte. En revanche, plus le recours potentiel est faible, de mensuel à annuel, plus la distance à parcourir pour atteindre ces commerces ou services peut être grande.

L'accessibilité aux commerces et services dans la ville fractale est couplée à une logique d'agrégation. Seul, un commerce ou un service, quelque soit sa fréquence de recours, est moins intéressant qu'un ensemble d'aménités dans un voisinage proche. Il est alors possible, pour les habitants de grouper leurs achats, notamment dans le cas d'une accessibilité en marche à pied, où les distances à parcourir doivent être courtes. Le nombre et la diversité des commerces et services localisés dans un même voisinage sont donc importants et constituent un facteur dans le choix de la localisation résidentielle.

L'accessibilité aux aménités urbaines de fréquentation quotidienne ou hebdomadaire est équivalente dans le cadre de la ville fractale et de la ville compacte (?). Des résultats assez similaires ont été obtenus dans les premières évaluations des scénarios sur Besançon (?). Dans le prolongement de ces travaux, ? ont montré que le modèle fractal d'urbanisation offrait une meilleure accessibilité aux aménités urbaines (les commerces et services de recours quotidiens ou hebdomadaires) avec une dimension fractale élevée (donc une homogénéisation du bâti résidentiel) plutôt que dans le cadre d'une forme urbaine plus compacte à l'échelle de l'agglomération de Besançon.

3.3.4. Forme fractale des réseaux de transports

Vu sous l'angle de la fractalité, les réseaux (routiers ou de transports en commun) forment un sous-ensemble du bâti, comme le suggérait la figure 1.22. Concernant l'accessibilité aux infrastructures de transports, le modèle fractal de croissance résidentielle s'appuie sur deux normes.

Tout d'abord, il est nécessaire de limiter la construction d'infrastructures routières, qui accompagne le processus d'étalement urbain et qui est également source de consommation foncière importante (?). Cette forte imperméabilisation des sols, comme nous l'avons vu en introduction, est également néfaste pour l'environnement, avec des conséquences sur le ruissellement des eaux de pluie et le bouleversement des écosystèmes. La construction du réseau routier doit s'appuyer sur celle du bâti, et donc sur une partie de la théorie des lieux centraux. Dans la ville fractale, il n'y a pas de rocade ou de contournement. Le principe adopté est celui du rabattement, semblable au modèle défendue par Calthorpe et de son TOD.

La deuxième norme induite par le modèle fractal est de favoriser l'utilisation des transports en commun. L'une des hypothèses principales du modèle fractal est que l'encouragement au report modal en faveur des transports en commun passe par la proximité aux infrastructures. Il est donc nécessaire de localiser les futures extensions résidentielles à proximité des gares ferroviaires et des principaux arrêts de bus. L'organisation hiérarchique des transports en commun conduirait également à une meilleure efficacité du réseau, au travers d'un cadencement rendu plus facile.

Le modèle de ville fractale vient d'être décrit en matière de norme. Les règles inhérentes à ce modèle feront l'objet d'une présentation plus détaillée dans la deuxième partie de cette thèse.

Objectif	Limiter l'étalement urbain tout en satisfaisant la variétés des besoins individuels et collectifs
	Modèle de ville polycentrique, basé en partie sur la théorie des lieux centraux, hiérarchie morpho- fonctionnelle intra urbaine
Normes	Interpénétration des espaces bâtis et des espaces non bâtis
	Accès aisé à des aménités variées, en modes doux ou en transport en commun en fonction des fréquences de recours
	Proximité à la route et aux infrastructures de transports en commun
Règles	Choix d'une forme fractale de référence, plus ou moins polycentrique et plus ou moins connexe à travers les échelles, en fonction des formes bâties pré-existantes
	Dimension fractale élevée du tissu bâti et de la bordure urbaine (entre 1,4 et 1,8)
	Nature des aménités prises en compte et seuils de distances à préciser en fonction des spécificités locales
	Non fragmentation des espaces naturels et agricoles ; préservation des coulées vertes

Tableau 1.10 – Objectif, normes et règles de la ville fractale

4. Conclusion du chapitre 1

Au travers de la présente analyse des différents modèles de villes et des utopies⁵¹, on constate que les objectifs et les normes sont des notions mouvantes dans le temps, notamment en fonction des contextes, qu'ils soient géographiques, technologiques, politiques, religieux ou institutionnels. Dans de nombreux cas, l'individu a été l'échelle de référence, mais parfois l'objectif possède une dimension collective. Par exemple, la question de l'équité sociale est aujourd'hui au cœur des problématiques de développement durable alors qu'hormis dans le cadre d'une partie de la Nouvelle Economie Urbaine, ce point a été assez peu abordé par les auteurs de modèles de villes et d'utopies.

La question du site, pourtant fondamentale en géographie et aussi lorsque l'on parle de modèle de villes, est assez peu évoquée lors des différents utopies que nous venons d'analyser. Seule la cité antique y fait mention, mais le choix du lieu d'implantation reste réservé à une forme d'intuition divine. Ailleurs, la question du site apparaît comme mineure, à part pour le *Transit-Oriented Development* où la question des contraintes de la géographie physique peut rentrer en ligne de compte dans l'extension de la ville et des ses limites.

La géométrie, par objectif ou par volonté de pédagogie fait l'objet d'un traitement particulier. Les lignes droites, orthogonales ou parallèles et la symétrie sont présentes chez de nombreux auteurs, pendant l'Antiquité puis la Révolution Industrielle (Owen, Fourier, Buckingham ou Wright). D'autres auteurs ont préféré à la rigueur des lignes droites l'harmonie des courbes, du cercle ou de l'ellipse, comme Ledoux ou Howard. Au fil du temps, il semblerait que la question de la géométrie, vue par des formes simples (polygones et cercles), ait gagné en complexité, d'abord par l'utilisation d'indicateurs (la compactité, la dendricité...), puis jusqu'au paroxysme de la complexité géométrique, la fractalité.

La notion de la centralité a également été abordée de nombreuses fois, que ce soit dans le cadre de modèles monocentriques ou polycentriques. Ainsi, des utopies sont orientées autour d'un unique centre, symbole de l'affirmation d'un pouvoir centralisé ou de rayonnement, c'est le cas des villes issues du mouvement hygiéniste et de certaines utopies industrielles, de la cité-jardin de Buckingham et des premiers modèles issus de la Nouvelle Économie Urbaine. À l'inverse, d'autres modèles de villes prônent la multiplication des centres, organisés selon une hiérarchie bien précise. Avec la différenciation entre la grande ville et les phalanstère environnant, Fourier fut l'un des

51. On rappelle que la liste retenue ne prétend à aucune objectivité ni exhaustivité, mais essaye de balayer un éventail varié d'objectifs, de normes et de règles

premiers défenseurs du polycentrisme. La région urbaine d'Howard est conçue selon une certaine hiérarchie, sur le plan graphique tout du moins. Les utopies contemporaines, sous l'influence de Christaller, comme le TOD, la *Smart Growth*, le Nouvel Urbanisme et la ville fractale intègrent de façon très explicite la notion de polycentrisme.

À l'heure de la mixité fonctionnelle, défendue dans le cadre du TOD, de la *Smart Growth*, du Nouvel Urbanisme ou de la ville fractale, il est intéressant de constater que les différentes fonctions urbaines (notamment l'habitat et le travail), ont été régulièrement dissociées spatialement. La cité antique était divisée en trois sphères (sacrée, privée et publique), tandis que les hygiénistes militaient essentiellement pour éloigner les ouvriers et artisans de la pollution de leurs productions. Dans un objectif plutôt politique, les libertaires souhaitaient séparer physiquement les lieux d'emplois des espaces résidentiels pour mieux limiter le pouvoir aliénant du travail. La pensée du Corbusier à l'égard de sa séparation des fonctions est plus subtiles, mais il base sa théorie sur la possibilité de circuler librement et de façon très rapide entre les différents zones de la ville.

La forme locale de l'habitat est également sources de divergences dans les utopies. L'habitat collectif, longtemps synonymes de densité et de rationalité a été employée chez de nombreux utopistes industriels mais aussi chez le libertaire Morris et de façon extrême chez Le Corbusier et ses très grands immeubles. L'habitat individuel a été vu comme source d'épanouissement individuel chez les hygiénistes⁵² ou chez les libertaires. De nos jours, la mixité des formes semble de mise, pour mieux correspondre aux aspirations et aux possibilités des ménages, des gradients de constructions sont notamment décrits dans le TOD, la *Smart Growth* ou le Nouvel Urbanisme. La question des formes d'habitations renvoie à la question de la propriété individuelle (et finalement de la mixité sociale). Certains utopistes libertaires trouvaient dans la propriété, comme dans la maison individuelle, une forme de tranquillité.

Le contexte technologique tient une place prépondérante dans la définition des modèles de ville. Le développement des modes de transports, nous l'avons vu dans l'introduction générale, a largement contribué au développement urbain. Avec l'arrivée du chemin de fer, Cabet ou Howard intègrent une hiérarchie des voies de transport, dont le train fait partie. Les déplacements piétons ont très souvent été au centre des modèles de ville, peut-être aussi en raison du caractère spatialement limité des projets⁵³. Le Corbusier est peut être l'un de ceux qui a le plus tirer partie du développement des moyens de transports pour nourrir sa pensée. Dans une démarche d'anticipation, il

52. Les hygiénistes voyaient dans la concentration d'habitants l'insalubrité et la prolifération de maladie

53. Renvoi aux emprises spatiales, les enceintes, murs, mais aussi aux seuils de population

imaginait dès la première moitié du XX^{ème} siècle l'essor et la démocratisation automobile. Il pensait également qu'avant l'an 2000, un grand nombre de ménages serait dotés de moyens de transports aériens personnels, tels les hélicoptères, avions et autres aéronefs. Plus récemment, Peter Calthorpe adosse son modèle de ville (le TOD) sur les infrastructures lourdes de transports en commun, les gares ferroviaires. Le modèle de la ville fractale reprend également ce principe d'accès aux transports en commun.

Enfin, la succession des modèles de villes et de projets utopiques n'a pas conduit à un enrichissement conceptuel au cours du temps. Si des filiations intellectuelles entre contemporains peuvent être constatées, tout comme quelques héritages historiques, la lecture croisée de nos exemples peut suggérer l'idée que chaque auteur a émis le souhait de repartir de zéro. Ce redémarrage permanent peut s'expliquer par la fréquente volonté des penseurs de définir un projet total, intégrant les dimensions politiques, sociales, culturelles même si c'est davantage l'aspect urbanistique qui a été retenu dans le cadre de ce premier chapitre.

Le chapitre suivant sera consacré à la présentation du cas étudié dans le cadre de cette thèse, le Grand-Duché de Luxembourg. À partir d'une rapide présentation de ses spécificités géographiques, nous reviendrons sur les objectifs d'aménagement et les enjeux auxquels ce pays est confronté. À ce titre, il constitue un cas intéressant sinon idéal pour l'application de notre approche normative de l'aménagement au travers de la simulation prospective du développement résidentiel.

Chapitre 2

Le Grand-Duché de Luxembourg et les particularités de son développement résidentiel

« L'absence de certitudes, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement, à un coût économiquement acceptable. »

Loi Barnier, 2 février 1995, France

D'APRÈS les projections démographiques, le Luxembourg devrait connaître une augmentation de sa population d'environ 150 000 habitants, soit 80 000 ménages, entre 2010 et 2030 (STAT-TEC, 2010). Par ailleurs, et d'après les données de la Banque mondiale diffusée en 2010, le Grand-Duché est le sixième pays émetteur de CO₂ par habitant¹, derrière Trinité-et-Tobago, le Qatar, le Koweït, Aruba et le Brunei. C'est également le huitième pays en matière de consommation énergétique (en kilogrammes de pétrole par habitant). Avec un développement économique croissant ces dernières décennies et malgré la crise économique de 2008, le nombre d'emplois au Luxembourg ne cesse d'augmenter avec un rythme annuel de 3% entre 1985 et 2012 (?). Même si une grande partie de la croissance démographique et économique est le fait de dynamiques nationales, le phénomène frontalier est lui aussi en constante augmentation. Chaque jour, le Luxembourg attire de plus en plus

1. Cet indicateur est construit sur la base de la consommation nationale de produits pétroliers, notamment les carburants. Les frontaliers effectuant leurs achats de carburants au Luxembourg sont donc pris en compte dans le calcul.

de salariés des pays voisins (Allemagne, Belgique et France), partant de 56 000 frontaliers en 1995, puis 100 000 en 2001 pour atteindre 150 000 frontaliers en 2010, soit 42% du nombre d'emplois. Les enjeux soulevés par ces dynamiques passées, en cours et à venir sont considérables en termes de d'aménagement du territoire, d'infrastructures, de logements, de mobilités, et des conséquences environnementales qui y sont associées.

Au Luxembourg, les politiques publiques ont pour objectifs principaux de répondre à la demande croissante de logements tout en limitant la consommation foncière et la dépendance automobile due à la forte motorisation individuelle des ménages résidents² et frontaliers. Il y a donc ici une forme de contradiction entre d'une part satisfaire la demande croissante en logements, et d'autre part, de limiter les extensions résidentielles sous peine de voir la quantité de terrains disponibles à la construction diminuer de façon drastique dans ce petit pays. Ce double objectif suppose d'augmenter de façon importante la densité résidentielle, or, comme nous allons le voir, les densités de constructions en vigueur au Luxembourg sont peu élevées. Ces objectifs des politiques publiques forment le point de départ de notre démarche. Ils seront décrits plus précisément dans ce chapitre après une présentation rapide du contexte géographique au Luxembourg et des politiques d'aménagement en vigueur.

1. Présentation du Grand-Duché de Luxembourg

1.1. La géographie physique du Luxembourg

Avec ses 2 586km², le Luxembourg est l'un des plus petits pays d'Europe, exception faite d'Andorre, de Malte, du Liechtenstein, de Saint-Marin, Monaco et du Vatican. Le Grand-Duché mesure 82km du nord au sud et 57km d'est en ouest, une taille comparable à l'île de la Réunion. Le cadre physique de la géographie luxembourgeoise se compose de deux grands ensembles, l'*Oesling* et le *Gutland*. On peut d'ailleurs voir la démarcation entre les deux ensembles sur la carte de la figure 2.1. L'*Oesling* est la partie septentrionale du pays, formée de collines boisées de conifères appartenant à l'extrémité orientale du massif des Ardennes ; elle compose plus d'un tiers du pays. Les altitudes sont comprises entre 400 et 560 mètres, le point culminant étant localisé à l'extrémité nord du pays, sur la colline de Kneiff, près de la commune de Troisvierges et du village de Wilwerdange. Les deux autres tiers du Grand-Duché sont formés par le *Gutland*, le « bon pays », avec des altitudes un peu moins élevées, et délimité au sud par les cuestas du Bassin Minier, le « Pays des Terres Rouges »³.

2. Par « résident » est entendu toute personne vivant au Luxembourg.

3. La couleur rouge fait référence à la couleur du minerai de fer.

À l'est, la frontière avec l'Allemagne est délimitée par la vallée de la Moselle, souvent encaissée et dont les plaines alluviales, au sud-est, sont couvertes de vignobles. C'est notamment le cas pour les communes de Grevenmacher, Remerschen, Remich, Schengen, ou encore Wasserbillig.

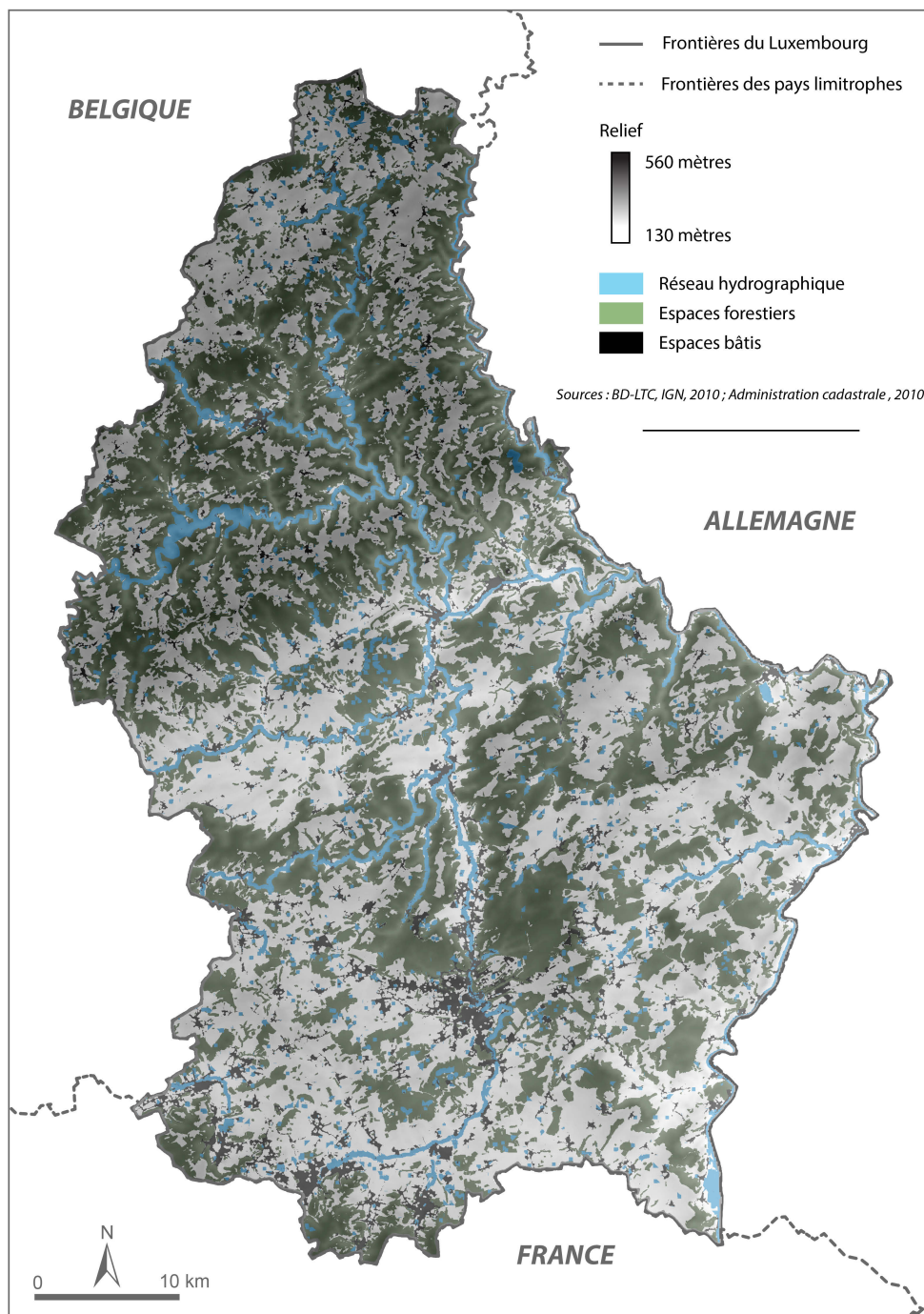


FIGURE 2.1 – Géographie physique du Luxembourg et occupation du sol

1.2. La géographie administrative du Luxembourg

Le Grand-Duché de Luxembourg dans ses frontières actuelles, est apparue en juin 1839 suite au traité de Londres⁴. Les limites du Luxembourg sont la conséquence de nombreux conflits militaires et des négociations qui y sont associées. Après 1839, les pays voisins tenteront plusieurs annexions en 1867 (France), 1870 (Allemagne), 1918 (Belgique) et 1940 (Allemagne) (?). Ce caractère disputé révèle la position géographique stratégique et l'aspect frontalier d'interface du Luxembourg, entre l'Allemagne, la Belgique et la France (Gerber et Carpentier, 2013).

Politiquement, le Luxembourg est une monarchie constitutionnelle sous régime parlementaire. Le chef d'État est Son Altesse Royale le Grand-Duc Henri, héritier de la fonction depuis le 7 septembre 2000. Depuis le 4 décembre 2013, le premier ministre est le démocrate Xavier Bettel, désigné comme formateur du gouvernement depuis les élections législatives d'octobre 2013 et le départ de Jean-Claude Juncker. Le gouvernement actuel est formé d'une coalition qui comprend le Parti Démocrate (parti libéral), le Parti Ouvrier socialiste luxembourgeois et les Verts. Le gouvernement propose des lois qui sont ensuite votées en deux fois par la Chambre des Députés, et finalement promulguées par le Grand-Duc.

Le système administratif luxembourgeois est composé de trois districts : Diekirch, Grevenmacher et Luxembourg. Des commissaires de district (fonctionnaires) sont nommés par le Grand-Duc afin de vérifier la bonne application des lois par les autorités locales. Les commissaires ont un pouvoir judiciaire mais n'ont pas de pouvoir exécutif (Decoville, 2008). Les districts sont découpés en douze cantons. Ces derniers ne possèdent pas de rôle administratif, mais servent de circonscription électorale. Au 1^{er} janvier 2012, le Luxembourg comporte 106 communes, contre 116 au 1^{er} janvier 2010 et 118 précédemment, du fait d'une politique de fusion communale. L'ensemble de ces découpages sont présentés sur la figure 2.2. Les communes sont des entités administratives indépendantes, avec des bourgmestres élus au suffrage universel. Seuls l'État et les communes ont un rôle exécutif. Du fait du lien direct entre l'État et les communes, sans niveau intermédiaire, le Luxembourg est un des pays les plus décentralisé d'Europe.

La capitale du Luxembourg est Luxembourg (*Lëtzebuerg* en luxembourgeois), plus communément appelée Luxembourg-Ville pour limiter les confusions avec le pays. Avec plus de 100 000 habi-

4. Le traité de Londres est en fait composé de deux traités et d'un acte d'accession. Le premier traité a été signé par la France, l'Autriche, la Grande-Bretagne, la Prusse, la Russie et les Pays-Bas afin de déclarer la séparation entre Belgique et Pays-Bas. Le deuxième traité concerne la Belgique et les Pays-Bas et a vu la séparation du Grand-Duché de ce qui est aujourd'hui la province de Luxembourg en Belgique. Enfin, un acte d'accession a été signé par la Confédération Germanique.

tants, c'est la ville la plus peuplée du pays. Malgré sa petite taille, Luxembourg-Ville est une métropole, c'est-à-dire, un espace d'émergence d'une ou plusieurs « villes principales via une concentration croissante des services », (Veltz, 1996). Selon la définition établie par ?, une métropole peut être appréhendée par le périmètre des activités urbaines quotidiennes dans le voisinage d'une grande agglomération. Elle repose sur trois critères : plus de 100 000 habitants, multi-fonctionnelle, et avoir des relations économiques avec d'autres agglomérations étrangères. Nous le verrons par la suite, la majeure partie des emplois sont situés dans la capitale (Bousch, 2010). L'une des particularités majeures du Luxembourgeois est donc d'avoir une structure administrative décentralisée tout en étant très monocentrique fonctionnellement, c'est-à-dire spatialement organisé.

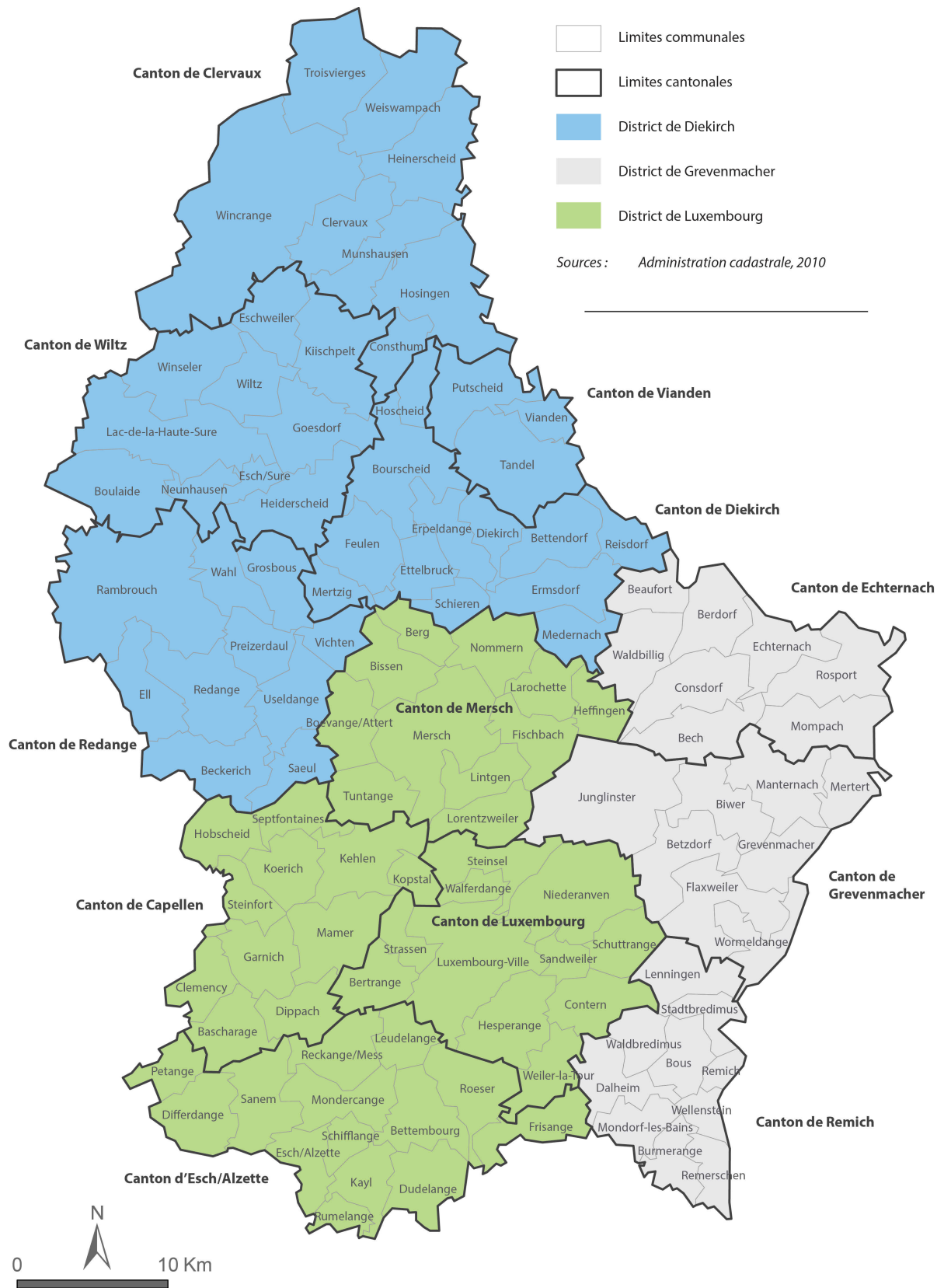


FIGURE 2.2 – Les découpages administratifs du Luxembourg

2. L'aménagement du territoire au Luxembourg, un bref historique

La politique d'aménagement du territoire est relativement contemporaine et peut s'expliquer par l'histoire récente de ce pays d'Europe occidentale. Pendant très longtemps, le cadre législatif ou les instruments de régulations ont été peu nombreux, mais non nécessaires du fait d'enjeux territoriaux limités (?).

Les premières dispositions au sujet de l'aménagement local au Grand-Duché datent de la loi du 12 juin 1937. Le premier article de ce texte stipule que « toute localité de 10 000 habitants et au-dessus est tenue d'avoir un projet d'aménagement. La même obligation incombe : a) aux localités en voie d'accroissement, aux stations balnéaires et aux agglomérations présentant un caractère pittoresque, artistique ou historique [...]; b) aux communes qui auront demandé leur assujettissement à la présente loi; c) aux associations, sociétés ou particuliers qui entreprennent de créer ou de développer des lotissements de terrains ou des groupes d'habitations ». La définition d'un projet d'aménagement est donnée dans l'Article 2. Il comprend « a) un plan d'alignement qui fixe la direction, la largeur et le niveau des voies à créer ou à modifier [...] b) un plan de lotissement qui réserve les terrains destinés aux voies, places, édifices et jardins publics, aux terrains de jeux et aux espaces libres divers; c) un plan avec un programme d'extension, déterminant les servitudes hygiéniques, archéologiques et esthétiques [...]. Les plans et programmes fixent l'écartement des constructions entre-elles, de même que leur hauteur ». La suite des articles du texte de loi détermine essentiellement les modalités de mise en application. Toutefois, on peut relever deux autres articles relativement déterminants. L'Article 6 décrit la mise en place d'une *Commission d'Aménagement* nommée par le Ministre dans le but d'aider les communes et les particuliers « dans l'application de la loi ». Enfin l'Article 11 introduit la notion d'utilité publique (et les mesures d'expropriations qui y sont liées). De fait, même s'il est encore difficile de parler de politique nationale d'aménagement du territoire en 1937, le gouvernement de l'époque montre déjà une volonté de régulation des projets de constructions. Cette régulation intervient au plus haut niveau de l'État, tout plan d'aménagement devant être validé par le Conseil d'État⁵.

La notion d'aménagement général du territoire est finalement introduite au Luxembourg par la loi du 23 mars 1974 (?). Le premier chapitre de cette loi est dédié à la définition des objectifs et des moyens mis en œuvre. L'Article premier est explicite quant à la notion de bien commun; il stipule que « l'aménagement du territoire a pour objet d'assurer aux habitants du pays, dans une perspec-

5. Le Conseil d'État est une institution indépendante du gouvernement qui a pour but de garantir le respect de la Constitution.

tive à long terme, les meilleures conditions de vie, tant matérielles que morales, en promouvant, en fonction du bien-être commun, la mise en valeur harmonieuse du territoire par l'utilisation et le développement optimum de ses ressources ». Ce premier article peut donc être considéré comme l'objectif global de l'aménagement au Grand-Duché. Dans l'Article 2, les objectifs intermédiaires sont énumérés :

- « l'amélioration des conditions de vie de la population et l'assainissement de l'environnement,
- l'amélioration de l'habitat et le développement harmonieux des structures urbaines et rurales,
- la valorisation optimale des ressources économiques,
- la protection de la nature et la sauvegarde des ressources naturelles,
- la conservation et le développement du patrimoine culturel national. »

Les objectifs sont donc définis à l'échelle nationale, par le gouvernement mais également en collaboration avec les pays voisins dans un souci de coordination. La loi introduit également la création du Conseil supérieur de l'aménagement du territoire et d'un comité interministériel afin de faciliter les prises de décisions. Dans ce texte apparaît pour la première fois le *Programme Directeur* qui est le premier document de planification à l'échelle du Luxembourg. Enfin, cette loi de 1974 amende celle de 1937 en obligeant l'ensemble des municipalités à se doter d'un plan d'aménagement au lieu des seules communes de plus de 10 000 habitants ou ayant un intérêt particulier (?).

La 21 mai 1999, une nouvelle loi d'aménagement du territoire est votée au Luxembourg afin d'actualiser la précédente rédigée 25 ans plus tôt, et de mieux correspondre aux enjeux auxquels le Grand-Duché est confronté. L'objectif premier reste inchangé à la différence que la quête du bien commun doit s'effectuer dans le respect des particularités et des ressources régionales. On comprend dès lors qu'il ne s'agit pas d'apposer une solution unique sur l'ensemble du pays, mais de définir localement des règles afin d'atteindre les objectifs nationaux et internationaux. Par ailleurs, c'est la première fois que la notion de développement durable est mentionné dans un document législatif luxembourgeois, l'adjectif de durabilité ayant remplacé le *développement optimum* de 1974.

Le programme directeur d'aménagement du territoire de 2003 fait l'objet de définitions plus précises qu'en 1974. Le programme directeur devient la synthèse nationale des plans directeurs régionaux et des plans directeurs sectoriels ; c'est un document d'orientations générales, sur la base de la loi de 1999. D'un point de vue pratique, le programme directeur est composé de deux documents, respectivement de 224 et 77 pages. Le premier volume contient une longue introduction pré-

sentant les objectifs et enjeux, un diagnostic de la situation du Grand-Duché, les principales orientations gouvernementales ainsi que les grandes mesures à mettre en œuvre. Le second volume est le fruit de la concertation entre les différents acteurs institutionnels dans le cadre de la constitution du programme directeur. Il contient un catalogue relativement exhaustif des mesures et propositions recueillies dans le cadre de ces concertations. Le programme directeur peut être vu comme le plan national luxembourgeois pour le développement durable des territoires. En introduction, le contexte et les objectifs sont rappelés et sont rassemblés autour de la question : « Comment garantir à chaque région un développement dynamique et harmonieux reflétant la cohésion économique, sociale et territoriale souhaitée, tout en réduisant la consommation d'énergie, des ressources naturelles et des surfaces non bâties » (?).

Les plans sectoriels ont une portée législative forte et précisent les règles adoptées nationalement en fonction des secteurs d'activités définis par la loi. Il y a actuellement quatre plans sectoriels en cours d'élaboration au Luxembourg : le plan sectoriel transports, le plan sectoriel de préservation des grands ensembles paysagers, le plan sectoriel des zones d'activités économiques et le plan sectoriel logement. Les plans sectoriels sont, selon une directive européenne s'appliquant obligatoirement au Luxembourg, discutés au sein de débats publics et des avis sont nécessaires afin de valider les positions prises dans ces documents. N'étant pas encore validés, ils ne permettent pas de mettre en application les objectifs du programme directeur mais doivent devenir à terme, « des instruments clés de la politique luxembourgeoise d'aménagement du territoire » (?).

La loi de 1999 introduit également les Plans d'Occupation du Sol. Comme les anciens POS français, désormais remplacés par les Plans Locaux d'Urbanisme, ces plans sont destinés à conférer à certaines parcelles cadastrales, bien délimitées, une affectation précise. La différence avec les documents français est que ce document est constitué à l'échelle nationale, notamment dans le cadre de grandes opérations d'aménagement (aéroport, équipements collectifs, infrastructures autoroutières...).

La loi d'aménagement local du 19 juillet 2004 concernant l'aménagement communal et le développement urbain (et qui a été profondément amendée en 2005, 2008, 2011 et 2013), permet de définir, au niveau local, les instruments d'application des politiques nationales (?). À ce titre, deux documents de planification établis à l'échelle communale entrent en compte : le Plan d'Aménagement Général (PAG) et le Plan d'Aménagement Particulier (PAP). Le plan d'aménagement général est l'équivalent du PLU en France. Il contient un ensemble de prescriptions graphiques et écrites à caractère réglementaire. Le plan d'aménagement particulier apporte quant à lui des précisions sur

des zones spécifiques des plans d'aménagement généraux, pour des opérations concrètes d'aménagement, notamment à l'échelle des « nouveaux quartiers » ou des « quartiers existants ».

Nous venons d'évoquer brièvement les textes législatifs fondateurs de la politique d'aménagement du territoire. Ces lois introduisent des concepts et des notions au niveau national, en tenant compte des enjeux internationaux. Une synthèse illustrant les différents niveaux de planification figure sur le schéma 2.3. Nous allons maintenant présenter les principaux objectifs de l'aménagement au Luxembourg auxquels ces politiques veulent répondre. Dans un second temps, nous reviendrons sur les normes et les règles contenues dans les documents de planification évoqués plus haut.

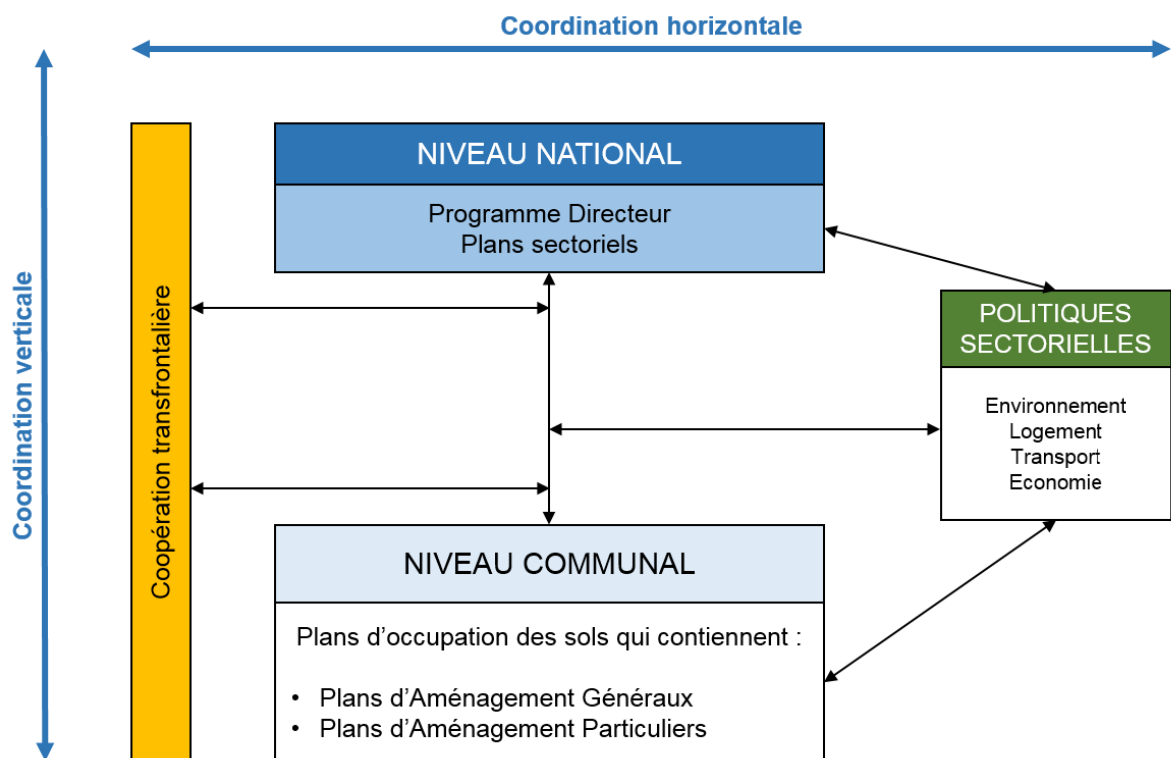


FIGURE 2.3 – Schéma de principe de l'organisation de l'aménagement du territoire au Luxembourg, d'après le Programme Directeur d'Aménagement du Territoire, ministère de l'Intérieur, 2003

3. Les grands objectifs de l'aménagement du territoire au Luxembourg

Le Luxembourg est confronté à trois objectifs principaux en matière d'aménagement : i) répondre à la demande en logement afin de localiser la forte croissance démographique ; ii) limiter la consommation foncière issue de cette même consommation foncière et iii) réduire la dépendance automobile et amoindrir les conséquences néfastes de la circulation automobile.

3.1. Répondre à la demande en logements

Depuis plusieurs décennies, le Luxembourg doit faire face à de fortes dynamiques démographiques, en partie dues à la dynamique économique plutôt favorable. Comme nous le verrons, l'évolution de la population est très liée à l'évolution du PIB⁶. La croissance de la population conduit inexorablement au développement résidentiel, nécessaire pour absorber tout ou partie de cette croissance, qu'elle soit interne au Grand-Duché, dont l'accroissement naturel est positif depuis des années, ou externe puisque les flux migratoires vers le Luxembourg ne cessent d'augmenter. Depuis la fin de la Seconde Guerre Mondiale, et comme de nombreux pays occidentaux, le Luxembourg connaît des mutations de la société civile conséquentes (?). La baisse du nombre de mariages, du nombre d'enfants, mais parallèlement la hausse des concubinages, des divorces, et une augmentation de l'espérance de vie, conduisent à une augmentation plus rapide du nombre de ménages. À l'heure actuelle, ces modifications sont en grande partie la cause de la forte demande en logements.

3.1.1. Une population croissante...

À l'exception des périodes correspondant aux deux grands conflits mondiaux, la population luxembourgeoise n'a cessé de croître depuis le début du XIX^{ème} siècle. Alors qu'il y avait 134 082 habitants en 1821, le seuil des 300 000 habitants a été franchi au début des années 50, le seuil des 400 000 habitants a été dépassé à la moitié des années 1990 et le seuil de 500 000 habitants a été atteint en 2010. Il semblerait donc que la tendance de croissance de la population continue et connaît même une certaine accélération depuis les années 1980.

Rapportée en base 100, comme le montre la figure 2.4, la croissance est encore plus flagrante. Il est également possible de comparer deux évolutions, celle de la population totale et celle du nombre de ménages. On voit très bien que sur cette période, allant de 1900 à 2011, l'évolution du nombre de ménages est beaucoup plus importante que celle de la population. L'écart s'accroît au lendemain

6. Produit Intérieur Brut

de la Seconde Guerre Mondiale, où la population luxembourgeoise connaît des changements sociétaux majeurs. Or, plus que la croissance de la population, c'est la croissance du nombre de ménages qui constituent le moteur de la demande en logements.

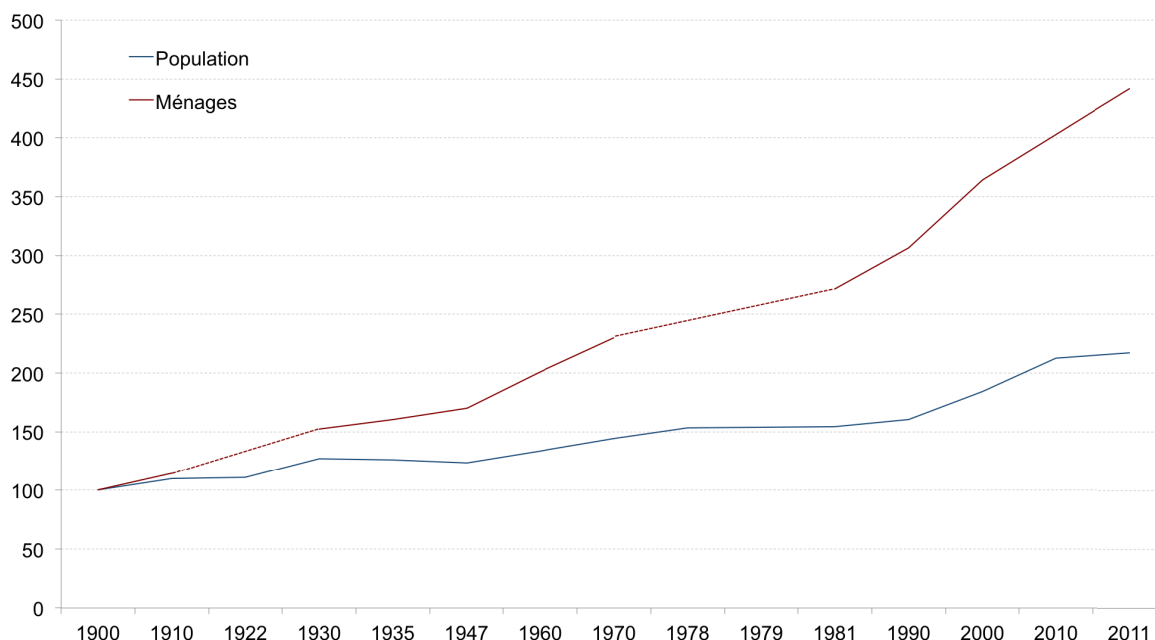


FIGURE 2.4 – Evolution de la population totale et des ménages au Luxembourg entre 1900 et 2011, Base 100 en 1900 (source : STATEC, 2011)

L'analyse de l'évolution de la taille des ménages au XX^{ème} siècle confirme l'idée d'un changement sociétal. Dès l'entre-deux guerres, le nombre de grands ménages, de cinq personnes ou plus, diminue. Cette baisse est contrebalancée par une forte augmentation des petits ménages, composés d'une à deux personnes. D'ailleurs, le nombre de ménages d'une personne augmente de façon assez exponentielle. Depuis la fin des années 1990, c'est même la classe qui a le plus grand effectif. Il est curieux de noter qu'à partir de 1991, le nombre de ménages de plus de cinq personnes augmente de nouveau. Cette inversion de tendance peut s'expliquer par le nombre croissant d'étrangers au Luxembourg, dont le taux de fécondité est plus important que celui des résidents luxembourgeois. Ainsi, l'évolution de la taille des ménages explique en grande partie le changement structurel de la population luxembourgeoise, qui comme un grand nombre de ses pays voisins, est confronté à la nécessité de fournir un logement à un nombre de plus en plus élevé de personnes vivant seules ou en couple.

Si on observe plus attentivement le taux de croissance annuel tel que représenté par la figure 2.6, on constate malgré un taux positif depuis 1960, certaines variations périodiques. On peut noter

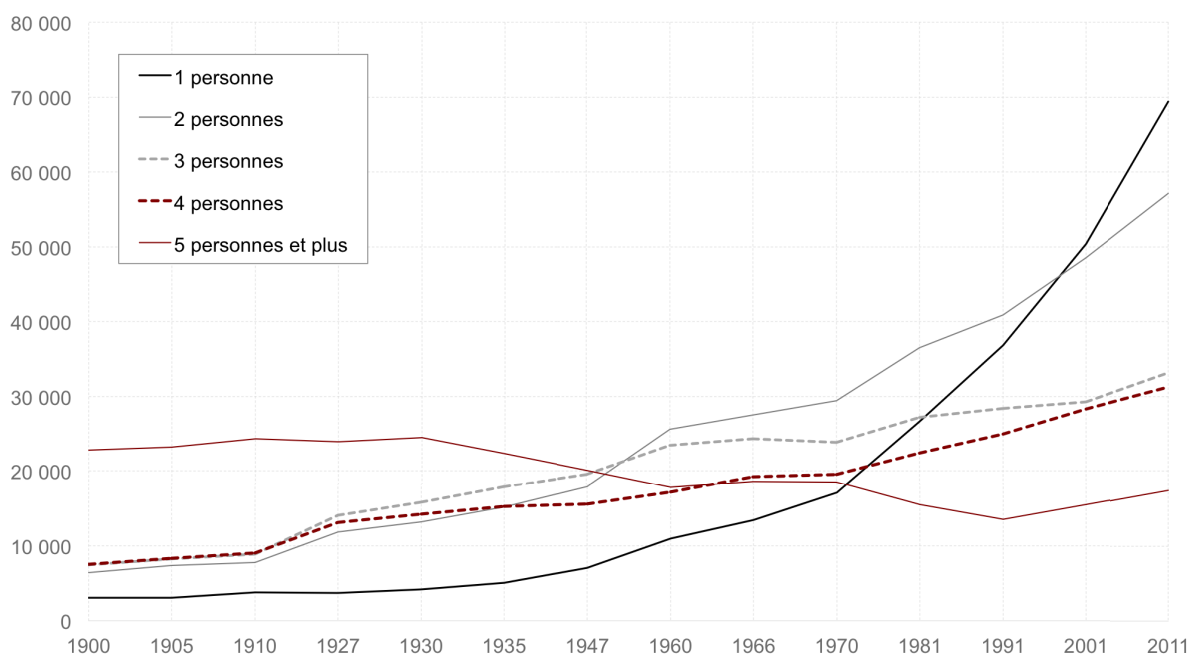


FIGURE 2.5 – Evolution de la taille des ménages au Luxembourg entre 1900 et 2011 (source : STAT-TEC, 2011)

la présence de deux pics de croissance au milieu des années 1960 et 1970. Les années 1960 sont marquées par la fin de la période dite du *baby-boom* et de la croissance démographique de la fin de la guerre, un regain de l'activité industrielle, appuyée par une large dynamique d'innovation, ainsi que des débuts du Luxembourg en tant que place financière (?). Les tendances observées dans les années 1970 correspondent à la combinaison de l'apparition d'une industrie nouvelle, qui amorce la transition de la sidérurgie vers le caoutchouc et les matières plastiques, et le développement des activités économiques et financières du pays.

L'évolution du produit intérieur brut et de l'évolution du nombre d'habitants sont plutôt bien corrélées. En effet, comme le montre la figure 2.6, on observe des similitudes dans le comportement des deux courbes. Même si les ordres de grandeur des variations des deux variables ne pas tout à fait équivalents, les fluctuations sont relativement identiques. Lorsque le PIB croît, et surtout lorsqu'il augmente de façon importante, la population augmente, peut-être avec un léger décalage temporel. À l'inverse, lorsque le PIB chute, comme lors de la crise de 1973, la population augmente beaucoup moins vite. Ce phénomène n'a toutefois pas été observé à la suite de la crise de 2008 et à son soubresaut de 2010. Cela s'explique, entre autres, par le faible nombre d'habitants au Luxembourg. En effet, ce pays connaît moins d'inertie que les autres et reste assujettis à des politiques de migrations relativement imbriquées au marché du travail.

La seconde tendance démographique commence au milieu des années 1980. Elle continue encore dans les années 2010 et correspond à une croissance relativement soutenue de la population, de l'ordre de 1,5% par an. D'après les données récoltées par EUROSTAT, ce serait le taux de croissance le plus élevé d'Europe. Une fois encore la croissance démographique peut s'expliquer en partie par les bons résultats économiques du Grand-Duché (comparativement à ses homologues européens). Parallèlement, il convient d'analyser plus précisément les déterminants démographiques de la croissance de la population luxembourgeoise.

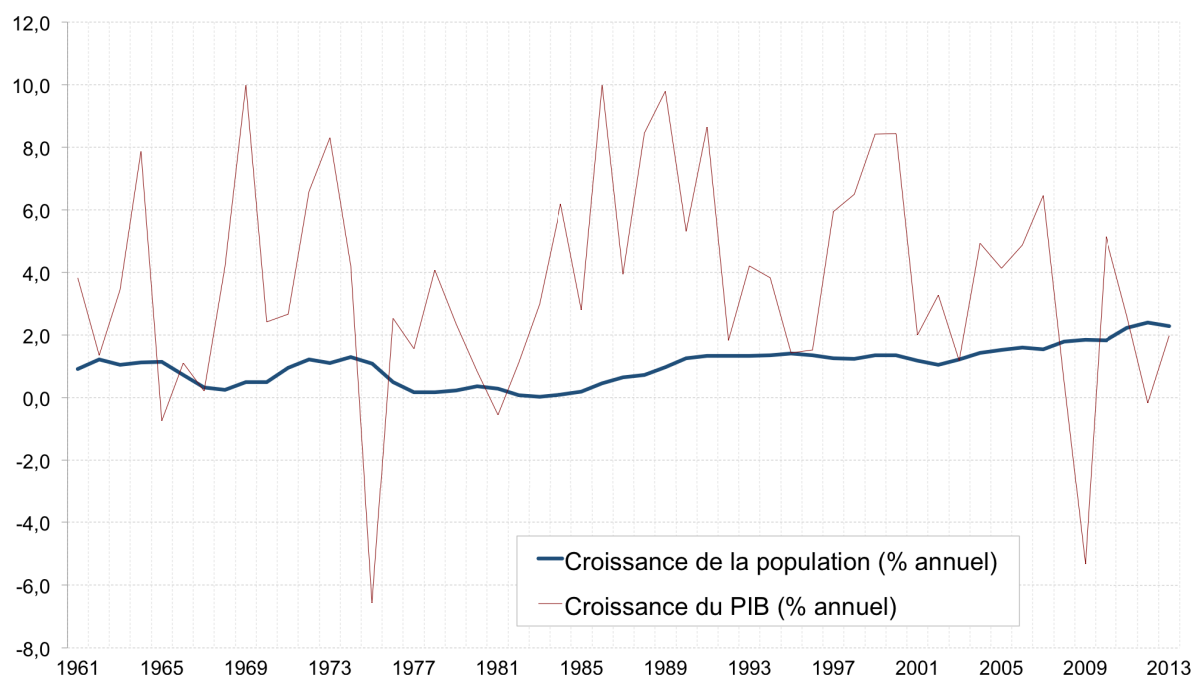


FIGURE 2.6 – Taux de variation de la population et du PIB au Luxembourg entre 1960 et 2010 (source : EUROSTAT, 2010)

La superposition des courbes de variations de la population, dues au solde naturel⁷ et au solde migratoire⁸ permet d'expliquer la variation totale de la population luxembourgeoise, comme le montre la figure 2.7. L'accroissement naturel est toujours positif et relativement élevé entre 1960 et 2010, à l'exception d'une baisse dans les années 1970 probablement due à certains changements sociétaux. Surtout, on constate que la courbe de variation de population due au solde migratoire suit largement la courbe de variation totale de la population. On retrouve, dans les mêmes mesures, les variations observées au milieu des années 1960 et 1970 et la tendance de fond depuis le milieu des années 1980.

7. Le solde naturel est la différence entre les naissances et les décès

8. Le solde migratoire est la différence entre les flux entrants et sortants au sein d'un espace donné

Une grande partie de la croissance démographique du Luxembourg est donc due aux flux migratoires, parmi les plus conséquents d'Europe derrière l'Irlande (notamment au début des années 2000) et Chypre (plus récemment). Il en résulte une croissance forte la population étrangère dans la population totale de 29,4% en 1991, puis 36,9% en 2001. Les étrangers représentent en 2011 43% de la population totale au Luxembourg (?). Face à ces dynamiques, la construction de logements constitue un réel enjeu pour le Grand-Duché, sans pour autant que la demande soit répartie de manière équivalente sur tout le territoire.

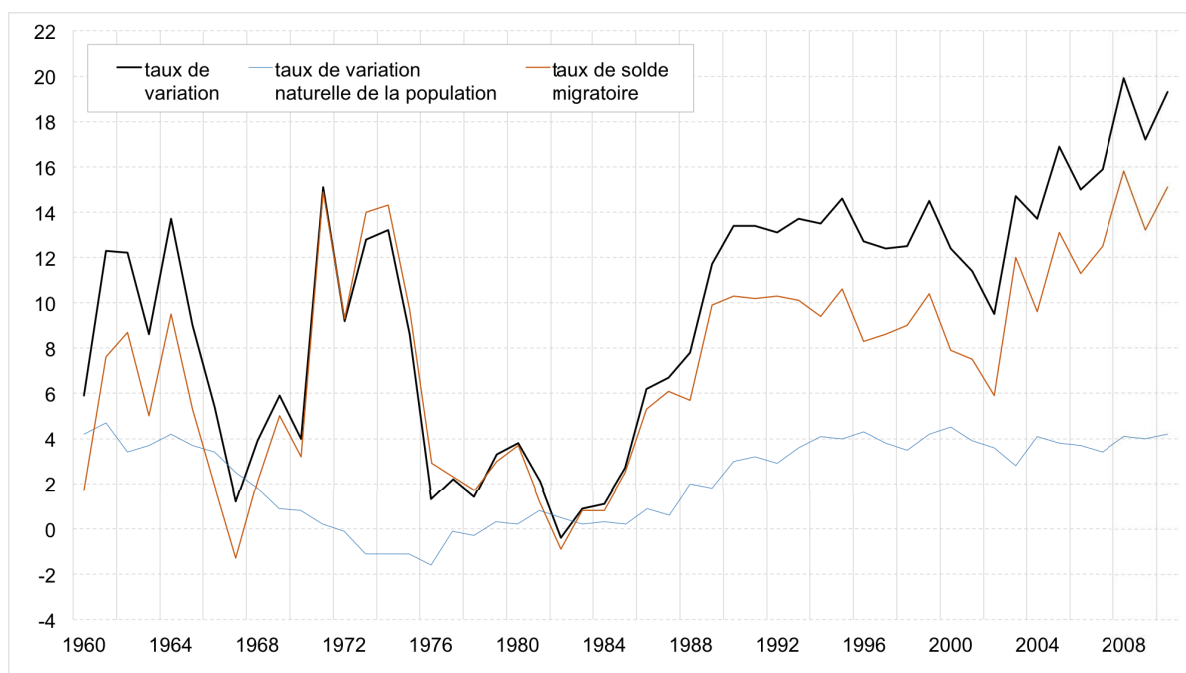


FIGURE 2.7 – Taux de variations de la population entre 1960 et 2010 au Luxembourg (source : EUROSTAT, 2010)

Ainsi, les deux cartes de la figure 2.8 sont issues de l'*Atlas du Luxembourg*, paru en 2009 (Bousch et al, 2009). Elles présentent, en 1843 et en 2001, la répartition de la population à l'aide d'un indicateur de densité établi sur une même base 100 (Gerber et al, 2009). On constate que les logiques résidentielles ont évolué au cours de la période considérée, avec un point commun, le caractère monocentrique du Grand-Duché. La capitale du pays concentre et a toujours concentré une grande partie de la population. Au milieu du XIX^{ème} siècle, l'ensemble du Luxembourg semble urbanisé, de façon modérée mais uniformément sur l'intégralité du territoire. Avec le temps, les contrastes territoriaux se sont renforcés et les centralités se sont accrues. En 2001, les principales densités du pays, hormis dans la capitale, se trouvent dans le Sud Minier, dans l'agglomération de la Nordstad et de façon plus anecdotique dans quelques communes frontalières avec l'Allemagne.

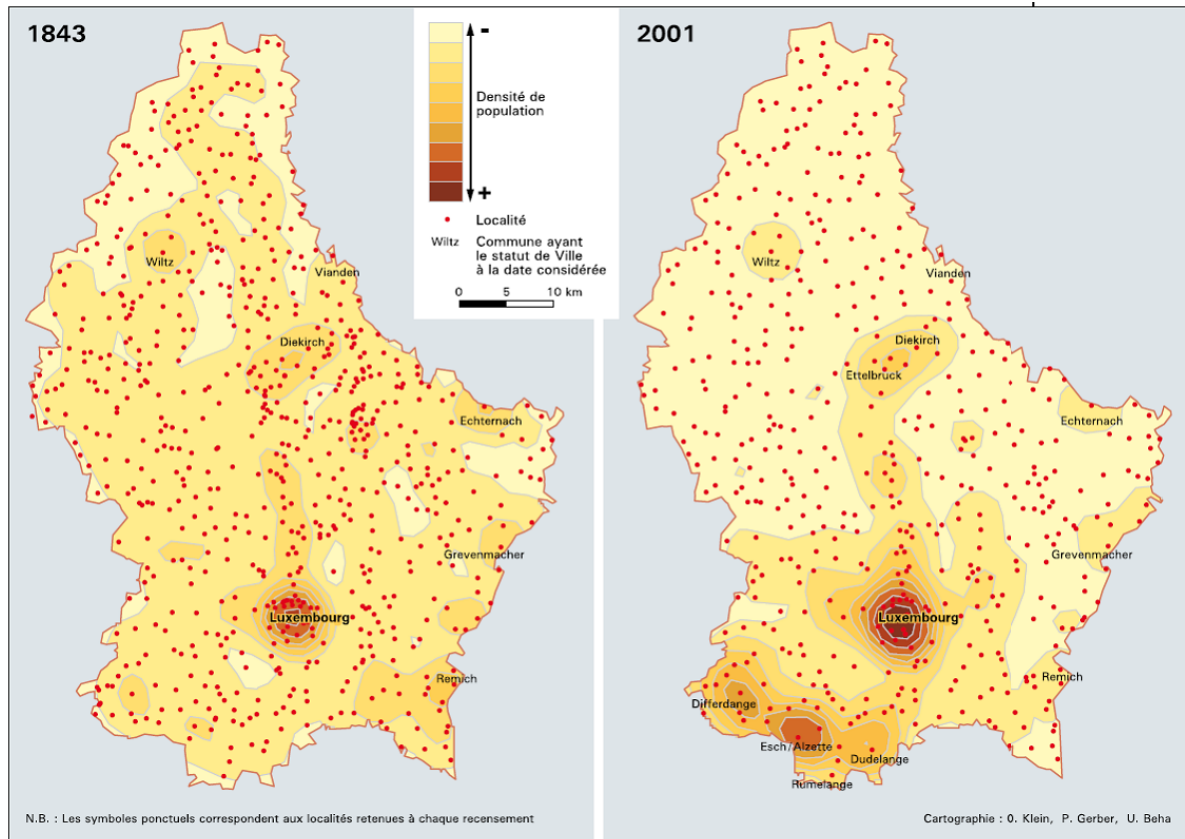


FIGURE 2.8 – Répartition de la densité de population au Luxembourg à l'échelle des localités en 1843 et 2001 (Source : Gerber et Klein, 2009)

La carte suivante, de la figure 2.9, illustre les dynamiques récentes de la croissance démographique à l'échelle des communes luxembourgeoises. Deux informations sont présentes : 1) la différence du nombre d'habitants en 2001 avec le nombre de 2011 et 2) l'évolution relative de ce même nombre d'habitants entre les deux dates. On peut relever deux caractéristiques principales. Représentées par des cercles proportionnels, les communes qui accueillent le plus grand volume d'habitants entre 2001 et 2011 sont Luxembourg-Ville (plus 18 000 habitants), Differdange (plus 3 700 habitants), Esch-sur-Alzette (plus 3 000 habitants) tout comme une grande partie du Bassin Minier. La commune d'Hesperange, au sud-est de l'agglomération de Luxembourg-Ville, voit également sa population augmenter de près de 3 000 habitants. Dans le même temps, même si le volume de nouveaux résidents est moins conséquent, un grand nombre de communes ont vu leur population augmenter fortement de façon relative. Plus d'un tiers des municipalités luxembourgeoises (44 sur 116) ont connu une croissance démographique supérieure à 20%. Une vingtaine de communes connaissent même une croissance supérieure à 30% en dix ans. Comme le suggère la carte choroplèthe de la même figure 2.9, les augmentations les plus importantes ont lieu dans les communes périphériques à l'agglomération de la capitale. Les communes frontalières de Frisange et sa voisine Weiler-la-Tour, à l'extrémité sud du pays, ont connu une très forte croissance, tout comme un

certain nombre de communes à la frontière avec l'Allemagne (Bous, Lenningen, Manternach à l'est ; Beaufort, Berdorf, Reisdorf au nord-est). De même, un certain nombre de communes plus éloignées de la capitale, au nord du pays ont vu leur population croître rapidement. Parmi elles on peut relever Heiderscheid, Heinerscheid ou encore Munschausen, dont la proximité avec l'Allemagne et la Belgique, leur distance à la capitale et donc un immobilier plus accessible et un foncier plus disponible leur confèrent un attrait majeur. Entre 2001 et 2011, seules deux communes, en bleu sur la carte ont vu leur population décroître. Niederaanven, au nord-est de Luxembourg-Ville a perdu quinze habitants sur la période. Au nord-ouest de la capitale, Septfontaines a vu sa population diminuer de 33 résidents.

Pour pallier le différentiel entre les communes, l'État luxembourgeois, au travers d'un texte législatif du 22 octobre 2008, a institué le *Pacte Logement*. Les communes signataires, au nombre de 103, reçoivent des incitations financières en cas de croissance démographique. Pour chaque habitant au dessus de 1% de croissance démographique la municipalité touche 4 500 euros. Cette incitation est même supérieure pour les Centres de Développement et d'Attraction (7 650 euros par habitant) et les 39 communes prioritaires de l'IVL (6 750 euros)⁹. Malgré le montant important de cette enveloppe financière, qui se chiffre à plusieurs dizaines de millions d'euros, les conséquences de cette mesure resteraient mitigées (?). Il semblerait qu'aucune différenciation spatiale de la croissance résidentielle ne soit constatée à l'échelle du pays.

9. La notion de Centre de Développement et d'Attraction ainsi que les communes prioritaires feront l'objet d'une présentation par la suite.

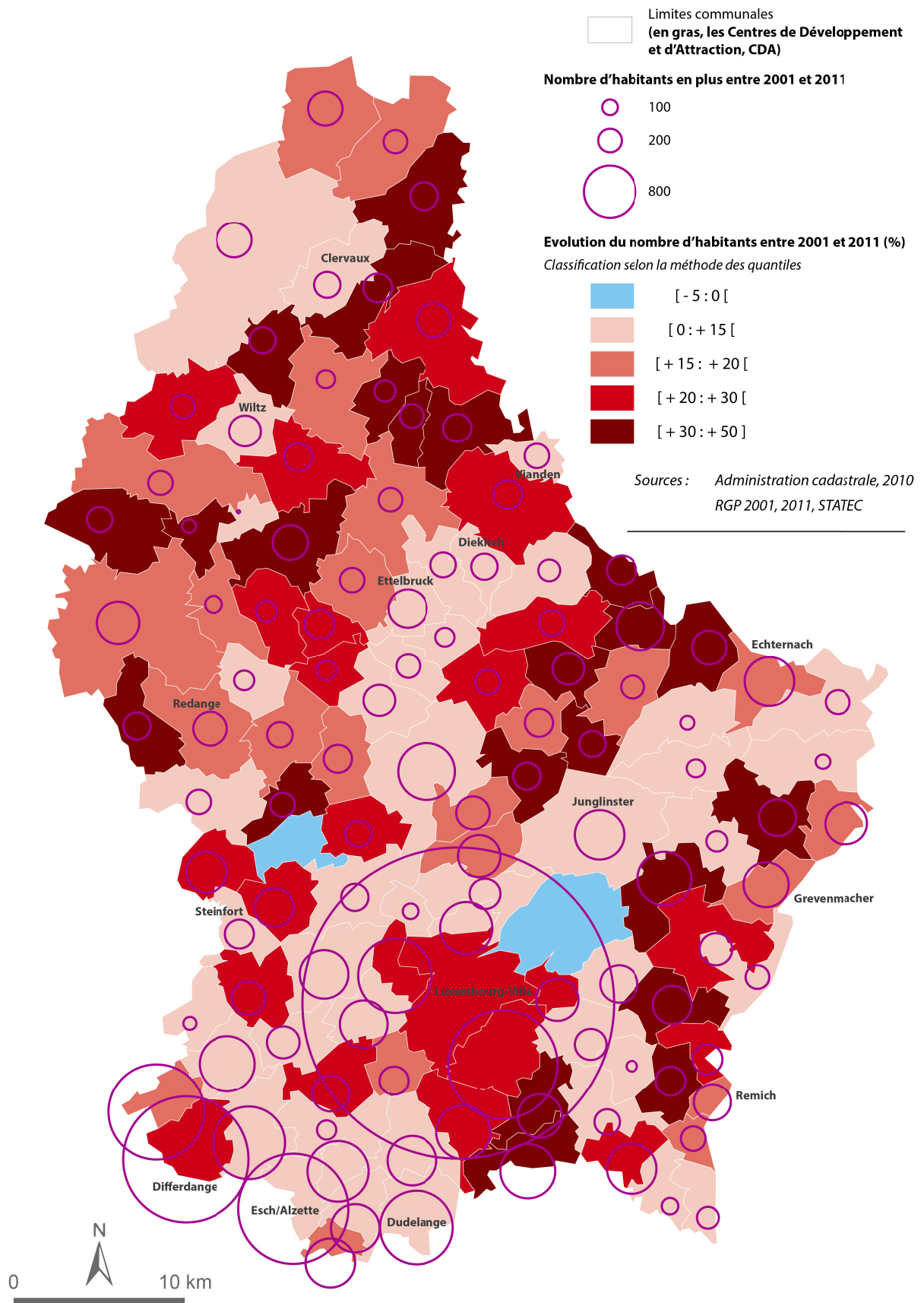


FIGURE 2.9 – Variations de population au Luxembourg entre 2001 et 2011

3.1.2. ... mais un taux de construction de logements peu élevé

Le Luxembourg souffre d'un déficit certain dans l'offre de logements. La dynamique de construction des dernières années ne suffit pas à combler ce manque. En effet, les données sur les bâtiments achevés publiées annuellement par le STATEC indiquent un taux moyen de construction de 3 500 logements par an en moyenne entre 2006 et 2011 (?). Selon les projections de l'organisme statistique, il faudrait près du double de logements construits par an, soit environ 6 500 logements pour absorber la croissance démographique et donc résidentielle des vingt prochaines années. Sur ces 6 500 logements, 4 000 seraient dédiés à l'absorption de la croissance démographique et plus de 2 000 au remplacement des logements vétustes.

La figure 2.10 présente les données du STATEC sur les bâtiments achevés, une statistique recueillie annuellement depuis 1970 qui recense les constructions qui ont eu lieu dans l'année en cours. Figurent sur ce graphique les données concernant les bâtiments (en rouge), les logements (en gris foncé) et les maisons individuelles (en gris clair). Ces trois courbes sont loin d'être régulières et présentent des oscillations notables. Au cours de la période considérée, on constate trois « pics » de construction, au milieu des années 1970, au milieu des années 1990 et, particulièrement, en 2008. Pour des questions méthodologiques relatives aux données, les années 1999 et 2000 ne sont pas exploitées. Les forts volumes des années 1970 correspondent assez bien aux flux de migrants évoqués précédemment. Face à l'arrivée massive de nouveaux habitants, il a fallu construire davantage de logements. Ces logements sont en grande partie des immeubles, comme le suggère le décalage entre la courbe représentant les maisons unifamiliales ou individuelles et le total des logements. Les années 1980 sont marquées par une baisse de la construction, notamment de logements collectifs. Cette tendance sera inversée l'année suivante, avec une construction de plus de 3 000 logements en 1993, un seuil qui n'avait pas été atteint depuis 1976 (?). Ce seuil symbolique ne sera à nouveau dépassé qu'en 2007 et surtout 2008, année où 4 444 logements seront construits, dont plus des deux-tiers en logements collectifs. Cette situation exceptionnelle est probablement due à la combinaison de deux facteurs que sont : 1) l'expiration au 31 décembre 2007 de mesures fiscales visant à faciliter la vente et l'achat de terrains et de construction¹⁰ et 2) la forte hausse des prix immobiliers entre 2005 et 2007 qui a favorisé les constructions de la part des promoteurs, rassurés quant aux possibilités de vente du fait d'une demande forte. Toutefois, cette bonne dynamique n'aura pas duré plus de deux ans. La crise de 2008 aura pour conséquence directe de freiner les investissements sur la construction. Ainsi dès 2009, on peut observer un ralentissement de la construction de logements. L'analyse des chiffres des années suivantes pourrait souligner un retour à la hausse, de nouvelles

10. Cette mesure législative était en place depuis la loi du 30 juillet 2002, avec pour objectif d'encourager la construction

données étant nécessaires pour étayer cette hypothèse.

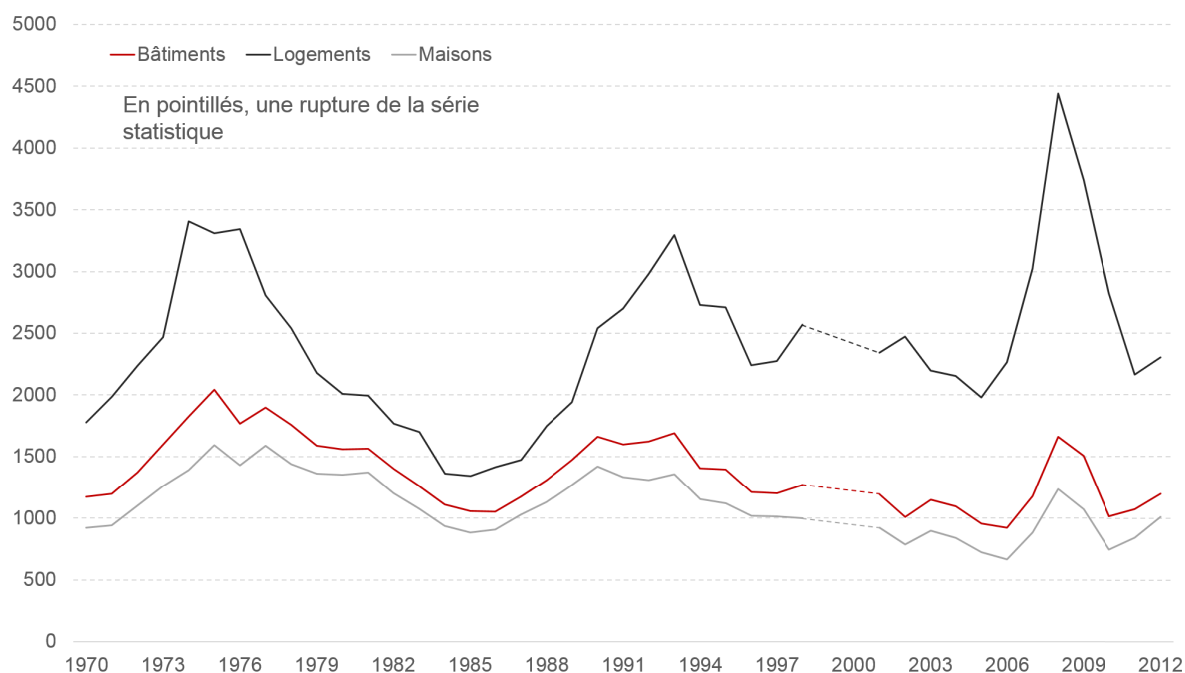


FIGURE 2.10 – Evolution des volumes de construction de bâtiments, logements et maisons unifamiliales au Luxembourg, Observatoire de l’Habitat, 2014

Le déficit de construction de logements n’est pas sans conséquence sur les prix constatés de l’immobilier au Luxembourg. Il serait difficile d’expliquer le marché immobilier luxembourgeois au travers de cette seule entrée. Néanmoins, il semble possible d’établir un lien entre la pénurie d’habitations, disponibles à la location ou à l’achat, et l’augmentation des prix immobiliers. La figure 2.11 illustre l’évolution des prix immobiliers, à l’achat et à la vente, pour les maisons et appartements, entre 2005 et 2014. Les prix de 2005 constituent la base 100, et les prix sont indiqués en euros courants (et ne tiennent pas compte de l’évolution des revenus et de l’inflation qui est restée relativement faible au cours de cette période). Ces données ont été collectées à partir des prix annoncés par les diffuseurs par l’Observatoire de l’Habitat¹¹. Malgré quelques oscillations conjoncturelles, les tendances sont à la hausse pour toutes les variables considérées. En comparaison, ce sont les appartements qui subissent les hausses les plus fortes, avec plus de 50% d’augmentation en 10 ans, suivis par les achats de maisons (plus 42%) et les locations d’appartements (plus 38%). Les locations de maisons ont connu une hausse plus modérée avec « seulement » 20% d’augmentation sur les prix des loyers.

11. L’Observatoire de l’Habitat est une structure conjointe au ministère du Logement et au LISER (anciennement CEPS/INSTEAD)

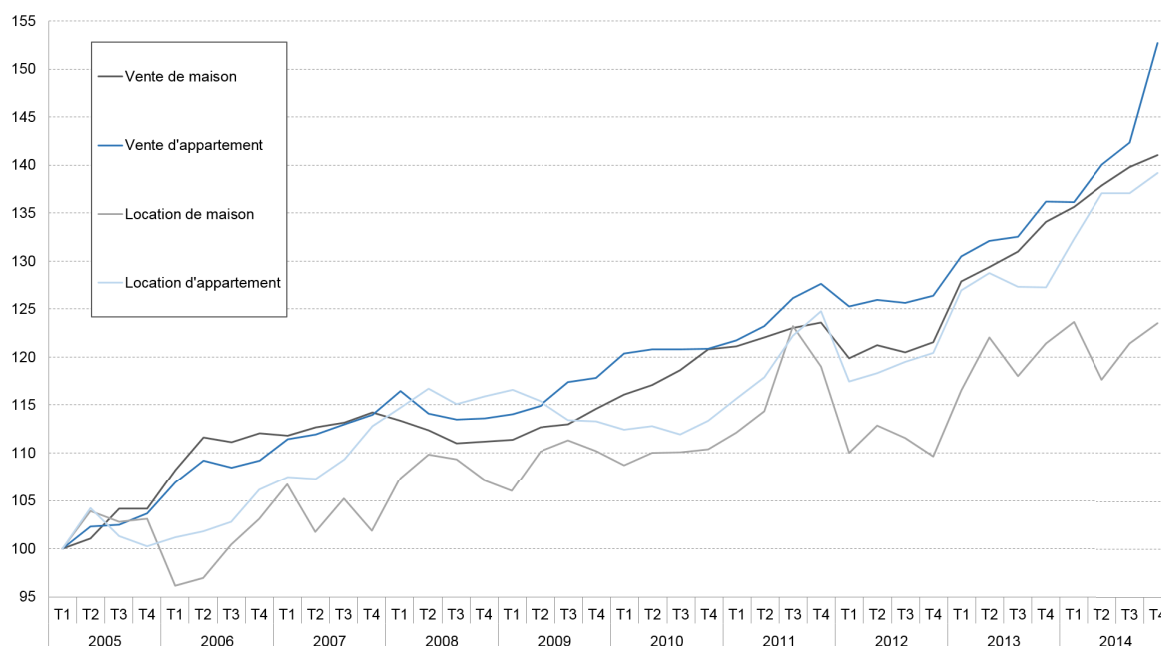


FIGURE 2.11 – Evolution des prix de l’immobilier au Luxembourg, à partir d’une base 100 en 2005, Observatoire de l’Habitat, 2014

Cette situation du logement au Luxembourg a des conséquences sur les difficultés de logements pour les potentiels résidents, qui préfèrent parfois bénéficier du différentiel frontalier pour aller trouver un logement moins onéreux en Allemagne, en Belgique ou en France (Gerber et Liche-ron 2010). Le faible taux de construction, au regard des dynamiques démographiques, peut s’ex-pliquer par la politique d’aménagement du territoire luxembourgeois. La relative lenteur des pro-cédures administratives, notamment la signature des permis de construire, constituerait un frein à la construction (?). De même, la faiblesse des impôts locaux, encore basés sur des valeurs de 1941, engendre une certaine rétention des terrains potentiellement constructibles par les propriétaires.

La carte de la figure 2.12 présente la répartition, à l’échelle communale, des prix moyens annon-cés à l’achat pour une maison. Les prix annoncés ne sont pas les prix de vente, mais les prix figurant sur les annonces publicitaires. Ces données sont collectés en permanence par l’Observatoire de l’Habitat et au LISER afin de produire des indicateurs du marché immobilier. La répartition des prix moyens pour une maison au Luxembourg suit un modèle concentrique. Les prix les plus élevés se trouvent à Luxembourg-Ville et surtout dans son agglomération. Sept communes dépassent le mil-lion d’euros en moyenne pour l’achat d’une maison ; elles sont toutes contiguës et localisées sur la partie nord de l’agglomération. D’ouest en est, il s’agit des communes de Mamer, Strassen, Kopstal, Walferdange, Steinsel, Niederaven et Schuttrange. Ces communes ont la particularité d’être à proxi-mité immédiate de la capitale tout en offrant une bonne accessibilité aux espaces naturels, ce qui

en fait des espaces à forte pression foncière, expliquant une bonne partie des prix importants de l'immobilier. Le modèle concentrique se prolonge par une ceinture de communes à peine moins chères, où le prix est en moyenne inférieur à 900 000 euros pour l'acquisition d'un bien immobilier. Les prix les moins élevés se situent dans le tiers nord du pays, et dans quelques communes du sud minier. Si les prix observés dans le nord du Grand-Duché sont principalement dus à la distance qui le sépare de la capitale et des principaux emplois, les prix constatés dans le sud sont plus difficiles à interpréter. La faible moyenne (de façon relative) des prix annoncés pour acheter une maison dans les communes de Differdange, Dudelange ou encore Schiffflange peut s'expliquer par la nature de l'offre. Les biens à vendre y sont généralement plus petits, puisque la majeure partie du bâti résidentiel de ces communes est composée de maisons de villes, jumelées ou en bandes. D'ailleurs, une analyse des prix moyens, rapportés au mètre carré (permettant de ne pas tenir compte de la surface des logements), donne une répartition similaire à celle observée sur la figure 2.12.

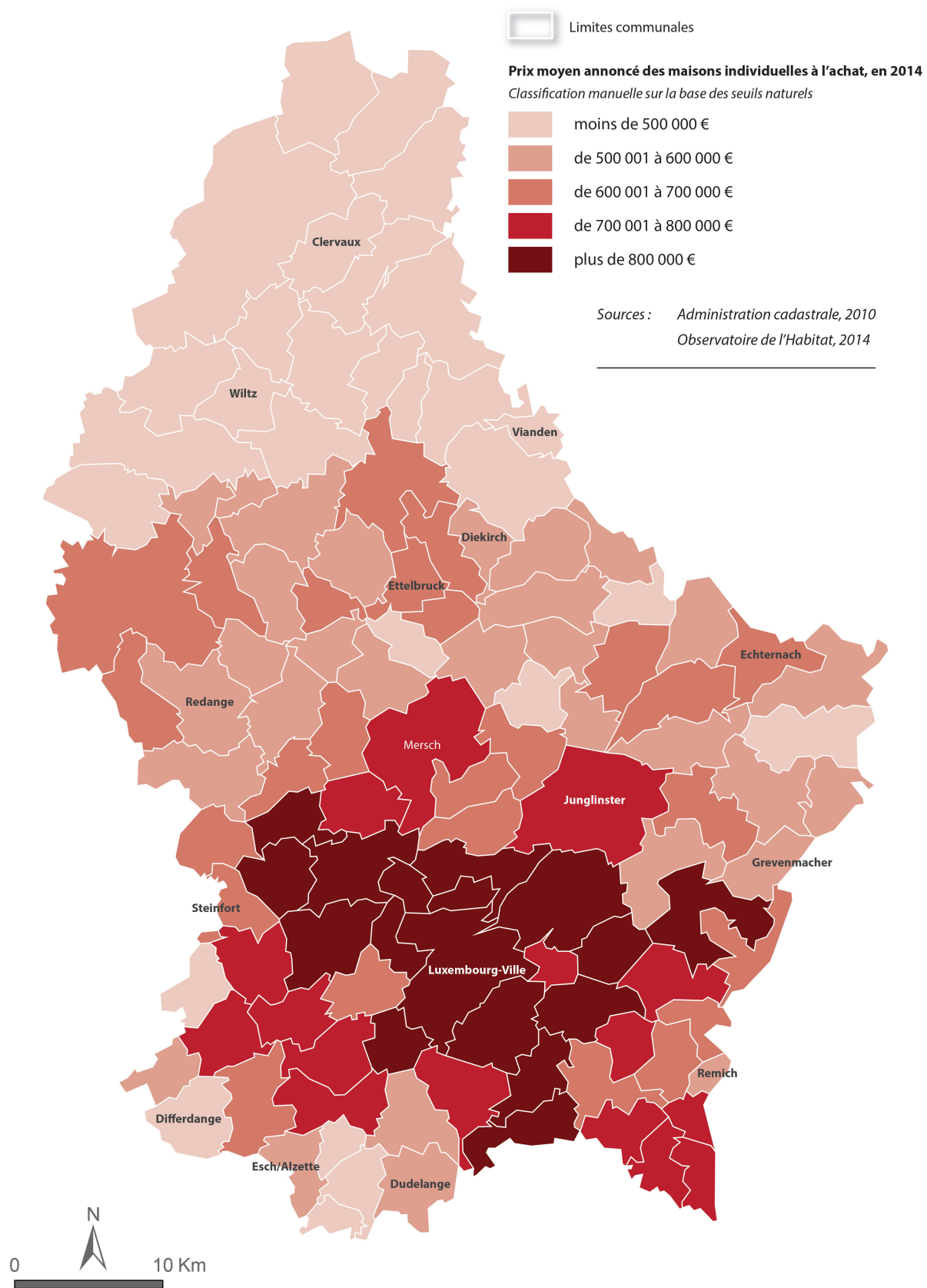


FIGURE 2.12 – Prix moyens annoncés à l'achat pour une maison individuelle au Luxembourg en 2014

3.2. Limiter la consommation foncière

Le paradoxe luxembourgeois réside dans le fait qu'il faille à la fois répondre à la forte demande en logements tout en limitant les conséquences spatiales de cet objectif. Les terrains disponibles à l'urbanisation sont limités et les constructions sont souvent de taille conséquente, conformément à la surface moyenne importante des logements luxembourgeois et à la forte proportion de maisons individuelles.

3.2.1. Description des logements luxembourgeois

Le parc immobilier luxembourgeois se distingue notamment par des surfaces conséquentes des logements, largement supérieures aux surfaces observées en France ou en Belgique, avec 60% des logements ayant une surface de plus de 100m²¹². La moyenne de la surface des logements est de 144m². Le Luxembourg est le troisième pays européen, derrière Chypre (156 m²) et l'Islande (147 m²). La surface moyenne des logements luxembourgeois est également nettement supérieure à celle observée dans les 28 pays membres de l'Union Européenne, qui est de 102 m². Le gouvernement luxembourgeois aurait récemment déclaré vouloir diminuer la surface moyenne des logements de 25 à 30%.

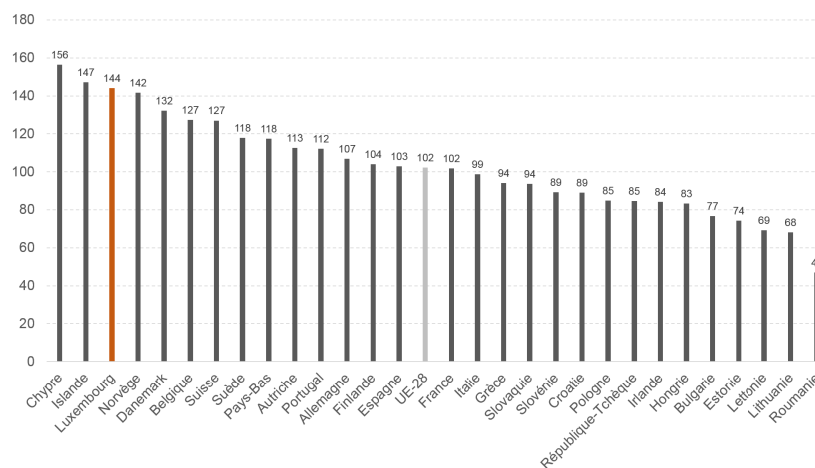


FIGURE 2.13 – Surface moyenne des logements dans les pays d'Europe, EUROSTAT, 2012

Le parc de logement luxembourgeois est constitué d'une forte proportion de maisons individuelles (ou unifamiliales), puisqu'elles représentent près de 85% des constructions (?). Comme l'indique le tableau 2.1, la catégorie des maisons regroupe les maisons isolées, les maisons jumelées, qui partagent une façade avec une maison voisine et les maisons dites « en rangée », ou maisons de villes, qui partagent deux façades avec les maisons voisines. Ce sont tout de même les mai-

12. http://www.insee.fr/fr/regions/nord-pas-de-calais/default.asp?page=themes/ouvrages/atlas2/02_09_surface_logement.htm

sons isolées qui sont les plus nombreuses et représentent 37,9% des constructions. À l'inverse, les immeubles collectifs, qu'ils comprennent du commerce (notamment en rez-de-chaussée), ou des services (bureaux dans les étages), ne représentent que 12,7% du total des constructions. Toutefois, le croisement effectué par le STATEC entre les fichiers de recensement de la population et le recensement des constructions permet de nuancer cet écart. En effet, les maisons unifamiliales n'abritent que 63,7% de la population tandis que les immeubles collectifs accueillent 32,9% de la population. Même si le volume de construction peut sembler conséquent, seulement un tiers des résidents vivent dans des logements collectifs. De même, comme énoncé précédemment, les tendances actuelles de constructions tendent vers davantage d'habitat collectif, ceci étant notamment dû à l'évolution du marché foncier.

	CONSTRUCTIONS		POPULATION	
	Nombre de constructions	Part du total des constructions	Nombre d'habitants	Part du total de la population
Maison isolée	49 321	37,9	141 434	27,6
Maison jumelée	32 586	25,0	97 019	18,9
Maison « en rangée »	26 775	20,6	82 371	16,1
Autre maison individuelle	1 968	1,5	5 652	1,1
Total des maisons	110 650	85,1	326 476	63,7
Immeuble collectif résidentiel	10 927	8,4	118 927	23,2
Immeuble collectif mixte	5 340	4,1	48 605	9,5
Immeuble collectif principalement non résidentiel	247	0,2	790	0,2
Total des immeubles collectifs	16 514	12,7	168 322	32,9
Fermes, bâtiments agricoles	2 509	1,9	7 290	1,4
Autres	418	0,3	10 265	2,0
TOTAL	130 091	100,0	512 353	100,0

Tableau 2.1 – Typologie des logements au Luxembourg, d'après le recensement du STATEC, 2011

Le tableau 2.2 présente les constructions de logements entre 1992 et 2009, par type de construction (individuel ou collectif) et par canton. Ces chiffres sont issus de la base de données des bâtiments achevés du STATEC. On constate une grande disparité géographique dans la répartition des constructions, conformément aux écarts de croissance de population entre les communes. Le plus petit canton, de Vianden, qui regroupe trois communes totalise 0,6% des constructions. Le canton qui rassemble la plus grande partie des constructions est celui de Luxembourg, avec 31% du volume total. Les deux plus gros cantons (Luxembourg et Esch-sur-Alzette) englobent près de 50% du total

des constructions, 40% des maisons individuelles et plus 70% des appartements.

En valeur absolue, les cantons plus ruraux concentrent davantage de maisons individuelles que d'appartements. C'est le cas pour Vianden, Wiltz, Clervaux, Echternach, Rédange, Grevenmacher et Capellen. À l'inverse, les cantons plus urbains, ou du moins urbanisés, totalisent plus de constructions d'appartements que de maisons, comme à Diekirch (centre de la Nordstad), Remich (à la frontière avec l'Allemagne), Mersch (entre Luxembourg et la Nordstad), Esch-sur-Alzette (le sud minier) et dans le canton de la capitale, Luxembourg-Ville. Si on s'intéresse à la répartition individuel / collectif dans les cantons, il y a également certaines disparités. À Rédange, les appartements représentent 22% du total des constructions alors qu'à Luxembourg les appartements constituent 77% du total. Les cantons de Diekirch, Remich, Mersch ou Capellen ont une répartition plus équilibrée entre les deux types de construction.

Les logements luxembourgeois sont donc grands (en surface habitable), plutôt individuels (même si la tendance s'inverse ces dernières années) et sont loin d'être uniformément répartis sur le territoire. Ces dynamiques de construction ne sont pas sans conséquences sur la consommation foncière et la quantité de terrains encore disponibles pour la construction, notamment résidentielle.

	nombre de logements	dont maisons individuelles	dont appartements	part des logements	part des maisons	part des appartements
Vianden	272	208	64	0,6	1,2	0,2
Wiltz	1 027	633	394	2,1	3,5	1,3
Clervaux	1 121	677	444	2,3	3,8	1,5
Echternach	1 333	797	536	2,8	4,4	1,8
Rédange	1 559	1 213	346	3,2	6,7	1,1
Diekirch	2 328	1 115	1 213	4,8	6,2	4,0
Remich	2 383	1 072	1 311	5,0	6,0	4,4
Grevenmacher	2 457	1 535	922	5,1	8,5	3,1
Mersch	2 832	1 396	1 436	5,9	7,8	4,8
Capellen	4 386	2 269	2 117	9,1	12,6	7,0
Esch/Alzette	13 482	3 649	9 833	28,0	20,3	32,6
Luxembourg	14 959	3 448	11 511	31,0	19,1	38,2
Total en %	100	37	63			

Tableau 2.2 – Part des régions / cantons dans le total des logements achevés au Luxembourg entre 1992 et 2009, STATEC, 2011

3.2.2. État des lieux de la consommation foncière

La croissance démographique et par conséquent celle de logements a évidemment une conséquence sur le foncier disponible et sur l'occupation du sol luxembourgeois. D'après les données de l'Administration du Cadastre et de la Topographie, reprises par le STATEC, on estime que si les espaces bâtis représentaient 3,1% de la surface totale du pays en 1972, ce sont près de 10% du territoire qui sont urbanisés aujourd'hui (voir figure 2.3). L'artificialisation du sol (le passage d'une surface naturelle à une surface anthropisée) serait même de près de 15% en ajoutant l'espace occupé par la voirie et les chemins de fer. De fait, entre 1970 et 2010, la consommation foncière atteint deux hectares par jour, avec un total annuel de 730 hectares (?).

	1972	1990	2000	2010
Surfaces agricoles et sylvicoles	93,2	91,8	87,4	85,7
Surfaces bâties	3,1	4,3	8,1	9,3
dont surfaces industrielles et autres	2,7	3
Voirie, chemin de fer, etc.	3,2	3,4	3,9	4,4
Cours et plans d'eau	0,5	0,5	0,6	0,6
Total	100	100	100	100

Tableau 2.3 – Evolution de l'occupation du sol au Luxembourg entre 1972 et 2010, d'après l'Administration du Cadastre et de la Topographie et le STATEC, 2015

Les résultats qui suivent sont issus d'une analyse menée par l'Observatoire de l'Habitat et publiée en 2013 sur la construction de logements au Luxembourg. La consommation foncière nécessite de différencier deux aspects : la consommation foncière nette, qui est la construction de terrains non construits au début de la période considérée, et la reconstruction de terrains déjà construits auparavant. De fait, sur la construction totale de logements, 20% sont actuellement le fruit de reconstructions (le plus souvent de la densification) et 80% sont localisés sur des terrains initialement non construits. Dans un premier temps, nous nous intéresserons à la consommation foncière nette, puis aux terrains reconstruits. Entre 2004 et 2010, 703 hectares ont été construits dans un but résidentiel, ce qui représente une moyenne annuelle de 117 hectares¹³. Sur cette consommation foncière, 44% de la surface proviennent des zones d'habitation et 11% des zones mixtes¹⁴, soit 369 hectares de surface résidentielle. Près de 10% de cette consommation foncière sont localisés dans la seule commune de Luxembourg ce qui représente une surface de 32 hectares. Les communes prioritaires de l'IVL rassemblent un peu moins de 50% de la consommation foncière à vocation résidentielle, avec une moyenne de 4,6 hectares par commune. Les autres communes, dites complémentaires, connaissent une consommation moyenne de 2,5 hectares sur la même période. Le calcul du rap-

13. Soit 200 terrains de football environ

14. Les zones mixtes regroupent des zones d'habitations (75%) et de commerce (25%).

port entre la consommation foncière entre 2004 et 2010 sur l'occupation foncière résidentielle de 2004 permet d'indiquer un taux de progression des surfaces résidentielles. Au total, la progression des surfaces résidentielles est de 3,8% entre 2004 et 2010.

Cette consommation du foncier est illustrée par la carte 2.14. Comme nous l'avons déjà vu, les plus grands volumes de construction sont localisés à Luxembourg-Ville, son agglomération et dans le Sud. La deuxième information indique par commune la part d'utilisation des zones mixtes pour la construction de bâtiments. Quelques communes ont la particularité d'utiliser principalement les zones mixtes. C'est notamment le cas pour les communes d'Esch-sur-Alzette (plus de 75 %), Dudelange, Manternach près de Grevenmacher (à 100%) ou encore Heiderscheid (à 100%) près de la Nordstad. Il est toutefois difficile d'émettre des conclusions sur l'importance de ce ratio. Traduit-il un manque de terrains disponibles et donc une forte utilisation des zones mixtes? Est-ce le marqueur d'une volonté de mixité fonctionnelle qui verrait une grande partie des projets immobiliers intégrer des commerces ou des services aux espaces résidentiels?

Les terrains reconstruits représentent une surface de 188 hectares entre 2004 et 2010, toutes fonctions confondues. Les zones d'habitation et les zones mixtes représentent près des deux-tiers de ce total, soit 110 hectares en tenant compte du ratio de 75% d'habitations dans les zones mixtes. Ces 110 hectares constituent bien 20% du total des surfaces résidentielles totales (369 Ha + 110 Ha). Près de la moitié des reconstructions sont effectuées dans les communes urbaines et périurbaines de la capitale et de la région sud, 20 hectares étant reconstruits à Luxembourg-Ville et 29 hectares dans 14 autres communes périphériques. Le phénomène de renouvellement urbain est accentué dans les 39 communes prioritaires de l'IVL, qui concentrent 58% des surfaces reconstruites. La progression des surfaces reconstruites augmente de 1,1% par an entre 2004 et 2010, ce qui constitue un bon indicateur du renouvellement urbain.

La densité nette de construction (exempte de voiries et d'espaces publics) dans les terrains consommés et reconstruits est de 38 logements par hectare, ce qui est deux fois plus élevé que la moyenne nationale (19 logements par hectare environ). Les terrains occupés par les nouvelles constructions ou les reconstructions sont de taille plutôt restreinte avec une moyenne de 560m² pour les maisons. Assez logiquement, la surface moyenne occupée par les appartements est plus petite, avec 130m² par logement (toujours avec le terrain). Tous types de logements confondus, on compte donc une surface moyenne de 270m² par logement.

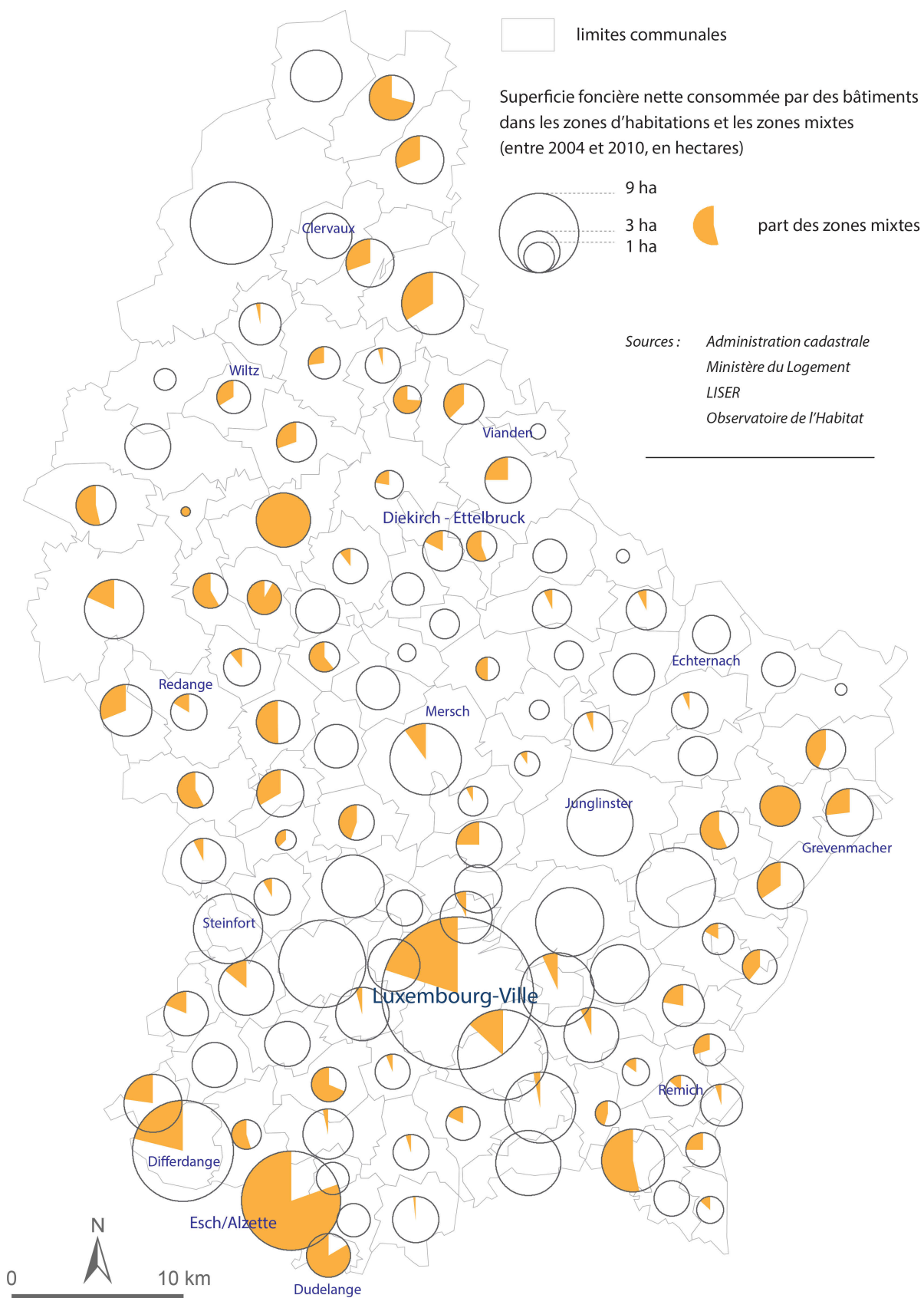


FIGURE 2.14 – Superficies foncières nettes consommées par des bâtiments dans les zones d'habitations au Luxembourg entre 2004 et 2010 (source : d'après Feltgen et Pouget, Observatoire de l'Habitat, 2013)

3.2.3. Quantité de terrains disponibles

Les terrains potentiellement urbanisables sont issus d'une observation des zones définies comme constructibles au sein des plans d'aménagement généraux des communes. Elle a pour but de renseigner les terrains disponibles à la construction grâce à une analyse détaillée de photographies aériennes¹⁵ et des zones constructibles définies dans les Plans d'Aménagement Généraux, les PAG, dont la figure 2.15 illustre un exemple. Les derniers travaux concernant le potentiel foncier constructible datent de 2010 (Observatoire de l'Habitat, 2012).

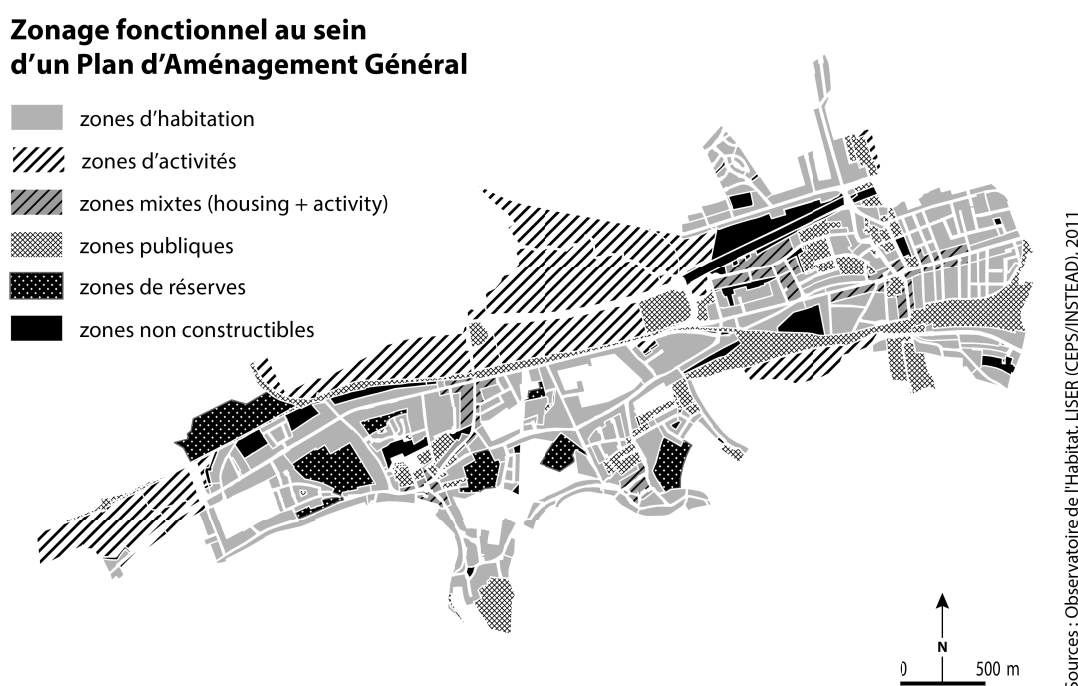


FIGURE 2.15 – Les différents zonages au sein des plans d'aménagements généraux au Luxembourg, d'après l'Observatoire de l'Habitat, 2011

Au total, il y a 5 512 hectares de terrains potentiellement constructibles. Les zones destinées à l'habitat représentent 2 368 hectares soit 43% du total, voir figure 2.16. Si on y ajoute 75% des zones mixtes (le maximum d'habitat constructible hors zones de commerces ou d'activités), on obtient 2 701 hectares soit près de la moitié des terrains disponibles. En considérant la tendance actuelle observée de densité de construction qui est de 19 logements par hectares, les terrains actuellement disponibles pourraient couvrir un besoin de 30 à 40 000 logements, soit deux fois moins que les 80 000 logements nécessaire à horizon 2030. On peut toutefois relever l'importance des zones de réserves, qui représentent 25% du total et qui ne sont pas encore affectées. Une récente modification de la législation au niveau des plans d'aménagements généraux oblige peu à peu les municipalités

15. Ces survols aériens, réalisés régulièrement, sont gérés par l'Administration du Cadastre et de la Topographie au Luxembourg.

à indiquer les destinations de ces terrains, qui constituent une quantité certaine de surface disponible pour l'urbanisation (?).

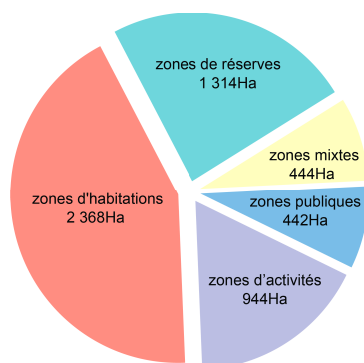


FIGURE 2.16 – Répartition des différents zonages dans les terrains disponibles au sein des plans d'aménagements généraux au Luxembourg, Observatoire de l'Habitat, 2010

Comme le montre la carte 2.17, le potentiel de surface théoriquement constructible pour l'habitat n'est pas réparti de façon homogène sur le territoire luxembourgeois. La plus grande partie des terrains disponibles sont situés dans la moitié sud du pays, notamment à Luxembourg-Ville (9% du total) et son agglomération, et dans le sud minier. D'autres communes possèdent néanmoins des surfaces intéressantes, comme certains centres de développement et d'attraction tels que Junglister, Mersch ou Wiltz. De façon plus remarquable, certaines communes plus rurales ont des surfaces disponibles conséquentes. Parmi elles, les communes de Rambrouch (43 hectares), sa voisine Boulaide ou encore Wintrange (80 hectares) ont bénéficié de la fusion de plusieurs communes pour totaliser ces terrains (?). Comme nous l'avons dit précédemment, les zones de réserve constituent un enjeu notable. Si la capitale du pays comptabilise le plus de terrains encore non définis (190 hectares soit 14% du total des réserves), d'autres communes détiennent des surfaces conséquentes. Les centres de Junglister (99 hectares) et Ettelbruck (79 hectares) ont de réelles possibilités de développement. La commune de Sanem, voisine d'Esch-sur-Alzette, possède quant à elle une réserve de 173 hectares due à la présence de grandes friches industrielles. La commune de Kehlen au nord-ouest de la capitale possède deux-tiers de son capital foncier en réserve (ce qui représente 40 hectares), une manne conséquente pour une commune soumise à une pression immobilière élevée. Une modification de la législation luxembourgeoise oblige peu à peu les municipalités à indiquer les destinations des zones de réserves (habitat, activités, espaces publics ou autres). Cette modification devrait permettre de mieux déceler le potentiel foncier des communes et les possibilités de croissance dont elles disposent.

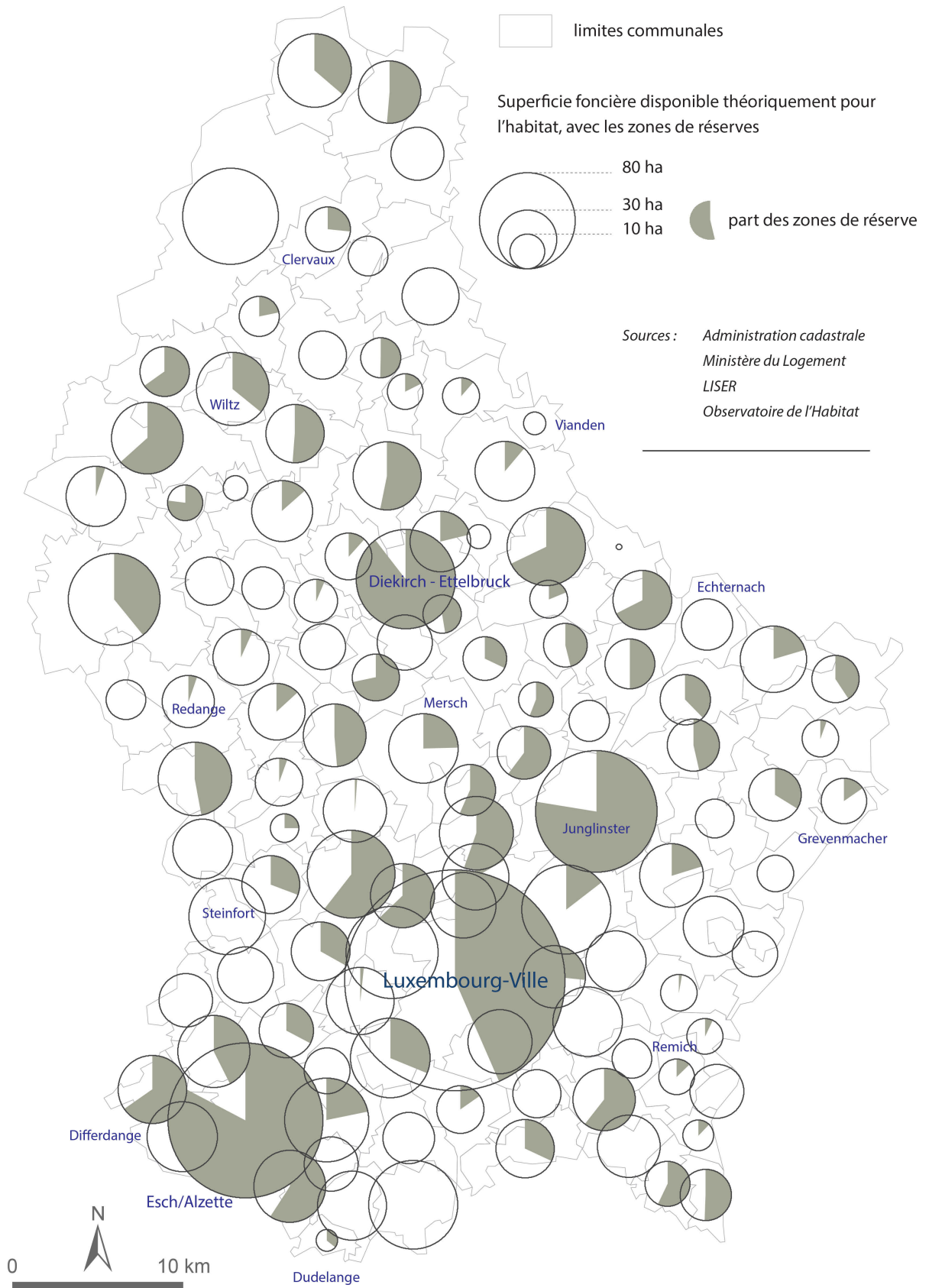


FIGURE 2.17 – Superficie foncière disponible théoriquement pour l'habitat au Luxembourg (source : Observatoire de l'Habitat, 2010)

3.3. Réduire la dépendance à l'automobile

Un des objectifs d'aménagement est de réduire le phénomène de dépendance automobile auquel le Grand-Duché est confronté (Petit, 2005 ; Petit, 2009). Le concept de dépendance automobile est apparu à la fin des années 1980 et désigne la relation de cause à effet entre les politiques d'aménagement du territoire, notamment de localisation résidentielle et des emplois et un usage croissant de la voiture individuelle (Newman et Kenworthy, 1989). Plus largement, la dépendance automobile définit l'utilisation de la voiture comme mode de déplacement majoritaire puisque l'espace a été organisé par et pour la voiture au sein de ce que l'on appelle « le système automobile ». La dépendance automobile désigne également l'ensemble des conséquences néfastes du système : congestion, pollution atmosphérique, consommation de carburants, emprise spatiale du stationnement... (?). À l'inverse, on peut considérer la dépendance automobile comme le préjudice subi par les ménages ou individus qui n'ont pas accès à l'automobile (pour diverses raisons, médicales, d'âge, économiques), et donc n'ont pas accès aux mêmes possibilités de déplacement que les ménages ou individus motorisés. Par la suite, on désigne comme dépendance automobile le phénomène qui conduit la plupart des ménages à ne pas avoir d'autres alternatives que l'utilisation de la voiture, l'accessibilité à différentes aménités (commerces, services, loisirs...) étant pratiquement impossible par un autre mode de transport. Par exemple, la localisation de nombreux hypermarchés en périphérie des villes luxembourgeoises ne facilite pas un accès autre que par la voiture individuelle (?). On constate les conséquences de cette dépendance à de multiples niveaux : fort taux de motorisation et attachement personnel à l'automobile, densité du réseau routier, localisation et nature des commerces et services... Cette dépendance au mode de transport individuel est une composante majeure de la problématique d'aménagement luxembourgeoise.

3.3.1. Le Luxembourgeois et sa voiture

D'après le STATEC (?), le nombre de véhicules immatriculés au Luxembourg a presque été multiplié par huit entre 1962 (55 000 véhicules) et 2012 (430 000 véhicules). Si cette croissance du nombre de véhicules est fortement corrélée à l'augmentation de la population et au développement économique, près de 80% de ces véhicules sont constitués de voitures particulières et à usage mixte (break ou autre véhicule pouvant être utilisé personnellement et professionnellement). D'après des statistiques récentes, il semblerait qu'un ralentissement du nombre d'immatriculations, et donc un relatif vieillissement du parc automobile¹⁶, soit observé depuis 2009. De fait, avec plus de 650 véhicules pour 1 000 habitants (??), le Luxembourg est l'un des pays les plus motorisés au monde,

16. L'âge moyen d'une voiture au Luxembourg est de moins de six ans (?), en France l'âge moyen du parc automobile dépasse les huit ans (?).

derrière les États-Unis (818 voitures pour 1 000 habitants) et la Principauté de Monaco (771 voitures pour 1 000 habitants). La moyenne observée dans l'Union Européenne est de 477 voitures pour 1 000 habitants en 2010, de 501 voitures pour 1 000 habitants en France, 482 en Belgique ou encore 517 en Allemagne.

Avec des revenus supérieurs à ses voisins et une fiscalité relativement plus avantageuse, l'accès à l'automobile est facilité pour les ménages luxembourgeois (?). Cet accès est renforcé par le caractère sociologique que revêt l'objet *automobile*, autant en tant que marqueur social que du point de vue du « loisir » et qui est à la source de l'arbitrage en faveur de ce mode de transport (?). Pour saisir cette composante sociale, on peut s'appuyer sur les entretiens menés par ?, auprès de quelques Luxembourgeois afin de rendre tangibles les déterminants des représentations de la mobilité au Luxembourg. L'article paru en 2007 nous renseigne sur la dualité qui existe entre la vision utilitariste de la voiture, qui est « pratique » car on en a besoin, et les supposées possibilités de liberté dans les déplacements. Il semblerait également que les Luxembourgeois soient attachés à ce qu'ils appellent le *statussymbol*, l'affiche de la réussite sociale, et qui passe par la possession d'une voiture performante et coûteuse. Ce rapport particulier, non pas qu'il soit unique mais peut-être exacerbé du Luxembourgeois à la voiture, est d'ailleurs confirmé par les individus interrogés : « pour le Luxembourgeois moyen, c'est pas seulement un objet de transport hein. C'est lavé tous les samedis [...] c'est chouchouté ». De même, après le *Wort* (quotidien d'information), et *Télécran* (programme de la télévision), *Autotouring*, le magazine de l'Automobile Club du Luxembourg est le troisième périodique le plus lu en 2008 et 2009. Il toucherait près d'un tiers de la population luxembourgeoise (?). Cette population a donc un rapport particulier à l'automobile qui encourage le choix de ce mode de transport au détriment des transports en commun.

Le phénomène de dépendance automobile a aussi été renforcé par la politique de développement des infrastructures routières. Au Luxembourg, les premiers tronçons autoroutiers sont apparus dès la fin des années 1960, passant d'une longueur de 78 kilomètres en 1990 à 152 kilomètres en 2012 (Hansen, 2012 ; Epstein, 2010 ; STATEC, 2014). L'augmentation de la longueur des infrastructures n'a pas suffi à contenir la forte croissance du nombre de véhicules. Le trafic routier a augmenté de 12% sur les principaux axes du Luxembourg entre 2002 et 2007 (?). Sur le réseau autoroutier, et sur la même période, le trafic a augmenté de 20%. L'augmentation du volume de voitures sur les routes grand-ducales n'est pas sans conséquences en matière d'émissions de gaz à effet de serre, de congestion, de nuisances sonores ou encore de problèmes de stationnement.

3.3.2. Les pratiques de mobilité au Luxembourg

Chaque jour, plus d'un million et demi de trajets sont effectués au Luxembourg. Près d'un tiers (31,4%) de ces déplacements sont frontaliers, c'est-à-dire ayant pour origine ou destination une commune allemande, belge ou française. Si seulement 7,2 % des déplacements frontaliers sont effectués en transports en commun (train ou bus), près de 20% des trajets internes au Luxembourg sont effectués à l'aide des transports publics. Pourtant, d'après une étude la Cellule Modèles de Transport (CMT)¹⁷, ce taux de 20% de partage bimodal motorisé¹⁸ a tendance à stagner entre 2002 et 2009. La principale cause de ce partage modal serait le fait de l'urbanisation diffuse en cours au Luxembourg (ministère du Développement Durable et des Infrastructures, 2012).

La carte 2.18 présente le taux d'utilisation des transports en commun pour se rendre au travail par commune. Les données sont issues du recensement général de population effectué par le STATEC en 2011. Les emplacements des gares ferroviaires sont également représentés. On observe une forte corrélation spatiale entre les communes pourvues d'une gare et l'utilisation des transports en commun par les résidents actifs qui y habitent. Il n'est donc pas très surprenant de voir que les actifs de Pétange, Differdange, Kiischpelt, Schieren et une partie de l'agglomération de la capitale sont entre 15 et 20% à utiliser les transports en commun. En revanche, dans deux-tiers des communes, les actifs utilisant les transports en commun représentent moins de 10%. Dans 20% des communes, les actifs utilisant le train (ou le bus) pour aller travailler sont moins de 6%. Bien sûr, ces communes ne sont pas équipées de gare et sont moins bien desservies par le bus. À l'aide de la même base de données, on peut distinguer les pratiques des actifs en fonction de leur commune de travail. En considérant Luxembourg-Ville comme destination, en moyenne 20% des actifs utilisent les transports en commun. Les actifs résidents de Kiischpelt et Goesdorf la commune voisine, Clervaux et Troisvierges sont plus de 50% à employer ce mode de transport. Dans plus d'un tiers des communes, ils sont moins de 15%. Ces données et leur superposition avec la carte des infrastructures confirment l'importance de ces dernières sur les pratiques de mobilité.

17. La Cellule Modèles de Transport (anciennement de Trafic) est une structure soutenue à la fois par le ministère des Transports, le département des Travaux Publics du ministère du Développement Durable et des Infrastructures (MDDI), et la Ville de Luxembourg.

18. Le *partage bimodal motorisé* désigne « la part des trajets effectués en transport en commun parmi les trajets motorisés », (?).

En 2009, d'après la Cellules Modèles de Transport, 13% des déplacements étaient effectués en modes doux, marche à pied ou deux-roues non-motorisés. Si 40% des trajets quotidiens sont infé-

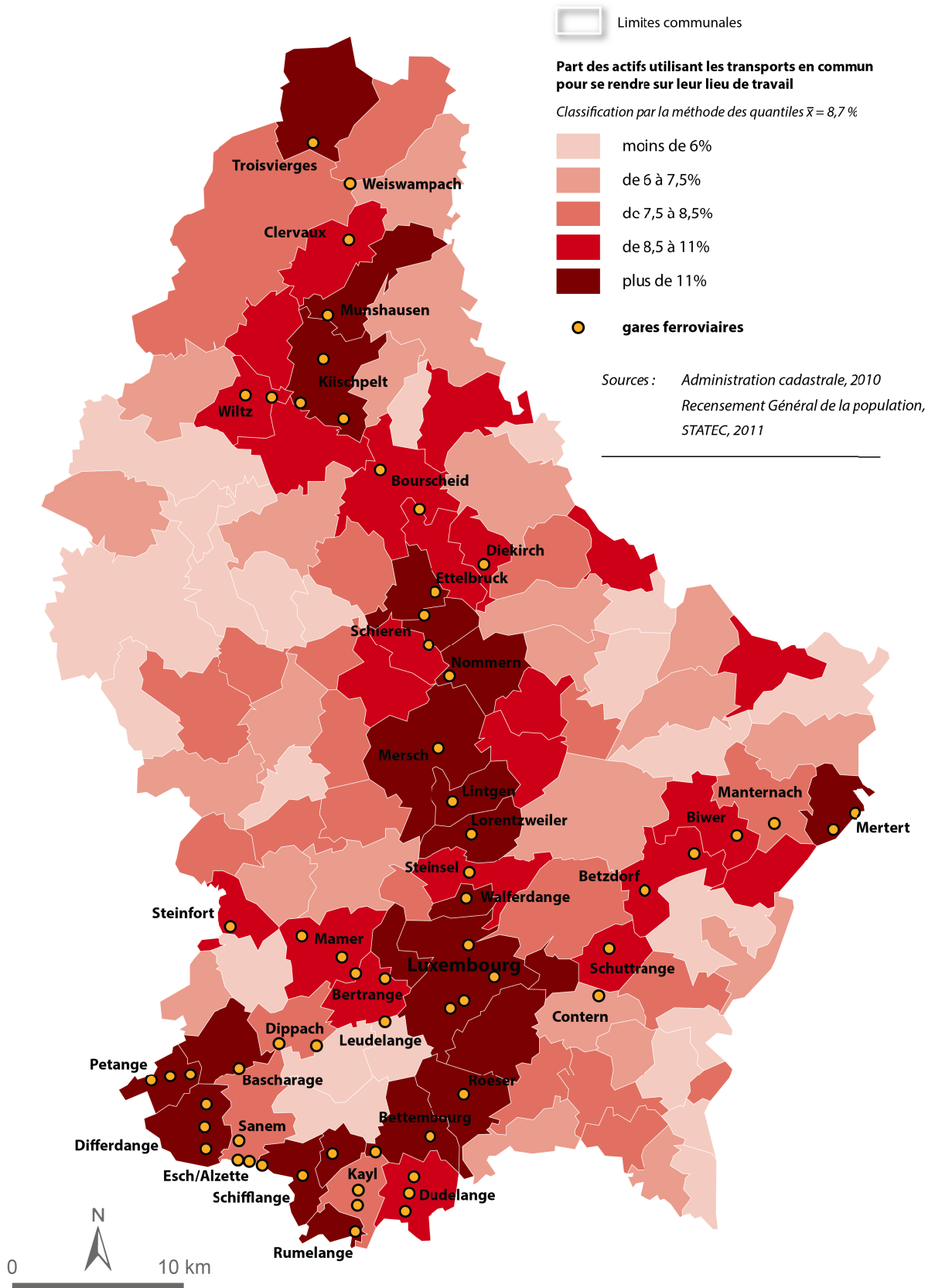


FIGURE 2.18 – Taux d'utilisation des transports en commun pour se rendre au travail au Luxembourg

rieurs à trois kilomètres, une grande partie de ces déplacements sont favorables à l'utilisation des modes doux. Néanmoins, toujours d'après la CMT, 60% des déplacements inférieurs à un kilomètre sont effectués en voiture (ministère du Développement Durable et des Infrastructures, 2012). Ces constats soulèvent un réel enjeu en matière de mobilité douce au Luxembourg.

En 1981, les déplacements domicile / travail étaient effectués en voiture dans 54% des cas, puis 67% en 1991, 74% en 2001 et 76% en 2007. Cette dynamique, qui révèle la dépendance automobile, est la conséquence d'une augmentation de l'équipement des ménages en voitures, de la généralisation de leur utilisation et de la diffusion spatiale de ces processus (?). Si les conséquences de ces pratiques automobile sont multiples, la carte 2.19 présente le degré de saturation du réseau automobile luxembourgeois en 2009. La plupart des routes et autoroutes luxembourgeoises sont saturées aux heures de pointe (départ au travail le matin et retour au domicile en soirée). L'accès à Luxembourg-Ville, notamment par les axes du sud en provenance d'Esch-sur-Alzette ou de Dudelange, qui supportent aussi le trafic frontalier français, devient de plus en plus difficile. C'est également le cas avec le réseau provenant de Belgique et passant à proximité de Steinfort tout comme l'autoroute venant d'Allemagne et traversant Grevenmacher. La circulation depuis le nord du pays est également rendu difficile, notamment à proximité des communes d'Ettelbruck et de Diekirch.

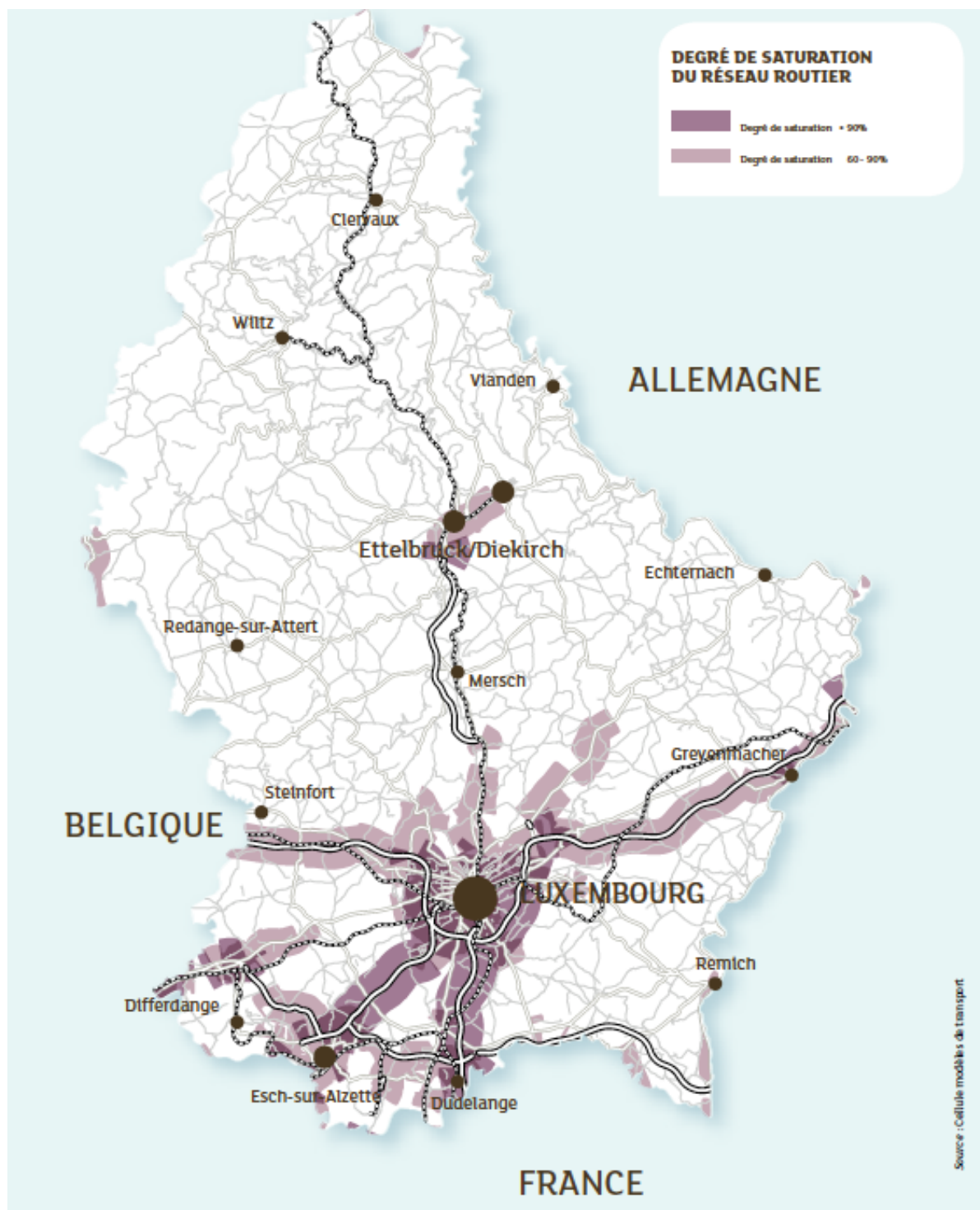


FIGURE 2.19 – Degré de saturation des réseaux routiers et autoroutiers au Luxembourg en 2009, d'après la Cellule Modèles de Transport

3.3.3. Une volonté politique de réduire l'importance de la voiture

Pour essayer d'endiguer la dépendance automobile, le Gouvernement luxembourgeois, au travers de son ministère du Développement Durable et des Infrastructures a mis en place une *Stratégie globale pour une mobilité durable*, autrement appelée *MoDu*. Cette politique est à destination des résidents comme des frontaliers, ces derniers générant plus de 30% du trafic individuel motorisé au Luxembourg (?). Cette stratégie s'est accompagnée de la création du *Verkéiersverbond* (Communauté des Transports) en 2006. La Communauté des Transports est un établissement public qui veille à l'application de la stratégie gouvernementale en coordonnant les différents partenaires de transports public (ferroviaire et routier). Elle a également un rôle de conseil auprès du ministère et de communication auprès du grand public.

Depuis quelques années, les campagnes publicitaires se multiplient pour encourager la population luxembourgeoise à prendre les transports en commun, pratiquer les modes doux ou favoriser le co-voiturage. Par exemple, l'affiche de la figure 2.20 communique sur le *M-Pass*, abonnement annuel pour l'ensemble des transports en commun au Luxembourg. Des mesures sont également prises par la municipalité de Luxembourg et les entreprises volontaires pour prendre en charge tout ou partie de cet abonnement. On peut également citer la campagne illustrée par la figure 2.21 et qui prône l'utilisation des transports en commun le week-end et pour les loisirs. Pour donner une image très positive du dispositif, les transports en commun sont comparés à un service de conduite avec chauffeur. Si ces campagnes de communication peuvent paraître anecdotiques, elles traduisent tout de même la forte volonté d'encourager les changements de pratiques pour les mobilités quotidiennes.

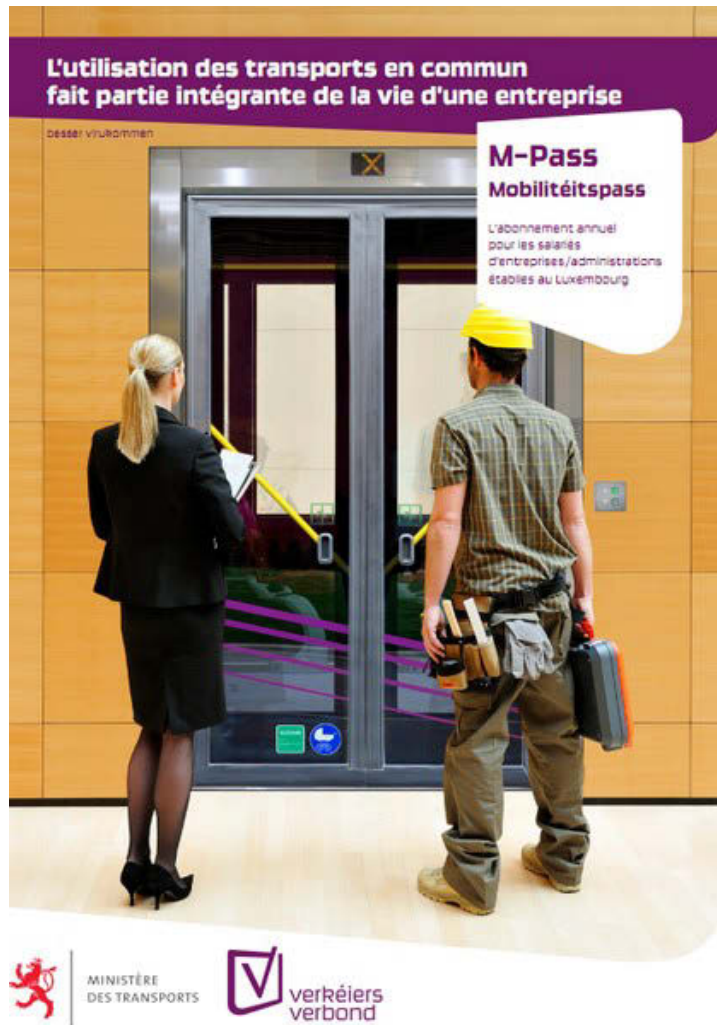


FIGURE 2.20 – Campagne de communication autour du M-Pass, Verkéiersverbond, 2012



FIGURE 2.21 – Campagne de communication en faveur des transports en commun le week-end, Verkéiersverbond, 2013

4. Les normes et les règles dans les documents de planification au Luxembourg

Comme nous l'avons vu précédemment, le Luxembourg doit atteindre un certain nombre d'objectifs en matière d'aménagement. Tout en rendant possible l'installation de ménages toujours plus nombreux, il est nécessaire dans le même temps de limiter la consommation foncière. Toujours dans une perspective de durabilité, il semble également important de contenir le phénomène de dépendance automobile en offrant d'autres alternatives aux déplacements individuels motorisés. Dès lors, il convient d'aborder les normes et les règles d'aménagement contenues dans les documents de planification en vigueur ou en projet au Grand-Duché. Conformément à la lecture qui a été faite dans le premier chapitre des modèles de villes, il convient de regarder en quoi ces documents de planification définissent des normes ou des règles d'aménagement. Les documents stratégiques tels que le Programme Directeur, l'IVL ou le MoDu intègrent davantage de normes en réponses à des objectifs. Les documents à caractère réglementaire, les plans sectoriels, les plans régionaux ou encore les plans d'occupation des sols contiennent eux, des règles qui constituent la mise en application des normes évoquées dans les documents stratégiques.

4.1. Le découpage territorial et la hiérarchie des centres

Dans le programme directeur, il s'agit avant tout de « promouvoir la cohésion sociale et économique dans le cadre de l'aménagement du territoire », de « renforcer l'approche régionale » ou encore de « réorganiser les structures de production et de consommation ». La recherche de cette cohésion sociale et économique est envisagée à travers la création d'un nouveau découpage territorial : la région d'aménagement. Le programme directeur définit les contours des régions d'aménagement qui sont au nombre de six : Nord (qui est composée de l'extrémité septentrionale du pays, la plus rurale et la moins peuplée), Centre-Nord (qui est composée de l'agglomération urbaine de la *Nordstad* et des communes voisines), Ouest (qui est composée des communes limitrophes avec la Belgique), Est (qui est composée des communes limitrophes à l'Allemagne), Centre Sud (qui est composée de Luxembourg-ville et son agglomération) et Sud (qui est composée du Bassin-Minier, frontalier avec la France, et des principales agglomérations du pays). Ces régions d'aménagement ont été délimitées en fonction de leur cohérence géographique, étant confrontées à des dynamiques et des enjeux similaires. Les plans directeurs régionaux contiennent donc les éléments ne pouvant être traités à l'échelle nationale. Le découpage du Luxembourg en régions constitue une des principales innovations du Programme Directeur, en permettant une meilleure implication des collectivités locales dans la politique nationale d'aménagement du territoire. La mise en place de ce système

peut être vu comme une politique de *déconcentration concentrée* (Ministère de l'Intérieur, 2003), que l'on appelle aussi *décentralisation concentrée* (?).

Néanmoins, l'introduction d'un nouvel échelon territorial est-il indispensable alors que le Luxembourg, avec ses communes et l'État, faisait partie des pays les plus décentralisés d'Europe ? La difficulté de mise en place de ces régions et l'absence de conclusions probantes en faveur de ce système tendent à démontrer que l'introduction d'un niveau de coordination supplémentaire au sein d'un système territorial en place n'est pas chose aisée. Face à ses enjeux d'aménagement et avec deux niveaux administratifs (la commune et l'État), le Luxembourg ne bénéficie-t-il pas d'un avantage certain dans la prise de décision du fait de son caractère très décentralisé ?

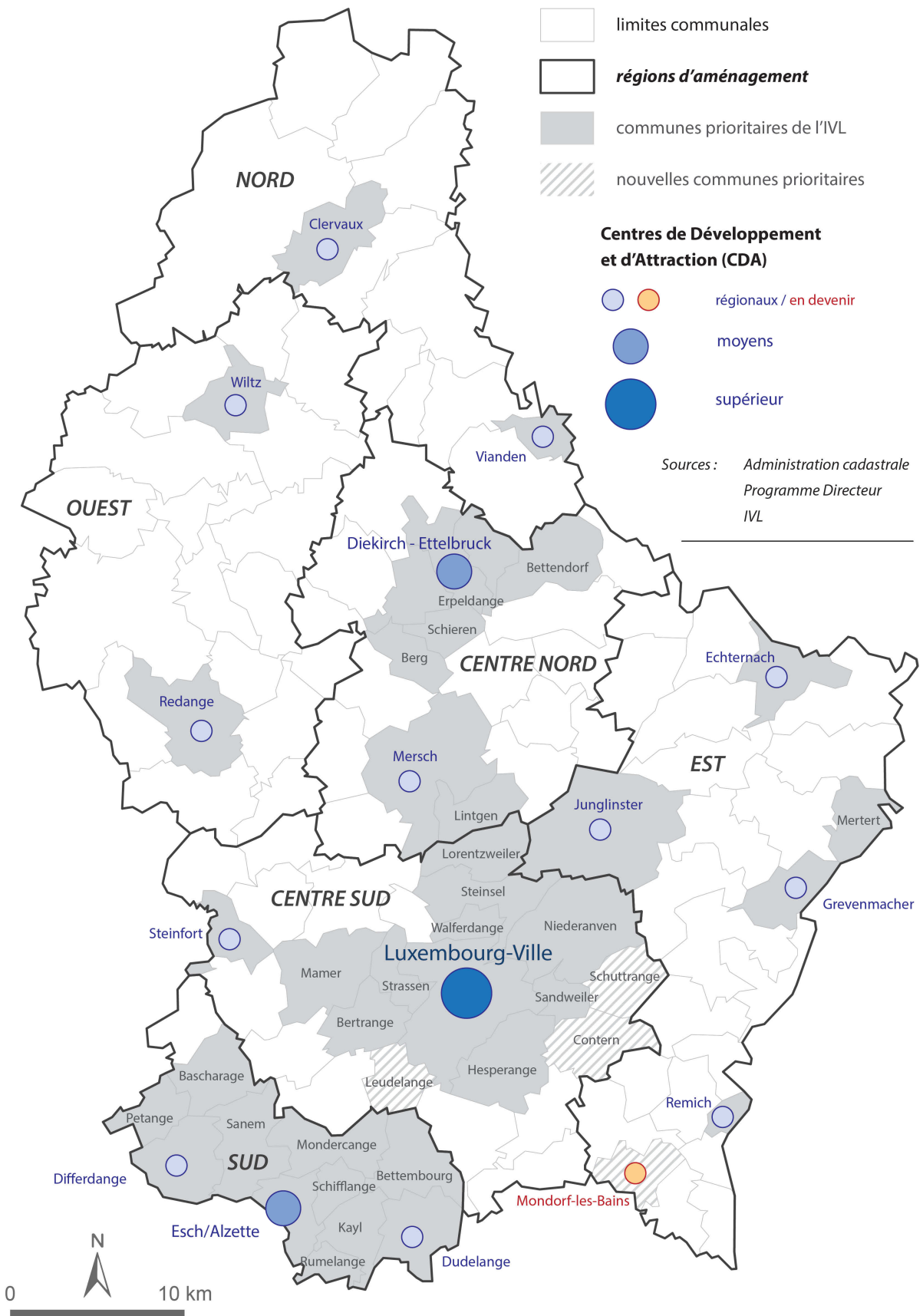


FIGURE 2.22 – Communes prioritaires des différents documents de planification du Luxembourg

La deuxième innovation du Programme Directeur en 2003 est la création du système de Centres de Développement et d'Attraction (les CDA). La politique des centres de développement et d'attraction consiste à définir une hiérarchie des villes ou communes luxembourgeoises. L'idée est de consolider les fonctions centrales des villes. Suivant la position de la commune dans la hiérarchie, l'intensité du développement urbain et des infrastructures sera différent. Les CDA correspondent à des « centres urbains ou des localités, dont le degré d'équipement en services, publics comme privés, est tel qu'ils sont à même d'assurer une fonction d'approvisionnement plus ou moins importante, non seulement pour eux-mêmes, mais également pour leurs arrière-pays. L'ensemble des CDA forme un système cohérent » (Ministère de l'Intérieur, 2003). Les CDA constituent le reflet de la politique active du Luxembourg en matière de décentralisation, avec un délestage de la capitale vers les autres centres du pays. Il y a trois niveaux de CDA : supérieur, moyen et régional. À l'heure actuelle, le Luxembourg compte 15 centres de développement et d'attraction. La capitale Luxembourg-Ville est le seul CDA supérieur. Esch-sur-Alzette et l'agglomération composée des communes de Diekirch et Ettelbruck sont les deux CDA moyens. Les autres CDA sont représentés sur la carte 2.22. Le CDA supérieur a vocation à jouer un rôle national et international dans les domaines économique, culturel, social et politique. On y trouve des fonctions administratives importantes, de l'enseignement supérieur et de la recherche, des finances, du commerce spécialisé, ou encore des sports et loisirs. Le CDA supérieur est également un nœud de transport et de communication (présence d'un aéroport...). Les CDA moyens doivent permettre d'assurer « les besoins occasionnels de plusieurs dizaines de milliers d'habitants », parce qu'on y trouve des médecins spécialistes, des établissements de formation, des équipements culturels et de loisirs... Les CDA régionaux doivent permettre d'assurer les besoins « courants » ou quotidiens de la population, notamment par la présence d'équipements commerciaux et de services. Malgré l'effort de hiérarchisation, on peut relever le caractère flou de certains seuils (de population, de niveau d'équipement...) et de l'approche par fréquences de recours potentiel. Toutefois, cette logique de construction se veut le relais des politiques d'aménagement régionales et nationales, et être le support de la différenciation des règles d'aménagement. Quand une commune se trouve dans l'aire d'influence d'un CDA supérieur, elle n'est pas confrontée aux mêmes objectifs de développement qu'une commune plus rurale dans la périphérie d'un CDA régional. La typologie des CDA reflète davantage une hiérarchie fonctionnelle qu'une réelle possibilité de définir des priorités d'urbanisation, établies dans les plans directeurs sectoriels logement.

Par ailleurs, l'IVL fixe la notion de zones prioritaires pour l'habitat, les *Siedlungsschwerpunkte*, et définit 39 communes comme prioritaires à l'urbanisation ; elles figurent en gris sur la figure 2.22. Ces 39 communes sont constituées des 15 CDA et de leur proche périphérie. La différenciation du

rôle des communes a pour but une « priorisation spatiale conséquente permettant une croissance de la population supérieure à la moyenne dans les agglomérations centrales et modérée en zone rurale » (Ministère de l'Intérieur, 2004).

La typologie des communes prioritaires est évolutive. Le document technique du Plan Sectoriel Logement fait état de 43 communes prioritaires qui comprennent les 39 communes de l'IVL auxquelles s'ajoutent 3 communes qui ont été intégrées dans l'agglomération de la capitale (Schuttrange, Contern et Leudelange) depuis le début des années 2000 et un CDA dit « en devenir », par son potentiel de centralité qui est la commune de Mondorf-les-Bains, à l'extrémité sud du Pays. Ces ajouts sont représentés sur la figure 2.22.

4.2. L'intégration du transport et du développement urbain ou rural

L'autre grande innovation présente dans le Programme Directeur est l'évocation d'un concept intégré des transports et du développement spatial, l'IVL (de l'allemand *Integratives Verkehrs- und Landesplanungskonzept*). Cette réflexion amorcée en 2003 et publiée en 2004 est pilotée par des représentants du Gouvernement luxembourgeois et implique le recours à plusieurs équipes spécialisées¹⁹. L'IVL se compose une nouvelle fois d'un document écrit (170 pages dans le document complet, en allemand) et d'annexes graphiques, comprenant une partie diagnostic afin d'identifier les potentialités de développement et les tendances en cours au Grand-Duché. L'IVL contient surtout la définition d'un « modèle spatial comme cadre de référence pour le développement du territoire futur ». Ce modèle spatial est le fruit de la combinaison de plusieurs modèles, et peut être synthétisé sous la forme d'une « ville polycentrique dans un espace paysager au sein de régions fonctionnelles » (Ministère de l'Intérieur, 2004). Ce modèle spatial est résumé sous la forme d'une carte, comme le montre la figure 2.23. Les cercles sont les CDA, et symbolisent la déconcentration concentrée et le polycentrisme. Les zones hachurées en rouge sont les trois principales agglomérations du pays (la *Nordstad*, Luxembourg-Ville et le Bassin Minier), où se concentre l'essentiel du développement. Les espaces entourés en verts sont les espaces naturels, et sont voués à une certaine protection (les principaux massifs forestiers notamment). Les grosses flèches vertes forment l'idée d'un « développement complémentaire des espaces ruraux », par la prise en compte de « ceintures vertes » (?).

19. L'équipe était composée des bureaux AS&P pour la partie sur le développement urbain, R+T Partner pour les questions de transports et L.A.U.B. pour les aspects paysagers.

L'intégration entre politique de transport et politique d'urbanisme est symbolisée par la mention, au sein du Programme Directeur, de la volonté de mettre en place une structure spatiale afin de réduire le trafic automobile. Il s'agirait avant tout de freiner les extensions diffuses de l'urbanisation en favorisant le développement urbain dans des zones qui sont déjà bien desservies par les transports en commun, notamment les gares ferroviaires et les arrêts de bus importants. Toujours d'après le Programme Directeur, cette stratégie passe par une densification résidentielle et de l'activité autour des gares. Cette densification doit permettre une meilleure accessibilité aux aménités (commerces, services ou loisirs) en transports en commun.

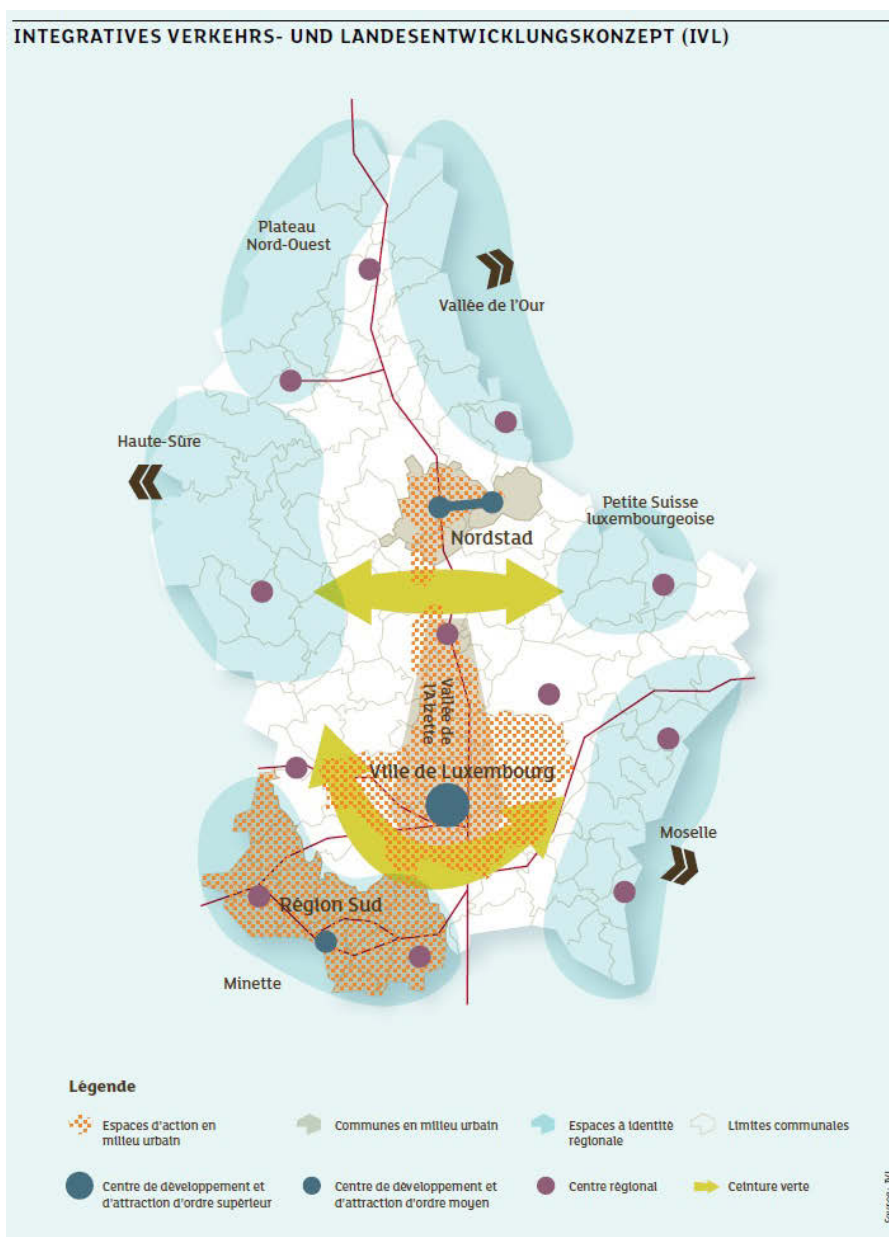


FIGURE 2.23 – Le modèle de ville polycentrique dans un espace paysager au Luxembourg, ministère de l'Intérieur, 2008

4.3. La qualité de vie et l'accessibilité aux aménités

Le Programme Directeur mentionne le développement de la qualité de vie comme un enjeu essentiel de la stratégie d'aménagement au Luxembourg. Avec une volonté de maintenir une certaine solidarité interrégionale, il est nécessaire de promouvoir un développement urbain « en adéquation avec les exigences sociales » (Ministère de l'Intérieur, 2003). L'attractivité des zones rurales reste un enjeu majeur ; elle passe par une diversification des activités économiques au sein de ces espaces. Pour ce faire, le Programme Directeur propose le développement d'espaces multi-fonctionnels, tant pour les villes que pour les localités, avec le maintien d'un niveau d'équipement satisfaisant dans les régions périphériques. Dans le cas présent, nous restons ici dans une vision stratégique du territoire et à l'heure actuelle aucune règle n'a été édictée à ce sujet.

Parallèlement, l'attractivité des espaces ruraux passe par la présence d'espaces verts et de paysages à préserver. Le Programme Directeur propose de définir, au niveau régional (donc dans les plans régionaux), des espaces verts interurbains à protéger et à incorporer dans les Plans d'Aménagements Généraux. Il s'agit aussi de préserver, à l'intérieur même des agglomérations, des espaces naturels multi-fonctionnels destinés à garantir un équilibre écologique global. Il est également question de promouvoir la création d'espaces verts urbains pour sauvegarder le maillage vert jusqu'à l'échelle des quartiers. Dans l'ensemble, il y a une volonté de préserver et de développer des coupures et des ceintures vertes entre les espaces urbanisés. Nous sommes en présence d'un point commun avec notre modèle fractal d'urbanisation, dont l'un des aspects concerne justement l'emboîtement d'échelle des espaces verts, des plus grands ensembles régionaux (espaces agricoles et forestiers), aux parcs urbains.

4.4. La politique de développement local

Sur le plan de la forme urbaine, le Programme Directeur tient à favoriser la ville et le centre-ville comme lieu de résidence. Il s'agirait notamment d'éviter les lotissements ou les quartiers en îlots à la périphérie des villes. Cette stratégie passe par la mise en place d'une politique d'urbanisation par la densification et le renouvellement urbain en évitant la consommation d'espaces périphériques vierges. Dans cette optique, trois instruments sont privilégiés : 1) l'acquisition de terrain par l'État et les communes favorables à la densification en utilisant le droit de préemption ; 2) la mise en place d'un cadastre des terrains à bâtir afin de mieux définir le potentiel foncier et 3) un reclassement des terrains déjà définis comme constructibles, de faible densité à forte densité. Au niveau régional, un seuil de consommation d'espace doit être défini.

Le Plan Sectoriel logement fait état d'une obligation pour les communes, de définir un espace (unique) prioritaire pour l'urbanisation qui est encore sans définition dans le plan d'aménagement général. Cette zone prioritaire doit être à même d'accueillir la plus grande partie de la croissance démographique. L'établissement d'une telle zone est soumise à plusieurs conditions : 1) la localité qui définit la zone doit être déjà fortement peuplée (sans seuil défini) ; 2) la localité doit être bien pourvue en équipements, socio-éducatifs, sportifs et des commerces ou services de sorte à être en accord avec le principe de mixité fonctionnelle et 3) la zone doit ou devra être bien desservie en transports en commun. Si le plan d'aménagement général d'une commune n'est pas en conformité avec le plan sectoriel, un délai maximal de quatre ans est requis afin d'établir une adéquation du règlement municipal.

Conjointement, il est possible de définir des zones dont l'objectif est de limiter le caractère tentaculaire voire linéaire de certaines agglomération, appelées « mesure d'arrondissement du tissu existant ». Ces zones ne doivent pas permettre d'accueillir plus de 10% de la population totale de la commune. Les principes de définition de ces zones sont décrits sur la figure 2.24. Suivant la surface et la position géographique, les zones participent ou non à un « arrondissement » du tissu urbain communal. Il s'agit donc de privilégier une réelle compacité du tissu urbain. Cette idée vient un peu en opposition avec les principes de maintien des espaces verts de proximité énoncés dans le Programme Directeur. On constate également une réelle divergence avec l'allongement de la bordure urbaine telle que prônée par le modèle fractal d'urbanisation. Néanmoins, cette stratégie participe à la promotion d'un développement résidentiel à partir de la structure urbaine existante, en évitant les îlots dissociés et donc dans une logique de contiguïté morphologique. Comme indiqué dans le Programme Directeur, et dans le cas d'une extension résidentielle, des critères écologiques doivent être utilisés afin de sélectionner les sites potentiels, comme l'impact visuel sur la qualité paysagère, les questions énergétiques ou la protection des ressources naturelles et culturelles.

Cas de figure	Possibilité de développement résidentiel	Explication
1	non	développement tentaculaire
2	oui	« arrondissement » modéré du périmètre d'agglomération
3	oui (si surface modérée)	développement tentaculaire existant avec extension modérée en parallèle
4	non (surface disproportionnée)	« arrondissement » non modéré
5	oui	remplissage lacunaire
6	oui	remplissage lacunaire
7	oui	remplissage lacunaire
8	oui	remplissage lacunaire

FIGURE 2.24 – Schéma de principe des mesures « d'arrondissement » de la forme urbaine au Luxembourg, d'après une figure du Plan Sectoriel Logement, ministère du Logement, 2014

Le Plan Sectoriel Logement décrit des seuils de densité de logement. Dans les communes prioritaires (les 39 ou 43 communes nommées précédemment), la densité minimale devra être de 15 logements par hectare et en moyenne de 25 logements par hectare. Des densités plus élevées sont toutefois recommandées. À l'inverse, les communes complémentaires doivent faire l'objet de constructions moins denses, avec une moyenne de 20 logements à l'hectare et surtout une densité maximale de 30 logements par hectare. Le problème est que ce sont, comme nous l'avons vu dans la description des terrains disponibles au Luxembourg, les communes complémentaires qui détiennent une grande partie du potentiel foncier luxembourgeois avec 1200 hectares sur les 3700 actuellement encore disponibles.

Le Plan Sectoriel Logement fait aussi état de 25 sites, ou « zones pour la réalisation de projets d'envergure ». Dans ces espaces, il s'agit de construire des quartiers « modèles », parce que leur localisation et leur environnement (transports en commun, commerces...) le justifie. Le potentiel de ces 25 sites regroupe 450 hectares qui sont destinés à accueillir approximativement 15 000 logements. Dans ces zones, et conformément à la politique nationale, le droit de préemption domine et des expropriations sous contrainte d'utilité publique sont possibles.

Le Programme Directeur mentionne également une volonté de renouvellement urbain. Ce dernier serait facilité à l'aide de dispositifs fiscaux afin de simplifier les démarches et d'encourager la construction. L'un des intérêts du Pacte Logement était justement d'augmenter le faible écart (sauf dans 12 communes mais la différence est négligeable) de taxe foncière entre les terrains potentiellement constructibles et les terrains non constructibles (?). Toujours sur le plan fiscal, le document stratégique indique l'éventualité d'une taxe sur l'imperméabilisation des sols afin de limiter la consommation foncière. La réalisation du cadastre des potentiels de construction ira également vers une meilleure identification des espaces à reconstruire ou à réhabiliter. Enfin, le Programme Directeur suggère la création d'une bourse de bâtiments anciens *Altbaubörse*, dans le but de faciliter les transactions des biens localisés dans les constructions existantes.

Afin de limiter la consommation d'espace, le gouvernement luxembourgeois fait un appel à la promotion de nouvelles formes de construction plus économes en foncier. De telles innovations sont à chercher dans le travail des architectes. De même, afin de réduire l'empreinte physique des infrastructures, le Programme Directeur recommande de limiter les constructions routières, ce qui

va dans le sens de la nouvelle stratégie luxembourgeoise de mobilité.

4.5. Une nouvelle politique de mobilité durable

En 2012, le ministère des Transports et des Infrastructures publie un document intitulé « Stratégie globale pour une mobilité durable, pour les résidents et les frontaliers », plus communément appelé MoDu (pour mobilité durable). Le premier objectif du MoDu est de parvenir à une meilleure articulation entre le développement territorial et la mobilité, comme le suggèrent le Programme Directeur et l'IVL. Deux autres objectifs concernent le report modal de la voiture particulière vers les modes doux et les transports en commun. En 2020, le gouvernement luxembourgeois ambitionne d'atteindre 25% des déplacements quotidiens en modes doux (marche à pied ou vélo) et que 25% des déplacements motorisés se fassent en transports en commun (contre 15% environ en 2010). Aussi, la diminution des nuisances (accidents, pollution atmosphérique, congestion) liées à la forte circulation automobile au Luxembourg passe par une réduction du trafic et le développement de la politique en faveur de l'usage des transports en commun et des modes doux.

L'une des premières solutions qui est retenue par le gouvernement luxembourgeois est de défavoriser l'usage de la voiture. Le Programme Directeur suggère d'augmenter le coût de la circulation automobile, par la hausse des primes d'assurance, la mise en place de péages routiers ou l'instauration d'une taxe énergétique. Il est également envisagé de différencier le coût de la mobilité entre les espaces urbains et ruraux, par exemple en limitant davantage les emplacements réservés au stationnement et en établissant une différence de règle entre ville et espaces périphériques. Le Plan Sectoriel Transports fixe une limite de 45m² de surface de stationnement dans les communes dites rurales. Dans les centres urbains, cette limite est fixée en fonction du nombre d'emplois dans l'environnement de la future construction. Si la zone est localisée à proximité d'infrastructures de transports en commun, alors le stationnement devient très limité, même en présence d'activités de services (moins de 100m²) et un peu moins limité pour les activités artisanales (moins de 200m²).

Des extensions du réseau routier sont prévues, comme les contournements de certaines agglomérations et surtout l'élargissement à 2x3 voies de l'A3. C'est l'autoroute la plus congestionnée du pays avec environ 80 000 passages par jour. Elle prolonge l'A31 en provenance de Metz et Thionville depuis la France.

L'autre possibilité afin de favoriser le report modal est de favoriser les alternatives à la voiture. À ce titre, le plan sectoriel transport et le MoDu sont coordonnés. Dans une logique analogue au TOD,

une mesure envisagée est de considérer l'accessibilité au réseau de transports en commun comme un critère de délimitation des périmètres de constructions. Il serait alors possible de densifier le tissu résidentiel existant autour des gares, notamment celles qui sont bien desservies. Le plan sectoriel distingue 3 niveaux de dessertes, dont le premier, le plus élevé est défini par un haut niveau de service :

- en train (à 600 mètres de la gare), avec 4 passages par heure pendant au moins 2 heures et 2 passages par heure pendant 12 heures, ou :
- en tram (à 500 mètres de l'arrêt), avec 6 passages par heure pendant au moins 2 heures et 3 passages par heure pendant 12 heures, ou :
- en bus (à 300 mètres de l'arrêt), avec 6 passages par heures pendant au moins 2 heures et 3 passages par heure pendant 12 heures.

Ces aires de dessertes permettent de mettre en place des politiques d'urbanisation ou de stationnement différenciées, en fonction du niveau de servitude.

La politique de développement en transports en commun fait état d'un certain nombre de mesures de développement du réseau, comme la construction d'une nouvelle ligne sur un tracé fortement fréquenté par les résidents et les frontaliers, entre Bettembourg et Luxembourg-Ville. La mise en place du tramway entre la gare et le quartier des affaires du Kirchberg est également très attendue dans la capitale. À terme, l'objectif est de passer à un système de tram-train pour améliorer les liaisons entre Luxembourg-Ville et les autres centres régionaux. Le développement d'une ligne de Bus à Haut Niveau de Service dans les communes du Sud Minier est également en projet.

Le Plan Sectoriel Transport édicte également des règles de desserte, avec l'objectif de deux dessertes par heures entre la capitale et les CDA dits moyens, et l'objectif d'une desserte par heure entre un CDA régional et un CDA moyen. Il est également attendu d'accentuer les liaisons régionales qui ne passent pas par Luxembourg-Ville afin d'améliorer les temps de parcours et de désengorger la gare centrale, déjà au bord de la saturation. Afin d'améliorer la liaison entre les deux premières villes du pays, il est prévu de réserver une voie de l'autoroute A4 aux bus, reliant ainsi plus facilement Esch-sur-Alzette à Luxembourg-Ville.

L'ensemble de cette politique s'accompagne aussi d'une série de mesures visant à augmenter la part des transports en commun à être en site propre (situé sur un réseau routier indépendant de la circulation automobile). Une amélioration des services en gares et à bord des trains, le développe-

ment de P+R²⁰, une amélioration du cadencement et des campagnes d'information font également partie de la stratégie gouvernementale.

Tel que mentionné dans le Programme Directeur, le Plan Sectoriel et le MoDu, le Luxembourg adopte ainsi une politique de développement des mobilités douces, en faveur des deux-roues non-motorisés et de la marche à pied. Il s'agit surtout de favoriser les cheminements piétons et cyclables en milieu urbain. Le Plan Sectoriel Transport décrit la mise en place de stationnement pour le vélo avec, par exemple, un seuil de 100 places à proximité d'une gare générant plus de 500 montées de voyageurs par jour. La politique urbaine de mobilité douce est également en coordination avec le réseau national de pistes cyclables. La loi du 28 avril 2015 a permis de valider un certain nombre de projets : 1) le passage de 650 à 1 400 km de pistes cyclables avec la création de 13 nouveaux itinéraires dont 8 en milieu urbain ; 2) la définition des gares comme points d'intérêts majeurs du réseau cyclables, afin de favoriser le report modal du vélo vers le train, à cet effet l'ensemble des gares devront être équipées de parcs de stationnement sécurisés.

Bien sûr, tous ces projets d'infrastructures ne pourront pas être réalisés en même temps. Le Plan Sectoriel fait état de trois phases de priorité : à l'horizon 2020, à l'horizon 2030 et après 2030. En ce qui concerne le développement des transports en commun intercommunaux, la voie de bus réservée sur l'autoroute ou encore le tramway, l'objectif est une réalisation de ces projets pour 2020. L'extension du tramway, pour un éventuel passage sur un système de tram-train est envisagée à plus long terme. Légalement, les différentes phases des projets permettent des mobilisations des terrains différentes. Si un projet est inscrit en phase 2020, il est possible pour l'État, de réserver des couloirs fonciers (entre 50 et 150 mètres) dans le règlement du Plan Sectoriel puis dans les plans d'aménagements généraux, à condition que les études techniques et d'impacts (Natura 2000) soient suffisamment avancées.

La plupart des éléments évoqués précédemment sont issus de documents d'orientations stratégiques et politiques ; ils n'ont pas de vocation à contraindre les dynamiques en cours au Luxembourg. Comme il l'a été évoqué, ce sont les programmes directeurs sectoriels qui fixent les mesures concrètes afin d'atteindre l'objectif d'un développement territorial durable. Or, en juin 2015, ces documents ne sont toujours pas votés et mis en application. Un rapport publié début 2015 par le ministère du Développement Durable et des Infrastructures²¹, intitulé « Quelle démarche pour un

20. Les *Parks and Ride* sont des espaces de stationnement, généralement situés à proximité des agglomérations, où il est prévu de laisser sa voiture pour utiliser les transports en commun à proximité.

21. Conjointement avec les ministères de l'Environnement (Département des Transports), de l'Economie, de l'Intérieur et du Logement

Développement Spatial Durable? », fait état d'une interruption de la procédure législative d'adoption de ces textes. Ce rapport stipule également que ces textes ne sont pas retirés du processus décisionnel mais doivent tenir compte d'une deuxième phase de consultation des élus locaux ayant eu lieu fin 2014 (?). Il semblerait que les bourgmestres luxembourgeois soient hostiles à l'adoption des plans sectoriels en l'état, avec la crainte d'une trop grande utilisation des droits de préemption par l'État afin de favoriser le développement et la construction au détriment des espaces naturels. En revanche, ces longues déclarations d'intentions révèlent une certaine volonté de réguler les processus en cours au Grand-Duché.

Objectif	Localiser la croissance démographique
	Limiter la consommation foncière
	Réduire la dépendance automobile
Normes	Politique de déconcentration concentrée
	Hiérarchie des centres et polycentrisme
	Densification résidentielle et renouvellement urbain, éviter le développement tentaculaire
	Accès aisé à un certain nombre d'aménités (commerces, services, loisirs)
	Mixité fonctionnelle des activités (résidentielles, commerciales, artisanales...)
	Espaces verts de différente tailles, associées à différents niveaux fonctionnels
	Favoriser l'usage des modes doux et des transports en commun
Règles	3 niveaux de CDA (supérieur, moyen, régional)
	Communes prioritaires / complémentaires
	Définition d'espaces prioritaires pour l'urbanisation au niveau communal
	25 log/ha en moyenne dans les communes prioritaires, 20 log/ha dans les communes complémentaire
	25 quartiers modèles, pour 15 000 nouveaux logements
	Pacte logement, mesure financière visant à récompenser les communes qui accueillent de nouveaux ménages
	Développement d'infrastructures de transports en commun (lignes ferroviaires, de bus et tramway)
	Certaines règles qui ne sont pas encore en vigueur seront exposées dans la deuxième partie de la thèse

Tableau 2.4 – Objectifs et normes au Luxembourg

5. Conclusion du chapitre 2

Le cas du Grand-Duché de Luxembourg, petit par sa taille mais fort de ses dynamiques économiques et démographiques soutenues, est ainsi confronté à un réel objectif de croissance résidentielle. Le pays, au travers de sa politique nationale d'aménagement, est confronté à des enjeux cruciaux, tant sur le maintien du rôle de Luxembourg-Ville comme capitale au centre de l'Europe, que de la préservation de sa cohérence territoriale nationale.

Plus que jamais, il est fondamental d'accélérer la construction de logements pour faciliter l'installation des nouveaux ménages (migrants ou non) tout en permettant une certaine fluidité de l'offre. Dans cette optique, une réflexion doit être menée au niveau de la forme que doit prendre ce développement afin de limiter la consommation foncière, ressource souvent limitée, et d'autant plus au Luxembourg. Le Grand-Duché fait état d'une forte différenciation spatiale, avec une concentration des emplois dans la capitale et des dynamiques démographiques localisées en majeure partie dans la moitié sud du territoire.

Au regard des modes de vie actuels des résidents luxembourgeois, basés sur une forte utilisation de l'automobile, il convient d'établir des règles d'aménagement qui encouragent le recours à d'autres moyens de transports, mais aussi à d'autres formes de mobilité. Les distances parcourues, le nombre de déplacements et donc l'accessibilité à l'emploi, aux commerces, services et loisirs doivent être également repensés. La deuxième partie de la thèse, consacrée à la création et à la simulation de scénarios de croissance résidentielle pour le Luxembourg en 2030 devrait apporter quelques éléments de réponses à ces questions. Il sera notamment question d'appliquer et de tester, au moyen d'outils de simulation, de nouvelles normes et règles d'aménagement.

Conclusion de la première partie

PENDANT longtemps, un des objectifs principaux de l'aménagement urbain a été de localiser la demande de logements, c'est-à-dire de fournir un habitat au plus grand nombre. En ce sens, la ville durable constitue un nouveau paradigme. Il ne faut pas seulement pouvoir constituer une offre suffisante mais cette offre doit être à la source de modes de vie plus durables que ceux observés actuellement et depuis les années 1950. Le phénomène de dépendance automobile est une des causes de la non durabilité du système actuel. L'objectif de réduction de cette dépendance est réel pour tous les pays dits occidentaux qui sont confrontés au problème de l'étalement urbain et aux conséquences négatives qu'il engendre. Mais il l'est sans doute encore plus pour le Luxembourg qui doit faire face à une demande accrue de ménages sur un territoire restreint.

Il convient alors de pouvoir limiter voire de restreindre ce lien entre la voiture et nos modes de vie contemporains pour limiter les impacts de la croissance urbaine et notamment résidentielle sur l'environnement. Il s'agit donc de promouvoir d'autres façons de fabriquer la ville, d'autres modes d'organisation spatiale qui ne seraient pas seulement basés sur un usage intensif de l'automobile et un allongement des distances parcourues. Dans ce contexte, il semble primordial de produire un tissu résidentiel susceptible de raccourcir les distances à parcourir, quel que soit le mode emprunté, et mieux encore qui facilite le recours aux transports en commun ou aux modes doux. L'augmentation de la circulation automobile n'est pas la seule conséquence de l'étalement urbain à laquelle la forme de la ville peut apporter des éléments de réponse. La consommation foncière est également un enjeu primordial. En France, tous les sept ans, l'équivalent d'un département français est artificialisé, passant d'un état naturel à une surface bitumée, bétonnée ou tout autre matériau imperméable. Les normes observées en matière de densité de construction peuvent être augmentées afin de limiter l'impact de l'urbanisation sur la consommation de terrains, même si nous savons que la croissance résidentielle ne constitue pas la plus grande partie de l'artificialisation des sols.

Comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, la définition d'un nouvel objectif induit le passage à de nouvelles normes et de nouvelles règles. Dans cette optique, notre proposition pour

un aménagement normatif doit permettre d'identifier les leviers d'actions pour atteindre l'objectif. La suite de la thèse décrira la méthodologie mise en place afin de tester, par au moyen de la simulation spatiale, des règles concernant la croissance résidentielle et devant permettre de répondre aux objectifs auxquels le Luxembourg est confronté.

**DEUXIÈME PARTIE : SIMULATION DE
SCÉNARIOS DE CROISSANCE
RÉSIDENTIELLE**

Introduction de la deuxième partie

L'OBJET principal de cette partie est de proposer, modéliser et simuler différents scénarios de croissance résidentielle pour le Luxembourg à l'horizon 2030. À partir d'une quantification des besoins en logements pour cette échéance, la deuxième partie propose différentes orientations concernant la future localisation des extensions du tissu résidentiel, en fonction de scénarios réalistes et répondant aux objectifs d'aménagement affichés par le gouvernement (cf. première partie). Ces scénarios devront apporter un éclairage nouveau sur le lien entre la forme urbaine et son fonctionnement, tel que décrit en introduction générale. Des normes et des règles d'aménagement et de développement urbain, dont la première partie a fait l'objet, seront au cœur de cette étape de travail en les appliquant selon certaines conditions.

Le travail s'appuie sur une proposition méthodologique de conception de scénarios, en l'absence de réel consensus théorique sur la manière de construire des scénarios de développement résidentiels (?). Cette proposition fera l'objet du chapitre 3.

Les scénarios conçus sur cette base seront simulés au moyen d'un modèle de croissance résidentielle, MUP-City, développé par l'équipe Ville, Mobilité et Transports du Laboratoire ThéMA (?). Ce modèle spatial, présenté dans le chapitre 4, est pensé et construit comme un outil d'aide à la décision. MUP-City est à même de créer des cartes d'urbanisation potentielle à une échelle fine, sous la forme de cellules carrées, pour tout le pays. Nous étudierons ses spécificités, tant sur le plan technique (présentation générale, données d'entrées, résolution spatiale) que conceptuel. Les normes de développement résidentiel seront ensuite présentées et transcrites sous la forme de règles dans MUP-City. Cette transcription des normes aux règles est une des caractéristiques premières du modèle. MUP-City ayant été développé dans le cadre géographique de l'agglomération de Besançon, le transfert à un autre terrain d'étude, plus vaste spatialement mais qui comporte également une organisation spatiale propre, soulève de nombreuses questions auxquelles il conviendra de répondre, afin de s'assurer de cette bonne transcription des normes aux règles.

Ainsi, avant de parvenir à la simulation de scénarios d'aménagement réalistes pour le Luxembourg, de nombreux tests ont été nécessaires afin de tenir compte de toutes les normes de développement envisagées et de les traduire au mieux en règles dans MUP-City. Ces tests seront décrits et analysés dans le chapitre 5 de cette deuxième partie.

Le sixième et dernier chapitre de cette deuxième partie de la thèse est consacré à la simulation et à la représentation des différents scénarios de croissance résidentielle imaginés pour le Luxembourg. Un parallèle sera établi entre les scénarios issus de la thèse et ceux obtenus dans le cadre du projet MOEBIUS (Gerber et al, 2013 ; Lord et al, 2015) afin de confronter ces deux approches censées être complémentaires et comparables.

Chapitre 3

Conception de scénarios de croissance résidentielle pour le Luxembourg : proposition méthodologique

« [...] Mais pour en juger, il eut fallu une ville d'essai. Le fondateur d'une (telle) ville [...] aurait eu le double honneur de frapper de ridicule toutes les autres capitales [...] et de métamorphoser subitement le monde social. »

Charles Fourier, 1822

CETROISIÈME chapitre est l'occasion de présenter la démarche de construction des scénarios. Comme annoncé en introduction de cette deuxième partie, il semble difficile, au regard de la littérature pourtant abondante sur la planification de la croissance urbaine, de dégager un consensus théorique sur la démarche de construction de scénarios (?).

Beaucoup d'articles abordent la question des scénarios, mais ils sont souvent peu explicites quand à la description des choix réalisés. D'autres projets de recherche sont directement issus d'une application dans l'aide à la décision et les scénarios ont souvent été imaginés dans un processus de concertation avec les élus. Ils sont par conséquent très dépendants des contextes locaux dans lesquels ils s'inscrivent. L'objectif est donc, dans le cadre de notre réflexion, de proposer une démarche de modélisation qui suit un processus, c'est-à-dire une suite d'étapes ponctuée de choix rationnels, en accord avec des objectifs d'aménagement normatifs bien identifiés.

Toute une littérature scientifique existe sur la création de scénarios, ? en fait une revue assez complète. Une majeure partie de cette production provient des sciences de gestion (???). Il s'agit d'imaginer des futurs possibles pour une entreprise, et de prévoir ou tout du moins d'anticiper sa croissance (ou des signes de faiblesse). Selon ?, il suffirait d'ajouter la dimension spatiale à cette démarche prospective issue des sciences de gestion pour réaliser une adaptation au contexte de l'aménagement du territoire. L'enjeu majeur des scénarios dans les sciences de gestion est d'identifier les variables prépondérantes dans une analyse, afin qu'elles puissent être considérées comme déterminantes par la suite (?). Or, la dimension spatiale n'est pas tout à fait une variable comme les autres. Il semble relativement difficile de prendre en compte tout ou partie de la complexité du cadre spatial et des notions auxquelles il renvoie (distance, site, interaction...) dans une ou plusieurs variables d'un modèle. Il est donc nécessaire de construire une démarche de scénarisation, propre à la géographie, où la dimension spatiale tient une place prépondérante. Nous retiendrons tout de même qu'un scénario peut être vu comme une tentative de description d'un futur possible, sans certitudes sur les conditions de son application (?). De fait, toujours d'après Becker, il y a deux manières principales d'aborder un scénario : soit il peut être considéré comme l'image à atteindre en $t + 1$ et il faut donc identifier les conditions nécessaires pour arriver à cet instantané ; soit le scénario regroupe l'ensemble des processus et phénomènes à partir de t_0 et des suites de l'application de ces choix s'obtient la situation finale. Dans notre cas, il s'agit précisément d'une combinaison de ces deux aspects. La situation en $t + 1$ est un objectif à atteindre, donc connu, tandis que nous explorons également différents moyens d'y parvenir à partir de la situation initiale.

La méthodologie générale de construction des scénarios est fondée sur cinq principaux points, comme le souligne le schéma 3.1. Précisons que l'ordre des étapes présenté ci-dessus n'est pas séquentiel : même si les contraintes techniques de manipulation des données imposent un ordre dans l'application des différents critères, il est possible de complexifier l'approche en fonction de la priorité accordée à certaines variables. Les projections démographiques forment le point de départ de toute démarche de scénarisation car elles permettent de quantifier les besoins en nouveaux logements. Des estimations hautes et basses peuvent servir à délimiter les projections de tendances afin de fournir des valeurs minimum et maximum pour la suite du processus. L'application d'une ou plusieurs règles de densité bâtie sont ensuite nécessaires dans l'objectif de transformer les besoins en logements en surface à urbaniser. La forme urbaine fait l'objet d'une double considération. Au niveau global, il s'agit de définir les modalités de répartition du développement résidentiel dans les différentes communes, afin d'accentuer ou de réduire les centralités existantes. Au niveau local, la forme urbaine correspond à la géométrie du tissu bâti simulé. Dans le cas présent, les formes fractales et non fractales (ou compactes) font l'objet d'une distinction. Des règles d'accessibilité à

différentes aménités permettent ensuite de localiser les extensions résidentielles dans l'objectif de limiter la longueur des déplacements et d'encourager la pratique des modes doux ou des transports en commun. Du point de vue de l'aménageur et de manière générale, une aménité peut être considérée comme la qualité agréable ou utile d'un lieu. Elle induit évidemment des déplacements pour y accéder. Enfin, des restrictions éventuelles interdisent ou non les développements résidentiels dans certains espaces. Les zones non constructibles (zones humides, abords des routes, espaces protégés...) constituent un élément essentiel dans la construction d'un scénario de développement résidentiel.

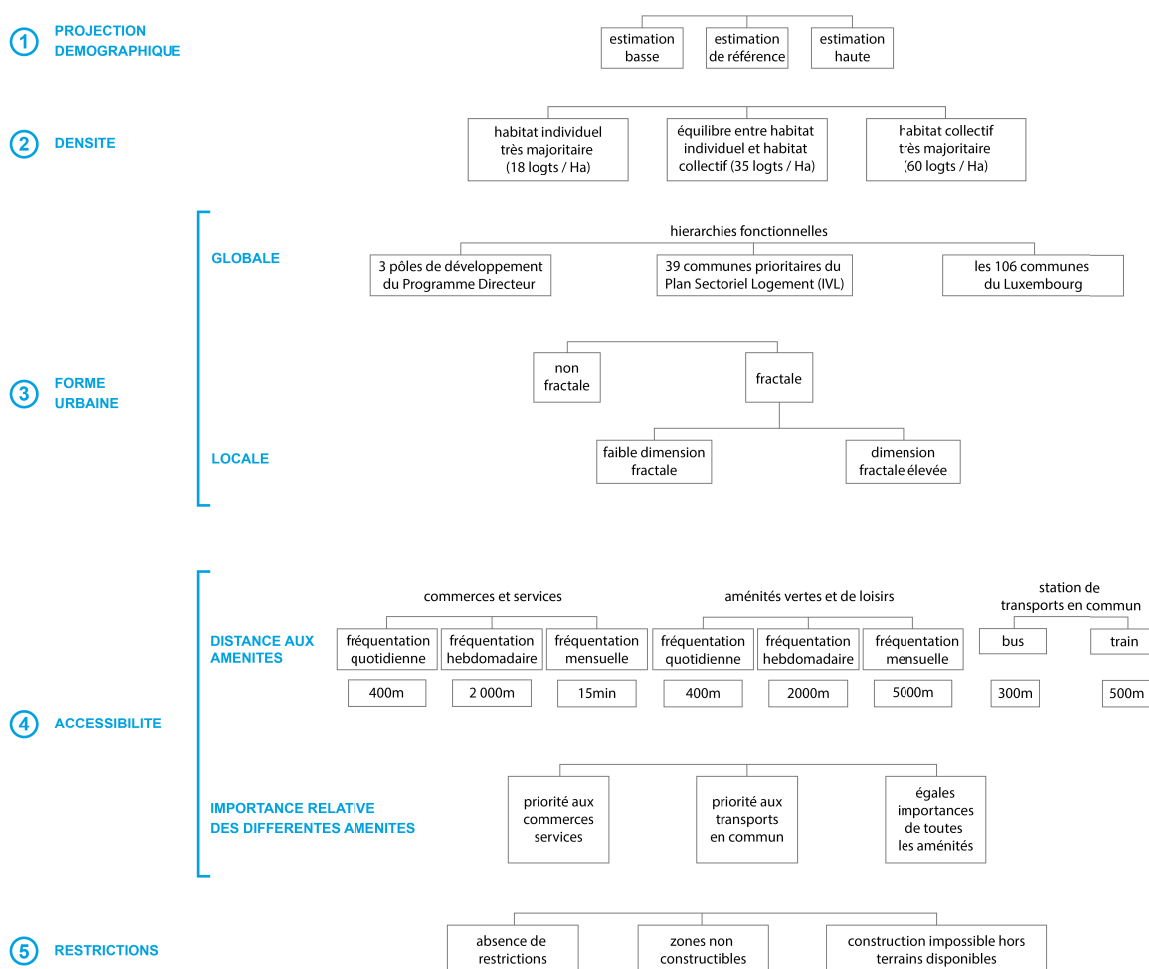


FIGURE 3.1 – Variables retenues dans la construction des scénarios de croissance résidentielle

Dans la démarche de scénarisation, une certaine analogie peut être établie avec le projet VILMODes¹. L'objectif du projet « consiste à concevoir, simuler et comparer des scénarios d'aménagement [...] et à en évaluer les conséquences à moyen terme ». De fait, les scénarios d'aménagement conçus dans le cadre du projet se doivent d'être « rigoureusement construits selon des niveaux de contraintes réalistes » (?). Les auteurs définissent le scénario comme « une série d'hypothèses portant à la fois sur l'évolution du contexte macroéconomique et démographique des agglomérations, sur la nature des interventions publiques visant à orienter le développement urbain dans les directions conformes aux aspirations politiques de la société ainsi qu'éventuellement sur les évolutions attendues des comportements ». La construction des scénarios s'établit en cinq points principaux : 1) le contexte démographique et macroéconomique (évolution du prix de l'énergie par exemple) ; 2) la définition de la dynamique souhaitée et identification des politiques d'aménagement (en réaction au point 1) ; 3) la spécification de la mise en œuvre de ces politiques au travers d'un *Plan Local d'Urbanisme simulé* ; 4) la simulation des scénarios, forme urbaine (localisation des logements) et mobilité quotidienne (comportements de mobilité), et 5) l'évaluation des impacts des scénarios à l'aide d'indicateurs. Comme le montre la figure 3.2, trois scénarios ont été retenus dans le projet VILMODes : i) un scénario laissez-faire (LF), qui sert de référence en faisant varier le contexte global sans intégrer de nouvelles politiques d'aménagement, ii) le Renouvellement Urbain Compact (RUC), qui simule une densification importante au sein d'une ville compacte, et iii) le Fractal-Oriented Development (FOD), qui combine la logique du TOD avec les principes fractals du développement résidentiel.

La différence principale entre les deux démarches de scénarisation réside dans les échelles d'hypothèses qui sont émises. VILMODes est davantage axé sur le contexte spatial, politique, démographique ou économique alors que dans le cadre de la thèse, la démarche de scénarisation explicite les choix des normes et règles du développement résidentiel. Les règles de développement résidentiel ne sont pas absentes de la démarche de VILMODes mais sont moins mises en avant dans la construction des scénarios.

1. Le projet VILMODes (Villes et Mobilité durable : évaluation par la simulation) est une initiative du laboratoire ThéMA, en partenariat avec le LET (Lyon) et le LVMT (Marne la Vallée) en réponse à un appel d'offre du PREDIT, au travers du Groupe Opérationnel 6 : « Dynamiques de localisation et mobilité à l'horizon 2025 ».

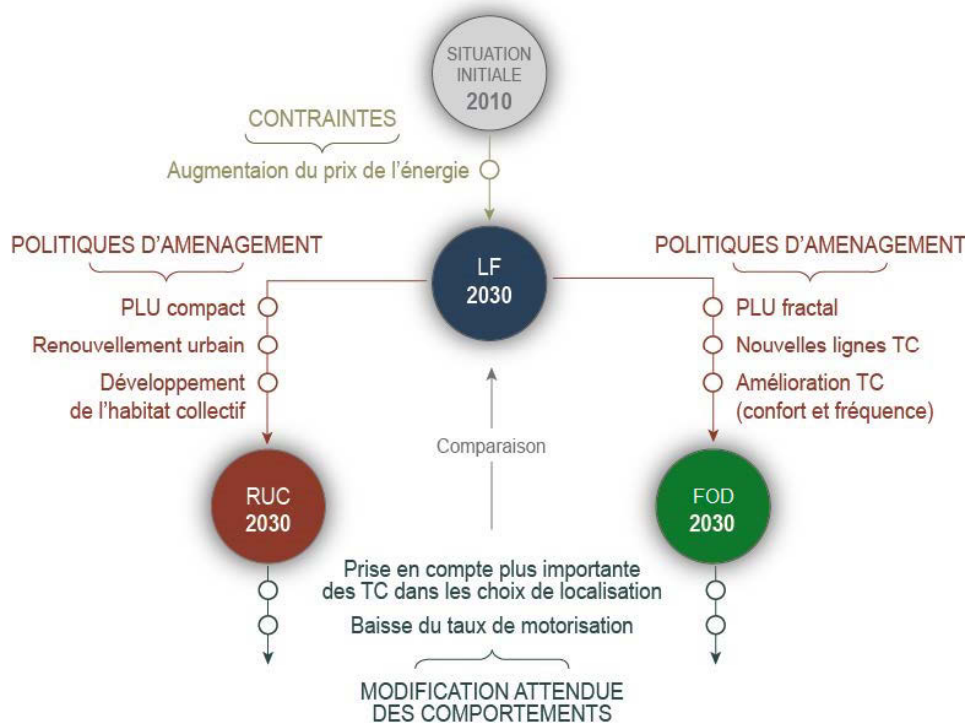


FIGURE 3.2 – Niveaux de contrainte et logique de construction des scénarios dans le projet VIL-MODEs (Antoni et al 2014)

La figure 3.3 présente le mode opératoire utilisé dans la démarche de construction des scénarios. Partant de l'état initial, le Luxembourg en 2010 dans notre cas, l'objectif à atteindre est la situation résidentielle au Luxembourg en 2030. La traduction de cet objectif consiste en différents scénarios qui seront présentés par la suite. Pour autant, il convient d'abord de mesurer des potentiels d'urbanisation, et de valider ou non les hypothèses qui sous-tendent les normes et les règles d'aménagement fixées par l'aménageur. Les potentialités résident dans l'évaluation de zones géographiques plus ou moins susceptibles d'accueillir du développement résidentiel. Les modalités de définition des seuils d'accessibilité (en distance ou en temps), l'activation ou non de règles d'aménagement ainsi que l'importance respective qui leur est accordée représentent des leviers permettant d'affiner ces potentialités. La définition de ces potentialités est à l'origine des scénarios, conformément à la méthode présentée sur la figure 3.1. Là encore, il est possible d'effectuer des tests et des modifications basées sur les potentialités existantes pour préciser les scénarios retenus. L'analyse, la synthèse et la comparaison de ces scénarios passent par la mise en place et le calcul d'indicateurs, par exemple d'accessibilité spatiale ou de mobilité quotidienne². Les boucles de rétroactions au bas de la figure 3.3 représentent les actions entre et au sein de ces étapes, et soulignent le fait que la démarche proposée ici n'est pas linéaire mais résulte d'allers-retours réguliers entre les différentes

2. La satisfaction résidentielle, la visibilité paysagère, la connectivité écologique, etc. sont autant d'autres indicateurs possibles.

phases de travail.

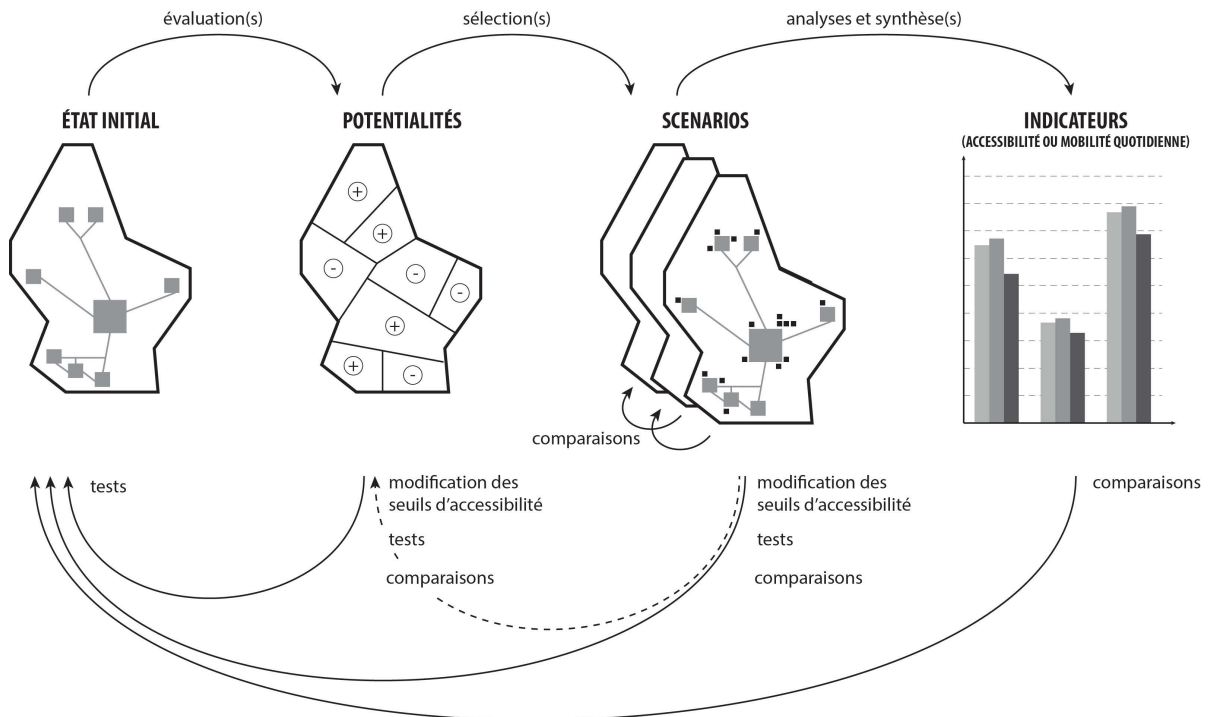


FIGURE 3.3 – Démarche processuelle de modélisation des scénarios d'aménagement

1. Les projections démographiques

Le point de départ de la démarche de scénarisation (voir figure 3.1) est la sélection de la projection démographique. Cette dernière fixe l'objectif de population à atteindre³, et par extension le nombre de logements à construire. Ces projections, fournies par l'organisme luxembourgeois de statistiques publiques (STATEC), définissent la possibilité de croissance de la population, et donc des ménages, ainsi que les besoins en logements à l'horizon 2030 (Peltier, 2011). À partir des données collectées entre 1975 et 2010, cinq scénarios différents ont été définis : haut, bas, *rebound*, *low decade* et de référence (*baseline*). Les taux de fécondité et de mortalité qui composent ces scénarios sont identiques. Les hypothèses qui différencient ces projections se situent donc au niveau des migrations, faisant du Luxembourg une des spécificités démographique en Europe. Pour la suite des analyses, nous retiendrons trois des cinq scénarios proposés par le STATEC : l'hypothèse de référence, qui servira de point de comparaison et sera utilisée dans la majorité des scénarios puisque considérée par les auteurs comme la plus probable ; l'hypothèse basse, qui constituerait le seuil minimal de population en 2030 et, à l'inverse, l'hypothèse haute, correspondant au maximum at-

3. Objectif à atteindre dans la démarche de scénarisation, pas un objectif de population en soi.

teint par le prolongement des tendances observées entre 2003 et 2009. Les projections concernent uniquement la population des ménages dits privés, et excluent les ménages collectifs (maisons de retraite, logements étudiants, prisons. . .). Pour chaque scénario, il existe des hypothèses différentes sur la structure démographique des ménages, le scénario haut prenant par exemple en compte un fort taux de décohabitation et une tendance forte de la diminution de la taille des ménages. Pour rappel, il y avait un peu plus de 202 000 ménages au Grand-Duché en 2010 (STATEC).

- La projection de référence prévoit 634 283 habitants en 2030, qui correspondent à 284 438 ménages privés, soit une augmentation de 82 438 ménages,
- La projection basse prévoit 547 725 habitants en 2030, qui correspondent à 249 837 ménages privés, soit une augmentation de 47 837 ménages,
- La projection haute prévoit 648 281 habitants en 2030, qui correspondent à 290 076 ménages privés, soit une augmentation de 88 076 ménages.

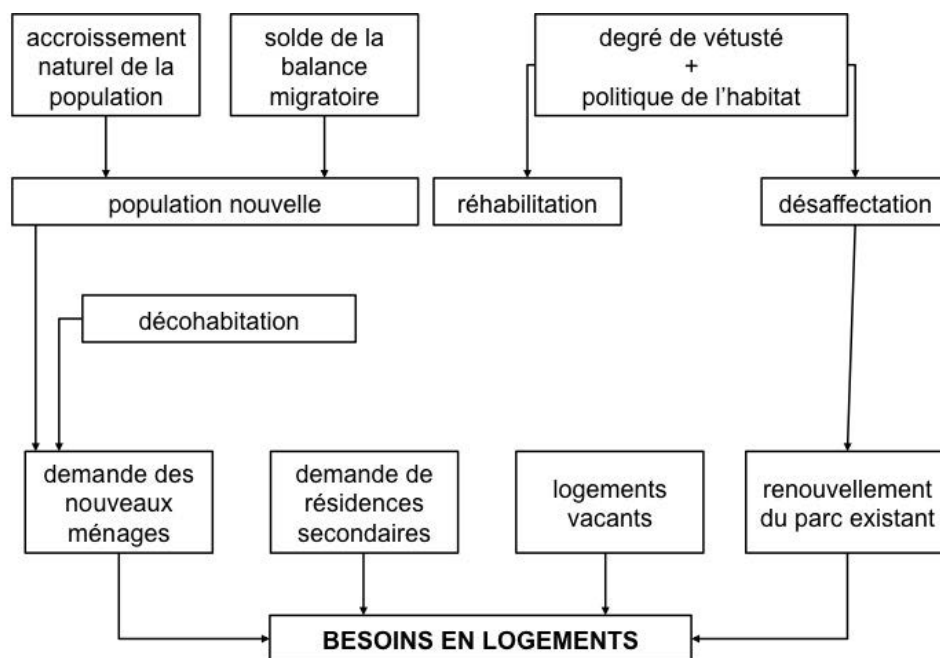
Avec une différence de plus de 100 000 habitants (40 000 ménages) selon les hypothèses retenues, le choix d'une projection démographique, et donc des besoins en logements, est crucial lors de la définition d'un scénario. Les conséquences spatiales d'une application de chacune des trois hypothèses fera l'objet d'un scénario.

La méthodologie des calculs des projections du STATEC permet de convertir les projections des ménages privés en besoin en logements. Le paragraphe précédent détaillait les projections en nouveaux ménages. Elles ne correspondent pas exactement au nombre de nouveaux logements. En effet, le besoin en logements est égal au nombre de ménages supplémentaires, auquel il faut ajouter la demande en résidences secondaires, la vacance de logements (ou réserve de mobilité résidentielle, qui sert à fluidifier le marché immobilier) et la résorption du déficit accumulé (dû à un taux de construction annuel insuffisant). Il faut également prendre en compte le solde lié au remplacement des logements perdus (vétusté du parc, densification par la reconstruction. . .) et des logements ré-affectés (d'habitations en bureaux par exemple). Ce solde est d'ailleurs négatif au Luxembourg, ce qui signifie qu'il faut ajouter au total des logements à construire un taux de remplacement des logements « perdus » (voir figure 3.4). Le remplacement des logements perdus est donc intégré dans nos calculs de besoins en logements afin de ne pas émettre d'hypothèses sur le remplissage d'éventuelles *dents-creuses* laissées par les démolitions et réhabilitations.

- La projection de référence comprend 129 759 logements supplémentaires d'ici 2030, dont 2 451 de vacants et 45 605 en remplacement des logements perdus.

- La projection basse comprend 91 858 logements supplémentaires d’ici 2030, dont 1 413 de vacants et 43 343 en remplacement des logements perdus.
- La projection haute comprend 135 859 logements supplémentaires d’ici 2030, dont 2 620 de vacants et 45 899 en remplacement des logements perdus.

Là encore, une forte différence existe (+44 000 logements) entre l’estimation basse et haute, ce qui va permettre de différencier les scénarios retenus. On peut noter la relative stabilité du nombre de logements à remplacer, puisque celui-ci est indépendant de la croissance du nombre de ménages.



Source : Granelle, 1998

FIGURE 3.4 – Méthode de construction des besoins en logement

2. La densité bâtie

Comme nous l'avons vu dans la première partie, la densification est souvent citée en réponse à l'étalement urbain. Le processus de remplissage des dents creuses représente un levier d'action de ce processus. Dans notre cas luxembourgeois, il ne s'agit pas de prôner une densification massive, mais de mettre en place des normes cohérentes avec les objectifs politiques affichés dans le chapitre 2. Ces objectifs tendent à montrer un doublement de la densité moyenne observée dans la construction ces dernières années, en passant de 18 à 35 logements par hectare, surtout dans les espaces urbanisés. Un lien peut être établi avec la forme urbaine globale : des densités différentes peuvent s'appliquer selon des critères géographiques. Par exemple, un scénario en faveur des transports en commun préconise une densité forte à proximité des gares ferroviaires ; autour de 80 logements par hectare. La figure 3.5, réalisée par l'Agence d'Urbanisme de Caen-Métropole, représente quelques repères de densité de construction en fonction des formes de constructions.

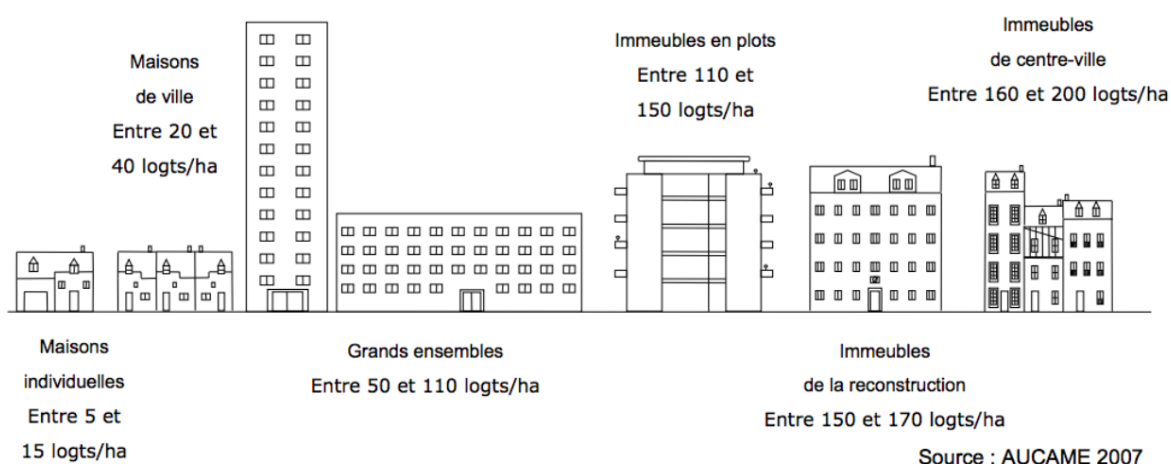
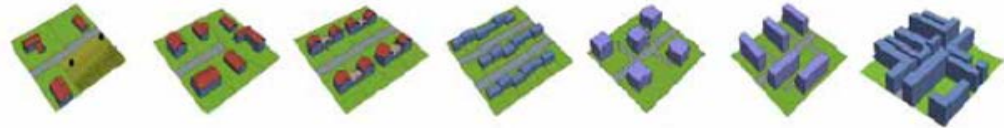


FIGURE 3.5 – Quelques repères sur la densité résidentielle, avec des exemples de construction, AUCAME, 2010

À l'aide d'une équivalence représentée par la figure 3.6, il est possible de convertir notre nombre de logements projetés par le STATEC en consommation foncière. Par exemple, si le besoin est de 100 000 logements, et que la densité souhaitée par les aménageurs est de 100 logements à l'hectare, soit 100m² par logement, alors il faudra urbaniser 1 000 hectares ou 10 000 000 de mètres carrés.



Logts/ha	3	6	8	18	60	100	150
Conso foncière/ U.H.*	3 300 m ²	1 600 m ²	1 250 m ²	550 m ²	166 m ²	100 m ²	67 m ²
Habs/ Ha.	7	14	19	41	138	230	345

FIGURE 3.6 – Impact de la densité de construction sur la consommation foncière, exprimée en unité d’habitation (U.H.*), AUCAME, 2010

3. Forme urbaine globale et forme urbaine locale

Le choix de la forme urbaine, au niveau local dans un premier temps, permet de préciser la morphologie urbaine souhaitée par l’aménageur. Ainsi, un choix demeure possible entre une forme non fractale de type compacte, ou une forme fractale, avec les conséquences que cela implique. La forme fractale dépendra de la dimension fractale fixée. Rappelons que plus la dimension fractale est élevée, plus le tissu bâti généré sera localement homogène. Cet aspect sera développé dans un premier point. La forme urbaine globale quant à elle, est également un choix d’aménagement par la localisation. De fait, il paraît opportun à ce moment-là d’opter pour des sélections différentes du potentiel d’urbanisation en fonction d’un certain nombre de critères « macros », inhérents aux politiques en vigueur au Luxembourg. Nous y reviendrons en deuxième lieu.

3.1. Forme urbaine locale

La densité peut être définie comme la mise en relation d’une masse (ici bâtie, de logements par exemple) sur une surface donnée. Elle s’exprime le plus souvent au travers d’un indicateur de moyenne sans pour autant donner d’informations sur la distribution spatiale à l’intérieur de l’échelle de référence⁴ (Thomas et al, 2007). On parle alors de calcul d’une moyenne de la masse distribuée sur une surface donnée.

4. Les 18, 35 ou 100 logements à l’hectare.

L'introduction d'une norme fractale au niveau local permet, en complément, de prendre en compte la distribution de la masse autour du rayon de la surface considérée. Le modèle fractal de croissance résidentielle doit permettre de minimiser la consommation d'espace sans pour autant augmenter la densité bâtie (Thomas et al 2007, Tannier et al 2010). Autrement dit, ce calcul passe par l'établissement d'une loi d'échelle, formalisée par la loi de puissance. C'est cette puissance qui définit la dimension fractale de l'objet mesuré. Plus la dimension fractale d'un objet est forte, plus le tissu bâti est homogène dans sa distribution, comme l'indique la figure 3.7. L'indicateur de fractalité mesure davantage « l'homogénéité urbanistique que l'intensité de l'occupation de l'espace » (?). Plus la dimension fractale est élevée, plus la densité est forte. Pour autant, ce sont bien deux mesures distinctes (Frankhauser, 2005). La quête d'une dimension fractale optimale peut être considérée comme une norme d'aménagement, au même titre que la densité (Tannier et al, 2010), l'accessibilité, la mixité... (?).

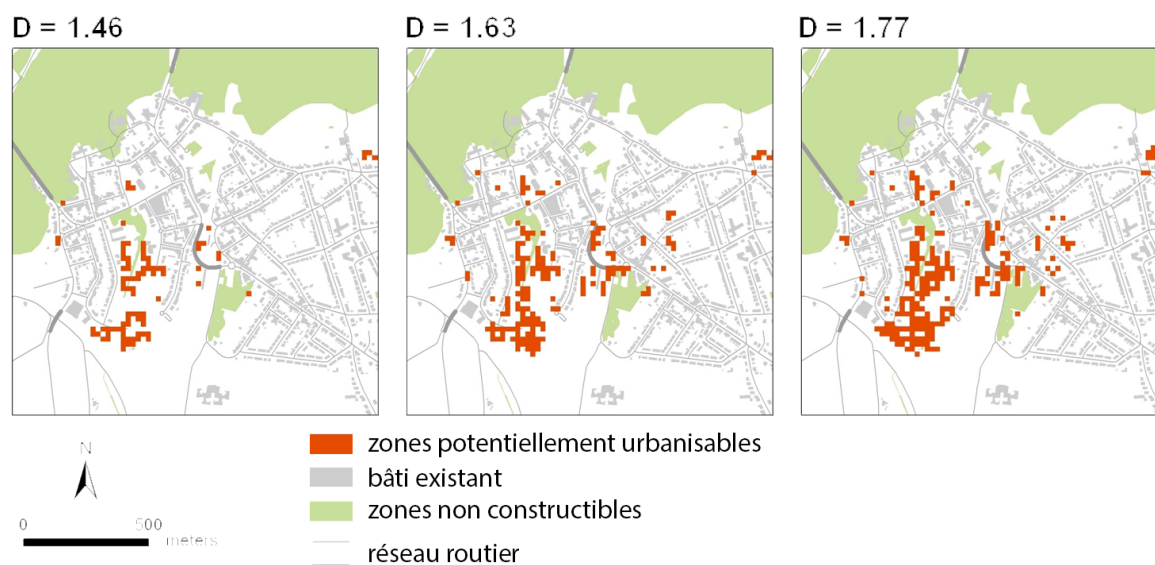


FIGURE 3.7 – Configurations possibles selon la dimension fractale du tissu résidentiel simulé

La mesure de la dimension fractale, ou l'introduction de la fractalité dans la démarche de construction des scénarios d'aménagement, vient compléter le concept de densité. Elle permet également le dessin réaliste des formes urbaines simulées, en raison du caractère naturaliste de la fractalité des villes.

3.2. Forme urbaine globale

La prise en compte des formes urbaines dans la démarche de scénarisation peut également s'intégrer à une échelle plus vaste que le niveau local. Ce changement d'échelle s'effectue ici au travers de typologies communales, qui traduisent le degré de fonctionnalité dont ces communes font

preuve. Nous avons décrit, dans le deuxième chapitre de la thèse, les différentes hiérarchies fonctionnelles qui sont présentes dans les documents de planification luxembourgeois :

- les 3 pôles du Programme Directeur, qui représentent 23 communes,
- les 39 communes du Plan Sectoriel Logement, définies dans l'IVL,
- les 116 communes luxembourgeoises.

Ainsi, on peut décider d'affecter un certain pourcentage de la croissance résidentielle dans des communes jugées prioritaires. En reprenant l'exemple des 100 000 logements, et sachant que les aménageurs décident de localiser 80% de la croissance résidentielle dans les 3 pôles du Programme Directeur, alors 80 000 logements se retrouveront dans les 23 communes principales et 20 000 dans les 93 autres.

4. L'accessibilité aux aménités

Au cours de la simulation, la création du potentiel d'urbanisation passe par l'évaluation de l'accessibilité et de la proximité aux différentes aménités. Afin de préciser les scénarios de croissance résidentielle, l'aménageur dispose ainsi de deux leviers que sont la définition des seuils d'évaluation dans les mesures d'accessibilité et le choix des importances accordées à ces différentes mesures d'accessibilité.

Plus que de simples modifications de paramètres, la définition de ces valeurs reflète également l'approche normative dans la démarche de modélisation. Comme le rappelle la figure 3.3 en introduction de ce chapitre, la modification de ces seuils d'accessibilité fait partie intégrante de la démarche de construction des scénarios de développement résidentiel. Les tests, présentés par la suite avec des essais de valeurs différentes, seront nécessaires pour à la fois comprendre les réactions des outils de simulation sur le plan méthodologique, mais surtout, affiner sur le plan thématique les normes qui seront à même de répondre aux objectifs d'aménagement. C'est en testant plusieurs séries de valeurs, différents choix dans les pondérations, que l'aménageur peut trouver les seuils qui répondent à ses objectifs de croissance résidentielle.

Plus concrètement, la figure 3.1 présente une série de seuils qui reflètent des règles strictes d'aménagement. Nous verrons par la suite, qu'en fonction des espaces étudiés, ces normes peuvent

être reconsidérées afin de les assouplir. De même, d'un point de vue des importances accordées à chacune, nous utilisons trois tables de valeurs. Soit l'importance la plus forte est donnée à l'accessibilité aux commerces et services, soit aux infrastructures de transports en commun, soit aucune importance n'est fixée et toutes les règles d'évaluation ont le même poids relatif pour le scénario considéré.

5. Les restrictions de construction

En dernier lieu, un scénario peut tenir compte ou non de quelques restrictions. On peut ainsi évaluer le degré de contrainte imposé par les logiques de planification en vigueur. Par exemple, les zones non constructibles peuvent être intégrées dans la définition des scénarios de développement résidentiel. Il s'agit de l'ensemble des espaces, naturels ou non, où l'implantation des constructions d'habitation n'est pas possible (certaines forêts, surfaces en eaux, périmètres dangereux, installations électriques...).

Il est également possible d'intégrer davantage d'information au niveau des restrictions. Un scénario tiendrait alors compte des terrains actuellement disponibles dans les documents de planifications luxembourgeois (et qui ont fait l'objet d'une présentation au cours du deuxième chapitre). Cette information spatialisée, produite dans le cadre de l'Observatoire de l'Habitat (LISER et ministère du Logement), peut apporter un réalisme supplémentaire dans la construction des scénarios.

6. Conclusion du chapitre 3

Bien qu'il n'existe aucun consensus théorique sur la construction de scénarios d'aménagement, certains critères retenus méritent sans doute plus que d'autres de figurer dans les choix de scénarisation. Les critères de construction des scénarios de développement résidentiel tiennent compte : 1) des objectifs d'aménagement, ici au Luxembourg et 2) des hypothèses de recherche puisque les scénarios viennent en position de réponse au questionnement décrit lors de l'introduction générale et qui interroge l'apport du modèle fractal de croissance résidentiel vis-à-vis de ces objectifs.

Certaines normes peuvent s'appliquer plutôt à une échelle mésoscopique, voire macroscopique, comme les projections démographiques ou la forme urbaine globale par exemple, mais aussi à l'échelle locale. Dans une logique d'aménagement du territoire, cette articulation des niveaux d'échelles n'est pas anodine et permet de répondre à des questions que se posent à la fois la société

civile, les décideurs politiques nationaux et les élus locaux. En ce sens, il devient possible d'évaluer des choix de politiques d'aménagement du territoire (?).

Dans le premier chapitre de la thèse, nous affirmions que les normes d'aménagement étaient suivies de règles, qui formaient les instruments d'application de ces normes. Dans l'optique d'évaluer une approche normative de l'aménagement à l'aide d'outils de simulation spatiale, le chapitre suivant sera consacré à la présentation du premier modèle utilisé, MUP-City, qui permet de simuler du développement résidentiel de forme fractale tout en tenant compte de règles d'aménagement.

Chapitre 4

Modélisation fractale et normative de la croissance résidentielle

« Aménager, c'est maximiser l'accessibilité en minimisant l'usage des ressources rares. »

Offner, 2009

CE CHAPITRE vise à présenter l'outil qui a été utilisé pour simuler la croissance résidentielle au Luxembourg. Il s'agit de MUP-City, qui a été développé au laboratoire Théma de Besançon. Cet outil, basé sur le principe des automates cellulaires, combine une règle fractale d'urbanisation à des règles d'accessibilité aux aménités. Dans un premier temps, il convient de présenter les caractéristiques de MUP-City, qui ont été à la base du choix de son utilisation. Par la suite, il sera nécessaire de revenir sur les données collectées et nécessaires au déroulement de la démarche. Enfin, une présentation approfondie des règles du modèle et des récents développements concluront ce chapitre. Il sera question de ses spécificités sans négliger un regard critique sur ses limites éventuelles. Il conviendra surtout d'expliquer en quoi la plateforme MUP-City permet de mettre en œuvre une approche normative de l'aménagement de par les règles qu'elle contient.

1. Positionnement du modèle MUP-City par rapport aux modèles existants

Il existe de nombreux moyens de définir des potentiels d'urbanisation à l'aide de modèles de changement d'occupation du sol ou d'outils d'aide à décision. De nombreuses revues de littérature ont déjà été effectuées à ce sujet (????). Les outils dédiés à la modélisation et à la simulation du développement résidentiel évoluent rapidement, depuis leur naissance dans les années 1950-1960, en fonction des avancées technologiques mais aussi de la place de l'aménagement dans la prise de décision. Selon ? ou ?, on distingue respectivement trois ou quatre grandes périodes, correspondant aux décennies qui composent la période retenue (tableau 4.1).

À partir des années 1960, l'aménagement est plutôt vu comme une science appliquée qui tire ses principaux fondements des sciences régionales. L'objectif principal de la modélisation à cette époque est surtout la rationalisation et la découverte de la solution optimale à un problème donné. La modélisation, en grande partie mathématique et économique, se fonde sur le paradigme naissant de la complexité et la théorie des systèmes. Par la suite, l'aménagement en tant que science est devenu davantage politique, notamment au cours des années 1970. C'est également au cours de cette décennie que les principes issus de la théorie des jeux permettent d'introduire davantage le rôle des acteurs dans le processus de décision. Parallèlement, le rapport Meadows (Meadows et al, 1972), qui a fait émerger le concept de développement durable, a permis d'asseoir le rôle des modèles géographiques dans la prospective (?). Les analyses multicritères ont été largement développées et utilisées, conjointement à l'utilisation des premiers systèmes d'information géographique. Dès lors, il ne s'agit plus de trouver une solution optimale unique mais de sélectionner une ou plusieurs options qui sont à même de satisfaire des objectifs donnés.

Le début des années 1980 marque l'entrée dans l'ère de la communication. Les outils numériques se démocratisent et rentrent au service d'une approche davantage participative. Les plateformes dédiées à la modélisation font leur apparition, sous la forme de logiciels « autonomes ». Les automates cellulaires sont utilisés dans la modélisation des changements d'occupation du sol ainsi que les modèles multi-agents, qui bénéficient des progrès de l'intelligence artificielle. À partir des années 1990 et l'essor d'Internet, l'approche participative devient collaborative. Les outils sont désormais accessibles en ligne et les données sont collectées de façon plus exhaustive. Parallèlement, avec l'accroissement du lien thématique entre politique de transport et politique d'urbanisation, une nouvelle génération de modèles fait son apparition, les modèles LUTI (*Land-Use Transport Interaction*). La modélisation de la croissance résidentielle s'envisage alors comme une partie d'un

système, au même titre que les questions économiques, démographiques ou de mobilité. Le croisement de ces outils avec les travaux en communication et les outils numériques permettent la co-construction de scénarios avec les acteurs concernés.

Période	Approche	Avancées technologiques	Méthode(s) dominante(s)
1960 - 1970	L'aménagement, une science appliquée	Développement des premiers ordinateurs et apparition des SIG	Superposition de couches simples
1970 - 1980	L'aménagement, une politique	Développement des micro-ordinateurs et des logiciels de SIG	Analyses multicritères complexes
1980 - 1990	L'aménagement, de la communication	Développement des SIG collaboratifs, des webGIS, de la télédétection	<i>Land-Use Cover Change</i> , LUCC
Depuis 1990	L'aménagement, une approche collaborative	Développement d'outils d'aide à la décision, Internet 2.0, réseaux sociaux, 3D numérique	Modèles LUTI, systèmes multi-agents, outils participatifs

Tableau 4.1 – Synthèse des grandes périodes de l'aménagement dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, (d'après Klosterman, 2001 ; Malczewski, 2004 et Foth, 2009)

Nous nous intéressons ici principalement aux modèles spatialisés qui intègrent des données géographiques et font l'objet de traitements cartographiques ainsi que des entrées et/ou des sorties graphiques.

1.1. La recherche d'une solution optimale à l'aide d'analyses multicritères

Pendant longtemps, l'analyse et la prospective en matière de changements d'occupation du sol a fait l'objet de traitements dans des systèmes d'information géographique. Ces traitements consistaient à effectuer des combinaisons de cartes (*map overlay*), opérations rendues possibles par l'outil numérique des systèmes d'information géographique, à même de combiner plusieurs couches par superposition. Il s'agit ensuite d'identifier les configurations spatiales globales les plus appropriées en fonction de critères, de préférences, ou de prévoir l'installation de telle ou telle activité, en fonction d'objectifs parfois contradictoires (????). Rapidement, les fonctions d'évaluations (*suitability functions*) font leur apparition. Ces dernières permettent d'évaluer, pour une cellule (un point de l'espace) donnée, sa capacité à remplir un critère nécessaire par exemple, à l'implantation de tel mode d'occupation du sol, comme le tissu résidentiel. C'est au cours de cette même période que naît, au sein de l'économie régionale et de la recherche sur la prise de décision, un nouveau paradigme qui est celui de la multi-dimensionnalité dans le processus d'aménagement (Voogd, 1983 ; Bennema et al, 1984 ; Nijkamp et al, 1990). Apparaît alors une nouvelle famille de modèles, les ou-

tils d'aide à la décision (*spatial decision support systems, SDSS*). En effet, le choix multicritère peut être appliqué à de nombreuses questions d'aide à la décision en aménagement, qui impliquent notamment la recherche, la localisation ou l'allocation de ressources (Jankowski, 1995). À ce titre, le Système d'Information Géographique est un outil d'aide à la décision (??). Pourtant, comme le rappelle Jankowski en 1995, les technologies en SIG des années 1980 et du début 1990 n'apportent pas une aide suffisante à la décision (?), en raison d'un manque de précision dans la méthode.

Depuis les années 1980, les méthodes et technologies ont grandement évolué afin de fournir une meilleure réponse aux questions posées par les décideurs. Ces questions sont doubles : 1) il est nécessaire de « tirer bénéfices de la spatialité de l'information disponible » et 2) il faut intégrer, au sein d'un même système et d'outils, des informations pas toujours compatibles (Joerin et Waub, 2013). L'apparition de nouvelles méthodes, comme ELECTRE, basée sur la logique floue, permet de répondre à ce double questionnement (Sobrie et al, 2013).

Dans ce contexte naît *WHAT-IF?*, une plateforme intégrée d'aide à la décision développée par ?. Elle se compose de trois modules : 1) évaluation des espaces potentiellement urbanisables ; 2) projection de la croissance résidentielle en fonction de l'évolution de la population ; 3) allocation résidentielle, c'est-à-dire mise en concordance des deux premiers modules et localisation de la population potentielle. Cet outil d'aide à la décision est destiné aux professionnels en charge de l'aménagement. Il se base sur des données statistiques et des données spatialisées en lien avec un système d'information géographique (?). L'évaluation des espaces potentiellement urbanisables s'effectue au moyen de fonctions d'évaluations (*suitability functions*). Ces fonctions d'évaluations permettent de pondérer et de classer les zones étudiées en fonction des facteurs retenus dans l'analyse (pentes, nature du sous-sol, zones inondables...). En ce sens cette partie du modèle se rapproche beaucoup des analyses multicritères. C'est également au cours de cette étape que la résolution spatiale est définie pour la zone d'étude, au travers des *UAZ (Uniform analysis zones)*. Ces UAZ sont générées par superpositions de couches dans un système d'information géographique, de sorte que chaque UAZ soit homogène et ne comporte qu'une valeur des facteurs retenus (pente, sols...). Le module de projection de la demande résidentielle consiste à la saisie manuelle d'un scénario de projection démographique, éventuellement en fonction de données concernant la croissance démographique récoltées indépendamment. Pour transformer cette croissance démographique en nombre de logements à construire, un certain nombre de choix de scénarisation doivent être effectués : taux de maisons individuelles ou de logements collectifs, densités de construction pour chaque type de logement, taille moyenne des ménages pour chaque type de logement, taux de vacance des logements et taux de renouvellement (les logements démolis, incendiés, ou qui changent de fonction). La même

opération est à réaliser pour les activités commerciales et industrielles, ce qui nécessite également des données de projection relativement précises sur l'emploi par secteur. Le dernier module croise les deux premières informations, en récupérant à la fois les évaluations des zones potentiellement urbanisables et les projections pour les mettre en concordance. Cette étape fait aussi l'objet de choix dans la scénarisation par la définition de priorités d'aménagement en fonction des types d'occupations du sol à localiser. La sortie du modèle *WHAT-IF?* se compose de cartes d'allocation, à l'échelle des *UAZ*, en fonction des différents zonages et de leur densité (de ménages, d'emplois...).

Le modèle de Klosterman semble être un outil efficace, doté d'une interface graphique, qui force à une certaine rigueur (chaque étape faisant l'objet de choix), et nécessite des temps de calculs réduits (?). Toutefois, son utilisation requiert un volume de données relativement conséquent et c'est un outil plutôt fermé en matière de configurations (impossibilité d'éditer les fonctions). Aussi, comme le rappelle ?, le modèle, assez déterministe, ne permet pas vraiment d'exercer une influence sur le développement résidentiel. Malgré le fait que le modèle soit désormais en téléchargement libre, l'impossibilité de modifier la forme de la ville projetée est incompatible avec la méthodologie de construction de scénarios adoptée dans le cadre de cette thèse. En effet, la forme locale de la croissance résidentielle fait partie intégrante de notre questionnement et constitue une conséquence de choix d'aménagement.

? affirment que l'un des problèmes majeurs des méthodes d'analyses multi-critères est de ne pas permettre « la comparaison d'un grand nombre d'alternatives ». Pour les auteurs, le nombre limité d'alternatives conduit forcément lors du choix de la meilleure d'entre elles, à opter pour une solution sous-optimale. Pour eux la solution est à chercher dans la mise en place d'une méthode de conception (*design-technique*). Afin de résoudre la question du nombre d'alternatives à sélectionner, le calcul de la solution optimale parmi un grand nombre de possibilités ou encore le traitement sur une zone d'étude élargie, ? préconisent l'utilisation d'algorithmes mathématiques sophistiqués, regroupés sous la dénomination de *multi-objective mathematical programming*, ou MMP (?). ? décrètent une forte analogie entre l'optimisation combinatoire et les processus physiques de cristallisation rocheuse. De fait, ils vont employer une méthode auparavant destinée aux sciences de la terre, le « recuit simulé » (*simulated annealing*) qui a pour objectif initial de déterminer la capacité d'un cristal, en fonction de son état et de l'énergie nécessaire pour en changer (par exemple du liquide au solide). La probabilité de changement est calculée selon le principe de minimisation du coût de transition. Si le coût de transition entre deux états est plus élevé que le coût théorique, une probabilité est appliquée, selon l'algorithme dit de ? et réitéré un grand nombre de fois jusqu'à ce qu'aucune solution ne soit encore possible. Une analogie existe en remplaçant l'état de cristallisa-

tion par les changements d'occupation du sol, et l'énergie nécessaire au changement d'état par un coût de transition (par exemple, pour passer d'un espace agricole à un espace urbain).

Cette méthode a également été employée par ? dans le cadre de ses travaux de thèse et du développement de son modèle PARDISIM. L'objectif recherché était d'optimiser la simulation d'un développement résidentiel résultant de la négociation entre deux acteurs, en concurrence sur le même espace (un promoteur immobilier et un acteur public de l'aménagement).

1.2. Simulation des changements d'occupation du sol à l'aide d'automates cellulaires, les *LUCC*

Comme le souligne ?, l'introduction du principe de carroyage pour la représentation de l'espace urbain a de nombreux avantages en matière de visualisation, de stockage, de croisement et de traitement des informations urbaines. Pourtant, la modélisation *LUCC* du développement résidentiel souffre d'un étrange paradoxe. Alors que les premières théories sur les automates et les pratiques associées sont publiées dès les années 1930 (?) mais surtout après la Seconde Guerre Mondiale (???), ce n'est que dans les années 1980 que les résultats des premiers automates cellulaires sont diffusés en géographie (?). Entre les deux périodes, on peut noter deux travaux remarquables qui vont influencer sur l'ensemble des publications, ils ont lieu au cours des années 1970.

Tout d'abord, on peut considérer la célèbre application du jeu de la vie de ? comme une avancée très marquante. Au départ lancé comme un concours dans une revue scientifique populaire dans le but de démontrer que le jeu de la vie était une machine de Turing, de nombreux chercheurs ont remarqué qu'à partir d'un processus simple, on pouvait obtenir des issues complexes. Comme le souligne ? dans leur ouvrage, malgré des règles de fonctionnement simples, le modèle de Conway est le premier à diffuser largement l'idée d'une dimension dynamique, qui conduit à des résultats complexes assez difficiles à anticiper. Malgré la relative mais observable simplicité des règles et principes de fonctionnement, l'automate généré par Conway a été une véritable innovation scientifique et de nombreux sites internet restent aujourd'hui dédiés à cet outil. De plus, le jeu de la vie a permis de développer une réelle approche interdisciplinaire. Même si cette application a été assez peu utilisée en tant que telle dans d'autres disciplines, elle a été (et continue d'être) source d'inspiration pour de nombreux travaux (?). De fait, il constitue un véritable point de départ pour la modélisation par automate cellulaire.

L'autre tournant majeur en ce qui concerne la modélisation au cours de la deuxième moitié du 20^{ème} siècle est sans doute la publication des travaux de ? et son article titré Cellular Geography. En proposant une nouvelle géographie cellulaire, l'auteur conceptualise l'espace géographique au sein d'une matrice, technique qui ouvre de nombreuses voies en matière de calculs et d'algèbre de cartes (?). Basé sur un voisinage de Von Neumann, cet « automate cellulaire » (qui n'en est peut-être pas encore un) est issu des travaux précurseurs de ?. Cet article comprend notamment la définition de cinq modèles de changement d'occupation du sol, construits à l'aide de règles de transition pour le passage d'un état cellulaire à un autre, tout en tenant compte d'un voisinage donné.

Plus précisément, un automate cellulaire est défini par sa composition : un espace cellulaire, des états de cellules, un ou plusieurs voisinage(s), des règles de transition, un mode d'itération (déterministe ou stochastique, synchrone ou asynchrone).

Il faudra attendre le milieu des années 1980 pour voir apparaître des applications issues des travaux de Tobler. Couclelis a utilisé les automates cellulaires pour démontrer la relation entre les interactions entre des cellules à l'échelle locale et des processus géographiques plus globaux (??). Par ce biais, l'auteur pose les fondements de la modélisation des changements d'occupation du sol à l'échelle régionale. Dans le même temps Phipps, en étroite collaboration avec Langlois, développe un automate cellulaire générant des parcelles grâce à la modélisation de processus écologiques et anthropiques, l'expansion urbaine en faisant partie (??). Ensuite, de nombreux travaux seront développés en parallèle, répondant à des thématiques variées : depuis la modélisation des dynamiques urbaines et régionales (??????), les feux de forêt (?), les épidémies (?), ou encore les inondations ?. Parmi ces applications, ? considère que les travaux de ? constituent une étape décisive dans le développement des automates cellulaires utilisant un modèle de potentiel dépendant d'un triple voisinage immédiat, local et régional. Cet apport multi-scalaire fournit des résultats de simulation tout à fait satisfaisants pour les villes américaines considérées. On peut observer des similarités avec les travaux menés à Tel-Aviv par ?, concernant la modélisation des dynamiques générées par les migrations de populations issues des anciens pays soviétiques vers Israël. L'utilisation de règles de transitions issues de trois matrices différentes et l'insertion d'une dimension stochastique à l'aide de l'application d'une procédure Monte-Carlo, confère également une dimension intéressante au modèle de Portugali.

En matière d'aide à la décision, les recherches menées depuis le début des années 1990 par l'équipe du RIKS, notamment par White et Engelen et le développement de la plateforme METRONAMICA®, peuvent aussi être considérées comme fondamentales dans la modélisation des chan-

gements de l'occupation du sol. La complexité du modèle est issue de plusieurs caractéristiques. Un voisinage comportant 113 cellules (toutes les cellules comprises dans un cercle d'un rayon de 6 pixels autour de la cellule source) a été construit ; combiné à des fonctions d'évaluation intégrées dans les règles de transition, cet automate constitue une réelle avancée dans la modélisation des phénomènes complexes. De plus, l'espace constitué par la grille du modèle est considéré de façon hétérogène par la combinaison d'informations concernant la propension d'une cellule au changement (accès au réseau routier, réseaux électrique, d'eau potable, d'assainissement...). Enfin, l'un des apports majeurs de ce modèle réside dans la notion de contrainte. Pour la première fois, les règles de transition ne vont pas décider seules du nombre de cellules potentiellement urbanisables. Un macro-système, avec un modèle d'inputs / output et des projections démographiques, contribue au calcul du nombre de cellules nécessaires pour le développement résidentiel.

1.3. Le choix de MUP-City

Les approches de la modélisation de la croissance résidentielle peuvent être très différentes en fonction des positionnements conceptuels et technologiques comme l'indique la multitude d'outils existants (BOYCE, KIM, HUDS, TRANUS, LILT, 5-LUT, MEPLAN, SMART GROWTH INDEX, GSM, URBANSIM, SPRAWLSIM, SMARTPLACES, LTM, RURBAN, SLEUTH, METROSIM, UGROW, UPLAN, DELTA, CURBA, SAM-IM, ALBATROSS, ILUMASS, IRPUD, PROPOLIS, LUCAS, et bien d'autres). Les avancées scientifiques et technologiques conduisent à l'apparition régulière de nouveaux outils, toujours plus sophistiqués et/ou plus performants. Que les modèles soient déterministes (comme *WHAT-IF ?*) ou non, dynamiques (comme les automates cellulaires ou les systèmes multi-agents) ou statiques, le choix de la forme urbaine, du modèle de ville dépend du fonctionnement de l'outil. Or, comme le soulignent Tannier et al. (2010) :

« [...] parmi toutes ces approches, la forme urbaine n'est jamais centrale dans la construction du modèle. Certes, certains déclinent les objectifs d'aménagement de manière spatiale (spatial objectives), sous la forme d'un degré de compacité, d'une taille ou d'un nombre d'agréats bâtis, ou encore de densité de logements par hectare (Stewart et al., 2004 ; Aerts et al., 2005 ; Li et Liu, 2008 ; Janssen et al., 2008 ; Ligmann-Zielinska et al., 2008). Ainsi, le modèle de la ville compacte peut être implicitement traduit par des règles de densification ou de compacité. Cependant, aucun modèle n'introduit la forme urbaine de façon explicite. Par ailleurs, le processus d'étalement urbain et les enjeux qui en découlent impliquent une multitude d'échelles qui ne sont généralement pas prises en compte de manière simultanée : depuis la parcelle et son environnement proche, qui préoccupe le résident venant s'implanter en zone périurbaine en recherchant le calme et la verdure, jusqu'à la tâche urbaine dont la forme conditionne par exemple la ventilation de l'agglomération ou encore

l'accessibilité à certaines aménités. »

Notre questionnement s'articule autour d'une approche normative de l'aménagement et de son évaluation par la simulation de formes fractales de développement résidentiel. La méthodologie employée requiert l'utilisation d'un outil capable de simuler la croissance résidentielle d'un point de vue prospectif. Il est également fondamental que la solution technique retenue intègre la possibilité de définir des normes qui puissent être retranscrites sous formes de règles, notamment d'accessibilité, dans le modèle. Il faut également que le modèle soit capable de générer des formes fractales de croissance résidentielle, et ce, à une échelle spatiale fine, pour correspondre à nos hypothèses principales. L'outil doit être en mesure de pouvoir intégrer des données variées (occupation du sol, réseau routier, réseaux de transports en commun, aménités) comme dans les analyses multicritères. Enfin, le modèle de simulation retenu doit permettre de travailler à une résolution spatiale fine. C'est pourquoi MUP-City a semblé être un choix intéressant dans la méthodologie développée dans la thèse.

2. MUP-City, un outil d'aide à la décision basé sur l'application de normes d'aménagement à différentes échelles spatiales

La plateforme de simulation MUP-city, ici dans sa version 1.0 *beta*, a été développée en Java, sur les bases de fonctionnement d'un SIG, puisqu'il permet d'introduire, de sélectionner et de visualiser des données géographiques tant au format raster qu'au format vectoriel. Une première version de la plateforme a été publiée (?) où l'un des aspects de la discussion résidaient dans le fait d'ajouter ou d'améliorer certaines règles règles d'accessibilité. Dans le cadre de ce travail de thèse, nous allons donc plus loin dans la conception et la formalisation de MUP-City. En prenant en compte le Luxembourg dans son ensemble et donc une métropole de plus de 100 000 habitants, il a fallu tenir compte d'aménités qui ne sont pas présentes dans les espaces périurbains qui ont fait l'objet des analyses précédentes à l'aide de MUP-City. La présente version est issue d'une co-conception de Cécile Tannier et Maxime Frémond ; la formalisation mathématique est le travail de Cécile Tannier ; le développement informatique a été effectué par Gilles Vuidel et Florian Litot (au laboratoire ThéMA à Besançon).

2.1. MUP-City, un modèle cellulaire

MUP-city partage un certain nombre de caractéristiques des automates cellulaires, comme le carroyage, l'état des cellules (bâties ou non bâties), le voisinage (dans plusieurs règles) et un principe

de fonctionnement itératif. Là où l'outil de simulation développé par le laboratoire ThéMA s'écarte du principe de fonctionnement de l'automate cellulaire, c'est sur l'aspect des règles de transitions, qui sont remplacées par des règles d'accessibilité, et surtout la présence d'une règle fractal d'urbanisation.

Même si le chargement et la visualisation des données s'effectue au format vectoriel, l'ensemble des calculs et des sorties du modèle se réalise sur une grille cellulaire aux dimensions définies au départ¹. Cette nécessité a notamment été expliquée par ?, en raison du format de l'information et des pré-requis de la programmation informatique.

En début de simulation, l'état des cellules, comme dans les premiers automates et le célèbre *Game of Life* de ?, est binaire. Puisque thématiquement le modèle ne s'occupe que de la simulation de la croissance résidentielle, l'espace est représenté, soit de façon bâtie, soit de façon non bâtie². En sortie du modèle, les cellules peuvent être d'une troisième nature, potentiellement urbanisables. En parallèle, ces cellules ont également une valeur d'intérêt à être urbanisées, issues des mesures d'accessibilité qui seront présentées par la suite. Ces valeurs sont numériques, positives et continues, comprises entre [0 ; 1].

La notion de voisinage est également partie intégrante de MUP-City. Les cellules ont un environnement composé d'autres cellules et reliées entre elles, soit par le volet multi-échelles et donc la résolution de grille supérieure ou inférieure, soit par des relations de distances, exprimées lors des calculs d'accessibilité.

Le principe d'itération de MUP-City est simple puisqu'il considère deux temps de simulation T_0 et T_1 , correspondant ici à 2010 et 2030, notre horizon de simulation pour le Luxembourg. Il n'y a donc pas de discrétisation du temps selon un pas fixé (annuel par exemple).

C'est en raison de l'absence de règles de transitions telles que formulées par ?, que MUP-City se distingue des automates cellulaires. Dans les modèles « traditionnels », le résultat de la simulation est fortement dépendant des conditions initiales et éventuellement d'un facteur de stochasticité³. Les règles de transition ne sont là que pour indiquer une probabilité de changement d'état pour

1. L'une des principales différences avec les automates cellulaires « classiques » est l'emploi d'un principe multi-échelle inhérent à la question des fractales, nous y reviendrons, voir aussi le paragraphe dédié à la question de la résolution spatiale.

2. Dans les faits, elles peuvent également être non urbanisables pour les cellules interdites à la construction.

3. Toutefois, nous verrons par la suite que la règle fractale d'urbanisation étant dotée d'une fonction aléatoire, le modèle contient une part de stochasticité.

chaque cellule. Dans notre démarche de simulation, c'est l'utilisateur qui définit le potentiel d'urbanisation (en nombre de cellules à urbaniser), ce qui remplace le phénomène d'émergence et permet aussi d'afficher des liens entre des projections démographiques données et l'aide à la décision.

MUP-City, avec ses règles d'accessibilité aux différentes aménités, s'inspire des modèles de décision multicritères. Les cellules qui seront déclarées potentiellement urbanisables font partie d'un éventail de solutions intéressantes, au regard des règles définies en début de simulation. Il n'existe pas une solution optimale unique en raison du caractère en partie aléatoire du générateur de formes fractales.

2.2. Un modèle multi-échelles

Ce qui différencie MUP-City de bon nombre des modèles de croissance urbaine présentés dans le chapitre précédent, est son caractère multi-échelles. Ce dernier est inhérent à l'utilisation des fractales pour simuler le développement résidentiel⁴. En effet, le principe même de la fractalité induit des calculs à plusieurs niveaux de résolution spatiale. Au moment du chargement des données dans le modèle, la résolution la plus fine est définie par l'utilisateur, ainsi que le facteur de réduction, d'une taille de maille grossière à une maille de taille inférieure (ou inversement) généralement établi à 3 (?). Par exemple, si la résolution spatiale la plus fine est une cellule de 20m de côté, alors la résolution spatiale précédente sera de 60m, puis 180m, 540m et ainsi de suite.

L'ensemble des données géographiques en entrée sont décomposées selon ce principe multi-échelle. Les calculs sont également effectués pour chacune des résolutions spatiales de simulation, de la plus large à la plus fine, tout comme les sorties du modèle sont disponibles pour chaque taille de cellule.

À première vue, cette caractéristique de l'outil pourrait être comparée à l'automate cellulaire à grille variable développé récemment par White, Ujje et Engelen (2012). Toutefois, là où les travaux menés sur la plateforme METRONAMICA® servent à générer des niveaux différents du micro vers le macro avec des fonctions de transitions différentes, ce sont les mêmes calculs qui sont effectués pour chaque résolution spatiale au sein de MUP-City.

4. voir pour cela la description de la règle fractale d'urbanisation par la suite.

3. La transcription des normes d'aménagement en règles dans le modèle

Comme nous l'avons vu dans la première partie, l'une des questions de recherche principales de la thèse consiste à évaluer l'intérêt d'une démarche normative pour la planification de la croissance résidentielle. Cette approche vise à définir des scénarios d'aménagement réalistes qui répondent à des objectifs concrets de prospective. Les scénarios sont simulés à l'aide de la plate-forme MUP-City que nous venons de décrire brièvement. Pour effectuer le passage des objectifs de croissance résidentielle aux résultats cartographiques de planification, les normes d'aménagement des scénarios sont traduites en règles dans le modèle. Dans la version la plus récente utilisée ici, MUP-City comprend 10 règles. Elles comportent des seuils (de distance, de valeurs, de poids) qu'il faut encore paramétrer. Cette étape de paramétrage est à considérer comme la traduction de l'approche normative en équations formalisées qui permettra au modèle de calculer le potentiel d'urbanisation. On distingue deux types de règles dans le modèle : la règle fractale d'urbanisation, qui influe sur la géographie du potentiel d'urbanisation (la localisation et l'organisation spatiale du développement résidentiel simulé) et les règles d'accessibilité, qui vont évaluer *ex-ante*, l'intérêt des cellules à être urbanisées.

La section suivante présente ces dix règles : 1) la règle d'urbanisation fractale, 2) la règle d'accessibilité aux espaces ouverts, 3) la règle de proximité à la route, 4) la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne, 5) la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire, 6) la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare, 7) la règle d'accessibilité aux transports en commun et 8) les règles d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs, de fréquentation quotidienne, hebdomadaire, mensuelle ou plus rare. Comme nous l'avons vu dans le point 2.2 précédent, l'une des caractéristiques principales de MUP-City est son aspect multi-échelles, que ce soit du point de vue des résolutions spatiales emboîtées ou de la taille du voisinage, qui est fonction de la taille des cellules et donc de la résolution spatiale considérée (voir tableau 4.2).

Intitulé des règles	Caractéristiques multi-échelles
Règle fractale	Résolutions spatiales emboîtées
Règle d'accessibilité aux espaces ouverts	Résolutions spatiales emboîtées
Règle de proximité à la route	Taille du voisinage sur l'espace cellulaire (en nombre de cellules), qui varie suivant la résolution spatiale
Règles d'accessibilité aux aménités (commerces et services, espaces verts et de loisirs et transports en commun)	Portées spatiales (distance maximale acceptable sur le réseau) variables en fonction de la nature et de la fréquence de recours de l'aménité
	Portées spatiales fixes à travers les résolutions spatiales

Tableau 4.2 – Le caractère multi-échelles des règles de MUP-City

3.1. La règle d'urbanisation fractale

Précédemment, nous avons vu que l'auto-similarité est une caractéristique intéressante des formes fractales pour la génération de formes urbaines. MUP-City utilise des calculs multi-échelles qui se succèdent selon une réduction de la taille de la grille établie en fonction d'un certain facteur, appelé facteur de réduction. D'après les travaux de Mandelbrot en 1982 et son calcul de dimension fractale, l'indice d'auto-similarité D_s peut se calculer comme suit :

$$D_s = \frac{\log(N)}{\log(\frac{1}{r})}$$

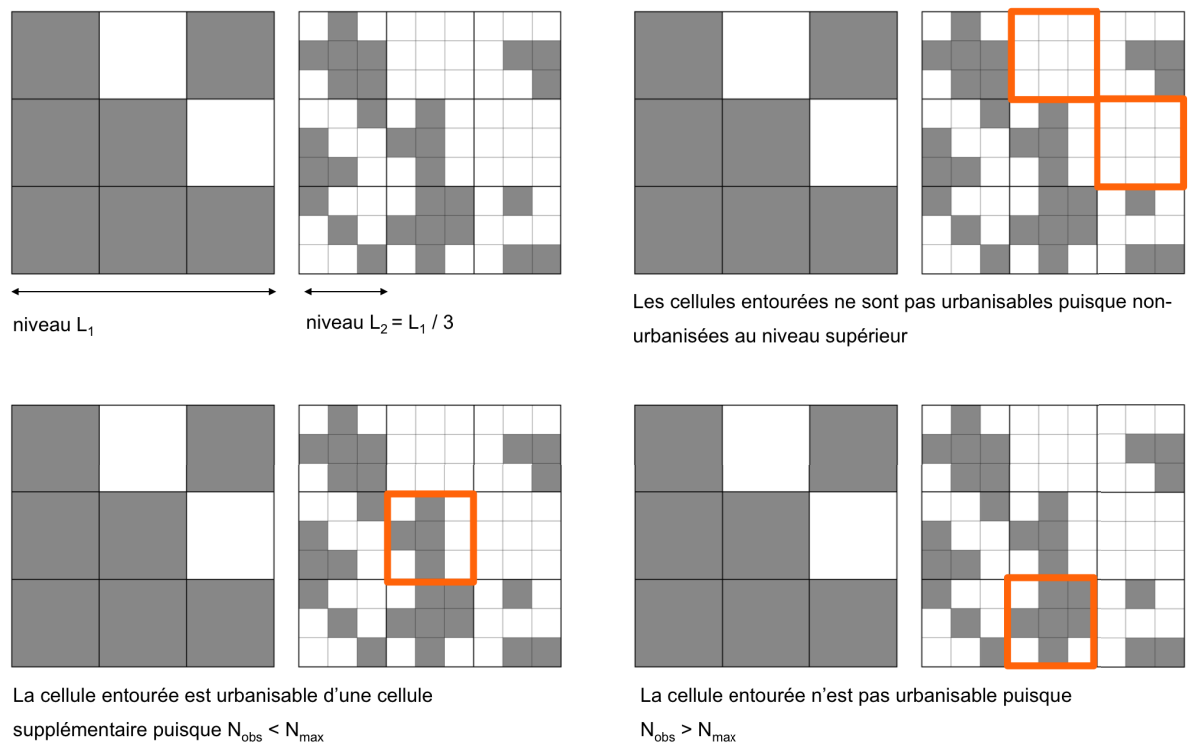
Où, N est le nombre de cellules bâties pour chaque résolution spatiale et r le facteur de réduction⁵ d'une résolution spatiale à une autre.

Le paramétrage de la règle fractale d'urbanisation consiste à définir un N_{max} , correspondant au nombre maximal de cellules de niveau inférieur potentiellement urbanisables pour une maille donnée, en fonction du N_{obs} qui est le nombre de cellules déjà urbanisées dans cette maille. L'emboîtement d'échelles permet ainsi de conserver ou non les espaces ouverts. Deux cas de figures sont

5. Le facteur de réduction est constant à une valeur de 3 pour l'ensemble des calculs de la thèse conformément aux tests déjà effectués avec des valeurs inférieures et supérieures (?).

possibles (voir figure 4.1), soit $N_{max} > N_{obs}$ et alors l'urbanisation n'est plus possible dans les cellules inférieures au niveau analysé; soit $N_{max} < N_{obs}$ et alors il est possible d'urbaniser autant de cellules que la différence $N_{max} - N_{obs}$.

Nous verrons par la suite dans les tests des différents paramètres, que le choix du N_{max} est primordial pour la suite de la démarche de simulation. La dimension fractale, par la variété des formes qu'elle permet de générer est à la base du potentiel de développement résidentiel. D'après ?, N_{max} ne doit pas être supérieur à 7, ce qui correspond à une dimension fractale de $D_s = 1.8$, de manière à « maintenir une certaine hiérarchie des espaces vides⁶ » (?).



(en gris, la cellule est urbanisée, en blanc la cellule est non-urbanisée)

FIGURE 4.1 – Illustration de la règle fractale d'urbanisation, avec $N_{max} = 5$ et $r = 3$, exemples de possibilités, d'après ?

3.2. La règle de proximité aux espaces non-bâties

L'objectif de cette règle est de permettre aux résidents, notamment en frange urbaine, d'avoir un accès direct aux espaces ouverts tout en évitant la fragmentation des espaces bâtis et non bâtis. Cette règle permet donc la résolution d'un double objectif contradictoire, par un arbitrage entre la

6. À titre indicatif, un $N_{max} = 9$ signifierait, pour un facteur de réduction de 3, la construction de l'ensemble des cellules du niveau inférieur et donc une uniformisation totale de la densité locale, avec une dimension fractale $D_s = 2$.

proximité aux espaces ouverts et la proximité au bâti déjà existant.

Pour être intéressante à urbaniser, une cellule non bâtie doit avoir :

- au moins une cellule non bâtie dans son voisinage immédiat, c'est-à-dire dans les cellules directement situées autour d'elles,
- des cellules non bâties contiguës aux cellules bâties appartenant à son voisinage immédiat, donc à un voisinage de rang 2 de la cellule évaluée,
- le plus grand nombre possible de cellules bâties autour de la cellule évaluée tout en répondant aux deux conditions énoncées ci-avant.

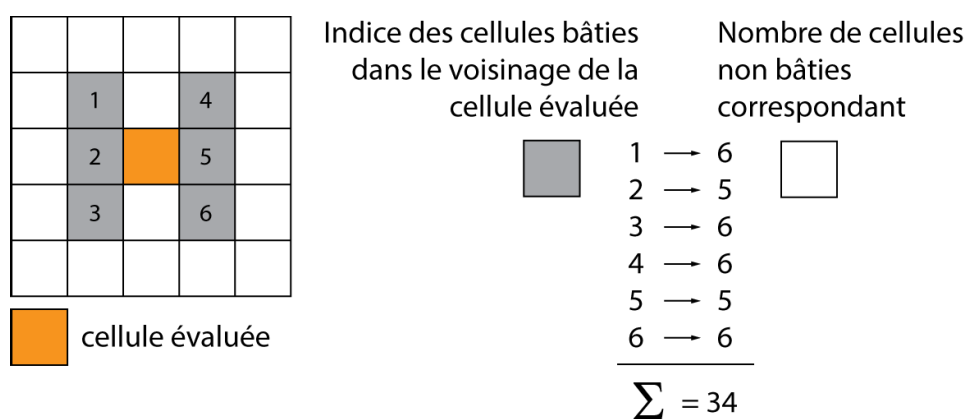


FIGURE 4.2 – Méthode de calcul de la règle d'accessibilité aux espaces ouverts, d'après (?)

Pour chaque cellule bâtie dans le voisinage immédiat de la cellule évaluée, on dénombre les cellules non bâties qui lui sont directement contiguës (voir figure 4.2). La somme de ces nombres donne la valeur d'entrée de la règle. La valeur d'évaluation $\mu(x)$ se calcule ainsi : $\mu(x) = x/34$ avec $\mu(x) \in [0;1]$, et avec x , le nombre total de cellules non bâties contiguës à chaque cellule bâtie voisine de la cellule évaluée. Le calcul de cette fonction est intégré dans MUP-City sous la forme d'une variable floue présentée sur la figure 4.3.

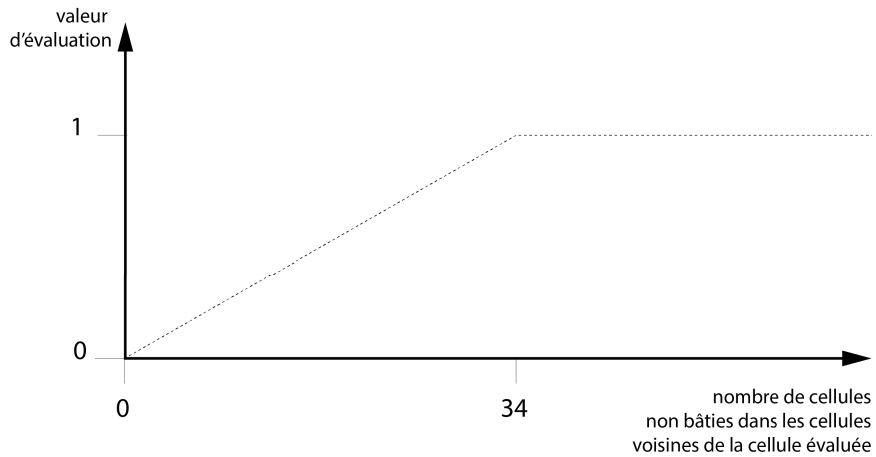


FIGURE 4.3 – Fonction d'évaluation de la règle d'accessibilité aux espaces ouverts

3.3. La règle de proximité à la route

L'objectif de cette règle est d'éviter la construction de nouvelles infrastructures de voiries, qui consomment beaucoup d'espace dans le cadre du développement résidentiel. L'évaluation de la cellule est dégradée en fonction de la distance à la route. Ce calcul est répété pour chaque taille de cellules dépendant de la résolution spatiale, comme le montre la figure 4.4. En toute logique, plus la taille de la cellule est petite, plus le nombre de cellules considéré dans le voisinage est élevé.

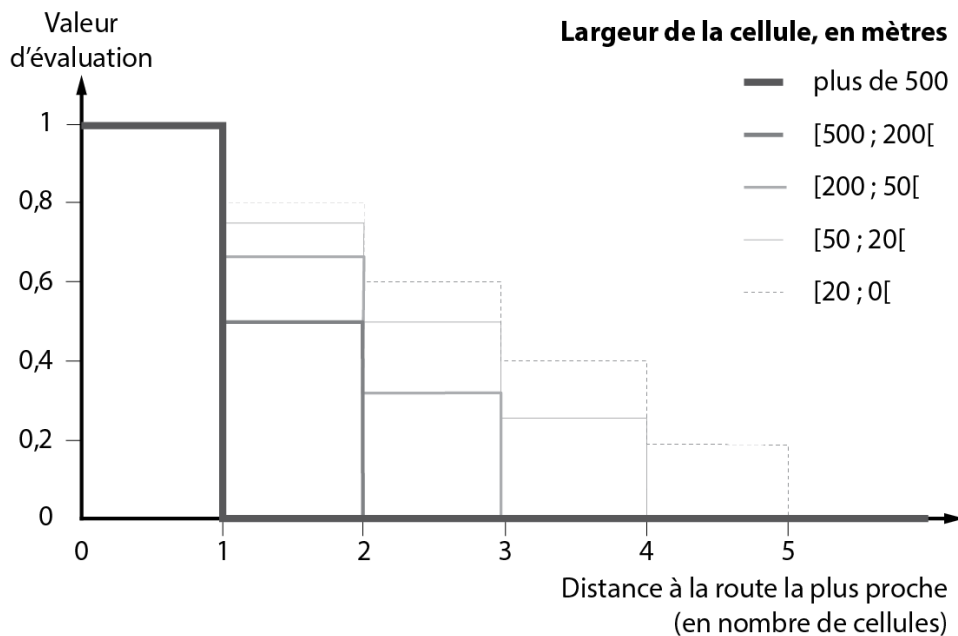


FIGURE 4.4 – Fonction d'évaluation de la règle de proximité à la route, d'après ?

3.4. La règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne, N1

Dans le voisinage d'une cellule à évaluer, si un commerce et service de fréquentation quotidienne est isolé, alors son influence n'excède pas 200m. Plus l'offre en commerces et services est importante en effectif dans un agrégat donné, plus la portée spatiale de ce dernier peut être importante. Dans le cadre des commerces et services de fréquentation quotidienne, on fixe la distance maximale acceptable à 1 000m si le nombre de commerces et services est de 4, valeur qui correspond à la moyenne des commerces et services situés dans le voisinage (200m) d'un ou plusieurs autres et qui ne sont pas isolés (voir figure 4.5). De même, plus la diversité de l'offre en commerces et services est importante, plus le plus proche voisin est susceptible d'être éloigné de la cellule résidentielle. On retiendra que trois commerces et services de natures différentes dans le voisinage d'une cellule suffisent à rendre compte d'une diversité suffisante.

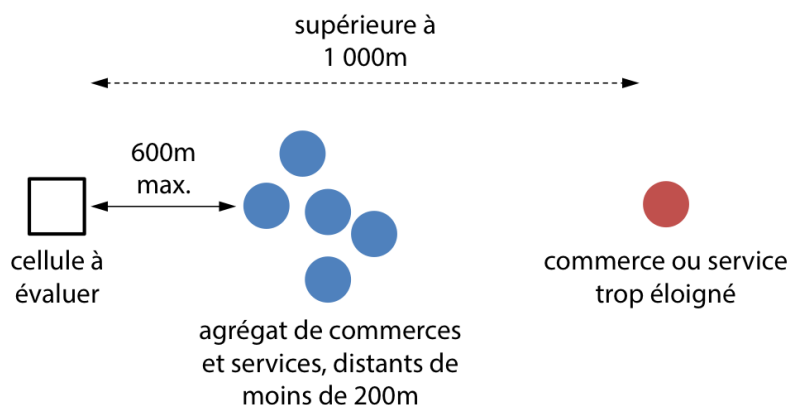


FIGURE 4.5 – Principe d'identification des agrégats de commerces et services de fréquentation quotidienne

Du point de vue de la formalisation, l'évaluation de l'accessibilité d'une cellule aux commerces et services de fréquentation quotidienne qui l'environne est effectuée à l'aide d'une variable floue définie comme suit (voir figure 4.6), si le voisinage de la cellule est composé :

- d'une seule aménité, $\mu(n) = 0,01^7$
- de 2 aménités, $\mu(n) = 0,5$
- de 4 aménités ou plus, $\mu(n) = 1$

Cette accessibilité est également fonction de la distance entre la cellule à évaluer et le ou les commerces et services avoisinants. Comme expliqué précédemment, cette distance maximale accep-

7. Note concernant la valeur minimale de $\mu(n)$ et $\mu(\delta)$: pour éviter les valeurs nulles et les erreurs de calcul, la valeur minimale des μ a été fixée à 0,01. Ce choix entraîne une modification minimale des résultats, comme nous le verrons par la suite.

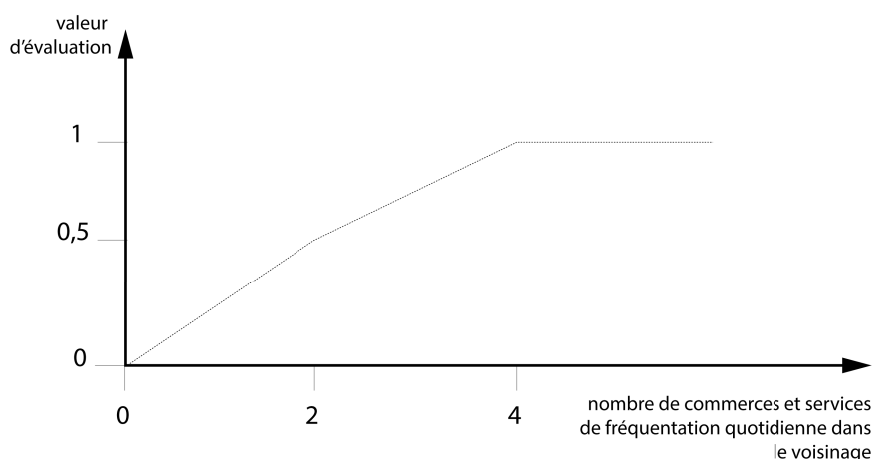


FIGURE 4.6 – Fonction d'évaluation du nombre n de commerces et services de fréquentation quotidienne

table diffère si l'aménité située dans le voisinage est isolée ou non (voir figure 4.7). On utilise également pour cela une variable floue définie comme suit :

Dans le cas de plusieurs aménités voisines

- si $d = 0$, alors $\mu(d) = 1$
- si $d = 200m$, alors $\mu(d) = 0,5$
- si $d = 600m$, alors $\mu(d) = 0$

Dans le cas d'une aménité isolée

- si $d = 0$, alors $\mu(d) = 1$
- si $d = 200m$, alors $\mu(d) = 0$

La diversité de l'offre en commerces et services de fréquentation quotidienne est également formalisée sous la forme d'une variable floue δ (voir figure 4.8), définie comme suit :

- s'il n'y a qu'un seul type d'aménités dans le voisinage d'une cellule,
 $\mu(\delta) = 0,01$
- s'il a deux types d'aménités dans le voisinage d'une cellule,
 $\mu(\delta) = 0,25$
- s'il a au moins trois types d'aménités dans le voisinage d'une cellule,
 $\mu(\delta) = 1$

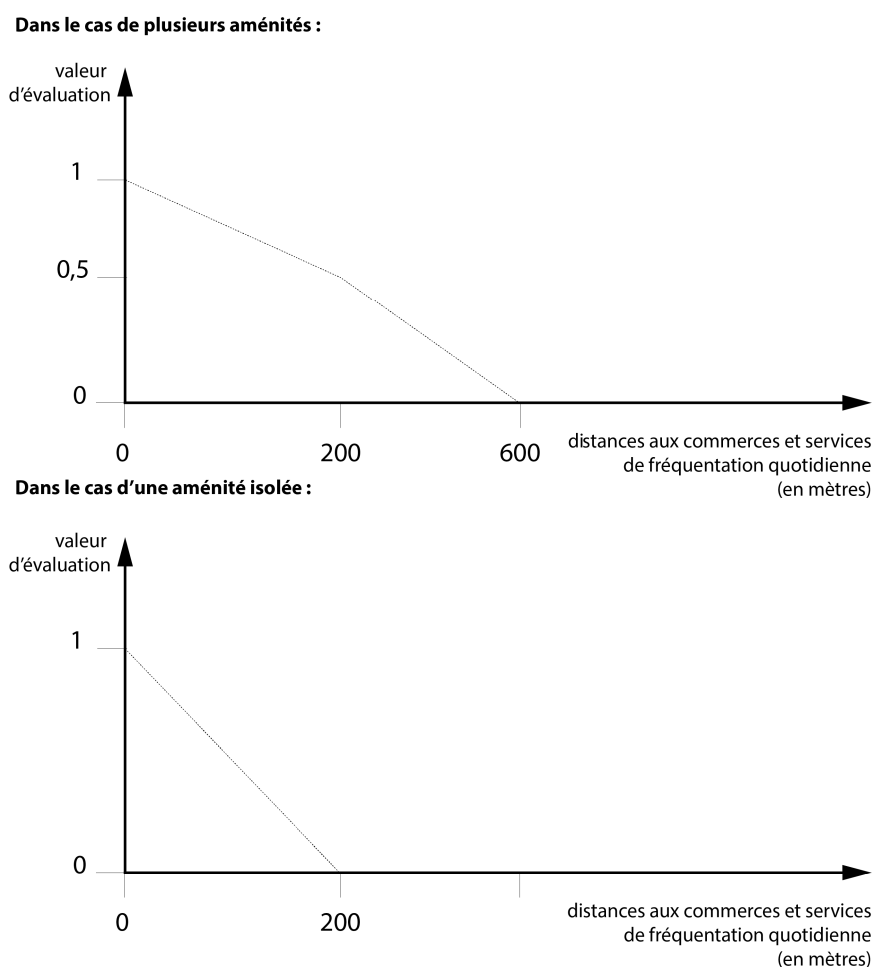


FIGURE 4.7 – Fonction d'évaluation de la distance d aux commerces et services de fréquentation quotidienne

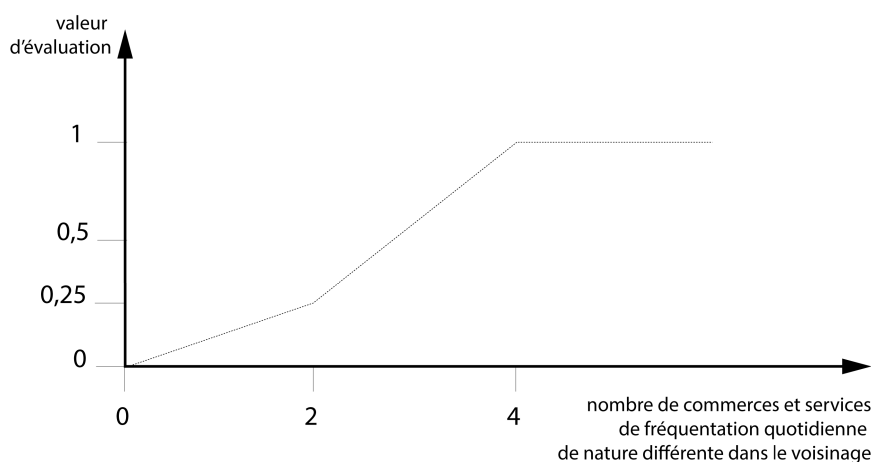


FIGURE 4.8 – Fonction d'évaluation de la diversité δ des commerces et services N1 à moins de 1 000 mètres

L'ensemble des variables, représentées par des variables floues, sont intégrées dans MUP-City à l'aide d'un opérateur d'agrégation. Il est construit sur la base de deux postulats à propos des commerces et services de fréquentation quotidienne ou hebdomadaire.

Premier postulat :

La diversité des types d'activités dans un agrégat de commerces et services augmente l'attractivité de cet agrégat de plusieurs façons. Dans tous les cas, elle ne la diminue jamais. La formalisation retenue est la suivante : une valeur $\mu(\delta_j)$ allant de 0 à 1. Plus la valeur de $\mu(\delta_j)$ se rapproche de 1, plus l'agrégat est attractif. Dans ce cas, le couple $\mu(n_j)^{1-\mu(\delta_j)}$ est égal à 1.

Deuxième postulat :

D'une cellule, l'accessibilité à un agrégat est définie comme la combinaison de l'attractivité de cet agrégat et de la distance maximale acceptable depuis la cellule. Quand la distance entre une cellule et un agrégat commercial est élevée (se rapprochant de 1 000m), le processus d'agrégation est pessimiste : une bonne évaluation des caractéristiques de l'agrégat (nombre important de commerces ou services et bonne diversité) ne compense pas la mauvaise évaluation de la distance. Quand la distance entre une cellule et un agrégat commercial est courte (se rapprochant de 0m), le processus d'agrégation est optimiste : une mauvaise évaluation de l'agrégat (faible nombre de commerces et/ou services d'un seul type) est compensée par une bonne évaluation de la distance.

Soit n_j le nombre d'établissements dans un agrégat commercial j

Soit δ_j le nombre de types d'établissements dans un agrégat commercial j

Soit d_{ij} la distance entre la cellule et l'établissement le plus proche

Soit Y_{ij} l'attractivité d'un agrégat commercial j , alors

$$Y_{ij} = \left[\mu(n_j)^{1-\mu(\delta_j)} \cdot \mu(d_{ij}) \right]^{1-\mu(d_{ij})} \cdot \left[1 - \left(1 - \mu(n_j)^{1-\mu(\delta_j)} \right) \cdot (1 - \mu(d_{ij})) \right]^{\mu(d_{ij})}$$

Quand on prend en compte tous les agrégats j existants dans le voisinage d'une cellule, on obtient φ_i , l'évaluation de l'accessibilité d'une cellule résidentielle i , aux commerces et services quotidiens et hebdomadaires.

$$\varphi_i = 1 - \prod (1 - Y_{ij})$$

3.5. La règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire, N2

Dans le voisinage d'une cellule à évaluer, si un commerce et service de fréquentation hebdomadaire est isolé, alors son influence n'excède pas 600m. Plus l'offre en commerces et services est importante en effectif dans un agrégat donné, plus la portée spatiale de ce dernier peut être importante. Dans le cadre des commerces et services de fréquentation hebdomadaire, on fixe cette limite à 2 000m si le nombre de commerces et services est de 10, valeur correspondant à la moyenne des commerces et services situés dans le voisinage (200m) d'un ou plusieurs autres commerces ou services non isolés (voir figure 4.9). Le seuil de 2 000 mètres a été obtenu en multipliant la valeur maximale du recours quotidien par deux. Cette démarche se justifie en incluant dans ce niveau de commerces et services la possibilité d'accéder aux aménités en bicyclette, ce qui rallonge fortement la distance maximale qu'il est possible de parcourir. En 1993, d'après une étude menée par l'INRETS-INSEE, un trajet moyen en deux-roues non-motorisé en milieu urbain excède rarement 3 000 mètres. Avec un seuil défini à 2 000m, un compromis entre la marche à pied et le vélo a été trouvé. De même, plus la diversité de l'offre en commerces et services est importante, plus la portée spatiale de la règle est grande. On retiendra que 10 commerces et services de nature différente dans le voisinage d'une cellule suffisent à rendre compte d'une diversité suffisante.

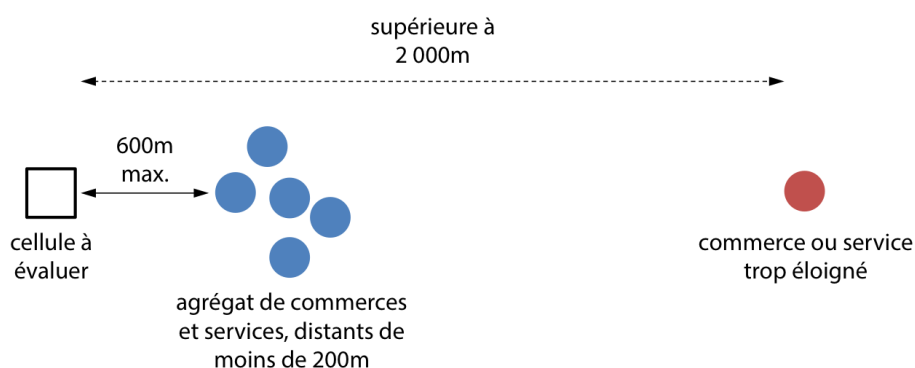


FIGURE 4.9 – Principe d'identification des agrégats de commerces et services de fréquentation hebdomadaire

Du point de vue de la formalisation, l'évaluation de l'accessibilité d'une cellule aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire qui l'environnent est effectuée à l'aide d'une variable floue définie comme suit (voir figure 4.10), si le voisinage de la cellule est composé :

- d'une seule aménité, $\mu(n) = 0$,
- de 5 aménités, $\mu(n) = 0,5$,

- de 10 aménités ou plus, $\mu(n) = 1$

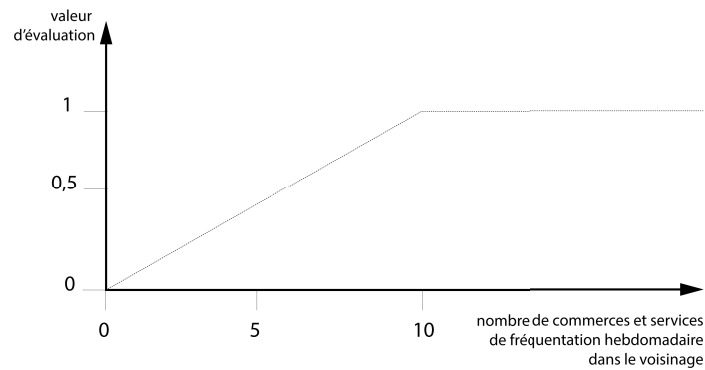


FIGURE 4.10 – Fonction d'évaluation du nombre n de commerces et services de fréquentation hebdomadaire

Cette accessibilité est également fonction de la distance maximale acceptable entre la cellule à évaluer et le ou les commerces et services avoisinants. Comme expliqué précédemment, cette distance diffère si l'aménité est située à proximité d'autres aménités ou si elle est isolée (voir figure 4.11). On utilise également à cette effet une variable floue définie comme suit :

Dans le cas de plusieurs aménités voisines :

- si $d = 0$, alors $\mu(d) = 1$,
- si $d = 600m$, alors $\mu(d) = 0,5$,
- si $d = 2\ 000m$, alors $\mu(d) = 0$

Dans le cas d'une aménité isolée :

- si $d = 0$, alors $\mu(d) = 1$,
- si $d = 300m$, alors $\mu(d) = 0,5$,
- si $d = 600m$, alors $\mu(d) = 0$

La diversité de l'offre en commerces et services de fréquentation hebdomadaire est également formalisée sous la forme d'une variable floue δ (voir figure 4.12), définie comme suit :

- s'il n'y a qu'un seul type d'aménités dans le voisinage d'une cellule, $\mu(\delta) = 0$,
- s'il y a 10 types d'aménités dans le voisinage d'une cellule, $\mu(\delta) = 1$

L'agrégation des trois variables floues (nombre, diversité, distance) pour la mesure de l'accessibilité aux commerces et services de fréquence de recours hebdomadaire a fait l'objet de la même

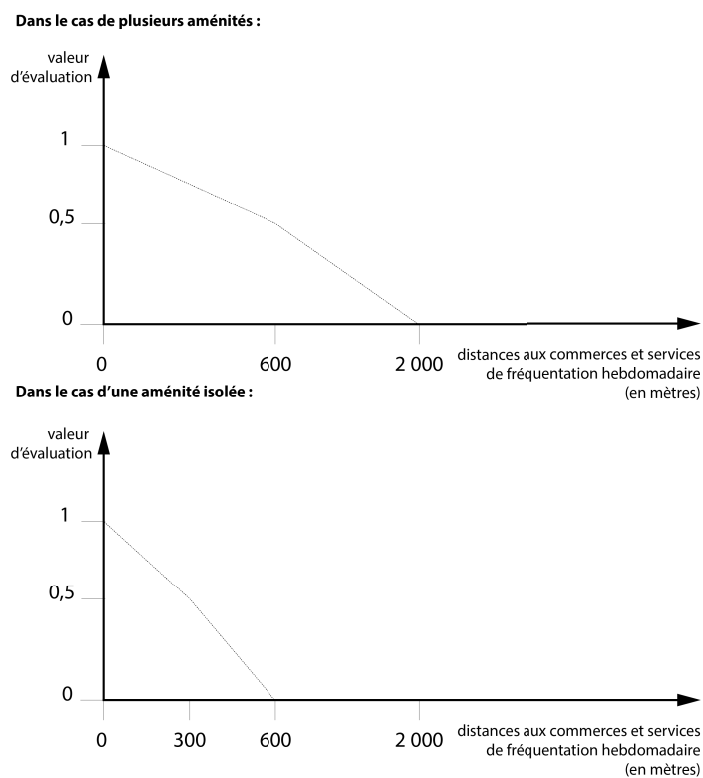


FIGURE 4.11 – Fonction d'évaluation de la distance d aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire

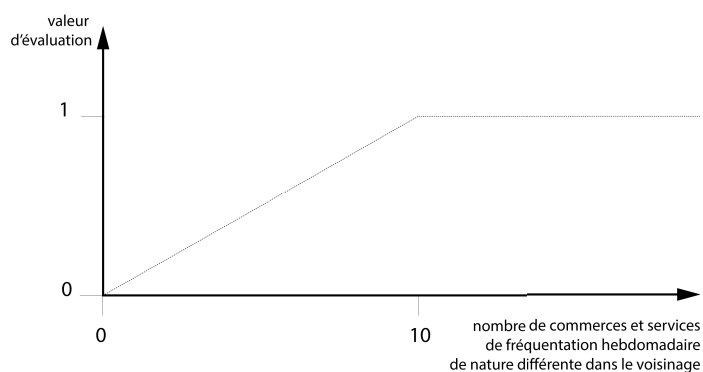


FIGURE 4.12 – Fonction d'évaluation de la diversité des commerces et services de fréquentation hebdomadaire

méthode de calcul que pour les commerces et services de fréquence de recours quotidien.

3.6. La règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare, N3

Contrairement aux commerces et services de fréquentation quotidienne et hebdomadaire, où il est intéressant d'avoir une offre conséquente à une distance qui peut être parcourue en marche à pied (entre 500m et 2 000m), on peut considérer qu'avoir un commerce ou service de chaque catégorie à une proximité « raisonnable » de la cellule est suffisant. Par exemple, il n'est pas nécessaire d'avoir deux hôpitaux, deux dentistes ou deux bibliothèques à proximité immédiate de son domicile. En revanche, il est intéressant d'être à quelques dizaines de minutes de l'ensemble de ces commerces et services. Cette position est aussi justifiable au regard de l'accessibilité aux administrations publiques. Il n'est pas indispensable d'être à équidistance de deux administrations communales, puisque par définition un logement se situe dans une seule commune. Dans ce cas, la proximité à la mairie la plus proche est recherchée.

L'objectif de cette règle est d'évaluer la distance maximale acceptable aux m aménités les plus proches de type différent et doit être égale ou inférieure à une norme de distance. Comme les commerces et services de fréquentation potentielle mensuelle ou plus rare correspondent à des fonctions centrales, nous considérons une accessibilité en voiture.

Pour chaque établissement de type δ :

Soit d_{ij} la distance-temps minimum entre la cellule i et le commerce ou service j ,

Soit n le nombre d'établissements j ,

Avec $D_j = \{d_{i1}, \dots, d_{ij}, \dots, d_{in}\}$

$$\lambda_{ij} = \text{MIN}[D_j]$$

Soit m le nombre de types d'établissements différents : $\delta = \{1, 2, \dots, m\}$

Soit Λ_i la distance aux m aménités les plus proches de types différents pour la cellule i et les commerces ou services j , alors :

$$\Lambda_i = \frac{1}{m} \sum_{\delta=1}^m \lambda_{ij}$$

Le résultat de la règle consiste en l'évaluation de la distance maximale acceptable Λ_i au moyen d'une variable floue $\mu(\Lambda)$ pour laquelle la norme de distance fixée, la médiane de la distribution des distances aux m aménités les plus proches de tous les résidents, correspond à la valeur $\mu(\Lambda) = 1$. Le troisième quartile de cette distribution correspond à la valeur $\mu(\Lambda) = 0$ (voir figure 4.13).

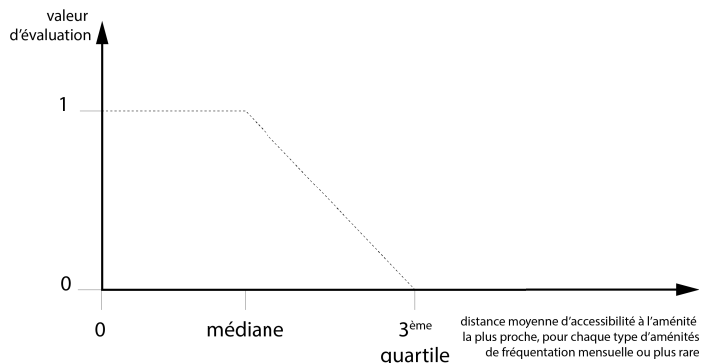


FIGURE 4.13 – Fonction d'évaluation de la distance Λ aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare

3.7. La règle d'accessibilité aux transports en commun

L'accessibilité aux transports en commun se mesure comme la potentialité d'accéder aux infrastructures ferroviaires ou aux arrêts de bus. L'accessibilité est définie ici comme le fait d'avoir une gare ferroviaire ou un arrêt de bus dans un environnement proche. Cette commutativité est formalisée par l'emploi de la fonction MAX dans le calcul de l'indicateur. Les portées spatiales des deux aménités sont différentes :

- les haltes et gares ferroviaires ont un seuil de 2 000m autour de la halte pour définir la variable floue $\mu(fer)$
- les arrêts de bus ont un seuil de 500m de la cellule pour définir la variable floue $\mu(bus)$.

L'évaluation de l'accès au réseau de transport en commun se calcule ainsi :

$$MAX[\mu(bus); \mu(fer)]$$

3.8. La règle d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs, de fréquentation quotidienne N1, hebdomadaire N2 et mensuelle ou plus rare N3

Les parcs et jardins, les terrains de sports ainsi que les centres sportifs sont traités de façon relativement similaire aux commerces et services de fréquentation quotidienne ou hebdomadaire mais avec des portées spatiales différentes. Lors de l'évaluation d'une cellule potentiellement urbanisable, un bon accès piéton ou cycliste à un nombre restreint de ces aménités est suffisant pour obtenir une valeur d'accessibilité élevée. Par exemple, avoir un accès à un seul terrain de football est aussi intéressant que l'accès à deux de ces terrains. En revanche, avoir accès à un terrain de football et à un ou plusieurs courts de tennis est fortement valorisé.

Par ailleurs, pour définir la typologie des bois et forêts au Luxembourg, nous nous sommes inspirés de la typologie des espaces naturels établie par Natural England, au travers de l'Accessible Natural Greenspace Standard (ANGSt, 2008) :

- L_1 : espace vert de moins de 2Ha : distance maximale acceptable 300m,
- L_2 : espace vert de moins de 20Ha : distance maximale acceptable 2 000m,
- L_2 ou L_3 : espace vert de moins de 100Ha : distance maximale acceptable 5 000m,
- L_3 : espace vert de moins de 500Ha : distance maximale acceptable 10 000m.

Après analyse du cas luxembourgeois et la mesure de ses surfaces boisées, il s'est avéré nécessaire de reconsidérer les seuils définis par Natural England pour les adapter au Grand-Duché. Il fallait également intégrer à cette typologie les parcs et jardins, et les terrains ou équipements sportifs. La typologie suivante a finalement été définie :

- Fréquentation quotidienne L_1 : parcs et jardins, bois et forêts de moins de 2Ha, distance maximale de 300 mètres,
- Fréquentation hebdomadaire L_2 : terrains de sports (football, tennis), centres sportifs (golfs, piscines, gymnases), bois et forêts de 2 à 100Ha, distance maximale de 2 000 mètres,
- Fréquentation mensuelle ou plus rare L_3 : bois et forêts de plus de 100Ha, distance maximale de 5 000 mètres.

Le calcul de l'accessibilité aux espaces verts s'effectue en deux étapes. D'abord, l'accessibilité à l'aménité la plus proche de chaque type et de chaque fréquence de recours est calculée. Dans un deuxième temps, les résultats de la première étape sont agrégés à l'aide d'un opérateur d'agrégation construit selon les postulats suivants : 1) meilleures sont les évaluations partielles, meilleure doit être l'évaluation globale ; 2) à une même distance, mieux vaut deux aménités différentes qu'une seule ; 3) une seule aménité très proche est moins intéressante qu'une aménité très proche et une

autre plus éloignée. Il s'agit d'une approche cumulative, et il n'y a pas de compensation. Autrement dit, jamais une mauvaise évaluation partielle ne doit faire diminuer une bonne évaluation partielle. Il faut donc que l'opérateur d'agrégation donne des résultats supérieurs ou égaux au maximum, et d'autant supérieurs que le nombre d'évaluations partielles à agréger est élevé. Ainsi, le nombre de critères agrégés doit augmenter l'optimisme de l'opérateur. Nous ne traitons que le cas des aménités les plus proches ; les aménités dont l'évaluation partielle est égale à 0 (distances supérieures aux seuils de 300, 2 000 ou 5 000 mètres) ne sont pas considérées.

L'exemple qui suit présente le détail du calcul pour le niveau L_1 , il en est de même pour les niveaux L_2 et L_3 .

Soit $y_i(L_1)$ le nombre d'aménités différentes de niveau L_1 , dont l'évaluation est supérieure à 0, au voisinage de la cellule i considérée⁸.

Soit $y_{max}(L_1)$ le nombre maximal d'aménités différentes de niveau L_1 au voisinage de la cellule,

Soit $o_i(L_1)$ le degré d'optimisme de l'opérateur en fonction du nombre d'évaluations partielles à agréger⁹, alors :

$$o_i(L_1) = 1 - \left[(y(L_1) - 1) \times \left(\frac{1}{(y_{max}(L_1) - 1)} \right) \right]$$

Soit $s_i(L_1)$ l'évaluation globale d'une cellule i aux aménités vertes et de loisirs de niveau L_1 , alors :

$$s_i(L_1) = [MAX(\mu_i[L_1(forest)]; \mu_i[L_1(parc)])]^{o_i(L_1)}$$

8. Dans le cas où $y_{max}(L_1) = 2$, quand une cellule compte deux aménités différentes de niveau L_1 à moins de 300m, son évaluation globale $s_i(L_1)$ est toujours égale à 1, quelles que soient les valeurs d'évaluation partielles.

9. N'est calculé que dans les cas où $y_{max}(L_1) > 0$.

3.9. L'agrégation des différentes valeurs d'accessibilité en une valeur synthétique d'évaluation

Avec l'ensemble des neuf¹⁰ règles énoncées précédemment, nous obtenons autant de valeurs d'évaluation, toujours comprises entre [0 : 1]. Pour obtenir une valeur synthétique d'évaluation, nous avons choisi la méthode d'agrégation de Yager (1977).

Par défaut, une priorité sera donnée à l'accessibilité aux commerces et services ainsi qu'aux aménités vertes et de loisirs, en adéquation avec les hypothèses générales de la démarche de simulation. Une variation pourra être apportée dans le cadre d'un scénario en faveur des transports en commun, où la priorité sera accordée à l'accessibilité aux arrêts de bus et aux gares ferroviaires. Cette pondération ne devra pas pour autant trop négliger l'accessibilité aux autres aménités. De fait, certaines importances entre les règles seront identiques. De même, les règles morphologiques et de proximité à la route doivent être prises en compte sans pour autant qu'elles interfèrent avec les autres règles pour ne pas pénaliser l'évaluation globale des cellules considérées.

Pour déterminer les poids (ou valeurs d'importances) des différentes règles, une méthode empruntée aux outils d'aide à la décision a été adoptée (Saaty, 1977). Cette méthode permet de comparer les règles deux à deux afin d'identifier dans chaque paire quelle règle est la plus importante, et de quantifier cette importance. À cette fin, un tableau semblable au tableau 4.3 a été construit. Dans cet exemple, nous utilisons deux règles, l'accessibilité aux commerces de fréquence de recours quotidiens F_1 , l'accessibilité aux aménités vertes ou de loisirs de fréquence de recours hebdomadaire L_2 . Les valeurs d'importances font directement suite aux travaux de Saaty et ont fait l'objet de quelques tests, de sorte que celles-ci soient comprises entre 1 et 7 (et toujours impaires).

10. La règle fractale d'urbanisation n'entre pas en compte dans l'agrégation des différentes règles ; elle fonctionne de façon indépendante.

Importance de F_1 par rapport à L_2	Définition
1	Égale importance de la règle F_1 par rapport à la règle L_2
3	Faible importance de la règle F_1 par rapport à la règle L_2
5	Forte importance de la règle F_1 par rapport à la règle L_2
7	Importance absolue de la règle F_1 par rapport à la règle L_2

Tableau 4.3 – Valeurs d'importance accordées à une règle par rapport à une autre

Par la suite, voici un exemple pour déterminer les poids relatifs dans le cas de trois règles, à savoir les deux règles précédentes plus la règle d'accessibilité aux transports en commun TC . Si la règle F_1 est plus importante que la règle L_2 , on affecte à F_1 une valeur d'importance du tableau ci-dessous $w_{F_1 L_2}$ et on affecte à L_2 la valeur $[1/(w_{F_1 L_2})]$.

Importance d'une règle par rapport à une autre	Poids d'une règle	Valeur d'importance correspondante pour l'autre règle
L_2 est un peu plus importante que F_1	$w_{F_1 L_2} = 1/3$	$w_{L_2 F_1} = 3$
TC est entre égal et légèrement plus importante que F_1	$w_{F_1 TC} = 1/2$	$w_{TC F_1} = 2$
L_2 est légèrement plus importante que TC	$w_{L_2 TC} = 3$	$w_{TC L_2} = 1/3$

Tableau 4.4 – Comparaison par paires de l'importance des règles. Exemple pour trois règles F_1 , L_2 et TC

À partir du tableau 4.4, nous créons une matrice de comparaison des importances (F_1, L_2, TC) en lignes et en colonnes).

$$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 \\ 3 & 1 & 3 \\ 2 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

On calcule ensuite le vecteur propre de cette matrice. Les poids w correspondent alors aux valeurs du vecteur propre multipliées par le nombre d'attributs considérés, égal à 3 dans l'exemple choisi, du fait de la présence de trois règles.

$$w = \begin{pmatrix} 0,48 \\ 1,77 \\ 0,75 \end{pmatrix}$$

Enfin, l'ensemble des vecteurs propres sont agrégés en utilisant l'opérateur de Yager (1977) :

Soit S_i l'intérêt synthétique à ce que la cellule i soit urbanisée

Soit $s_i(r)$ l'évaluation de la cellule i issue de la règle r

Soit w_r le poids de la règle r ,

$$S_i = \text{MIN}[s_i(1)^{w_1}; s_i(2)^{w_2}; \dots; s_i(r)^{w_r}]$$

Ainsi, la valeur d'évaluation de chacune des neuf règles est agrégée, avec une pondération égale à sa valeur de w .

4. Les données nécessaires pour la simulation de scénarios de croissance résidentielle

Deux types de données spatiales sont nécessaires à la simulation des scénarios d'aménagement à l'aide de la plateforme MUP-City. D'une part, des données géographiques « de base » servent de référentiel spatial et sont indispensables aux calculs d'accessibilité : réseau routier, bâti existant, zones non constructibles. D'autre part, les données d'aménités sont essentielles afin d'appliquer les règles d'accessibilité qui régissent le modèle. Ces couches comprennent les commerces et services, ainsi que les espaces verts et de loisirs, toutes deux décomposées en trois niveaux de recours potentiel (quotidien, hebdomadaire, mensuel ou plus rare). L'ensemble des données d'entrées au modèle est synthétisé dans la carte ci-dessous.

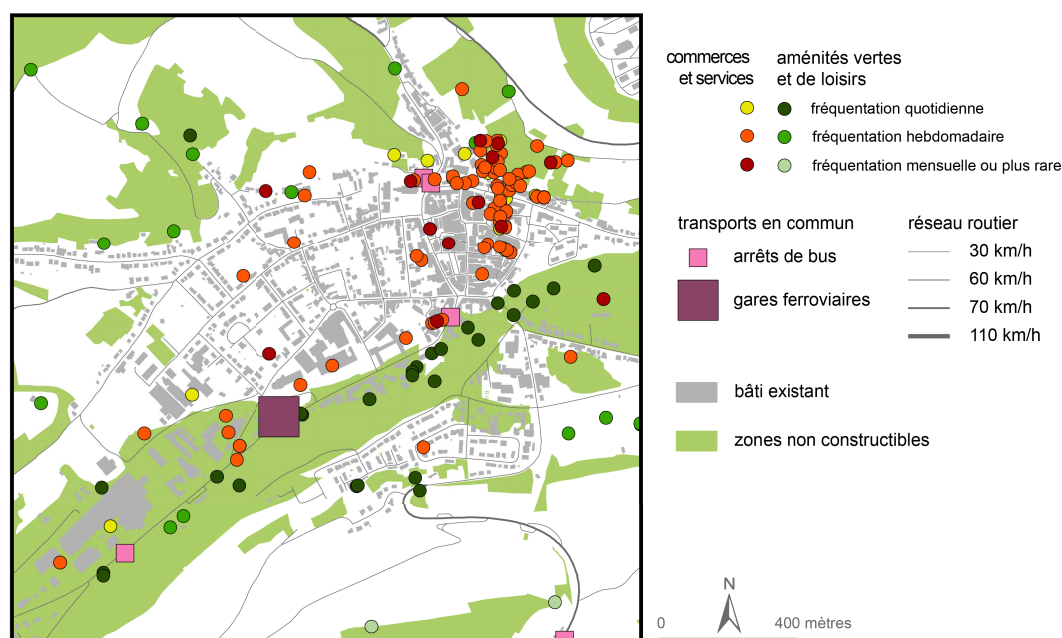


FIGURE 4.14 – Données nécessaires à la création de scénarios de croissance résidentielle

Les données d'aménités ont été recensées à partir de deux types de sources :

- Des bases de données à l'adresse, issues de listes/tableaux déjà présentes au CEPS/INSTEAD ou obtenues après une acquisition supplémentaire dans le cadre d'échanges avec l'Observatoire du Développement Spatial. Ces données concernent les commerces et services.
- Des bases topographiques, générées à partir d'observations aériennes/satellites et traitements SIG. Ces données ont permis d'obtenir les couches d'aménités vertes et de loisirs. La liste des aménités a été obtenue à partir des travaux précédents concernant le projet MUP-City et ont été mis en adéquation avec ce qui est disponible à l'échelle du Luxembourg.

4.1. Les données géographiques de base

4.1.1. Le bâti existant

La bâti existant au début de la simulation est obtenu par extraction de l'ensemble des polygones bâtis de la base de données topographiques du Luxembourg, produite par l'IGN en 2010, la BD-LTC¹¹. Même si la simulation ne concerne que la projection des bâtiments résidentiels, l'ensemble des constructions a été intégré au départ afin que le potentiel d'urbanisation de 2030 ne se localise pas sur des bâtiments déjà existants. Cette remarque est d'autant plus justifiée pour la région Sud du Luxembourg, au fort caractère industriel, dont de vastes étendues sont localisées dans des zones industrielles encore en activité, ou le cas échéant, encore dans des propriétés privées et donc non disponibles à l'urbanisation future.

4.1.2. Le réseau routier

Le réseau routier a également été tiré de la base de données topographiques du Luxembourg (BD-LTC, 2010). Les sentiers et chemins n'ont pas été inclus, des tests sur des échantillons de données ayant montré que leur prise en compte : 1) ne produisait pas de résultat significativement différent dans les mesures d'accessibilité, 2) ralentissait considérablement les temps de calculs et 3) multipliait considérablement le poids des données à manipuler au regard du nombre d'entités à ajouter dans le SIG.

Par rapport à la couche originelle, un champ a été ajouté pour la vitesse de circulation théorique, nécessaire aux calculs d'accessibilité en voiture. Cette vitesse est fonction de la typologie des voies de circulation et de leur localisation. Quatre classes ont été retenues :

- 30 km/h : pour les routes localisées en agglomération, où le trafic est généralement pulsé, c'est à dire soumis aux contraintes des feux de circulation et des intersections,
- 60 km/h : pour les routes secondaires, hors des agglomérations,
- 70 km/h : pour les routes principales, hors des agglomérations,
- 110 km/h : pour les 2 x 2 voies rapides, de type autoroutier.

Bien sûr, ces vitesses sont théoriques et ne sont pas les vitesses issues de la réglementation routière en vigueur au Luxembourg. Elles tiennent compte d'une dégradation de leur valeur qui peut être le résultat de la qualité de la chaussée, des caractéristiques du véhicule et de son conducteur, des conditions de circulation (congestion), des conditions climatiques (précipitations, visibilité réduite), etc.

11. Base de données topo/cartographique du Luxembourg, BD-LTC, IGN, 2010.

4.1.3. Les zones non constructibles

La prise en compte des zones non constructibles dans les différents scénarios permet de proposer des options d'aménagement en conformité avec les restrictions auxquelles tous les territoires sont confrontés. D'après l'IVL, environ 60% du territoire luxembourgeois est à préserver. Ces restrictions sont de deux natures : naturelles et anthropiques. Les zones non constructibles d'origine naturelle sont fonction de l'environnement des espaces urbanisables, elles dépendent des caractéristiques du site. Les zones humides, les espaces de biotopes à protéger, le réseau hydrographique ou les grands espaces boisés par exemple, sont autant d'éléments qui contraignent la croissance urbaine mais qui nécessitent d'être préservés. Parallèlement, certaines installations anthropiques nécessitent des précautions quant à l'installation d'habitations à proximité (abords des autoroutes, installations électrique, etc.). Les documents d'urbanisme et législatif luxembourgeois confirment ces indications et précisent leurs modalités.

Les éléments à prendre en compte dans la construction de la couche des zones non constructibles sont : forêt, bois, zones protégées ; zones inondables ou zones humides ; cours d'eau / rivières / lacs ; aérodromes et aéroport ; autoroutes (zone tampon de 100m de part et d'autre) ; voies ferrées (zone tampon de 100m de part et d'autre) ; bassins ou zones de traitements des eaux ; dépotoirs et sites d'enfouissement ; etc.

4.2. Les données liées aux aménités

4.2.1. Les transports en commun

La couche des transports en commun au Luxembourg est composée des arrêts de bus et des gares ferroviaires. C'est une couche ponctuelle géolocalisée à l'adresse. Elle a été obtenue grâce à une convention entre le CEPS/INSTEAD et la Communauté des Transports luxembourgeoise (*Verkeiersverbond*). Les gares ferroviaires sont celles de la CFL, Compagnie des Chemins de Fers Luxembourgeois. Les arrêts de bus sont ceux des grands opérateurs de transport urbains et interurbains exerçant au Luxembourg (AVL¹², TICE¹³, RGTR¹⁴).

Dans les calculs d'accessibilité aux arrêts de bus, il aurait été intéressant de ne prendre en compte que le réseau de bus dit « structurant », c'est-à-dire où il est susceptible de pallier l'absence de transport ferroviaire à proximité parce qu'il possède des arrêts avec une offre conséquente en matière de

12. Autobus de la Ville de Luxembourg

13. Transport Intercommunal de Personnes dans le canton d'Esch-sur-Alzette

14. Régime Général des Transports routiers

desserte et de fréquence de passage. D'après les travaux menés dans le cadre du SCOT de l'agglomération de Lille, un arrêt de bus est considéré comme structurant à partir de 20 passages par jour et par sens de circulation. Toutefois, en l'absence de cette information au moment des calculs d'accessibilité, il n'a pas été possible de différencier les petits des grands arrêts de transports en commun routier. Nous verrons par la suite que la prise en compte des 2 000 arrêts de bus luxembourgeois ne devrait pas influencer de façon trop positive les évaluations des cellules potentiellement urbanisables.

4.2.2. Les commerces et services

Les commerces et services tout comme les aménités vertes et de loisirs sont regroupés en trois niveaux, correspondant au niveau de recours (théorique) et aux hypothèses d'aménagement décrites précédemment (voir figure 4.16). La liste des aménités et leurs adresses ont été géolocalisées à l'aide d'un batch géocodeur, routine informatique qui permet de générer les coordonnées X et Y d'un point à partir de son adresse postale physique (?). Le principe général est illustré par la figure 4.15.

Pour cela, nous avons eu recours à la base de données d'adresse de Google, enrichie à l'aide d'un algorithme. Un codage manuel via la plateforme Google Earth et une recherche Internet dans le cas des adresses non localisées par le précédent processus a complété les quelques erreurs obtenues. En sortie, nous obtenons une table d'adresses de l'ensemble des commerces et services et leurs coordonnées X et Y correspondantes. Ce fichier permet la génération d'un shapefile sous SIG (ArcMap 10.0 : Create Feature Class » From X/Y table). Une dernière vérification visuelle aléatoire a permis d'apporter de légères corrections lorsque c'était nécessaire.

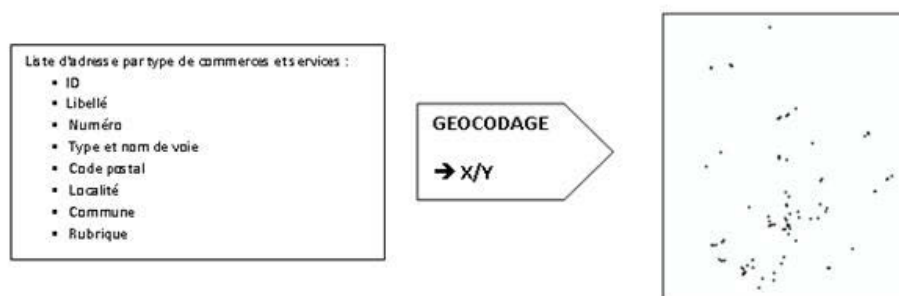


FIGURE 4.15 – Principe du géocodage d'adresses et obtention de données géographiques

Commerces et services	Espaces verts et de loisirs
Fréquentation quotidienne	Fréquentation quotidienne
Alimentations générales, biologiques, sportives, épiceries,...	Parcs urbains – jardins publics
Boulangeries, pâtisseries, chocolatiers, confiseurs	Forêts, bois, de moins de 2Ha
Boucheries, charcuteries, poissonneries, volailles, fromageries	
Crèches	Fréquentation hebodmadaire
Ecoles fondamentales, enseignement privé	Terrains de football
Supérettes	Terrains de tennis
Tabacs, presse/journaux	Terrains de golf
	Gymnases
Fréquentation hebodmadaire	Piscines
Agences bancaires	Forêts, bois, de 2 à 100Ha
Cafés - Bars	
Coiffeurs	Fréquentation mensuelle ou plus rare
Commerces de chaussures	
Commerces de vêtements	Forêts, bois, de plus de 100Ha
Distributeurs de billets	
Fitness centers	
Fleuristes	
Lavage de voitures	
Médecins généralistes	
Pharmacies	
Postes	
Pressings – blanchisseries	
Restaurants	
Stations services	
Supermarchés / hypermarchés	
Fréquentation mensuelle ou plus rare	
Administrations publiques	
Aménités culturelles (théâtre, cinéma, bibliothèques, salles de spectacles)	
Dentistes	
Hôpitaux – maisons médicales	
Librairies	
Mairies	
Médecins spécialistes	

FIGURE 4.16 – Ensemble des aménités prises en compte dans le modèle

4.2.3. Les espaces verts et de loisirs

4.2.3.1. Le cas des parcs, jardins publics et jardins familiaux

Sous SIG, les données de la base d'occupation biophysique du sol du Grand Duché du Luxembourg (OBS¹⁵) ont été sélectionnées puis triées afin de retenir ce qui est défini comme parc ou jardin, c'est-à-dire :

« Les espaces verts sont recensés en fonction de leurs équipements et de l'entretien qui y est accompli, dans une optique de détente et de loisirs, et qui sont généralement ouvertes au public. Les zones représentent habituellement des biotopes complexes, d'herbe tondue, d'arbustes ornementaux, d'arbres et des groupes d'arbres, ils ne sont pas différenciés dans les données. Il existe des exceptions comme par exemple les eaux stagnantes ou les cultures contiguës dans le polygone. » [...] « Les espaces verts à l'intérieur des bâtiments fermés ou à accès réglementé sont différenciés à partir d'une surface de 2500m². Les espaces verts extérieurs à des constructions sont couverts à partir d'environ 1500m²¹⁶. »

La méthodologie comporte également une phase de sélection visuelle des polygones à partir des orthophotographies qui a permis de supprimer des erreurs de détection automatique, comme les centres des ronds-points, les bandes enherbées le long des axes routiers. . .

Un parc ou un jardin est donc toute surface enherbée et/ou arborée d'au moins 2 500 m² (seuil observé), à l'exception des jardins familiaux et de rares places en milieu urbain. Cette surface doit appartenir au domaine public, ou le cas échéant doit comporter une forme d'accueil à un public. De même, il doit être possible de déceler visuellement à partir d'orthophotographies, toute forme d'aménagement qui valorise l'aménité. Les marqueurs les plus fréquemment rencontrés sont les allées et sentiers, les pistes cyclables, les tables de pique-niques, les bancs ou les jeux pour enfants.

De même, une aménité dite verte, ne peut être considérée que lorsqu'elle comporte un support de marche à pied qui est considérée comme l'activité « minimum » qui conditionne sa définition (?). De fait, la surface (le polygone, au sens géométrique) n'est intéressante qu'au regard du linéaire

15. Cartographie de l'Occupation Biophysique du Sol (OBS) du Système d'Information Géographique sur l'Environnement (SIG-ENV), Ministère de l'Environnement, Grand Duché du Luxembourg, 1999

16. « Grünanlagen dienen nach ihrer Ausstattung und Pflege dem Zweck der Entspannung und der Erholung und sind allgemein öffentlich zugänglich. Die Flächen stellen i.d.R Biotopkomplexe aus Scherrasen, Ziergebüschen, Bäumen und Baumgruppen dar, die nicht differenziert dargestellt werden. Ausnahmen sind z.B. grössere Stillgewässer oder zusammenhängende Bebauungen innerhalb der Anlagen. « [...] „Grünflächen innerhalb geschlossener Bebauung/Siedlung werden ab einer Flächengröße von 2500m² differenziert. Grünflächen im Außenbereich werden ab ca. 1500m² flächenhaft erfaßt. »

qui le parcourt avec les points d'intersection entre ces deux entités (voir figure 4.17) ; points que les opérations réalisées dans le SIG ont permis d'obtenir entre la bordure des parcs et jardins et le réseau pédestre. Dans l'optique de l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables, il semble nécessaire de préciser la nature de l'accessibilité à la forêt. Un bois n'est accessible que si un réseau permet d'y entrer. Pour représenter ces points d'entrées, le contour des espaces boisés a été généré sous SIG puis croisé avec le réseau routier d'une part, et le réseau pédestre d'autre part (voir figure 4.17).

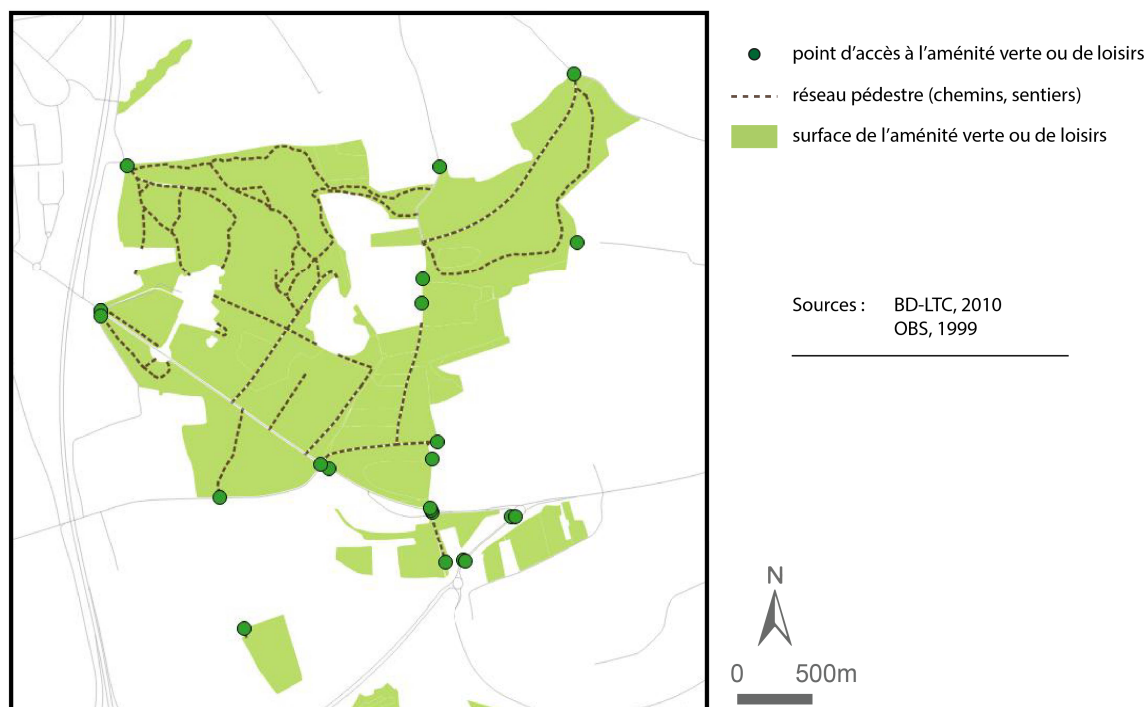


FIGURE 4.17 – Méthodologie de construction des points d'accès aux aménités vertes et de loisirs

Les jardins familiaux constituent une exception dans la sélection des données et doivent être traités séparément. Le caractère industriel du Luxembourg, notamment au sud du pays, a entraîné la mise en place d'un grand nombre de ces jardins ouvriers, aujourd'hui dénommés jardins familiaux. Leur gestion se fait au travers d'une structure bien identifiée¹⁷ et compte près de 25 000 foyers membres. À ce titre, on considère ces jardins comme éléments structurants du réseau d'aménités vertes à prendre en compte. Les données géographiques proviennent également de l'OBS, et des traitements sous SIG similaires ont été apportés afin de fournir une couche ponctuelle de leurs points d'accès. La définition fournie par l'OBS est la suivante :

17. Ligue Luxembourgeoise du Coin de Terre et du Foyer, <http://www.jardins-familiaux.org/frameset/france/fluxe.htm>

« On parle ici des zones en dehors des jardins situés dans les parcelles résidentielles. Sont inclus dans l'analyse, les espaces d'élevage - et décoratif -, les pelouses, les sentiers et les bâtiments. Les bâtiments (kiosques, abris) ne sont pas habités en permanence. La végétation possède une densité différente de la végétation ligneuse (haies). Même de vastes zones potagères à l'extérieur du tissu urbain mais avec une structure similaire (terres labourées) doivent être incluses dans les données ¹⁸. »

4.2.3.2. Le cas des espaces boisés et/ou forestiers

Les données de couverture forestière ont également été obtenues à partir de la base OBS. Devant la multiplicité des entités et la complexité de l'information à traiter, quelques modifications ont été apportées. Tout d'abord, l'ensemble des polygones boisés strictement inférieurs à 1 hectare n'ont pas été pris en compte du fait de leur taille relativement critique. Ensuite, les forêts ne comportant pas de réseaux pédestres (sentiers, chemins...) ont été supprimées car selon la définition donnée plus haut, la présence de linéaire praticable conditionne une aménité. Dans le prolongement, tous les espaces forestiers ne comprenant pas au minimum 1 000 mètres de chemins pédestres ont été écartés de l'analyse. Ce seuil s'appuie notamment sur la définition d'une aménité verte proposée par ?, qui conditionne une aménité à partir d'un potentiel de 15 minutes de marche (15 minutes = 1 000m environ). Ces sélections successives ont permis de ne garder comme potentiel d'aménités forestières, les surfaces suffisamment grandes et qui comportent un réseau praticable, deux conditions indispensables.

4.2.3.3. Le cas des terrains des équipements sportifs, terrains de sports, gymnases et piscines

Les terrains de sports sont également issus d'une base d'équipement à l'échelle du pays produite dans la BD-LTC. Les terrains de football, les terrains de tennis, les parcours de golf ainsi que quelques surfaces sportives non identifiés sont représentées par leur centroïde respectif. Quelques corrections manuelles ont été effectuées au regard de la photographie aérienne, dans le but de corriger des erreurs de placements ou des terrains supprimés. Les gymnases et piscines sont aussi issus de la base d'équipements (BD-LTC). Les listes des équipements aquatiques et des terrains de golf ont été comparées avec une liste d'adresses disponible sur le site de l'Office du Tourisme du Luxembourg ¹⁹.

18. « Gartenflächen außerhalb von Wohnbaugrundstücken. Nutzungskomplexe aus Nutz - und Zier -, Rasen, Wegen und kleinen Gebäuden. Die Gebäude (Lauben, Schuppen) sind nicht dauerbewohnt. Unterschiedliche Dichte von Gehölzen. Auch größere Nutzgartenflächen im Außenbereich mit ähnliche Struktur (Grabeland) sollten hier erfaßt werden ».

19. Office national du tourisme du Luxembourg, <http://www.ont.lu/spor-fr-9-59.html>

Grâce à cette méthodologie mise en place, nous obtenons à l'échelle du Luxembourg une base de données exhaustive des aménités vertes et de loisirs qui permettra d'évaluer l'accessibilité aux espaces verts dans la suite de la méthodologie.

5. La résolution spatiale

Un grand nombre de travaux abordent la question de la mesure de l'étalement urbain, sans pour autant qu'ils traitent spécifiquement de l'apport de la haute résolution spatiale. C'est notamment le cas en ce qui concerne les recherches des dix dernières années en télédétection (Tsayem Demaze, 2010). Comme nous l'avons déjà démontré en fin de première partie, les travaux liés à la question de la croissance urbaine ont longtemps été consacrés à la mesure du processus plus qu'à la planification ou à la prospective. Avec le développement des techniques d'imageries, satellites ou aériennes, le débat a souvent été tourné vers l'amélioration des techniques de mesures et la précision des résultats.

En ce qui concerne les modèles LUTI, bon nombre d'entre eux affichent une certaine liberté quant au choix de résolution à adopter, ce que montre bien la synthèse faite par G. Deymier et J.-P. Nicolas dans le premier rapport SIMBAD de 2005. Dans les faits, le niveau d'application de ces modèles est très souvent corrélé au niveau de précision des données d'entrées ou de calibrage des modèles, et généralement, le niveau communal s'avère le meilleur compromis. C'est notamment le cas pour les projets MEPLAN, TRANUS... En France, l'échelle de l'IRIS, découpage institué par l'INSEE, offre davantage de précision en milieu urbain et a par exemple été adopté dans SIMBAD ou FRETURB.

L'objectif de simulation qui est derrière le présent travail est de proposer des formes urbaines réalistes. De fait, plus encore que la planification quantitative de la croissance résidentielle et sa localisation au sein de l'espace luxembourgeois, il s'agit de proposer des tissus urbains potentiels. En d'autres termes, le choix de la résolution est fondamental puisqu'il influe directement la forme géométrique des entités urbaines qui sera proposée dans les scénarios. Pour fabriquer la ville, il semble donc nécessaire de descendre à l'échelle qui soit la plus fine possible, le bâtiment. La contrainte cellulaire étant imposée par l'emploi d'un modèle numérique, la taille de cellule doit donc être conforme à celle du bâtiment. Comme il n'est pas possible d'utiliser une grille variable en fonction de logements individuels ou collectifs, il est convenu que la résolution de 20 mètres couvre soit un immeuble d'habitation, soit une maison individuelle ou jumelée avec son terrain (voir figure 4.18). Cette valeur moyenne de 20 mètres essaye de refléter avec le plus de justesse possible les caractéristiques empiriques du parc de résidentiel au Grand-Duché, d'après les statistiques observées entre

2007 et 2012 par l'Observatoire de l'Habitat.

Bien sûr, cette précision multiplie les entités à manipuler sous SIG en format vectoriel (12 millions de cellules pour couvrir le Luxembourg). La résolution fine augmente également de façon non négligeable les temps de calculs, assez bien compensés par l'utilisation du serveur de calcul de la Maison des Sciences Humaines et de l'Environnement (MSHE) de Besançon. Par ailleurs, une granulométrie aussi précise nécessite des données d'entrée en cohérence avec la taille des cellules, il ne servirait à rien d'aller aussi loin dans la finesse si nous ne possédions que des données agrégées décrivant les différentes aménités. La visualisation des résultats obtenus est aussi un véritable enjeu, qui dépasse largement le cadre de cette thèse, nous y reviendrons au cours de la conclusion générale. Une question sous-jacente apparaît, à l'heure où la tendance est à la désagrégation des données au niveau local et individuel, où les moyens techniques de calculs permettent d'obtenir des indicateurs toujours plus précis, comment est-il possible de visualiser et de diffuser une telle quantité d'information sur des supports « statiques », notamment lorsqu'il s'agit d'une région ou d'un pays comme le Luxembourg ?

Néanmoins, une telle résolution représente un avantage conséquent. Travailler à l'échelle du bâtiment permet une réelle finesse dans les scénarios et de quantifier précisément les conséquences spatiales de la croissance résidentielle. De même, les mesures d'accessibilité, en voiture particulière, en transports en commun et surtout en marche à pied et en vélo, sont suffisamment justes localement pour confirmer des tendances significatives dans l'analyse des résultats à un niveau plus global. Pour finir, le choix de cette maille a été effectué en conformité avec les travaux effectués dans le projet MOEBIUS. Ce choix permet d'accentuer le caractère comparable des scénarios d'aménagement.

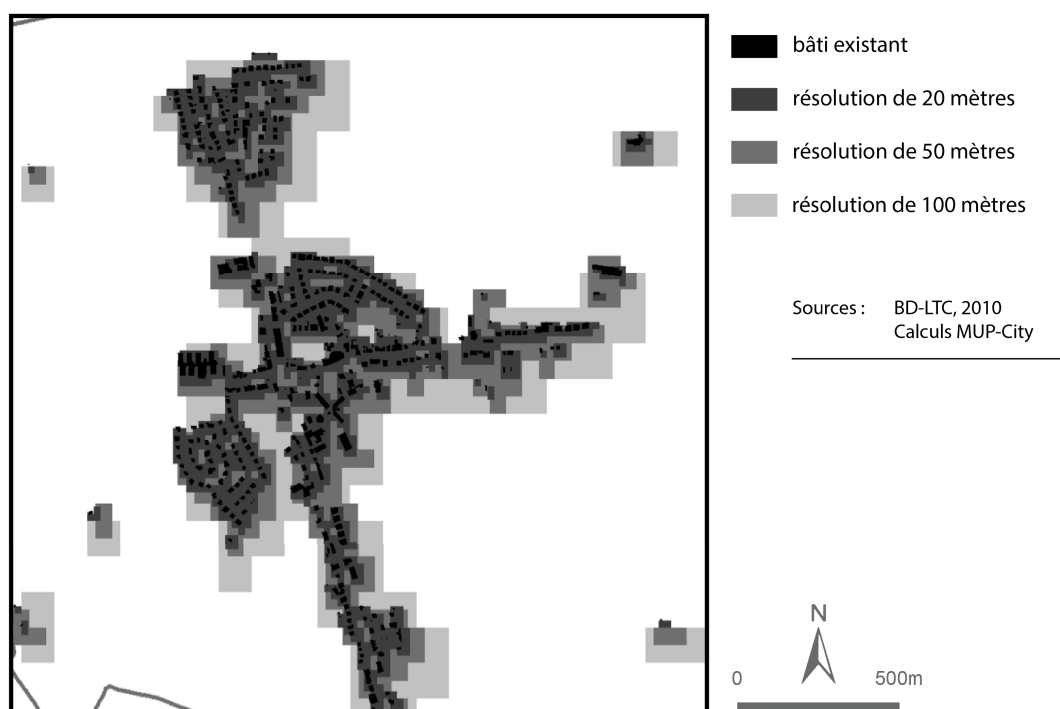


FIGURE 4.18 – Superposition de trois résolutions différentes (20, 50 et 100 mètres), sur la localité de Frisange

6. La simulation de formes urbaines réalistes

Ce n'est pas tant l'aspect multi-échelles des fractales qui nous intéresse ici qu'une autre propriété de ces formes, à savoir les ressemblances géométriques avec des structures urbaines existantes (??). Pour M.-P. Corcuff, la géométrie fractale permet d'approfondir la notion de « processus de formes ». En effet, il faut voir l'utilisation des fractales comme possibilité de « construire des modèles explicatifs de la morphogenèse des tissus urbains » (?). En 1994 déjà, Frankhauser écrit que « tous les modèles réalistes servant à expliquer ou simuler l'évolution spatiale des villes, doivent décrire la croissance urbaine comme une croissance fractale ».

Le réalisme des formes simulées est au cœur des interrogations du projet GeOpenSim (Curie et al, 2011). Toutefois, il s'agit au sein de ce travail d'établir un modèle de densification, où l'approche multi-agents permet de tenir compte du voisinage des bâtiments. Les méthodes employées dans ce projet permettent de générer de la ville sur ou dans la ville, mais ne propose pas (encore) une méthode d'extension du tissu résidentiel. À l'inverse, les travaux menés dans le cadre du projet MUSCADE²⁰ (Masson et al, 2009) mettent en exergue une volonté de réalisme dans « les extensions du tissu résidentiel ». Pour ce faire, le projet décrit le couplage entre un modèle macro-économique

20. Modélisation Urbaine et Stratégies d'adaptation au Changement climatique pour Anticiper la Demande et la production Énergétique.

(NEDUM), et la simulation de formes urbaines dans des îlots à l'aide du modèle MUSE²¹. Toutefois, l'assemblage des deux modèles NEDUM et MUSE n'est pas encore effectif.

7. Mise en œuvre informatique

Le logiciel MUP-City, utilisé ici dans sa version 1.0 beta, est une plateforme développée en Java, elle s'appuie notamment sur les bibliothèques Geotools et Java Topology Suite. La plateforme comprend une interface graphique composée d'une fenêtre et de plusieurs menus contextuels, sans recours nécessaire à la programmation ou à une interface en lignes de commandes.

Les données en entrée, qui seront détaillées dans la section suivante, sont formées de *shapefiles* (.shp). En sortie, il est possible d'obtenir des graphiques (au format .svg), des informations géographiques (au format TIF, géoréférencées), et des valeurs d'évaluations (au format .txt).

21. Modelisation of Urban Shape and Energy.

En sortie de MUP-City, on obtient deux types de données : les formes générées issues du modèle fractal et les valeurs pour chacune des cellules de la grille.

Afin de sélectionner les cellules potentiellement urbanisables en fonction des différents scénarios, il est nécessaire de réaliser plusieurs manipulations. D’abord, pour permettre le traitement des données fournies en *raster*, il convient de transformer chacun des types de couche en *vecteur*. Ensuite, pour faciliter les manipulations dues au grand volume de données, il est important de sélectionner les entités dont la valeur d’évaluation est supérieure à 0. Enfin, un croisement des deux couches d’information est indispensable afin que les formes issues du modèle fractal aient une valeur d’évaluation et d’écarter de l’analyse les formes fractales seulement issues du modèle de génération de formes qui respecte scrupuleusement la dimension fractale indiquée en entrée sans tenir compte du potentiel d’urbanisation à simuler. Les valeurs d’évaluations forment le critère de sélection des cellules potentiellement urbanisables. Si le nombre de cellules générées est supérieur au nombre de cellules nécessaire dans le scénario, les cellules les mieux évaluées sont sélectionnées en premier.

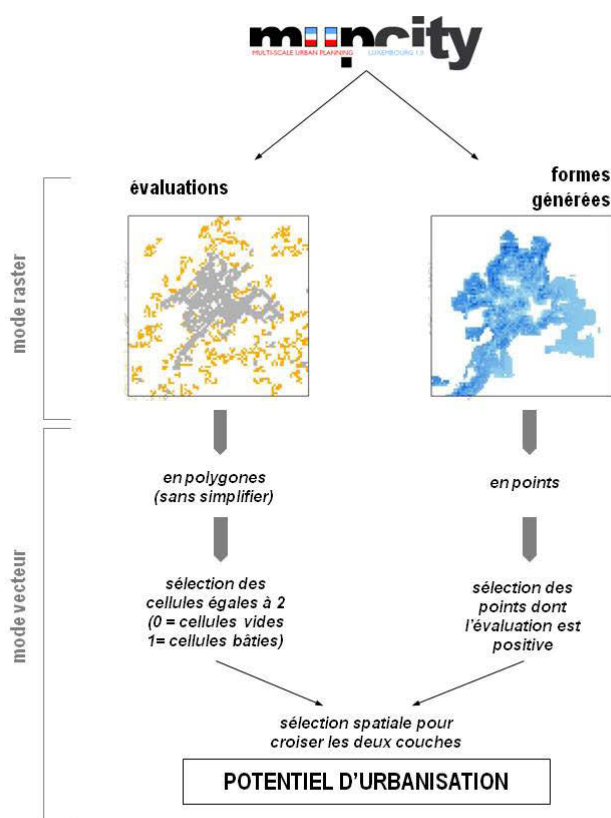


FIGURE 4.19 – Encart technique : Méthodologie de sélection du potentiel d’urbanisation en sortie de MUP-City

8. Conclusion du chapitre 4

Dans ce chapitre, nous venons de décrire le principe de fonctionnement du modèle de croissance résidentielle MUP-City, ainsi que les données d'entrées nécessaires à la simulation prospective. Les derniers points de ce quatrième chapitre ont été consacrés à la transcription des normes d'aménagement (qui sont à la base de nos scénarios pour 2030, voir le chapitre 3) en règles dans le modèle. La conception des règles permettent de traduire, du point de vue de l'utilisateur, la volonté de mettre en place des normes d'aménagement afin de satisfaire des objectifs précis de croissance résidentielle.

Lors de la revue de littérature, nous avons vu qu'il existait un nombre conséquent de modèles à même de simuler des changements d'occupation du sol. Le choix s'est porté sur MUP-City pour diverses raisons. Tout d'abord, c'est un modèle qui est à même de travailler à plusieurs échelles et jusqu'à une résolution très fine, ce qui montre une certaine cohérence avec notre question de recherche sur la génération de formes résidentielles. MUP-City est également l'un des seuls à pouvoir générer des tissus urbains fractals, tant du point de vue global que local et donc de traduire à la fois une volonté de renforcer les centralités existantes (global) tout en proposant des formes urbaines similaires aux tissus existants (local). D'un point de vue technique, son interface rend son utilisation aisée et la gestion des entrées et des sorties du modèle facilement compatibles avec l'utilisation d'un SIG classique, puisque conçu comme tel. Enfin, sur le plan pratique, il importe de souligner que c'est un logiciel libre et gratuit, ce qui forme un bon moyen de se procurer l'application. Il a été et continue d'être développé au laboratoire ThéMA de Besançon ce qui, du point de vue des mises à jour de développement, a simplifié considérablement les échanges avec ses concepteurs.

La définition des aménités données en entrée, leur collecte et leur catégorisation dans une typologie peuvent faire l'objet de discussions. Avant toute chose, jamais une telle base de données concernant les commerces, services, espaces verts et de loisirs n'avait été mise en place au Luxembourg. Ce n'est pas le cas en France, où la base de données SIRENE²², autant que la base de données des équipements de l'INSEE aurait servi à construire l'entrée nécessaire. L'utilisation des données d'annuaire peut poser quelques problèmes, dus à la forte volatilité de certains établissement dans le temps et qui, malgré une base numérique de données, peut se révéler difficile à mettre à jour. Le processus de géocodage des données à partir des adresses postales à pu, de façon sporadique, générer quelques approximations. Le bilinguisme des adresses dans le fichier source (luxembour-

22. La base de données SIRENE est un fichier qui rassemble toutes les activités économiques d'une même zone, avec leurs adresses

geois et français) n'a pas toujours été résolu avant la précision souhaitée. Quelques adresses ont été approximatives (au niveau communal pour moins de 5% des aménités), malgré des corrections manuelles. Toutefois, la plupart des données manquantes ou localisées approximativement appartiennent le plus souvent aux espaces les plus ruraux, où les enjeux liés à la croissance résidentielle sont limités. Nous le verrons dans les scénarios en fin de deuxième partie. La typologie retenue, en trois niveaux de recours potentiel et un certain nombre de catégories d'aménités peut également faire l'objet de remarques. Certains types d'établissements n'ont peut-être (à tort) pas été retenus, d'autres pourraient appartenir à un niveau de recours différent. En l'absence de données de validation exhaustives, des choix de modélisation ont dû être effectués, alors qu'il est très difficile de pouvoir mesurer les conséquences de ces choix sur les résultats obtenus.

La traduction des normes d'aménagement en règles compréhensibles par le modèle a été également source de choix. L'utilisation de tel opérateur mathématique a pu avoir une certaine influence, tandis qu'un autre aurait produit des résultats légèrement différents. Les paramètres ou les seuils de ces règles ont fait l'objet de tests, nous le verrons dans les premières applications de MUP-City au chapitre suivant, et les réactions du modèle semblent tout à fait appropriées et conformes à nos attentes. De même, la comparaison par paires peut sembler discutable. C'est bien l'objectif de cette méthode, qui contrairement à celle précédemment utilisée (une moyenne arithmétique), permet justement plus de flexibilité dans la démarche de scénarisation. Une fois encore, des tests permettront de saisir l'influence de cette partie de la simulation sur les résultats intermédiaires. Nous sommes dans le cas d'une transposition d'une démarche de modélisation, avec un changement d'échelle, depuis les applications dans le périurbain bisontin vers un pays dans son ensemble (première application du modèle hors de France). C'est la première application de ce genre avec une agglomération de cette taille et la superficie de traitement n'a jamais été aussi grande, avec les 2 500km² de la superficie luxembourgeoise. Comme nous l'avons vu en introduction de ce chapitre, le passage de la version 0.8 à 1.0 beta de MUP-City a induit quelques changements : i) création de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare ; ii) création de la règle d'accessibilité aux transports en commun ; iii) création des règles d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation quotidienne, hebdomadaire, mensuelle ou plus rare et iv) modification des règles d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne ou hebdomadaire.

Chapitre 5

Évaluation de la pertinence des règles d'aménagement au regard des objectifs visés

« Planners should attempt to collect all available data, generalize from particular observations to general theories, laws, and models, and test these by comparing them to reality. »

Klosterman, 1978

CE CINQUIÈME chapitre est une étape indispensable avant la simulation de scénarios de croissance résidentielle. Il s'agit d'abord d'évaluer la situation initiale, du Luxembourg en 2010 en matière d'accessibilité aux différentes aménités qui ont été retenues. Dans un deuxième temps, chacune des règles de MUP-City fera l'objet de tests, d'activations, de désactivations, ou de changements de seuils dans l'optique de saisir l'influence de chaque règle, et donc de chaque norme, sur les différents scénarios de développement résidentiel qui seront simulés ultérieurement.

1. Évaluation de la situation initiale (2010) : accessibilité des bâtiments résidentiels aux aménités urbaines et rurales

L'évaluation de la situation du Luxembourg en 2010 en matière d'accessibilité des bâtiments résidentiels aux aménités urbaines et rurales permet de déterminer les potentiels d'urbanisation futurs et d'établir un référentiel de comparaison pour les différents scénarios prospectifs qui seront ensuite simulés. Il convient d'analyser le résultat de ces évaluations appliquées à l'ensemble des cellules déjà urbanisées au Grand-Duché. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 5.1.

La règle de proximité à la route est l'une des moins discriminantes par rapport à toutes les autres règles. De fait, la densité de réseau routier au Luxembourg permet au bâti existant d'être très bien évalué (97% d'évaluations positives). Ce résultat permet de confirmer le souhait de limiter les constructions d'infrastructures. La proximité aux stations de transports en commun est également bien évaluée, du moins en ce qui concerne les actuelles constructions. Avec 80% des cellules bâties positivement évaluées, le Luxembourg semble bien desservi en raison du nombre élevé d'arrêts de bus que compte le pays (plus de 2000) et donc de leur forte dispersion spatiale. Cependant, ce résultat est à nuancer au regard des fréquences de passage. En effet, il y a de nombreux arrêts où peu de lignes et peu de bus passent et rendent les transports publics finalement peu concurrentiels, en matière de temps de déplacement, face aux moyens de transports individuels (Klein et Schmitz, 2011).

L'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne n'est pas très bonne comparativement aux autres règles. Moins de 45% des bâtiments existants se situent à une distance inférieure à 600 mètres d'une boulangerie ou d'une épicerie par exemple. En effet, l'implantation des surfaces commerciales luxembourgeoises n'a pas toujours bénéficié d'une logique de proximité. En revanche, l'évaluation de l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire n'est pas vraiment discriminante d'un point de vue quantitatif : la majeure partie du tissu résidentiel grand-ducal est bien évaluée (89% de façon positive, et une moyenne approchant les 0,80).

La règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare est numériquement la moins contraignante du modèle. L'ensemble de la population luxembourgeoise peut atteindre en près de 15 minutes en voiture l'aménité centrale la plus proche. Les dimensions géographiques du Luxembourg (2500km²) expliquent en grande partie cette bonne accessibilité théorique en voiture. Le réseau routier luxembourgeois, du fait de sa densité, offre également une

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne pour l'ensemble des cellules bâties	Part des cellules bâties en 2010 ayant une évaluation supérieure à 0 (en %)
Proximité à la route	294 339	0.82	97
Commerces et services (quotidiens)	134 239	0.47	44
Commerces et services (hebdomadaires)	267 895	0.78	89
Commerces et services (mensuels ou plus rare)	294 789	0.93	98
Proximité aux transports en commun	250 494	0.54	83
Aménités vertes ou de loisirs (quotidiens)	24 213	0.40	8
Aménités vertes ou de loisirs (hebdomadaires)	265 583	0.59	88
Aménités vertes ou de loisirs (mensuels ou plus rare)	294 257	1.00	97
Evaluation synthétique	14 860	0.60	5
Nombre total de cellules bâties	301 941		100

Tableau 5.1 – Evaluation de l'accessibilité à chaque aménité pour les cellules bâties à l'état initial de 2010

bonne desserte en tous points du territoire.

L'évaluation de l'accessibilité aux parcs et jardins, qui constituent les aménités vertes et de loisirs de fréquentation quotidienne, est la plus contraignante. Seulement 8% des constructions actuelles ont accès à un espace vert de petite taille en moins de 300 mètres (5-10 minutes de marche à pied). Ce résultat s'explique par le faible nombre de parcs au Luxembourg et leur relative concentration dans les centres urbains principaux.

Néanmoins, les deux niveaux supérieurs d'aménités vertes sont très bien évalués. Près de 90% du bâti existant bénéficie d'un bon accès aux espaces boisés de taille moyenne et aux infrastructures sportives (terrains, gymnases, piscines). Le seuil de distance est moins contraignant puisque la règle impose une distance de deux kilomètres au maximum. Enfin, la quasi-totalité des bâtiments ont un très bon accès aux espaces boisés de surface plus importante, se situant presque toutes à moins de 5km d'un point d'accès forestier. Ces deux derniers résultats s'expliquent assez bien par le fort taux de boisement du pays, qui est de 35% de la superficie totale.

2. Les tests des règles de MUP-City

Cette deuxième partie de chapitre est dédiée aux tests qui ont été effectués à partir de l'évaluation de la situation initiale au Luxembourg, préalablement à la simulation de scénarios réalistes de croissance résidentielle. L'objectif de ces tests est double. D'abord, il s'agit de comprendre les réactions de MUP-City aux paramètres qui sont à disposition de l'utilisateur. Il s'agit également de déterminer si les normes d'aménagement et leur transcription/formalisation sous la forme de règles dans MUP-City permettent d'atteindre les objectifs fixés en matière de croissance urbaine.

2.1. Influence de la dimension fractale sur les cellules potentiellement urbanisables

Sur le plan technique, la dimension fractale est la première variable dont MUP-City a besoin pour identifier les cellules potentiellement urbanisables. En effet, l'application de la règle fractale d'urbanisation conditionne la géométrie globale et locale des formes simulées et donc constitue le point de départ de la simulation. Quatre valeurs de dimension fractale ont été testées :

- test 1.1 : dimension fractale 1,46 ($N_{max} = 5$)
- test 1.2 : dimension fractale 1,63 ($N_{max} = 6$)
- test 1.3 : dimension fractale 1.77 ($N_{max} = 7$)

— test 1.4 : développement résidentiel non fractal

Les résultats obtenus sont cohérents avec l’observation de la situation initiale : un nombre très réduit de cellules sont identifiées comme potentiellement urbanisables en sortie du modèle. Les résultats sont présentés dans le tableau 5.2. Avec le test 1.1, seules 2 976 cellules ont une évaluation supérieure à 0. Converties en potentiel d’urbanisation, ces cellules représentent à peine plus d’une centaine d’hectares, soit moins de 2 000 logements en considérant une densité de 18 logements par hectare. Au rythme actuel de construction que connaît le Luxembourg, ces logements potentiels ne comblent même pas les besoins d’une année, puisque d’après les statistiques, 3 500 logements sont construits chaque année au Grand-Duché (voir chapitre 2).

L’augmentation de la dimension fractale du tissu résidentiel simulé permet de doubler le nombre de cellules potentiellement urbanisables comme le montre le test 1.2. Ce résultat confirme ceux déjà obtenus par Tannier et al entre 2007 et 2012, qui indiquent le rôle majeur d’une dimension fractale locale élevée dans la création de scénarios résidentiels cohérents avec des objectifs d’aménagements.

Enfin, l’application de formes locales non fractales est remise en question, comme le suggère le test 1.4 et la figure 5.1. Les formes ainsi générés, localement compactes voir très compactes, ne semblent pas compatibles avec les objectifs fixés par l’hypothèse du modèle de ville fractale. Elles ne permettent pas d’augmenter la longueur d la bordure urbanisée pour accéder aux espaces ouverts périphériques tout en maintenant une certaine densité bâtie au sein du tissu urbanisé. Cette variante est donc exclue pour la suite des simulations.

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
test 1.1 - $N_{max} = 5$	2 976	0,189	0,183	0,600
test 1.2 - $N_{max} = 6$	4 495	0,187	0,178	0,559
test 1.3 - $N_{max} = 7$	6 276	0,183	0,176	0,589
test 1.4 - non fractal	6 276	0,199	0,200	0,500

Tableau 5.2 – Cellules nouvellement construites pour une simulation entre 2010 et 2030

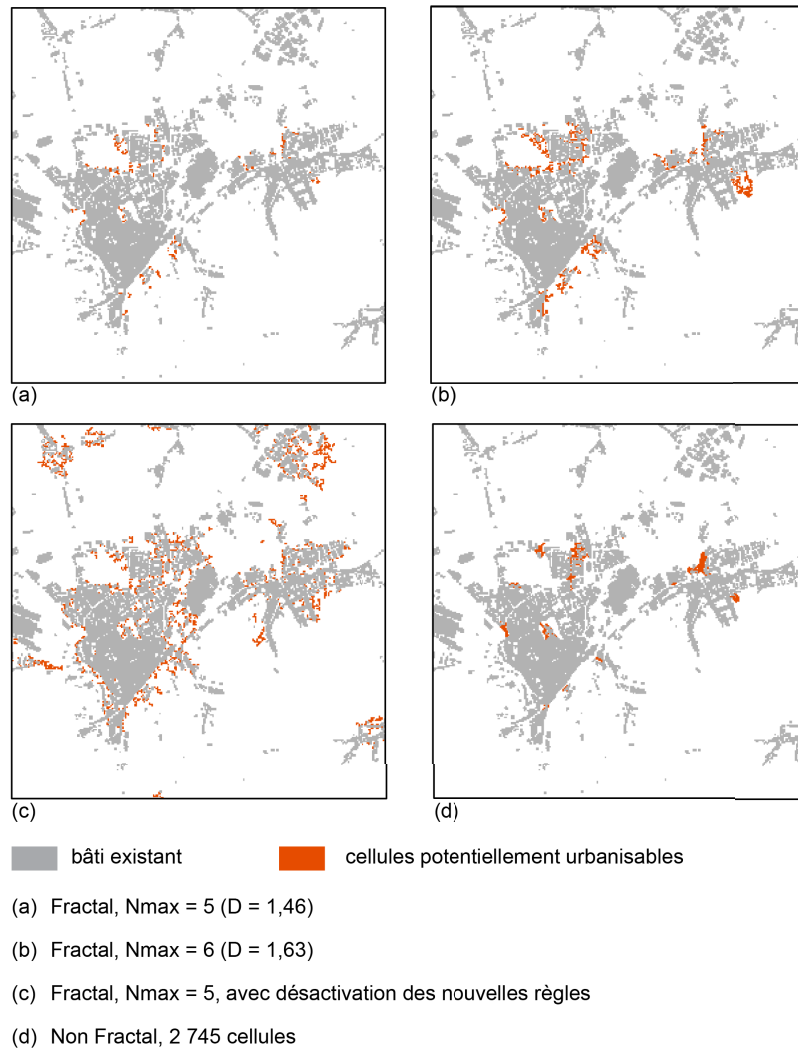


FIGURE 5.1 – Test de l'augmentation de la dimension fractale (extrait sur la municipalité d'Esch-sur-Alzette)

2.2. Influence des règles d'accessibilité sur les cellules identifiées comme potentiellement urbanisables

Pour comprendre l'influence des règles d'accessibilité sur les valeurs d'évaluation globale des cellules potentiellement urbanisables indentifiées par MUP-City, nous avons désactivé une à une toutes les règles. Ensuite, les règles d'accessibilité aux aménités de recours mensuel ou plus rare, aux aménités vertes et de loisirs, et la proximité aux infrastructures de transports en commun étant nouvellement introduites dans MUP-City, nous avons effectué le test d'un retour à la version précédente du logiciel, telle qu'appliquée sur l'agglomération de Besançon (?).

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6 276	0.183	0.176	0.589
Désactivation de la règle de proximité aux espaces non-bâti	6 509	0.254	0.218	0.904
Désactivation de la règle de proximité au réseau routier	6 531	0.183	0.176	0.618
Désactivation de la règle commerces et services quotidiens	11 636	0.251	0.212	0.697
Désactivation de la règle commerces et services hebdomadaires	6 355	0.182	0.176	0.618
Désactivation de la règle commerces et services mensuels ou plus rares	6 266	0.183	0.176	0.618
Désactivation de la règle transports en commun	6 783	0.188	0.180	0.600
Désactivation de la règle aménités vertes quotidiennes	58 998	0.185	0.197	0.704
Désactivation de la règle aménités vertes hebdomadaires	6 312	0.814	0.180	0.647
Désactivation de la règle aménités vertes mensuelles ou plus rares	6 271	0.184	0.178	0.588
Désactivation des 5 nouvelles règles - MUP-City 0.8	82 744	0.192	0.197	0.736

Tableau 5.3 – Influence de la désactivation successive des règles sur l'intérêt des cellules potentiellement urbanisables d'après MUP-City

Plus on introduit de règles, quelle que soit leur nature, plus on augmente le niveau de contrainte et moins le nombre de cellules bien évaluées est élevé. Il est un certain nombre de règles dont la désactivation n'a pas d'influence sur les résultats de simulation, tant du point de vue du nombre de cellules dont l'évaluation est supérieure à 0 que de la distribution de la série statistique des évaluations. C'est notamment le cas pour la règle d'accessibilité aux commerces, services et améni-

tés vertes de fréquentation hebdomadaire ou mensuelle. Au premier abord, ces règles représentent donc des leviers limités dans la définition du potentiel d'aménagement du Luxembourg. C'est également le cas pour l'évaluation de la proximité au réseau routier et l'évaluation de l'accessibilité aux transports en commun. La désactivation de la règle de proximité aux espaces non-bâti n'entraîne pas d'augmentation du nombre de cellules positivement évaluées mais conduit à une redistribution statistique des valeurs d'évaluation en augmentant les valeurs d'évaluation. La simple désactivation de la règle d'accessibilité aux commerces et services quotidiens double le nombre de cellules potentiellement urbanisables, avec plus de 11 000 cellules au lieu des 6 276 de référence. De même, les trois indicateurs statistiques retenus (moyenne, médiane et maximum des valeurs d'évaluation) augmentent également. Le faible nombre d'aménités vertes et de loisirs de fréquentation quotidienne et leur répartition spatiale contraignent fortement le potentiel d'urbanisation au Luxembourg. D'ailleurs, le test de la désactivation de cette règle sur l'évaluation synthétique est probant : le nombre de cellules potentiellement urbanisables augmente fortement pour atteindre près de 60 000 cellules (contre 6 276 pour la simulation de référence). Conjointement, la médiane de l'évaluation approche les 0,20 contre les 0,175 de la simulation de référence et le maximum augmente lui aussi légèrement avec 0,7 contre 0,6.

On constate aussi que l'application des cinq nouvelles règles d'accessibilité de MUP-City 1.0 beta en plus des quatre déjà existantes dans MUP-City 0.8 introduit une réelle contrainte supplémentaire au modèle. La nouvelle version de MUP-City simule en effet vingt fois moins de potentiel d'urbanisation. Évidemment, l'ajout de cinq nouvelles règles ne fait que durcir les critères d'évaluation des cellules.

Plutôt que de désactiver certaines règles, nous nous proposons de les tester avec des seuils de distance différents. Nous ne changeons ainsi pas les normes d'aménagement qui rentrent en compte dans la démarche de simulation, mais nous modifions les règles qui traduisent ces normes dans le modèle.

2.3. Influence de la règle de proximité aux espaces non-bâties sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

L'objectif principal de la règle est de maximiser les contacts entre espaces bâtis et espaces non bâtis sans pour autant que cela conduise à la fragmentation tant des espaces bâtis que non bâtis.

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6276	0.183	0.176	0.589
Désactivation de la règle d'accessibilité aux espaces ouverts	6509	0.254	0.218	0.904

Tableau 5.4 – Extrait du tableau 5.3

Lors de la désactivation de cette règle, on peut constater une très légère augmentation (+3%) du nombre de cellules positivement évaluées ainsi qu'un accroissement non négligeable de la moyenne des évaluations synthétiques pour les cellules considérées. On observe par ailleurs l'apparition d'une distribution spatiale fractale de l'évaluation globale avec l'activation de la règle, ce qui n'est pas le cas avec sa désactivation. De fait, une désactivation de la règle revient à simuler une distribution spatiale non fractale des évaluations, concentrique, mais le potentiel d'urbanisation final en sortie du modèle est tout de même fractal en raison de la règle fractale d'urbanisation (voir figure 5.2).

La règle de proximité aux espaces non-bâtis possède donc une influence locale sur la définition du potentiel d'urbanisation : on observe de meilleures évaluations au centre des tâches urbaines sans la règle qu'avec. Par contre, la règle apporte davantage de diversité dans les évaluations en bordure urbaine. Sans la règle, les évaluations sont réparties spatialement de manière uniforme ou homogène plutôt au centre des tâches. La règle de proximité aux espaces non-bâtis permet d'introduire davantage de contrastes locaux dans les évaluations. Ainsi, nous conserverons cette règle au cours des tests suivants.

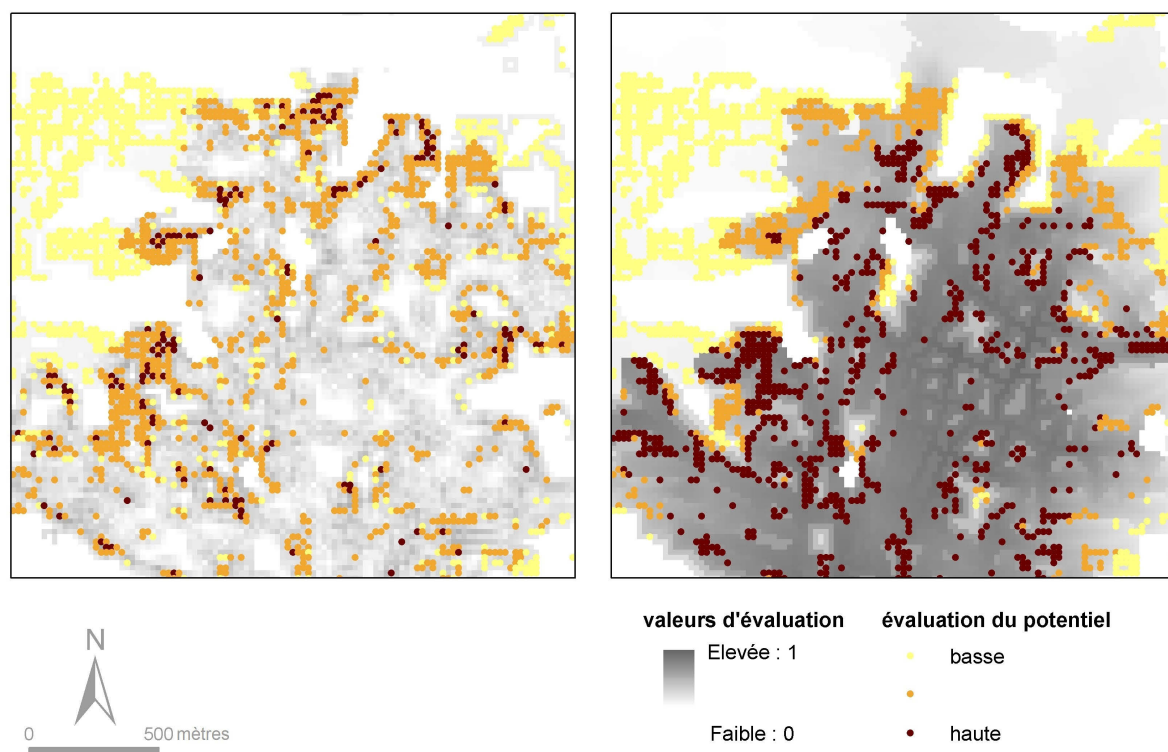


FIGURE 5.2 – Distribution spatiale des valeurs d'évaluation, avec (à gauche) et sans (à droite) la règle de proximité aux espaces non-bâties

2.4. Influence de la règle de proximité au réseau routier sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

L'intérêt de cette règle est majeur dans la construction de scénarios d'aménagement durable, où l'économie de la construction d'infrastructures routières est recherchée. La désactivation de la règle de proximité augmente très légèrement le potentiel d'urbanisation défini par la simulation. Cette règle n'introduit donc qu'une faible contrainte à la définition d'un potentiel d'urbanisation. L'horizon temporel de la démarche de construction des scénarios est suffisamment lointain¹, pour que le seuil de distance précédemment établi à 100 mètres puisse être étendu à 300 mètres. L'objectif principal de cette modification est de ne pas exclure du potentiel d'urbanisation des espaces par ailleurs bien évalués, mais légèrement trop éloignés du réseau routier existant en 2010.

Il est tout à fait logique que le nombre de cellules bien évaluées augmente avec le changement de seuil. La carte 5.3, représentant l'agglomération de Luxembourg-ville et le sud du pays, illustre les conséquences spatiales de ce changement de seuil. Pour déterminer l'influence de la proximité au réseau routier sur le potentiel d'urbanisation, deux tests ont été effectués. Nous, nous avons appliqué un nouveau seuil de distance, passant de 100 à 300 mètres, dans l'évaluation de cette règle.

1. Pour rappel, l'horizon de simulation est fixé à 2030.

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6276	0.183	0.176	0.589
Désactivation de la règle de proximité au réseau routier	6531	0.183	0.176	0.618
Modification de la règle de proximité au réseau routier	11918	0.206	0.201	0.676

Tableau 5.5 – Extrait du tableau 5.3 et modification du seuil de la règle de proximité au réseau routier

Ce changement a entraîné un doublement du nombre de cellules potentiellement urbanisables.

À une échelle locale, et au regard du faible potentiel d'urbanisation simulé à ce stade de la recherche, la désactivation de la règle n'a pas de conséquences marquées. Pour autant, la modification de la règle de proximité à la route à 300 mètres permet d'obtenir davantage de cellules positivement évaluées, qui localement, apparaissent autour des cellules potentiellement urbanisables à 100 mètres, comme le montre la carte 5.4. Au regard de la densité du réseau routier du Luxembourg, un seuil de 300 mètres n'apporte pas de réelle contrainte au modèle, puisque la carte est presque entièrement couverte. Le seuil de 100 mètres est donc conservé mais il sera possible de nuancer ce résultat dans la pondération des règles, en limitant par exemple l'importance de la règle de proximité au réseau routier dans la suite des analyses.

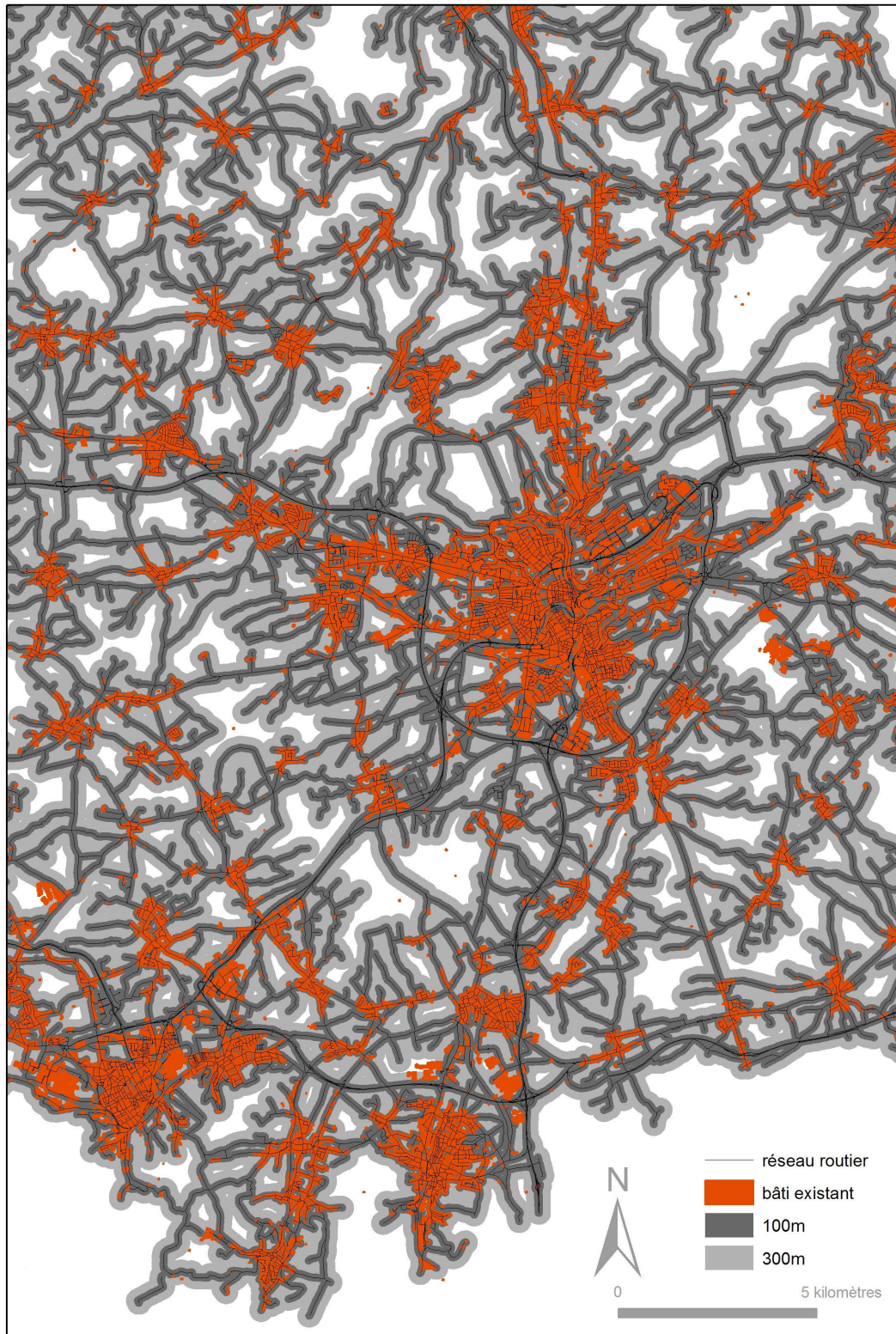


FIGURE 5.3 – Influence de la règle de proximité au réseau routier à 100 et 300 mètres

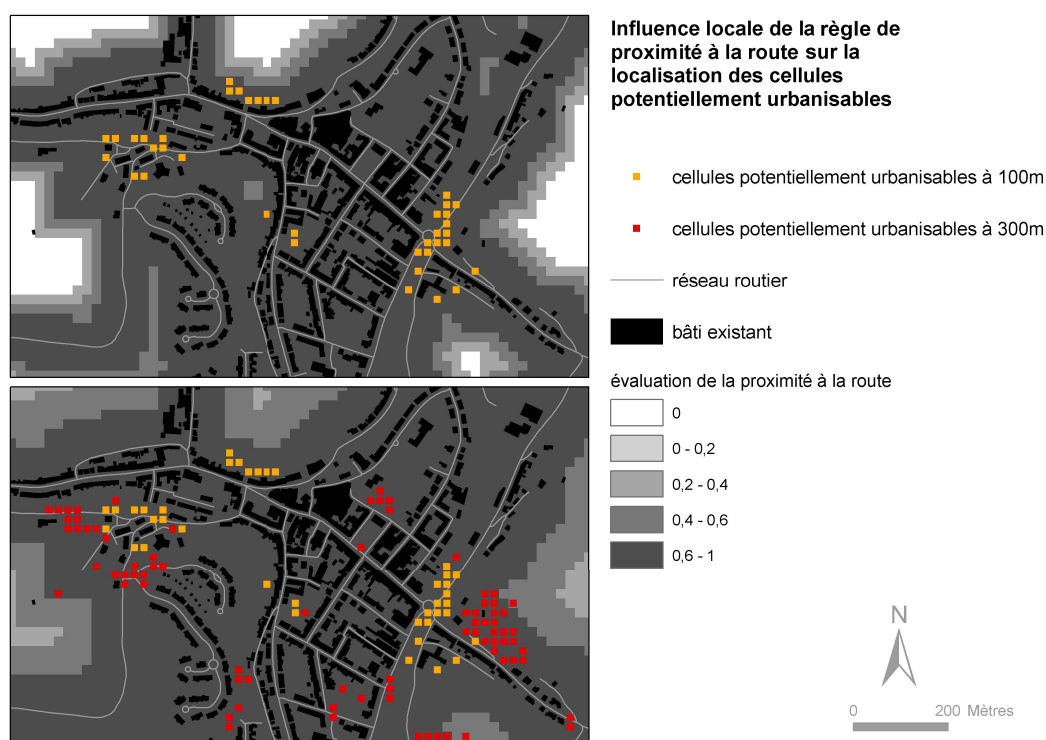


FIGURE 5.4 – Influence locale de la règle de proximité au réseau routier

2.5. Influence des règles d'accessibilité aux commerces et services sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

2.5.1. Les commerces et services de fréquentation quotidienne

Comme constaté lors des premiers tests, la règle d'évaluation de la proximité aux commerces et services de fréquentation quotidienne est l'une des plus contraignantes du modèle. Sa simple désactivation engendre un doublement du nombre de cellules potentiellement urbanisables (de 6 000 à plus de 11 000 cellules). Sans désactiver la règle, il convient d'essayer de la modifier pour être davantage en phase avec les réalités auxquelles est confronté le cas luxembourgeois.

Un test a donc été effectué avec l'application d'une nouvelle règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne : le seuil de distance a été modifié de 600 mètres initialement, à 1 000m. Parallèlement, les seuils de constitution des agrégats ont également été revus à la hausse puisque les commerces et services peuvent désormais s'agréger jusqu'à 500m (contre 200m initialement) et ce, dans une limite de 1 500m (contre 1000m initialement). De fait, la modification de la règle permet de dégager un potentiel d'urbanisation nettement supérieur. Cependant, si le maximum d'évaluation augmente fortement, la forme de la distribution ne change pas, avec une moyenne et une médiane relativement similaire. Les modifications des seuils et leurs conséquences sur l'évaluation particulière de l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation

quotidienne sont représentées sur les cartes 5.5. Suite à ces observations, le seuil de 1 000 a été sélectionné pour la suite des analyses.

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6276	0.183	0.176	0.589
Désactivation de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne	11636	0.251	0.212	0.697
Modification de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne	10465	0.205	0.203	0.750

Tableau 5.6 – Influence de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

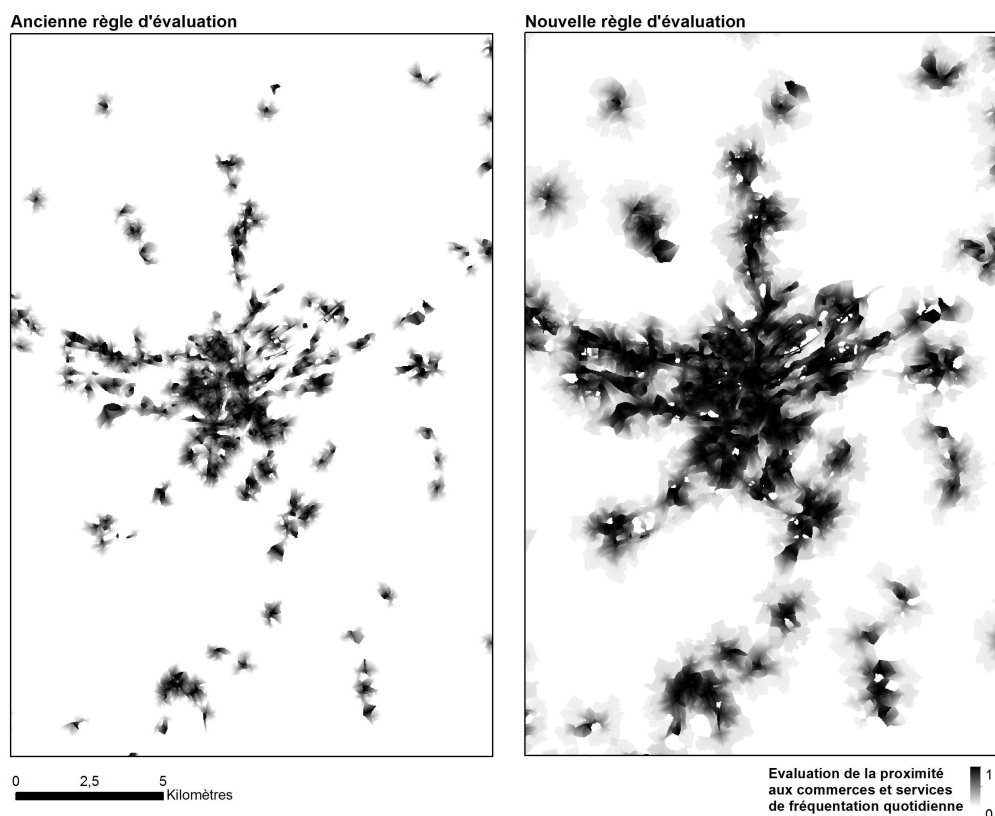


FIGURE 5.5 – Distribution spatiale des valeurs d'évaluation avant (600m) et après (1 000m) modification de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne (zoom sur Luxembourg-Ville et ses environs)

2.5.2. Les commerces et services de fréquentation hebdomadaire

La désactivation de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire n'a que très peu d'impact sur le nombre de cellules potentiellement urbanisables au Luxembourg. Nous avons testé une modification de la règle d'accessibilité en doublant le seuil de distance acceptable (de 1 000 à 2 000 mètres) sans de grands changements dans les résultats obtenus. Le nombre de cellules potentiellement urbanisables est légèrement plus faible, les médianes et moyennes identiques ; seule la valeur maximum d'évaluation est à peine plus élevée. Il semble donc que cette règle ne constitue un levier suffisant pour accroître le potentiel d'urbanisation.

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6276	0.183	0.176	0.589
Désactivation de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire	6355	0.182	0.176	0.618
Modification de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire	6342	0.182	0.176	0.647

Tableau 5.7 – Influence de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

Les modifications des seuils et leurs conséquences sur l'évaluation de l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire sont représentées sur les cartes 5.6. Le résultat cartographique illustre les résultats statistiques précédemment obtenus. Après augmentation du seuil de distance maximale acceptable pour ces aménités, les valeurs d'évaluations n'augmentent pas de façon importante. Au mieux, certaines cellules dont l'évaluation était proche de 0 avec le seuil de 1 000 sont légèrement grisées sur la carte de droite avec un seuil de 2 000 mètres, ce qui ne change pas vraiment le résultat général du test.

2.5.3. Les commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare

Telle que formulée actuellement dans le modèle, la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare ne constitue pas une réelle contrainte dans la définition du potentiel d'urbanisation du Luxembourg. D'ailleurs, la désactivation de la règle n'a pas eu d'effet en ce qui concerne l'augmentation du nombre de cellules potentiellement urbanisables. En

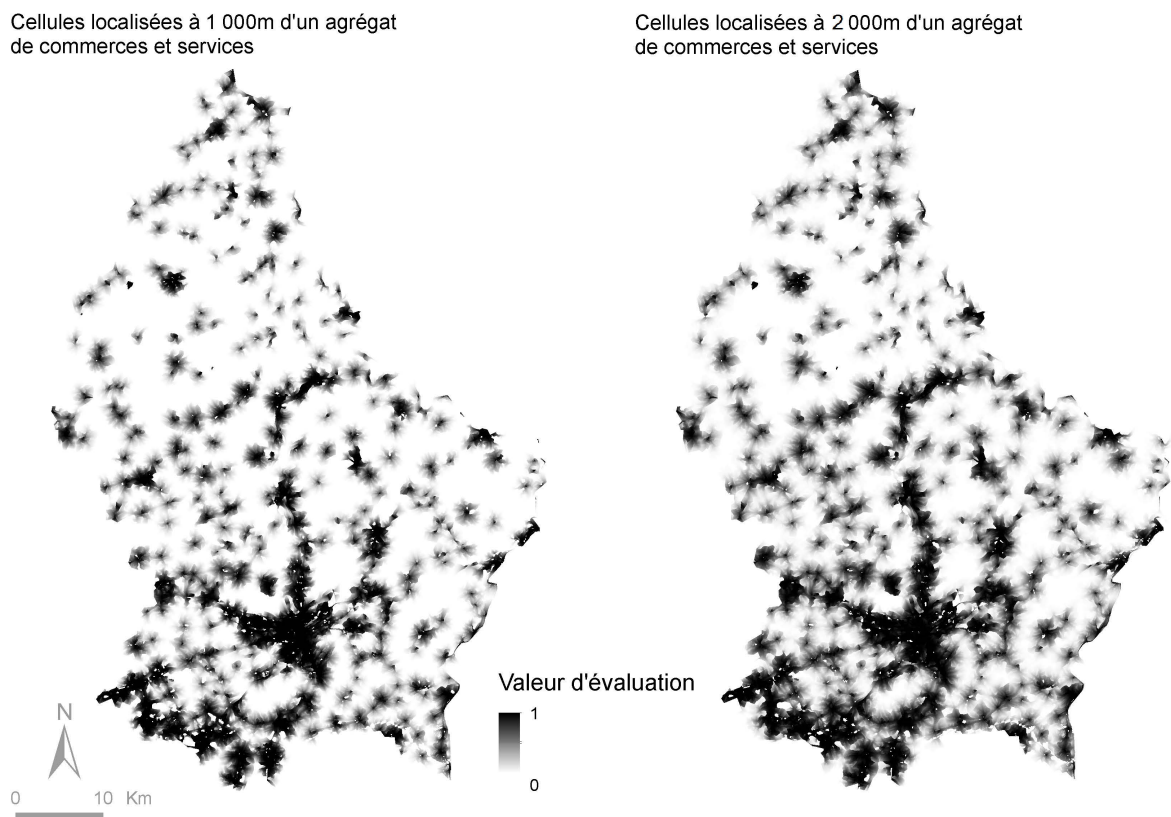


FIGURE 5.6 – Distribution spatiale des valeurs d'évaluation avant (à gauche) et après (à droite) modification de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire

l'absence de cette contrainte, la valeur d'évaluation a très légèrement augmenté, mais la distribution statistique des valeurs n'a pas changé.

Une modification du seuil de distance de cette règle n'est pas envisagée, puisque l'ensemble des cellules potentiellement urbanisables sont bien évaluées, comme l'illustre la carte 5.7².

2. Les zones blanches indiquent des erreurs de connexions dans la géométrie du réseau. Leur nombre est relativement conséquent, mais en raison de leur éloignement au tissu urbain existant, il n'a pas semblé utile de les corriger.

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6276	0.183	0.176	0.589
Désactivation de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare	6266	0.183	0.176	0.618

Tableau 5.8 – Influence de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

2.6. Influence de la règle d'accessibilité aux transports en commun sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

La désactivation de la règle d'évaluation de la proximité aux transports en commun a provoqué une croissance de 7% du nombre de cellules potentiellement urbanisables. Dans le même temps, la distribution statistique des valeurs d'évaluation a légèrement changé, avec une médiane et une moyenne qui ont augmenté. Ce premier constat montre le rôle de la règle en tant que contrainte au modèle. Une modification de la règle a donc été testée afin d'en explorer les conséquences sur les résultats de simulation. La distance maximale acceptable pour accéder à un arrêt de bus est passée de 400 à 500 mètres tandis que le nombre d'arrêts de bus dans un rayon de 1 000 mètres a diminué de 4 à 3. La distance maximale acceptable pour accéder à la gare la plus proche a été triplée, passant de 1 000 à 3 000 mètres.

Conformément aux résultats attendus, le nombre de cellules potentiellement urbanisables a augmenté, avec 4% de cellules supplémentaires par rapport à la simulation de référence. Même si d'autres règles peuvent avoir le même effet, nos hypothèses de recherche, dont le report modal à destination des transports en commun fait partie, nous conduisent à opter pour un seuil moins strict dans le but d'obtenir un potentiel suffisant pour satisfaire la croissance résidentielle luxembourgeoise.

La carte 5.8 présente les résultats de l'évaluation de la règle de proximité aux transports en commun. À première vue, les conséquences spatiales des changements de seuils de distance acceptable pour accéder à une station de transport en commun sont de deux types. On constate soit un élargissement des zones desservies par les gares ferroviaires, dont beaucoup de cellules sont déjà urbanisées puisqu'elles recouvrent les agglomérations existantes, soit un accroissement de l'influence des arrêts de bus dans les zones peu denses, où pour l'instant, le potentiel d'urbanisation reste limité.

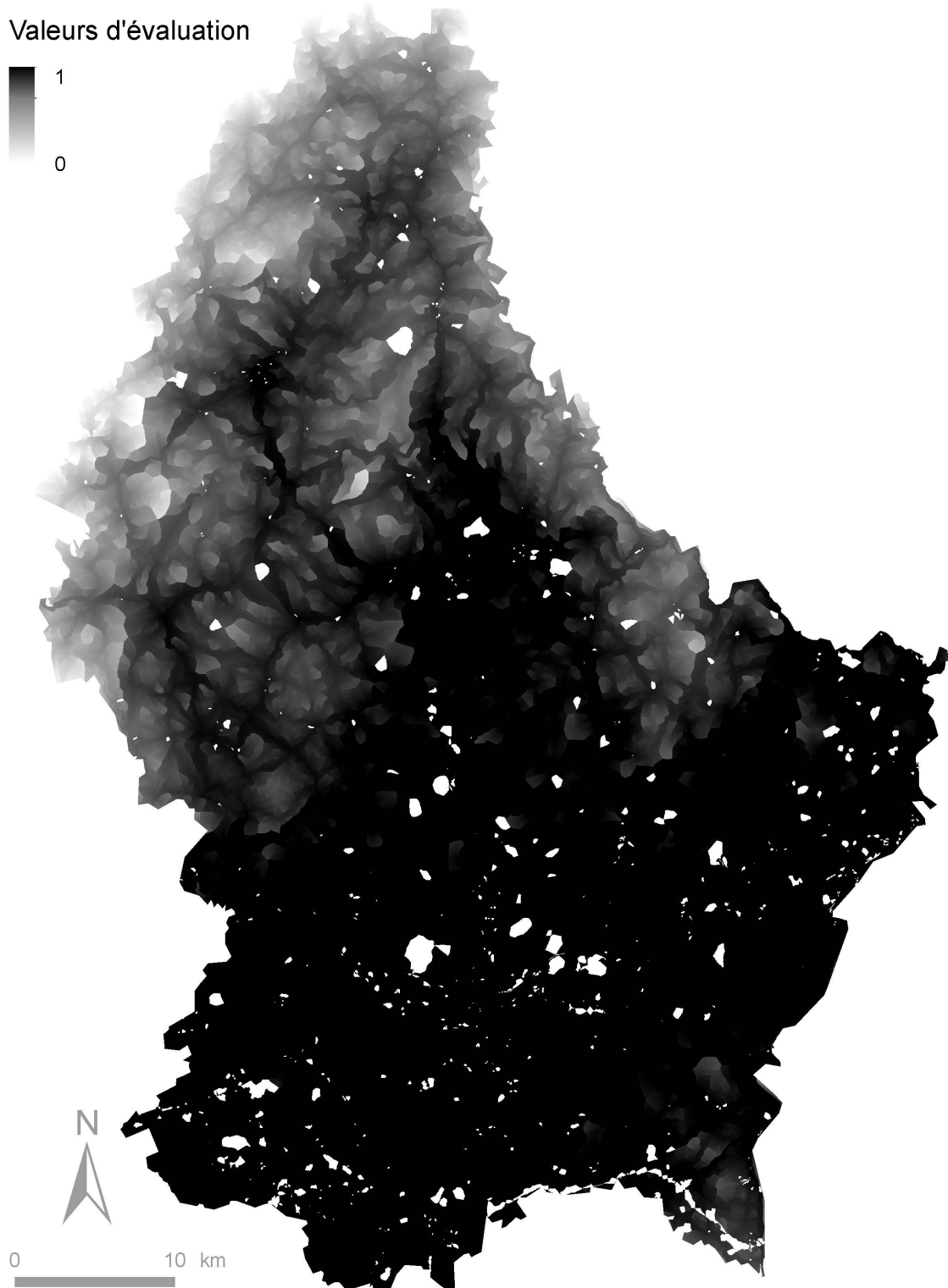


FIGURE 5.7 – Distribution spatiale des valeurs d'évaluation de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare

La question de l'évaluation aux arrêts de bus soulève quelques interrogations. Dans la version actuelle du modèle, ils ne sont pas hiérarchisés. Or, un arrêt de bus en zone peu urbanisée, avec un

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6276	0.183	0.176	0.589
Désactivation de la règle d'accessibilité aux transports en commun	6783	0.188	0.180	0.600
Modification de la règle d'accessibilité aux transports en commun	6550	0.187	0.179	0.618

Tableau 5.9 – Influence de la règle d'accessibilité aux transports en commun sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

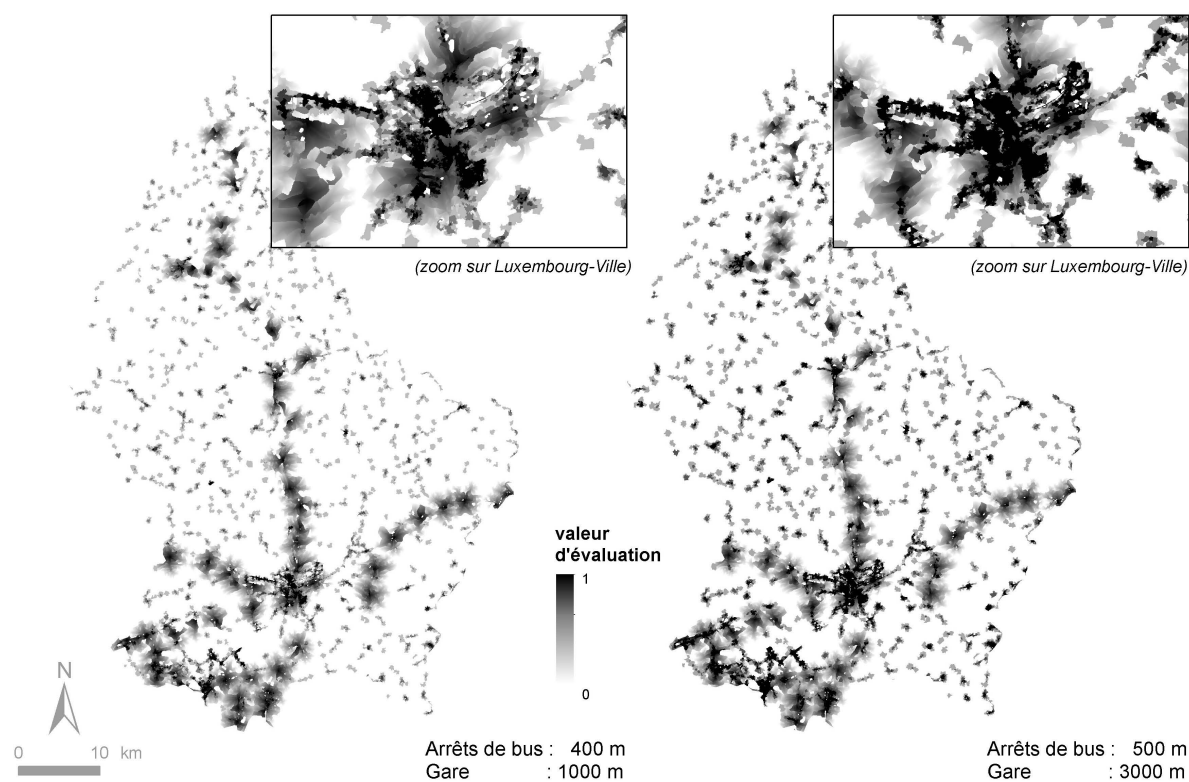


FIGURE 5.8 – Distribution spatiale des valeurs d'évaluation, avant et après modification de la règle d'accessibilité aux transports en commun

nombre restreint de lignes et une fréquence de passage limitée, n'a pas le même impact qu'un arrêt dit structurant, où passent un grand nombre de lignes avec une fréquence élevée. Au regard de la carte 5.8, l'essentiel des bonnes évaluations en matière de proximité à une station de transports en commun sont dues à la proximité aux gares ferroviaires. Les arrêts de bus isolés ont une influence très restreinte et sont à proximité des zones bâties déjà existantes. Il ne nous a donc pas semblé utile de modifier le modèle pour différencier les arrêts de bus en fonction de leur importance dans le réseau.

2.7. Influence de la règle d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

2.7.1. Les aménités vertes et de loisirs de fréquentation quotidienne

Concernant l'influence de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation quotidienne, le test de la désactivation de la règle a confirmé l'hypothèse envisagée selon laquelle cette évaluation particulière est la plus contraignante du modèle (voir carte 5.9). De fait, sans la règle, le nombre de cellules potentiellement urbanisables est décuplé, et atteint près de 60 000 cellules. Parallèlement, la valeur maximale d'évaluation augmente sans pour autant que les autres indicateurs de la distribution évoluent de façon significative. Pour conserver cette règle dans le modèle de construction des scénarios, il faudrait faire passer le seuil de distance maximale acceptable d'accessibilité à ces aménités de 100 à 1 000 mètres pour atteindre le nombre de 10 000 cellules potentiellement urbanisables³. La carte 5.9 illustre les conséquences d'une modification de ce seuil. Comme les parcs et jardins sont relativement peu nombreux au Grand-Duché, l'extension du seuil de distance acceptable ne fait que valoriser très fortement l'accessibilité aux aménités déjà présentes en milieu urbain, là où le potentiel d'urbanisation est le plus limité.

Même si ces résultats sont relativement encourageants au regard de la situation initiale et que cela révèle une fois de plus l'importance des seuils choisis dans la formalisation des règles d'accessibilité de MUP-City, cette règle semble trop contraignante dans le cas luxembourgeois. Nous discuterons à la fin des tests et en conclusion du chapitre de la pertinence de conserver cette règle ou non dans la construction des scénarios.

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6276	0.183	0.176	0.589
Désactivation de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation quotidienne	58998	0.185	0.187	0.704
Modification de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation quotidienne	10383	0.205	0.204	0.750

Tableau 5.10 – Influence de la règle d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation quotidienne sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

3. Des tests avec d'autres valeurs comprises entre 200 et 800 mètres ont été effectués, sans résultats convaincants.

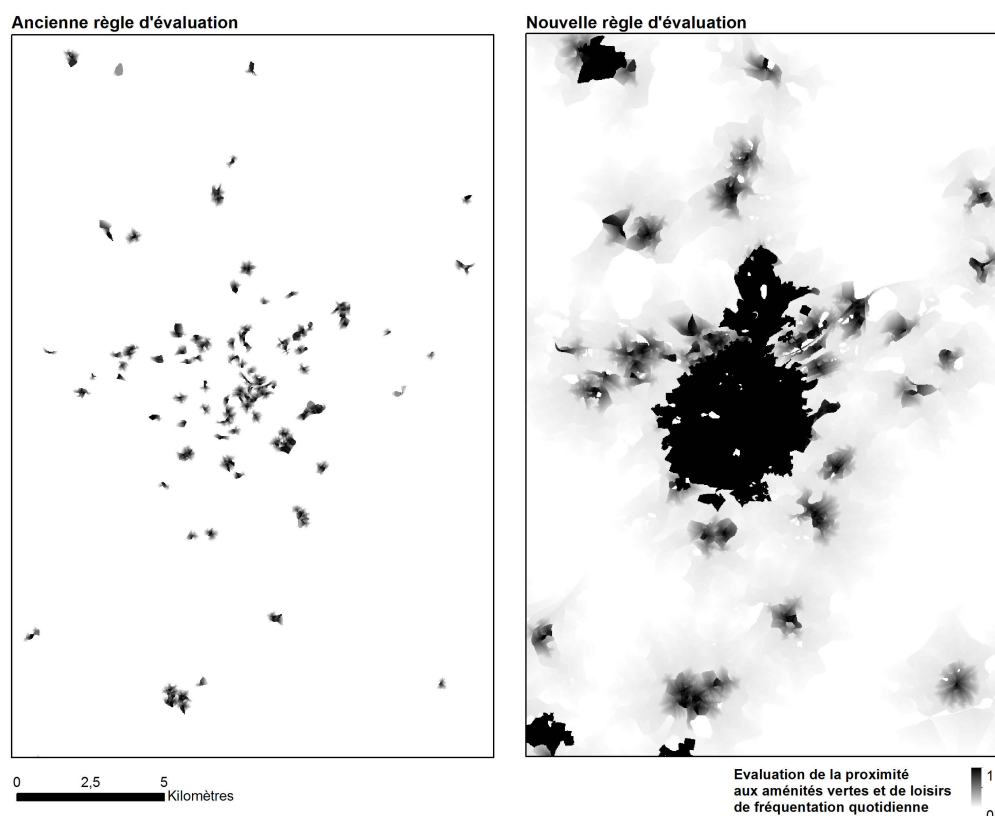


FIGURE 5.9 – Distribution spatiale des valeurs d'évaluation avant et après modification de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation quotidienne (zoom sur Luxembourg-ville et ses environs)

2.7.2. Les aménités vertes et de loisirs de fréquentation hebdomadaire

La règle d'évaluation aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation hebdomadaire est l'une des seules pour laquelle la désactivation et la définition d'un nouveau seuil de distance ont produit des résultats presque similaires. Le résultat obtenu avec la désactivation de la règle peut s'expliquer par le faible potentiel de la simulation de référence qui a été utilisée. Il est donc assez difficile de mesurer le caractère restrictif de cette règle. On voit que l'apport principal du changement de seuil concerne les zones très légèrement grisées sur la carte 5.10. Cependant, comme ces espaces sont souvent assez mal évalués concernant les autres règles, parce qu'on n'y trouve ni commerce ou service, ni infrastructures de transport en commun, une évaluation même peu élevée de l'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation hebdomadaire ne permet pas d'améliorer significativement l'évaluation globale des cellules. Pour ne pas trop pénaliser les valeurs d'évaluation, le seuil de 2 000 mètres est conservé, tout en prolongeant la valeur minimale et éliminatoire à 5 000 mètres

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6276	0.183	0.176	0.589
Désactivation de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation hebdomadaire	6312	0.184	0.180	0.647
Modification de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation hebdomadaire	6342	0.182	0.176	0.647

Tableau 5.11 – Influence de la règle d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation hebdomadaire sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

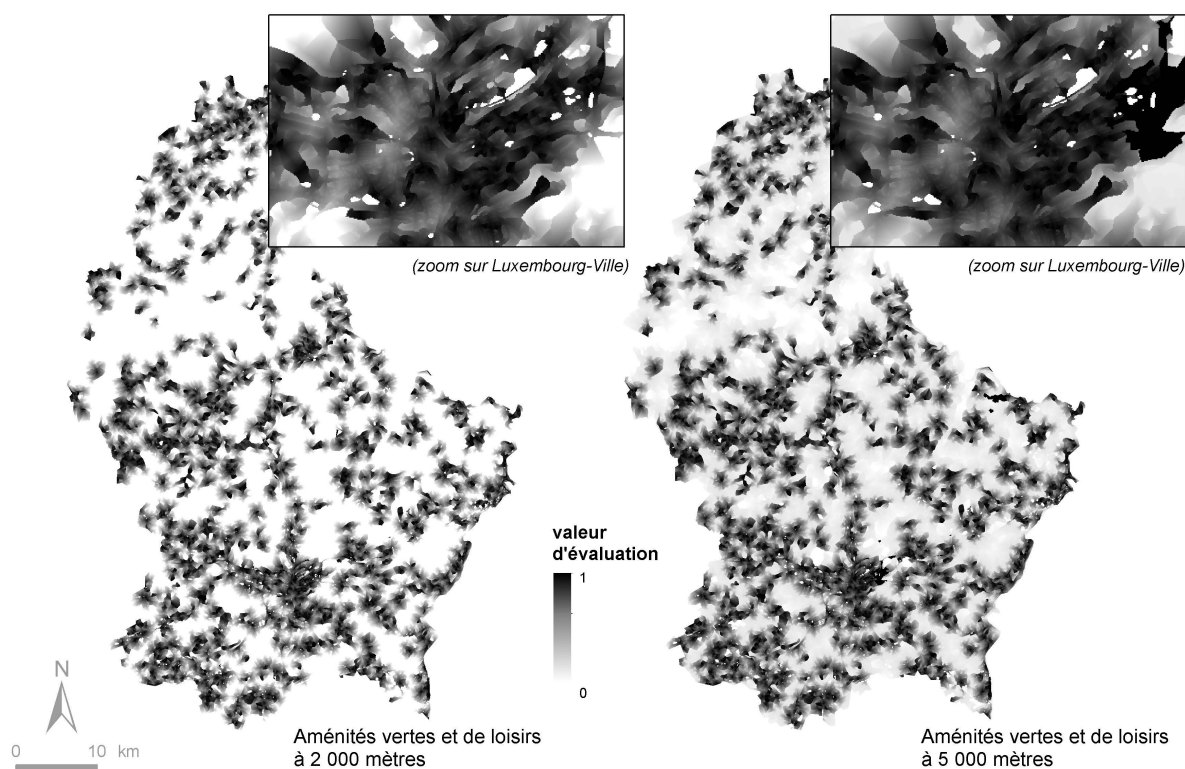


FIGURE 5.10 – Distribution spatiale des valeurs d'évaluation avant et après modification de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation hebdomadaire

2.7.3. Les aménités vertes et de loisirs de fréquentation mensuelle ou plus rare

Comme constaté lors de l'évaluation initiale, l'ensemble du Luxembourg, bâti existant et potentiel d'urbanisation, est bien évalué en ce qui concerne l'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de recours mensuel ou plus rare. Ceci s'explique par le fort taux de boisement luxembourgeois.

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6276	0.183	0.176	0.589
Désactivation de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation mensuelle ou plus rare	6266	0.183	0.176	0.618

Tableau 5.12 – Influence de la règle d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation mensuelle ou plus rare sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

La désactivation de la règle ne produit donc aucun résultat significatif en ce qui concerne le potentiel d'urbanisation ; le nombre de cellules potentiellement urbanisables demeure identique. De même, la forme de la distribution statistique des valeurs d'évaluation ne change pas au regard des trois variables descriptives retenues.



FIGURE 5.11 – Distribution spatiale des valeurs d'évaluation de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation mensuelle ou plus rare

3. Synthèse de l'Influence de la modification des seuils de distance acceptable sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

Le tableau 6.1 présente les résultats issus de l'application des seuils de distance testés précédemment. On voit tout de suite que l'application des seuils moins stricts permet d'identifier davantage de potentiel d'urbanisation. Avec plus de 130 000 cellules évaluées positivement, on se rapproche des valeurs indicatives du nombre de cellules à urbaniser au Luxembourg à l'horizon 2030 (voir chapitre 3). Cependant, si la valeur d'évaluation maximale a largement été rehaussée, la médiane a vu sa valeur divisée par deux, ce qui est une information sur la forme de la distribution des valeurs obtenues. La moyenne confirme également le résultat de la valeur médiane. De fait, nous avons obtenu davantage de cellules potentiellement urbanisables en jouant sur les seuils de distance acceptable, mais les cellules ne sont pas toujours très bien évaluées.

	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale
Simulation de référence : toutes les règles D = 1.77	6276	0.183	0.176	0.589
Simulation de référence, avec des seuils moins stricts	131154	0.141	0.094	0.794
Simulation de référence, sans la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation quotidienne	196412	0.191	0.176	0.794

Tableau 5.13 – Synthèse de l'évaluation de la situation initiale avec la modification des seuils des règles d'accessibilité

La méthode employée pour agréger les valeurs des règles d'accessibilité explique en grande partie ces résultats. L'opérateur *MIN* employé pour l'agrégation est dit pessimiste : pour une règle, si une évaluation devient proche du minimum 0,01, l'ensemble de l'évaluation synthétique est affectée. C'est également pour cette raison que les tests de différents seuils ou de désactivation des règles ont parfois eu des résultats semblables aux résultats déjà obtenus avec la simulation de référence. La combinaison de l'ensemble de ces tests d'évaluation apporte une hausse significative du nombre total de cellules potentiellement urbanisables.

Au final, la désactivation de la règle d'évaluation de l'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation quotidienne combinée à l'application de seuils de distance moins stricts est tout à fait concluant. Non seulement près de 200 000 cellules potentiellement urbanisables sont obtenues en sortie du modèle mais de plus, la distribution statistique des valeurs d'évaluation est nettement améliorée. Si la valeur maximum n'a pas changé, la moyenne et la médiane ont considérablement augmenté. Le tableau 5.14 présente les nouvelles règles, moins strictes, telles qu'elles ont été adoptées pour la suite de nos calculs. Pour des questions de clarté, seules les règles ayant été modifiées et les seuils reconsidérés sont mentionnés sur le schéma. Au final, seules 5 règles et une dizaine de paramètres (parmi les dizaines que comprend le modèle) ont fait l'objet d'une modification.

3. Synthèse de l'Influence de la modification des seuils de distance acceptable sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables

RÈGLE	SEUILS STRICTS		SEUILS MOINS STRICTS	
commerces et services de fréquentation quotidienne				
Distance maximale de constitution des agrégats	1 000		1 500	
Distance maximale entre les aménités	200		500	
Fonction d'évaluation de la distance	0	1	0	1
	200	0,5	500	0,5
	600	0,01	1 000	0,1
	-	-	3 000	0,01
commerces et services de fréquentation hebdomadaire				
Distance maximale de constitution des agrégats	3 000		3 000	
Distance maximale entre les aménités	200		500	
Fonction d'évaluation de la distance	0	1	0	1
	2 000	0,01	2 000	0,1
	-	-	3 000	0,01
proximité aux infrastructures de transports en commun				
Distance maximale à la gare ferroviaire	1 000		3 000	
Distance maximale à un arrêt de bus	400		500	
Fonction de comptage des arrêts de bus	4	1	3	1
	0,01	0,01	0,01	0,01
aménités vertes et de loisirs de fréquentation quotidienne				
Fonction d'évaluation de la distance	0	1	0	1
	300	0,01	500	0,5
	-	-	1 000	0,1
	-	-	3 000	0,01
aménités vertes et de loisirs de fréquentation hebdomadaire				
Fonction d'évaluation de la distance	0	1	0	1
	2 000	0,01	2 000	0,1
	-	-	5 000	0,01

Tableau 5.14 – Seuils stricts et moins stricts des règles d'accessibilité qui ont fait l'objet d'une modification pour la simulation de scénarios prospectifs au Luxembourg

4. Sensibilité des résultats de simulation à différentes priorités dans les règles d'accessibilité

Dans les simulations de scénarios réalisées avec MUP-City précédemment, toutes les règles revêtaient la même importance. Il s'agit maintenant d'étudier en quoi une modification de l'importance respective de chaque règle permet ou non de mieux répondre aux objectifs d'aménagement. Comme expliqué précédemment, la règle de proximité aux espaces non-bâties et celle de proximité à la route doivent être prises en compte sans pour autant qu'elles n'excluent du potentiel d'urbanisation des cellules qui seraient bien évaluées par les autres règles. De fait, dans tous les cas, elles auront un poids plus faible que les autres.

L'idée est de présenter ici deux points de vue, l'un visant à favoriser une bonne évaluation de l'accessibilité aux commerces et services, l'autre à favoriser une bonne accessibilité aux infrastructures de transports en commun. Dans le premier cas, l'idée générale est que l'importance de la règle soit croissante parallèlement à la fréquence de recours potentielle de l'aménité considérée. Plus cette dernière est susceptible d'être fréquentée souvent, plus la priorité de croissance résidentielle doit se faire à proximité de celle-ci. Dans le deuxième cas, et afin d'établir une comparaison très contrastée avec la première, toute l'importance a été donnée à la règle d'évaluation de la proximité aux stations de transports en commun. Les importances des règles de proximité aux espaces non-bâties et de proximité à la route sont identiques dans les deux cas pour faciliter la comparaison.

4.1. Favoriser l'accessibilité aux commerces et services

À première vue, avec près de 200 000 cellules positivement évaluées, la pondération des règles favorisant les commerces et services (voir tableau 5.15⁴) n'a pas de conséquence défavorable sur l'évaluation globale des cellules potentiellement urbanisables du Luxembourg.

La moyenne des évaluations (0,16) reste acceptable par rapport à l'ensemble des tests précédemment effectués mais le nombre de cellules très faiblement évaluées est très important. Seules 75 000 cellules (1/3 du potentiel) ont une valeur d'évaluation supérieure à 0,10. Ainsi, le potentiel d'urbanisation obtenu en sortie est plus conséquent, mais les cellules ont une évaluation synthétique assez faible.

Favoriser l'accessibilité aux commerces et services	NB	R	F1	F2	F3	TC	L2	L3	coefficient
Règle de prox. esp. non-bâti (NB)	-	1	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,295
Règle « routes » (R)	1	-	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,383
Règle commerces et services quotidiens (F1)	3	3	-	7	7	7	7	7	3,396
Règle commerces et services hebdomadaires (F2)	3	3	1/7	-	5	5	5	5	1,618
Règle commerces et services mensuels ou plus rare (F3)	3	3	1/7	1/5	-	3	3	3	0,835
Règle « transports en commun » (TC)	3	3	1/7	1/5	1/3	-	1	1	0,474
Règle aménités vertes hebdomadaires (L2)	3	3	1/7	1/5	1/3	1	-	3	0,564
Règle aménités vertes mensuelles ou plus rares (L3)	3	3	1/7	1/5	1/3	1	1/3	-	0,435

Tableau 5.15 – Valeurs utilisées dans la comparaison par paires des différentes règles de MUP-City, en faveur de l'accessibilité aux commerces et services

4. Pour un gain de place et une meilleure lisibilité, les intitulés de colonnes sont indiqués par leurs initiales, reprises dans les intitulés de lignes.

4.2. Favoriser l'accessibilité aux transports en commun

Dans l'ensemble, et sur le plan statistique, la pondération des règles favorisant l'accessibilité aux stations de transports en commun (voir tableau 5.16) produit les mêmes résultats que celle destinée à privilégier l'accessibilité aux commerces et services.

Le nombre de cellules positivement évaluées est aussi important, avec près de 200 000 cellules positivement évaluées. La moyenne des évaluations de 0,16 est relativement cohérente avec le reste des résultats et la médiane traduit une distribution des valeurs vers les très faibles évaluations (inférieures à 0,1). Les résultats sont tout de même supérieurs à ceux obtenus lors du test précédent privilégiant les commerces et services : près de la moitié des cellules potentiellement urbanisables dans le cas d'un scénario en faveur de l'accessibilité aux transports en commun ont une évaluation supérieure à 0,10.

Favoriser la proximité aux transports en commun	NB	R	F1	F2	F3	TC	L2	L3	coefficient
Règle de prox. esp. non-bâties (NB)	-	1	1/3	1/3	1/3	1/7	1/3	1/3	0,279
Règle « routes » (R)	1	-	1/3	1/3	1/3	1/7	1/3	1/3	0,279
Règle commerces et services quotidiens (F1)	3	3	-	1	1	1/7	1	1	0,700
Règle commerces et services hebdomadaires (F2)	3	3	1	-	1	1/7	1	1	0,700
Règle commerces et services mensuels ou plus rare (F3)	3	3	1	1	-	1/7	1	1	0,700
Règle « transports en commun » (TC)	7	7	7	7	7	-	7	7	3,944
Règle aménités vertes hebdomadaires (L2)	3	3	1	1	1	1/7	-	1	0,700
Règle aménités vertes mensuelles ou plus rares (L3)	3	3	1	1	1	1/7	1	-	0,700

Tableau 5.16 – Valeurs utilisées dans la comparaison par paires des différentes règles de MUP-City, en faveur de la proximité aux transports en commun

4.3. Comparaison des deux séries de pondérations

Sur le plan statistique, les résultats d'évaluation synthétiques obtenus par l'application des deux séries de pondérations sont assez semblables (voir tableaux 5.15, 5.16 et 5.17). Le nombre de cellules potentiellement urbanisables et leurs distributions statistiques ont de nombreux points communs. Une différence envisagée se situe au niveau de la localisation géographique des potentiels d'urbanisation. C'est pourquoi une analyse plus détaillée de la distribution spatiale des évaluations, et donc des formes générées par les deux pondérations, nous semble à ce moment pertinente.

Simulation	Nombre de cellules évaluées positivement	Evaluation moyenne	Evaluation médiane	Evaluation maximale	Evaluation supérieure à 0.10
Pondération des règles en faveur de l'accessibilité aux commerces et services	197 325	0.163	0.029	0.879	75 392
Pondération des règles en faveur de la proximité aux transports en commun	196 510	0.167	0.065	0.907	91 306

Tableau 5.17 – Synthèse de l'analyse des deux séries de pondérations de la comparaison par paires

À première vue (cartes 5.12), il semble difficile de faire la différence « à l'œil nu » entre les deux scénarios malgré un zoom sur Luxembourg-Ville. De fait, un problème de représentation des données se pose, les objets graphiques étant trop nombreux et trop petits pour que notre œil puisse convenablement les distinguer. Il convient donc de cartographier différemment les résultats de simulation.

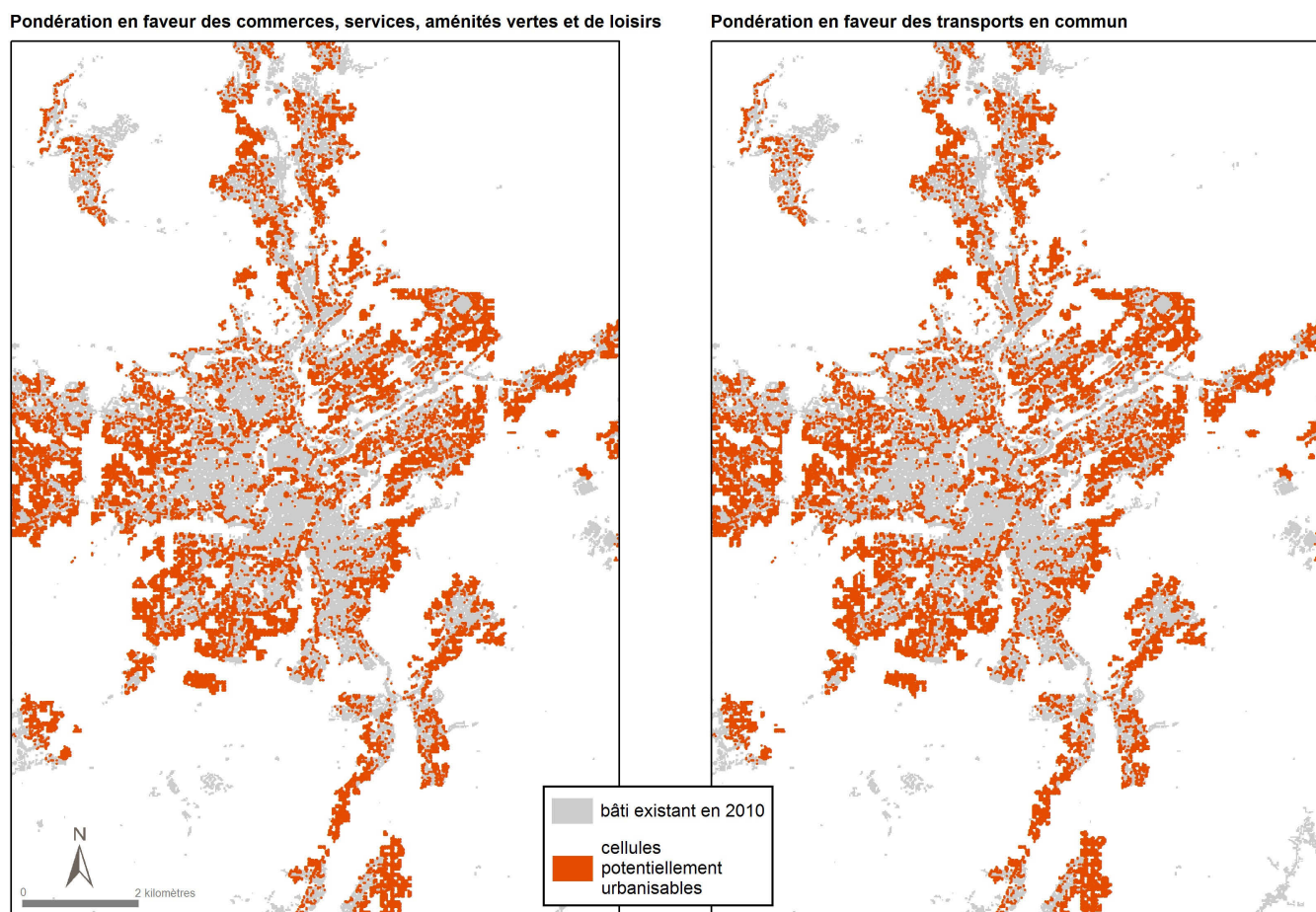


FIGURE 5.12 – Comparaison des deux pondérations des règles en faveur de l’accessibilité aux commerces et services ou en faveur de la proximité aux transports en commun (zoom sur Luxembourg-Ville et ses environs)

Nous avons tenté une interpolation des résultats par la méthode dite de densité des noyaux⁵. Comme toute interpolation, la méthode de calcul a d’abord été créée pour générer de l’information dans les localisations où elle n’existe pas. Elle est donc ici employée à contre-emploi, puisque le volume d’information est largement suffisant, mais difficile à lire graphiquement. En appliquant la méthode de densité des noyaux pour cartographier le potentiel d’urbanisation simulé, l’information ponctuelle est rendue surfacique et des zones de tendances apparaissent sur la carte 5.13.

5. Sous SIG, cette fonction est disponible sous le nom de *kernel density*.

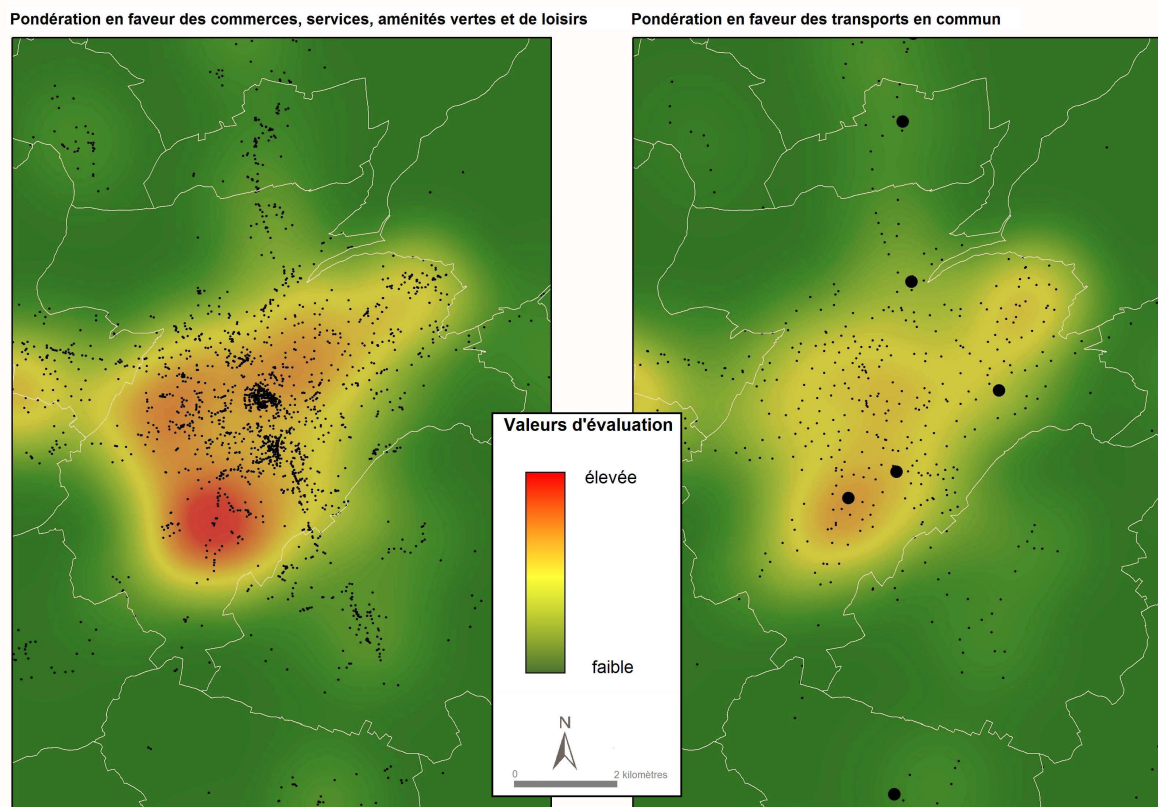


FIGURE 5.13 – Comparaison des deux séries de pondérations, en faveur de l'accessibilité aux commerces et services (à gauche, les points noirs désignent les commerces et services) ou en faveur de la proximité aux transports en commun (à droite, les petits points noirs désignent les arrêts de bus, les gros les gares ferroviaires), représentation par la méthode de densité des noyaux (extrait sur Luxembourg-ville)

À la simple lecture de ces cartes, le modèle semble bien réagir aux deux orientations d'aménagement envisagées. Les zones « chaudes » (ou *hot spots*) ont l'air de suivre la distribution des différentes aménités en fonction des choix de pondérations effectués dans la comparaison par paires. Toutefois, il faut garder en tête que le potentiel représenté ci-dessus n'est pas uniquement défini par les aménités (commerces et services, ou infrastructures de transports en commun) ; d'autres règles (accessibilité aux espaces ouverts, proximité à la routes, accessibilité aux espaces verts et de loisirs), participent également au calcul de l'évaluation synthétique.

5. Conclusion du chapitre 5

Ce cinquième chapitre de la thèse a été l'occasion de présenter la démarche permettant de simuler le développement résidentiel dans MUP-City. Cette méthode est à la base des scénarios qui seront décrits dans le chapitre 6. C'est pourquoi il était nécessaire de présenter en détail les différentes orientations disponibles à l'utilisateur pour générer des potentiels de croissance résidentielle à l'aide de la plateforme de simulation. Comme nous nous inscrivons dans le cadre d'une transition d'un modèle existant, il était également intéressant de comprendre le paramétrage de ce modèle.

La transcription en règles dans le modèle de simulation est une étape fondamentale de notre travail, sachant que modifier un paramètre dans MUP-City, par exemple, modifier une fonction d'évaluation, ne remet en cause ni les objectifs de croissance résidentielle, ni les normes d'aménagement. Les seuils des règles d'accessibilité discutés ici sont une partie du paramétrage du modèle, qui comprend également la règle fractale d'urbanisation.

Notre hypothèse générale étant basée sur l'application d'une norme fractale du développement résidentiel, il est logique que la règle fractale d'urbanisation tiennent une place prépondérante dans les résultats obtenus dans ce chapitre. Une augmentation significative de la dimension fractale, autrement dit de l'homogénéité du tissu résidentiel au niveau local, constitue une des clés dans la construction des scénarios. Le choix d'une dimension fractale élevée, avec $N_{max} = 7$, va dans le sens des résultats obtenus par Tannier et al, notamment en 2012. L'augmentation du niveau de fractalité du bâti ne semble pas incompatible avec une politique d'augmentation de la densité, les scénarios devraient confirmer cette hypothèse.

L'accessibilité aux commerces et services, et particulièrement ceux dont la fréquence de recours potentielle est quotidienne, joue un rôle majeur dans la définition du potentiel d'urbanisation. Si la distance maximale acceptable pour accéder aux commerces et services a été accrue pour correspondre au cas luxembourgeois, il demeure que la prise en compte de l'accessibilité à ces aménités est fondamentale pour favoriser l'utilisation des modes doux et encourager la marche à pied (McCormack, 2004 ; Boarnet, 2011). Il en va de même pour les aménités vertes, surtout les parcs et jardins, dont l'attractivité décroît fortement avec la distance (Kaplan, 1985). Ces derniers, doivent être bien équipés et de taille suffisante pour avoir une attractivité suffisante, comme c'est le cas pour les aménités vertes de fréquence de recours potentielle hebdomadaire, généralement localisées près d'équipements ou de terrains de sports (?). Les très courtes distances (moins de 500 mètres) pour

accéder aux espaces verts constituent une référence dans l'acceptabilité des individus (?), la recherche de cette proximité doit former un objectif.

Les tests des seuils du modèle ont une nouvelle fois montré la difficile tâche du paramétrage d'un outil de simulation (Richiardi et al., 2006 ; Hirtzel, 2015 ; Schmitt et al., à paraître). En effet, ces étapes de simulation soulignent la nécessité d'adapter les règles du modèle au cas d'étude, sans pour autant modifier la démarche de modélisation initiale et sans dénaturer les hypothèses qui en sont à l'origine. Comme constaté précédemment, les derniers résultats d'évaluations synthétiques ont été la conséquence directe d'une modification des seuils de distance dans les règles d'évaluation. Il y a davantage de cellules positivement évaluées mais nombre d'entre elles ont des valeurs d'évaluation synthétiques faibles (inférieures à 0,10). L'étude de l'influence des différentes règles dans le processus d'évaluation confirme aussi le fait que la plupart des faibles valeurs d'évaluations sont dues à quelques règles bien identifiées.

En fin de chapitre, nous avons également relevé la question de la représentation et de l'analyse des résultats. Des réactions du modèle qui étaient difficilement observables au niveau local, peuvent assez bien s'observer d'une part, par la sélection d'informations (zoom, sélection de cellules, agrégation spatiale...) et d'autre part, par l'utilisation de méthodes d'interpolations. Ces dernières sont à manipuler avec précaution en raison des biais spatiaux qu'elles peuvent produire mais représentent une bonne option dans l'aide à la visualisation au niveau global.

Chapitre 6

Le Grand-Duché de Luxembourg à horizon 2030 : différents scénarios de croissance résidentielle

« La plus grande beauté d'une ville n'est pas dans les édifices, elle est dans l'espace libre entre les édifices. Les grands artisans de villes sont des sculpteurs d'espace. »

Chronique des Pasquier : VIII. Le Combat des ombres
(1933-1945), Georges Duhamel

CE SIXIÈME chapitre, le dernier de cette deuxième partie, présente les scénarios de développement résidentiel imaginés pour le Luxembourg en 2030. Ces scénarios sont dits réalistes car ils sont basés sur des objectifs de croissance résidentielle identifiés dans le chapitre 2, et intègrent des normes d'aménagement, transcrites sous la forme de règles dans le modèle de simulation. Les scénarios sont construits à la fois sur la base des potentialités décrites dans les chapitres précédents et d'opérations de sélections des cellules en fonction des différentes règles d'aménagement, conformément à notre démarche méthodologique. Chacun de ces scénarios sera présenté de manière identique. Leur présentation suivra la succession des variables telles que présentées dans la figure 3.1. Pour rappel, ces étapes ne sont pas présentées dans l'ordre technique de leur réalisation mais selon l'ordre des choix qui doivent être réalisés dans la démarche processuelle de construction des scénarios.

Les projections démographiques tirées des publications du STATEC fixent l'objectif à atteindre en matière de quantité de logements à construire. Des règles de densité (en logements par hectare) permettent de convertir cet objectif en nombre de cellules bâties à générer par simulation. La forme urbaine globale définit la répartition par commune de ces cellules et établit des différentiels de densités entre elles. La forme urbaine locale décide de la géométrie des cellules potentiellement urbanisables simulées, via le choix de la dimension fractale du tissu urbain simulé. Les normes d'accessibilité aux différentes aménités évaluent l'intérêt à être urbanisées des cellules potentiellement urbanisables et de les sélectionner en fonction de leur valeur d'évaluation synthétique. Le choix des importances respectives des règles affine ces évaluations en fixant certaines orientations thématiques, en favorisant l'accessibilité aux commerces et services ou aux stations de transports en commun. Enfin, les zones de restrictions sont définies afin d'apporter une contrainte supplémentaire.

Au total, huit scénarios ont été retenus afin d'être comparés. Le premier d'entre eux, l'un des moins contraignants, servira de référence pour les comparaisons, c'est le scénario dit IVL. Par la suite, nous explorerons l'application d'un scénario FOD, pour *Fractal-Oriented Development*. Deux autres scénarios s'intéresseront aux conséquences des projections démographiques sur la croissance résidentielle, avec le test d'une hypothèse basse et d'une hypothèse haute, en comparaison de la projection démographique de référence. Un scénario dit de la densité aura pour objectif de mesurer l'influence de cette dernière sur la quantité de terrain consommée. Deux autres scénarios permettront de tester les formes urbaines globales, autrement dit les hiérarchies communales ont des conséquences sur la répartition spatiale de la croissance résidentielle. Enfin, un dernier scénario proposera une urbanisation dans les terrains identifiés comme disponibles au Luxembourg, afin d'identifier les conséquences de la planification en vigueur au Grand-Duché.

Les résultats du calcul du nombre de cellules à urbaniser sera analysé, parallèlement à une ou plusieurs sorties cartographiques. Nous avons adopté la représentation par la méthode de la densité de noyaux pour en faciliter la lecture. Aussi, les cartes contiennent un extrait sur une zone intéressante pour la comparaison, située au sud de la capitale luxembourgeoise, sur la commune de Bettembourg.

À la fin de ce chapitre, les scénarios issus du projet MOEBIUS seront brièvement présentés. Ces scénarios sont comparables à ceux construits dans le cadre de la thèse. Il sera intéressant de voir les convergences et les divergences dans leur construction, tant du point de vue méthodologique, que des hypothèses d'aménagement qui en constituent le socle.

1. Les scénarios de croissance résidentielle simulés avec MUP-City

1.1. Le scénario IVL, dit scénario « de référence »

Ce scénario IVL permet d'établir une base de comparaison pour l'ensemble des autres scénarios d'aménagement. L'ensemble des choix ou orientations qui le composent peuvent être considérés comme des valeurs « par défaut » dans la construction des scénarios. Il s'appuie sur l'hypothèse dite « baseline » des projections démographiques du STATEC, c'est-à-dire celle qui est considérée par l'organisme statistique comme la plus à même d'être réalisée. Concernant la densité de construction, le prolongement de la tendance actuelle de construction est renforcée, conformément aux objectifs politiques affichés. Le seuil de densité est différencié en fonction du critère de forme globale. En conséquence, un seuil de 35 logements à l'hectare est défini pour les communes dites prioritaires dans l'IVL ; à l'inverse, les communes où l'urbanisation est moindre bénéficient d'un seuil de densité conforme aux dynamiques observées à l'heure actuelle, soit 18 logements à l'hectare en moyenne. Sur le plan des formes urbaines au niveau local, le scénario est fractal avec une dimension assez élevée ($D = 1.77$ ou $N_{max} = 7$). Au niveau global, ce scénario s'applique d'abord sur les 39 communes prioritaires de l'IVL, conformément aux législations et à la planification en vigueur au Luxembourg. De fait, 80% des extensions résidentielles calculées seront localisés au sein des 39 communes. Ce seuil traduit la volonté de prioriser de façon conséquente certaines communes luxembourgeoises. Concernant les règles d'accessibilité aux aménités, une importance particulière est accordée à l'accessibilité aux commerces et services. Enfin, une restriction est apportée par la prise en compte des zones non constructibles, afin de limiter la croissance résidentielle dans des espaces naturels à préserver, dans des zones techniquement difficiles d'accès, ou dans des terrains considérés comme dangereux.

Le nombre de cellules potentiellement urbanisables d'ici 2030 pour ce scénario de référence est de 120 027 cellules, ce qui permet de localiser les 129 759 nouveaux logements d'ici 2030. En ventilant 80 % de la croissance résidentielle dans les communes prioritaires de l'IVL, un potentiel de 84 343 cellules est obtenu. Dans le même temps, les 35 684 autres cellules se placent dans les communes complémentaires. La carte 6.1 présente une cartographie possible des résultats obtenus dans le cadre du scénario IVL. Conformément aux objectifs, une grande partie des cellules potentiellement urbanisables sont localisées au sein des communes prioritaires, et sont symbolisées par un rouge soutenu. L'agglomération de la capitale, le Sud du pays et la *Nordstad* sont les zones où le potentiel de croissance urbaine est le plus conséquent. Néanmoins, d'autres communes prioritaires

Projection démographique	Nombre de logements	Surface à urbaniser (Ha)	Consommation foncière (U.H.)	Densité brute (log/ha)	Nombre de cellules potentiellement urbanisables d'ici 2030
Référence (80% dans les communes prioritaires)	103 807	3 373,7	325	35	84 343
Référence (20% dans les communes complémentaires)	25 952	1 427,3	550	18	35 684
Total	129 759	4 801	-	-	120 027

Tableau 6.1 – Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario IVL

ne faisant pas partie de ces 3 pôles ressortent, telles que les communes de Grevenmacher, Mertert, Redange, Steinfort, ou encore Wiltz. Ces dernières sont assez bien pourvues en aménités de toutes sortes et desservies par le réseau ferroviaire. Localement, le zoom nous indique une forme urbaine assez uniforme, due au choix d'une forte dimension fractale. Les extensions résidentielles sont bien localisées à proximité immédiate du bâti existant et des espaces non urbanisés demeurent entre les extensions résidentielles, afin de conserver une partie de l'accessibilité aux espaces ouverts.

Projection démographique : estimation de référence (129 759 logements)

Norme de densité : 35 log/ha (communes prioritaires de l'IVL) et 18 log/ha (communes complémentaires)

Forme urbaine locale : fractale, avec $D = 1.77$

Forme urbaine globale : urbanisation en priorité dans les 39 communes prioritaires de l'IVL

Distance aux aménités : pondération des règles pour favoriser l'accessibilité des commerces et services

Restrictions : zones non constructibles

Tableau 6.2 – Récapitulatif des caractéristiques du scénario de référence, dit IVL

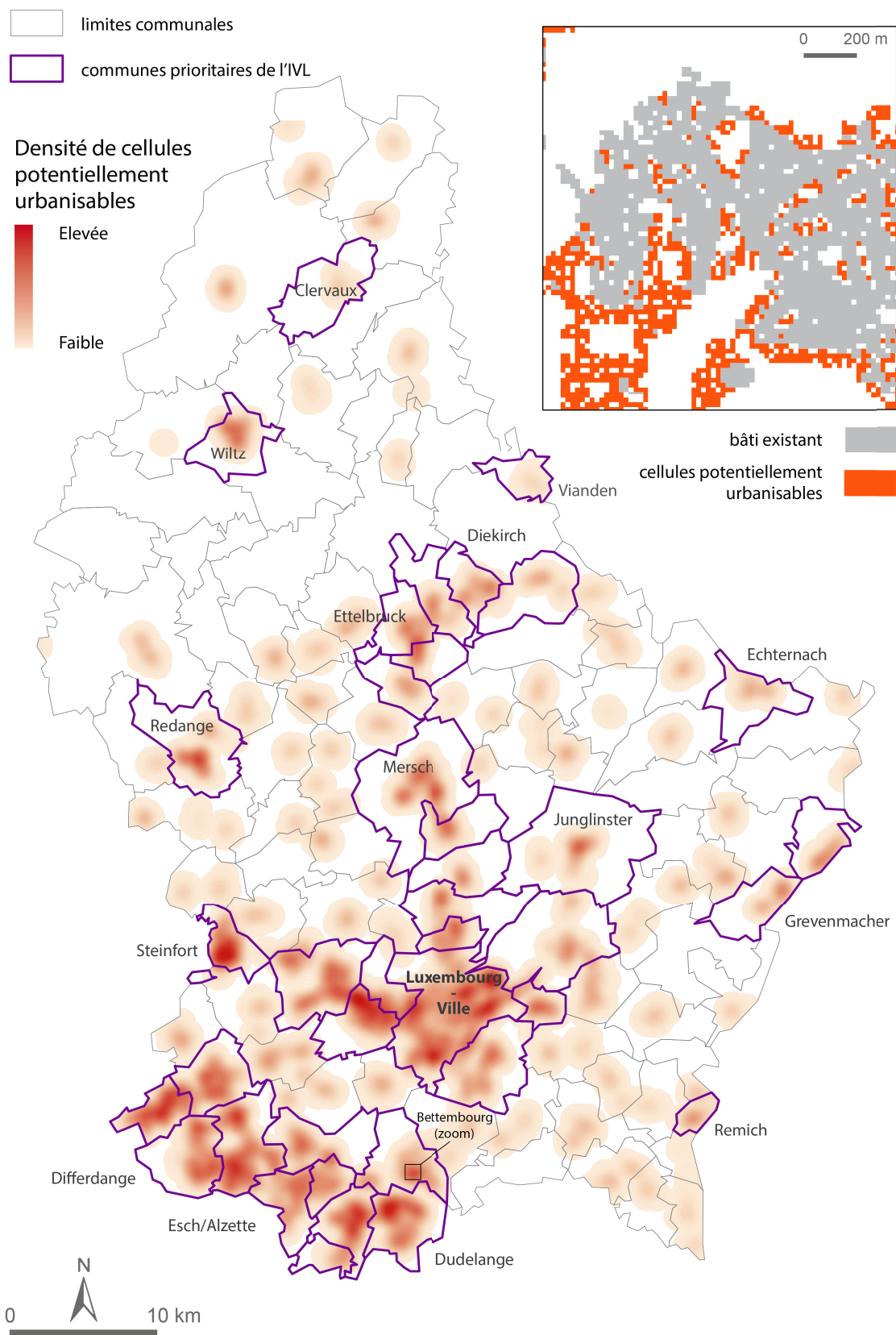


FIGURE 6.1 – Résultat du scénario IVL, représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation

1.2. Le scénario FOD - *Fractal Oriented Development*

Ce scénario consiste en la traduction d'une politique d'aménagement plus volontariste. L'objectif principal de ce scénario est de concentrer la localisation résidentielle à proximité immédiate des infrastructures de transports en commun. Dans ce scénario, c'est la proximité aux gares ferroviaires qui est recherchée. En effet, les infrastructures afférentes aux passages des lignes de bus sont moins ancrées spatialement et peuvent assez aisément être déplacées (notamment au regard de l'horizon de simulation).

Une nouvelle fois, ce scénario s'appuie sur la projection démographique de référence délivrée par le STATEC en ce qui concerne la projection de la croissance démographique. Du point de vue de la forme urbaine au niveau local, le choix s'est maintenu sur une forme fractale avec une forte dimension, conformément au scénario de référence. Cette option devrait permettre davantage de comparaisons et de limiter les critères de différenciation entre les différents scénarios. De plus, il nous a semblé intéressant de combiner une approche TOD avec l'approche fractale de la forme urbaine.

Logiquement, sur le plan de l'accessibilité aux aménités, une importance supérieure a été accordée à la règle d'évaluation de la proximité aux infrastructures de transports en commun. C'est au niveau de cette étape, une fois l'ensemble du potentiel d'urbanisation obtenu, qu'a été introduite la contrainte de proximité aux infrastructures ferroviaires. Pour ce faire, deux options étaient envisageables. Dans cette optique, l'accessibilité piétonne a été calculée pour toutes les gares du Grand-Duché, sur une distance de 1 000 mètres¹. Une zone de desserte a ainsi été définie afin de limiter les futures constructions à ce seul périmètre. Les cellules définies comme potentiellement urbanisables incluses dans ces zones de dessertes ont été sélectionnées, pour un total de 27 085 cellules.

Projection démographique	Nombre de logements	Surface à urbaniser (Ha)	Consommation foncière (U.H.)	Densité brute (logt/ha)	Nombre de cellules potentiellement urbanisables d'ici 2030
Référence	129 759	1 083,4	120	80	27 085

Tableau 6.3 – Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario FOD

1. Calculs effectués sous ArcGis, à l'aide de l'extension *Network Analyst*.

Afin de convertir ce nombre de cellules en une densité (voir tableau 6.3), nous appliquons le calcul inverse de conversion des logements en cellules. Dans la démarche de scénarisation, la norme de densité en logements par hectare est imposée a priori (comme précédemment pour le scénario IVL) ou, comme dans le cas présent, a posteriori, en déduisant la densité en faisant le ratio du nombre de logement sur la surface totale des 27 085 cellules potentiellement urbanisables. On observe que la densité de construction qui permet de remplir le double objectif de population et de localisation de cette population à proximité immédiate des infrastructures ferroviaires est d'environ 80 logements par hectare. C'est un résultat intéressant puisque cette densité représente un ordre de grandeur réaliste. Bien sûr, les densités actuelles de construction au Luxembourg sont loin de ce seuil mais bâtir un tel nombre de logements par hectare ne relève pas d'une politique de densification excessive (cf figures 3.6 et 3.5, du chapitre 3 présentant des types de constructions par densité). Pour finir, il faut ajouter que les zones non constructibles ont été prises en compte dans la définition du potentiel d'urbanisation, ce qui renforce le caractère plausible de ce scénario.

Projection démographique : estimation de référence (129 759 logements)
Norme de densité : 80 log/ha autour des gares (calcul effectué a posteriori)
Forme urbaine locale : fractale, avec $D = 1.77$
Forme urbaine globale : zone de dessertes des gares ferroviaires
Distance aux aménités : pondération des règles pour favoriser l'accessibilité aux infrastructures de transports en commun
Restrictions : zones non constructibles

Tableau 6.4 – Récapitulatif des caractéristiques du scénario Fractal-Oriented Development (FOD)

Le résultat cartographique du scénario FOD est présenté sur la carte 6.2. L'armature du réseau ferroviaire luxembourgeois, radiale autour de la capitale grand-ducale, est confortée par la localisation du potentiel d'urbanisation à l'échelle globale. La densité de construction étant élevée à proximité des gares, les zones d'urbanisation apparaissent plus intensément sur la carte par rapport aux résultats issus de l'IVL. Parfois, il arrive que certaines gares soit distantes de moins de 2 000

mètres², lorsqu'elles appartiennent à des localités différentes d'une même commune, ou bien entre deux communes. On observe alors la définition d'un potentiel d'urbanisation sous la forme d'une petite agglomération, plus ou moins allongée. C'est notamment le cas à l'extrémité sud-ouest du pays, avec les communes de Pétange et Bascharage. C'est aussi observable aux environs des communes de Kayl / Rumelange, ou encore à l'extrémité est du pays, sur la commune de Mertert.

Par ailleurs, certaines communes, bien que pourvues d'une infrastructure ferroviaire, ne bénéficient pas ou peu de potentiel d'urbanisation. Pourtant située en périphérie de Luxembourg, la commune de Leudelage (2 000 habitants) n'est pas à l'origine d'une forte croissance urbaine. Il faut dire que la gare est excentrée du bourg centre, où les commerces à proximité restent rares ; de fait, lors des évaluations par MUP-City, peu de cellules ont été évaluées positivement. À l'est du pays, près de la frontière avec l'Allemagne, la commune de Manternach n'a pas été définie comme une zone à fort potentiel. Le bourg centre de la commune, de taille restreinte, n'offre pas un nombre d'aménités suffisamment conséquent pour voir un scénario de type FOD s'y développer. C'est également le cas de quelques communes du nord du Luxembourg.

2. Deux fois 1 000 mètres entre les deux gares

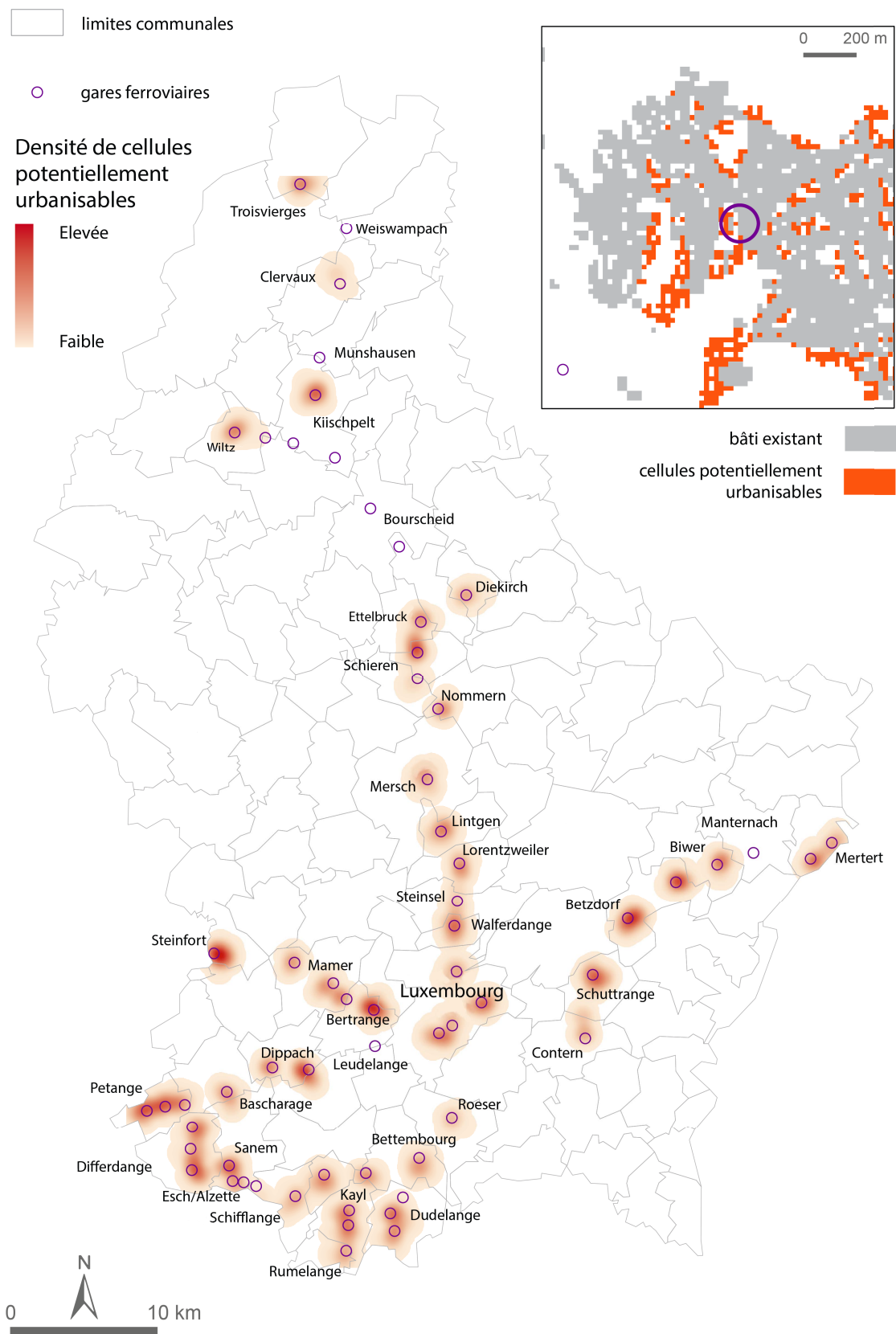


FIGURE 6.2 – Résultat du scénario FOD, représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation

1.3. Les scénarios de variation des projections démographiques

L'objectif principal de ce scénario est de mesurer les conséquences spatiales des scénarios de projections démographiques réalisées par le STATEC et de démontrer l'importance fondamentale de cette entrée dans la formulation des autres scénarios. Ainsi, retenir un scénario de projection démographique plutôt qu'un autre, c'est déjà faire un choix conséquent pour la suite de la démarche de scénarisation. Dans les autres scénarios, nous avons utilisé les projections *baseline* de population au Luxembourg en 2030. Mais il existe d'autres possibilités offertes dans les différents résultats obtenus par le STATEC. Le choix a donc été fait de réaliser deux variantes du scénario IVL de référence, en adoptant l'hypothèse basse de population et l'hypothèse haute. Nous pensons qu'une modification, même restreinte, de la projection démographique peut avoir des conséquences fortes sur la consommation d'espace par la croissance résidentielle. De fait, la planification de la croissance résidentielle nécessite des projections démographiques pertinentes afin de fixer les objectifs de croissance résidentielle.

Projection démographique : estimation haute ou basse
Norme de densité : 35 log/ha (communes prioritaires de l'IVL) et 18 log/ha (communes complémentaires)
Forme urbaine locale : fractale, avec $D = 1.77$
Forme urbaine globale : urbanisation en priorité dans les 39 communes prioritaires de l'IVL
Distance aux aménités : pondération des règles pour favoriser l'accessibilité des commerces et services
Restrictions : zones non constructibles

Tableau 6.5 – Récapitulatif des caractéristiques des scénarios de modification des projections démographiques

Les résultats du calcul du nombre de cellules pour chaque variante sont présentés dans le tableau 6.6. On observe que l'hypothèse haute de population conduit à 5 000 cellules de plus que les 120 027 cellules du scénario IVL, soit 5% de plus. L'écart avec les projections basses est plus conséquent puisque cette projection nécessite de simuler 30% de cellules en moins. L'enjeu en matière de consommation foncière est donc considérable puisque de l'ordre de 2 500 hectares, ce qui représente, pour donner un ordre de grandeur, la moitié de la surface réellement disponible pour

l'urbanisation au Luxembourg, telle que relevée par l'Observatoire de l'Habitat en 2010.

Projection démographique	Nombre de logements	Surface à urbaniser (Ha)	Consommation foncière (U.H.)	Densité brute (logt/ha)	Nombre de cellules potentiellement urbanisables d'ici 2030
Haute (communes prioritaires)	108 687	3 532,3	325	35	88 308
Haute (communes complémentaires)	27 172	1 494,4	550	18	37 361
Total	135 859				125 670
Basse (communes prioritaires)	73 486	2 388,3	325	35	59 708
Basse (communes complémentaires)	18 372	1 010,4	550	18	25 261
Total	91 858				84 969

Tableau 6.6 – Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre des scénarios de variations des projections démographiques

D'un point de vue cartographique, des nuances se remarquent entre les deux scénarios et les résultats obtenus avec le scénario IVL. Dans le cas du scénario de variation de population selon une hypothèse de forte croissance démographique (carte 6.3), l'intensité d'urbanisation sera plus soutenue sur l'ensemble du territoire, et notamment au sein des communes prioritaires. Toutefois, on constate l'apparition de nouveaux espaces potentiellement urbanisables, comme la commune de Bertzdorf à l'est de l'agglomération de Luxembourg-ville, ou certaines communes du nord du pays. L'apparition de ces nouveaux points chauds est due aux étapes de génération et de sélection des cellules potentiellement urbanisables. Dans le cadre d'une population plus élevée, il y a davantage de cellules à sélectionner parmi le nombre fini de cellules identifiées comme potentiellement urbanisables par MUP-City.

À l'inverse, le nombre de cellules à sélectionner est moindre dans le cas d'une projection de population basse (carte 6.4), et le nombre de constructions potentielles par commune diminue en proportion.

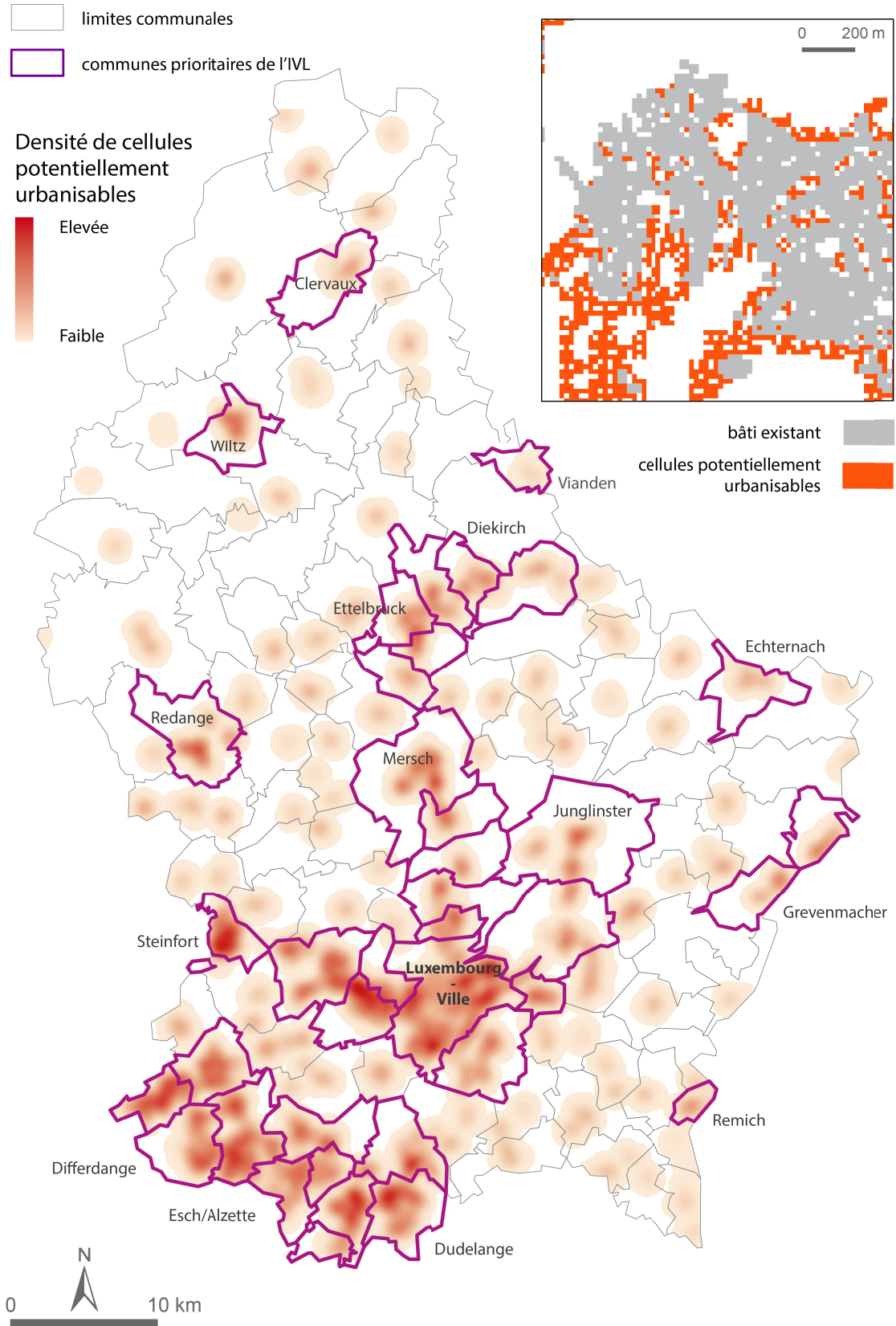


FIGURE 6.3 – Résultat du scénario de modification des projections démographiques (hypothèse haute), représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation

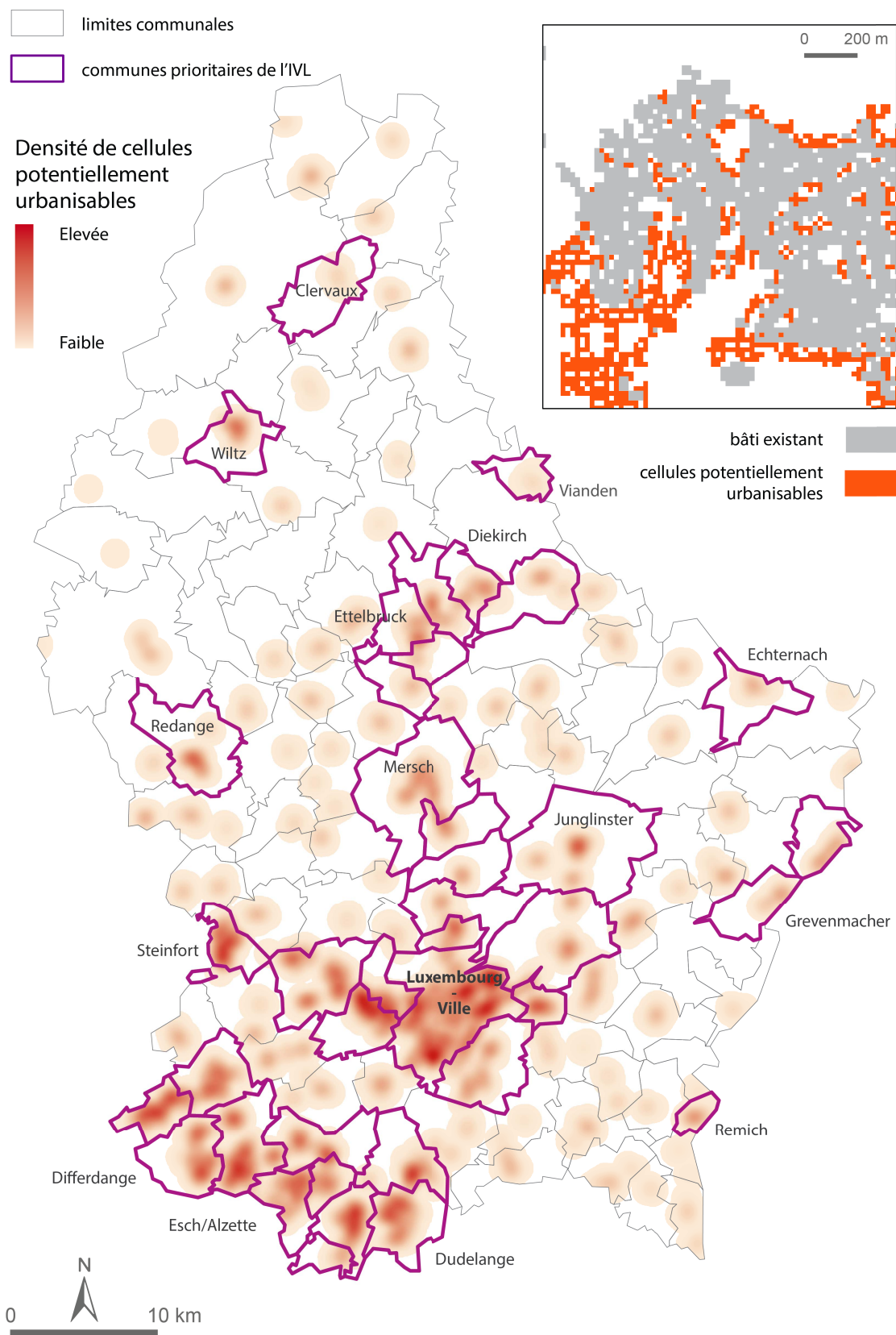


FIGURE 6.4 – Résultat du scénario de modification des projections démographiques (hypothèse basse), représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation

1.4. Le scénario de la densité

L'idée principale de ce scénario réside en la variation du critère de densité (en nombre de logements à l'hectare) dans le calcul du nombre de cellules à urbaniser. Il semble nécessaire de souligner l'importance du critère de densité, un des volets de la forme urbaine, dans le calcul du potentiel d'urbanisation. De fait, le choix du critère de densité est fondamental dans le calcul de l'urbanisation potentielle et constitue un levier majeur de la maîtrise de l'étalement urbain. Toujours dans l'optique de proposer des scénarios réalistes, il a été décidé de doubler ou presque les critères de densité appliqués dans le cadre du scénario IVL de référence. Ainsi, au lieu des 35 logements par hectare des communes prioritaires, un critère de 60 logements à l'hectare est appliqué. Si 35 logements par hectare sont généralement synonymes de maisons de villes et de petits bâtiments collectif en milieu urbain, une densité de 60 logements par hectare ressemble davantage à de petits immeubles collectifs détachés tels que présentés dans la figure 3.6 dans le troisième chapitre. Parallèlement, les communes non prioritaires de l'IVL, dotées d'un critère de 18 logements à l'hectare (maisons jumelées ou en bandes), verront leur densité doublée pour atteindre les 35 logements à l'hectare.

Projection démographique : estimation de référence (129 759 logements)

Norme de densité : 60 log/ha (communes prioritaires de l'IVL) et 35 log/ha (communes complémentaires)

Forme urbaine locale : fractale, avec $D = 1.77$

Forme urbaine globale : urbanisation en priorité dans les 39 communes prioritaires de l'IVL

Distance aux aménités : pondération des règles pour favoriser l'accessibilité des commerces et services

Restrictions : zones non constructibles

Tableau 6.7 – Récapitulatif des caractéristiques du scénario d'augmentation de la densité

Les résultats issus du calcul du nombre de cellules à sélectionner parmi le potentiel d'urbanisation en sortie de MUP-City est équivoque. Si le scénario de référence projetait l'urbanisation sur 120 000 cellules, il n'en faudrait plus que 64 000 avec de tels critères de densité. Sur le plan de l'analyse cartographique, le potentiel d'urbanisation se localise surtout dans les communes prioritaires

Projection démographique	Nombre de logements	Surface à urbaniser (Ha)	Consommation foncière (U.H.)	Densité brute (logt/ha)	Nombre de cellules potentiellement urbanisables d'ici 2030
Référence (communes prioritaires)	103 807	1 723,2	166	60	43 080
Référence (communes complémentaires)	25 952	843,4	325	35	21 086
Total	129 759				64 166

Tableau 6.8 – Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario d'augmentation de la densité

de l'IVL, même si les 20% de potentiel de croissance résidentielle dans les autres communes apparaissent assez nettement. Pour l'heure, multiplier par deux le critère de densité revient en effet à diviser par deux le nombre de cellules à urbaniser. D'un autre côté, si les cellules à sélectionner sont moins nombreuses, leurs valeurs d'intérêt à être urbanisées sont bien meilleures, ce qui forme un effet attendu.

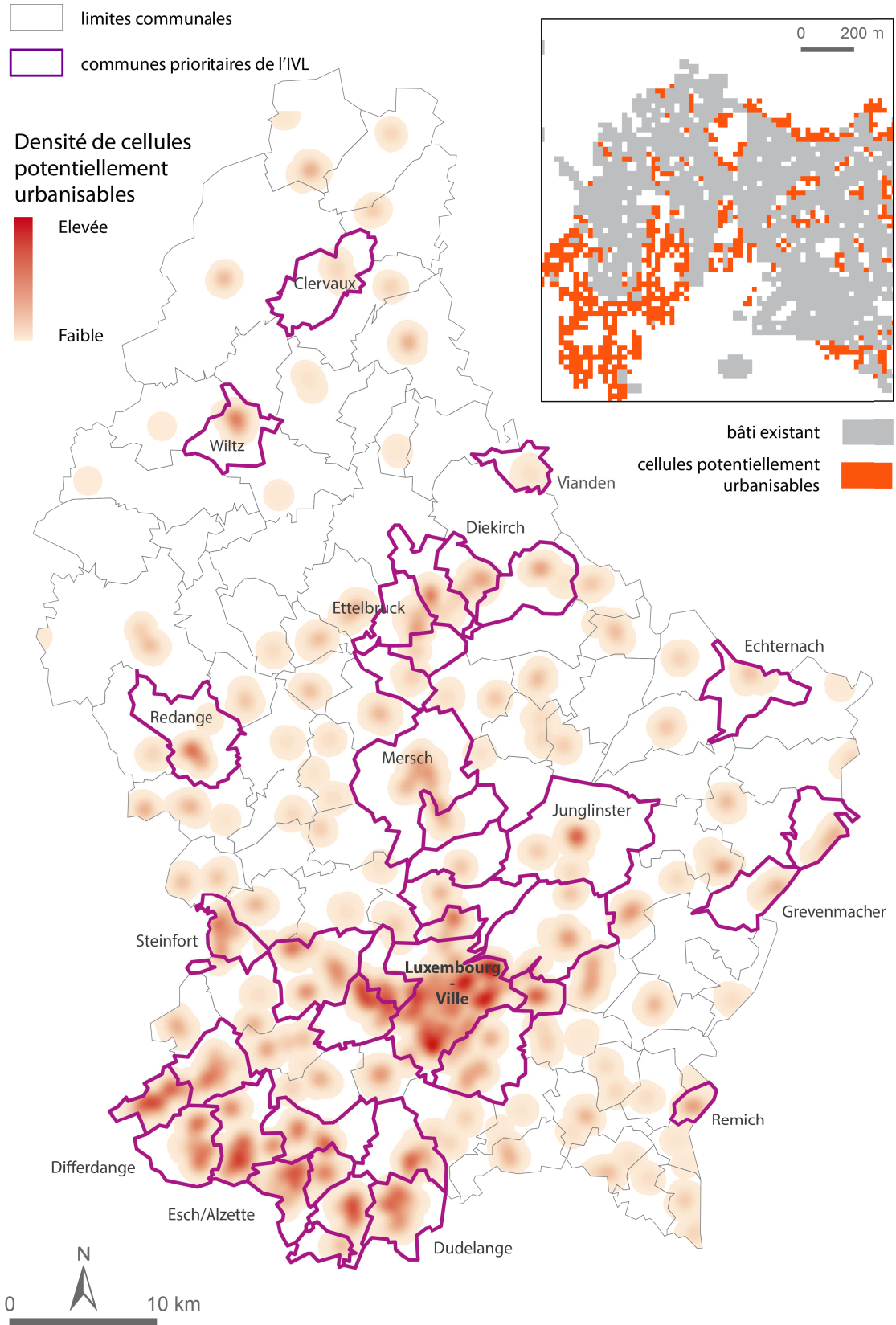


FIGURE 6.5 – Résultat du scénario d'augmentation de la densité, représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation

1.5. Les scénarios de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle

La variable de forme globale permet de faire varier la génération de la forme urbaine, par l'application de différentes hiérarchies communales. Dans le scénario IVL de référence, nous utilisons la liste des 39 communes prioritaires contenues dans le document de planification. L'objectif des deux autres scénarios de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle est de démontrer l'importance de la prise en compte des hiérarchies urbaines dans la définition de la trame urbaine. Nous allons donc explorer deux variantes opposées, l'une sans aucune typologie communale, l'autre en renforçant la hiérarchie existante et en axant le développement urbain sur les 3 pôles luxembourgeois. Ces 3 zones les plus urbanisées du pays sont l'agglomération de Luxembourg-ville, la région Sud, et l'agglomération de la *Nordstad*. Le Programme Directeur les identifie comme des espaces à forts enjeux de développement urbain. Nous pensons que la hiérarchie urbaine est à la fois conséquence de la fonctionnalité et de la centralité, mais surtout résultat d'une politique de planification. En renforçant ou non cette centralité, il est possible d'influencer fortement la localisation de la croissance résidentielle.

Pour la variante qui définit la croissance résidentielle au sein des 23 communes du Programme Directeur, la densité a été calculée a posteriori, comme dans le cas du scénario FOD, le critère le plus important étant la forme urbaine globale. Les deux tableaux 6.10 et 6.11 présentent les résultats des calculs du nombre de cellules à sélectionner. Dans le cadre du scénario où l'urbanisation s'effectue sur l'ensemble des communes, les 178 419 meilleures cellules ont été conservées, puisque la même densité de logement par hectare est appliquée partout. À l'inverse, uniquement les 78 105 cellules des 3 pôles urbains ont été identifiées par MUP-City comme étant potentiellement urbanisables. La norme de densité a été établie sur cette base. D'après nos calculs, la localisation de la croissance résidentielle conduirait à appliquer une norme de 42 logements par hectare, ce qui est légèrement supérieur à la norme du scénario de référence.

Les conséquences géographiques de ces deux variantes sont représentées par les cartes 6.10 et 6.11. Conformément à nos hypothèses, la forme urbaine globale conditionne en grande partie le développement résidentiel. En l'absence de typologie communale, donc en l'absence de hiérarchie, la croissance résidentielle est répartie de façon uniforme sur la totalité du territoire luxembourgeois. L'ensemble des communes ou presque possédant quelques aménités ont des cellules bien évaluées, donc propices à l'urbanisation. Même des communes n'apparaissant jusqu'alors dans aucun scénario voient leur potentiel de développement résidentiel augmenter de façon significative. C'est notamment le cas dans le nord du Grand-Duché et aussi dans la pointe à l'extrémité sud-est, avec

Projection démographique : estimation de référence (129 759 logements)

Norme de densité : 60 log/ha (communes prioritaires de l'IVL) et 35 log/ha (communes complémentaires)

Forme urbaine locale : fractale, avec $D = 1.77$

Forme urbaine globale : urbanisation en priorité dans les 39 communes prioritaires de l'IVL

Distance aux aménités : pondération des règles pour favoriser l'accessibilité des commerces et services

Restrictions : zones non constructibles

Tableau 6.9 – Récapitulatif des caractéristiques des scénarios de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle

Projection démographique	Nombre de logements	Surface à urbaniser (Ha)	Consommation foncière (U.H.)	Densité brute (logt/ha)	Nombre de cellules potentiellement urbanisables d'ici 2030
Référence	129 759	7 136,7	550	18	178 419

Tableau 6.10 – Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle (116 communes)

Projection démographique	Nombre de logements	Surface à urbaniser (Ha)	Consommation foncière (U.H.)	Densité brute (logt/ha)	Nombre de cellules potentiellement urbanisables d'ici 2030
Référence	129 759	3 124,2	225	42	78 105

Tableau 6.11 – Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle (23 communes)

les communes de Mondorf-les-Bains, Remich ou Schengen.

À l'inverse, l'application d'une typologie urbaine stricte permet de contenir grandement la croissance résidentielle. Les cellules potentiellement urbanisables sont localisées au sein de trois pôles au nord, au sud et dans la capitale luxembourgeoise. Il est intéressant de noter que certaines communes voient leur pouvoir de centralité nettement renforcé. C'est notamment le cas pour l'ouest de

la périphérie de la ville-centre. Les communes de Bertrange, Mamer et Strassen sont en effet assez bien pourvues en aménités et donc bien évaluées par MUP-City comme lieu d'implantation des futures extensions résidentielles. La commune de Clémency, au nord du bassin minier et à la frontière belge, connaît un potentiel d'urbanisation conséquent, alors même que la commune est assez peu pourvue en aménités et ne dispose plus de gare ferroviaire. Évidemment, ce genre de scénario est assez extrême, mais il possède un certain intérêt dans la comparaison des différentes formes globales d'urbanisation.

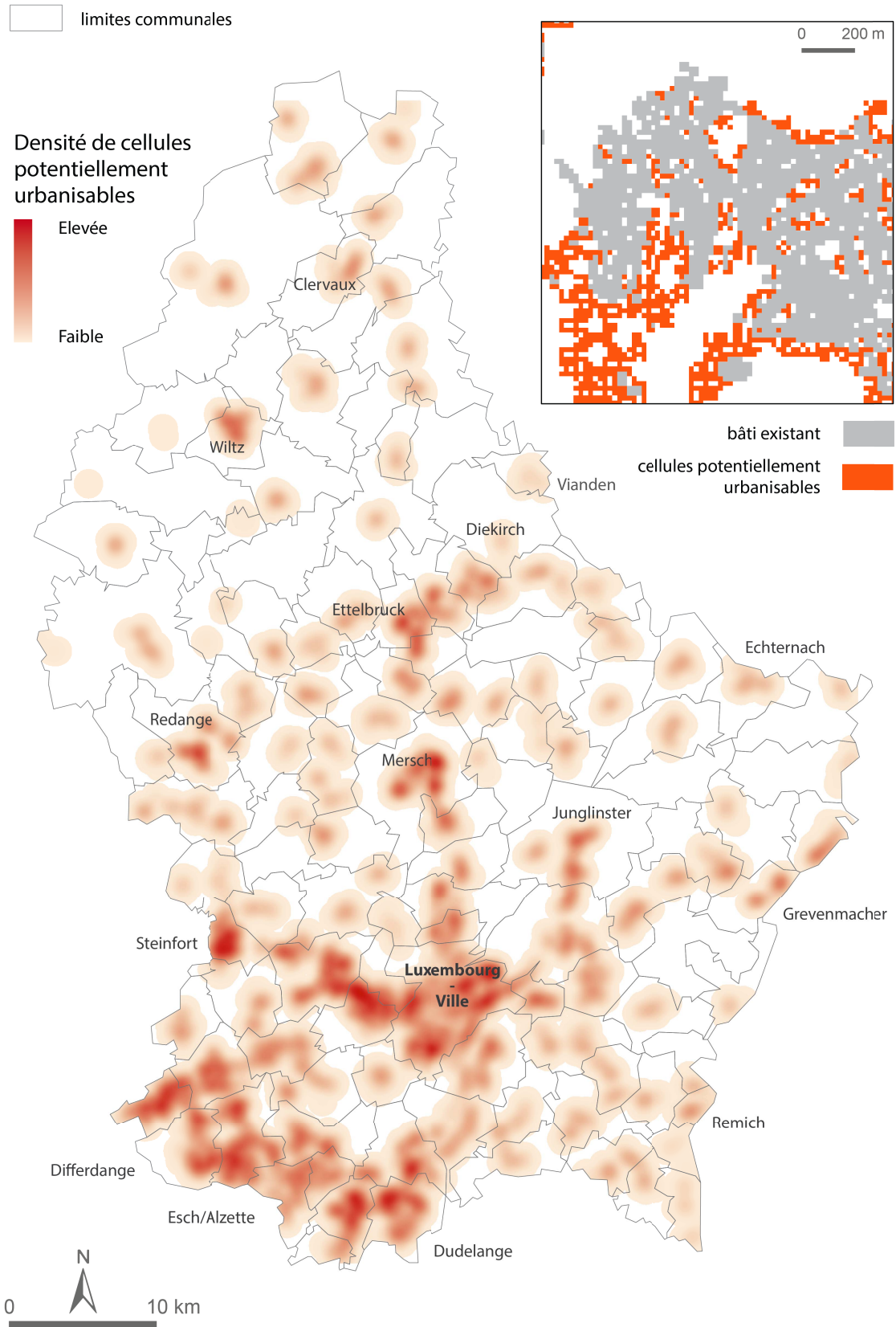


FIGURE 6.6 – Résultat du scénario de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle (116 communes), représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation

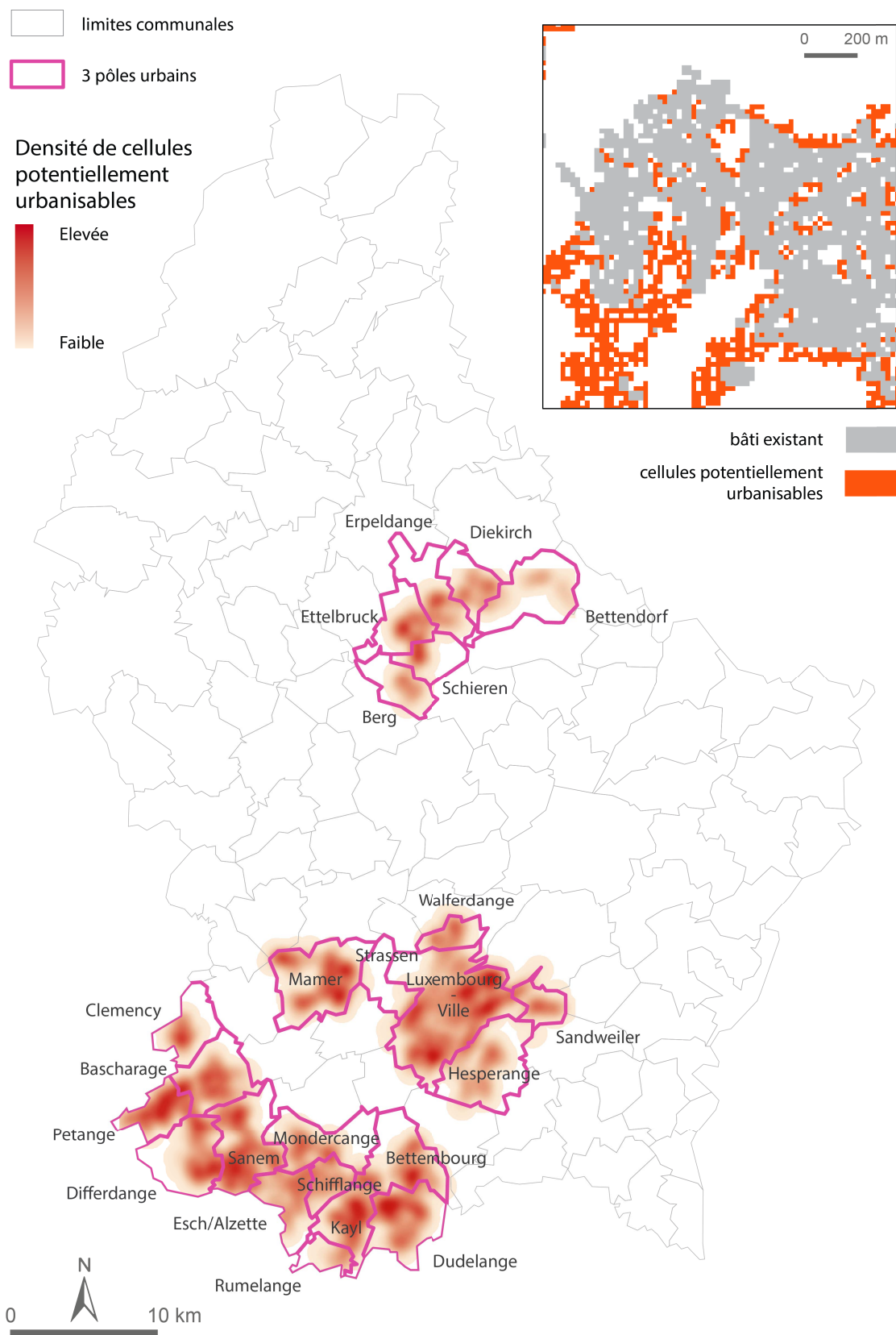


FIGURE 6.7 – Résultat du scénario de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle (23 communes), représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d’urbanisation

1.6. Le scénario de la disponibilité foncière

L'objectif de ce scénario est d'introduire davantage de réalisme en permettant ou interdisant la construction dans certaines zones. La génération du potentiel de cellules urbanisables est restreinte aux terrains légalement déclarés comme disponibles dans les documents de planification et identifiés par l'Observatoire de l'Habitat. Il est supposé qu'il existe une réelle différence de localisation entre les terrains vraiment disponibles et ouverts à la construction au Luxembourg et les zones potentiellement urbanisables telles que définies dans les autres scénarios. Les autres règles d'aménagement ont été laissées identiques au scénario IVL, sauf pour la forme urbaine globale. En effet, les terrains disponibles au Luxembourg sont localisés dans l'ensemble des communes sans qu'une priorité puisse être définie. Ne sachant pas combien de cellules pourraient être simulées dans cette couche d'information, nous avons décidé de calculer la norme de densité après l'étape d'identification des cellules potentiellement urbanisables par MUP-City (comme pour les scénarios FOD ou des 23 communes).

Projection démographique : estimation de référence
Norme de densité : 150 logements à l'hectare (calcul effectué a posteriori)
Forme urbaine locale : fractale, avec $D = 1.77$
Forme urbaine globale : sans
Distance aux aménités : pondération des règles pour favoriser l'accessibilité des commerces et services
Restrictions : les terrains disponibles au Luxembourg

Tableau 6.12 – Récapitulatif des caractéristiques des scénarios dit de la disponibilité foncière

Comme le montre le tableau 6.13, le nombre de cellules identifiées par MUP-City dans les polygones du potentiel foncier constructible est restreint : à peine plus de 20 000 cellules, ce qui est loin des 120 000 cellules du scénario de référence. En conservant les objectifs d'aménagement, il faudrait donc construire avec une densité bâtie de 150 logements par hectare. Si l'on se réfère à la figure 3.6, une telle densité relèverait d'immeubles collectifs de taille conséquente. Nous sommes donc une fois encore assez éloignés des dynamiques de construction en cours au Luxembourg, mais toujours dans une dimension réaliste. Il faut préciser que les polygones qui représentent numériquement les

terrains disponibles sont généralement de surface assez réduites et contraignent fortement le modèle fractal. De fait, ce dernier, de par sa logique de construction, essaye tout de même de préserver les règles morphologique et de maximiser l'accessibilité aux espaces ouverts pour toutes les cellules bâties, existantes ou à venir.

Projection démographique	Nombre de logements	Surface à urbaniser (Ha)	Consommation foncière (U.H.)	Densité brute (logt/ha)	Nombre de cellules potentiellement urbanisables d'ici 2030
Référence	129 759	858,6	67	151	21 465

Tableau 6.13 – Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario de la disponibilité foncière

La sortie cartographique des formes simulées conforte une partie des résultats publiés en 2012 par l'équipe de l'Observatoire de l'Habitat (note n° 18, avril 2012). Les zones où le potentiel semble le plus important, en rouge soutenu sur la carte 6.8, sont localisées à Luxembourg / Strassen, Steinfort, Dudelange, Esch-sur-Alzette / Sanem ou encore dans l'agglomération de la Nordstad. Toutefois, certaines communes identifiées par l'équipe du CEPS/INSTEAD et du ministère du Logement n'apparaissent pas sur la présente carte, malgré un fort potentiel foncier disponible, c'est le cas de Wincrange, Rambrouch ou encore Junglister. Ces communes sont peu dotées en commerces et services et les cellules ont été assez mal évaluées par le modèle. Il est également possible que la règle de géométrie fractale « interdisant » la construction dans les cellules non urbanisées au niveau supérieur ne soit pas en adéquation avec ces terrains disponibles.

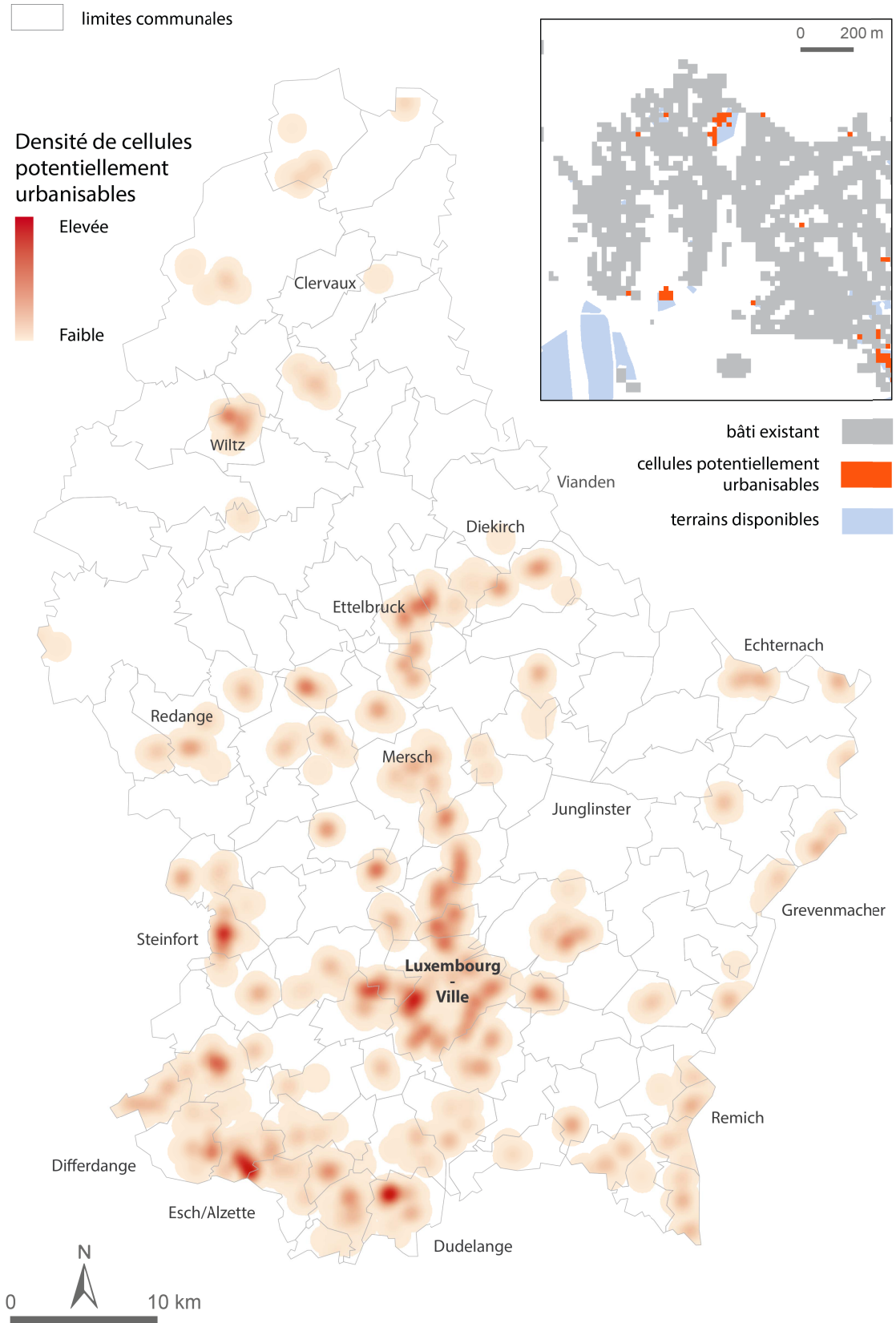


FIGURE 6.8 – Résultat du scénario de la disponibilité foncière, représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d’urbanisation

2. Les scénarios issus du projet MOEBIUS

L'objectif de la démarche prospective du projet MOEBIUS (Mobilities, Environment, Behaviours Integrated in Urban Simulation) et d'essayer de traduire un certain nombre d'objectifs décrits dans les documents officiels de planification en normes d'aménagements (Lord et al, 2015). Dans cette optique, un regard croisé a été adopté entre le discours politique contenu dans ces documents, et une revue de la littérature sur le plan de l'aménagement et de la prospective urbaine. De fait, le cadre conceptuel de la construction des scénarios d'aménagement s'articule autour de la synthèse de trois concepts de développement urbain : *Smart Growth*, *Transit Oriented Development* et *New Urbanism* (Bilgin, 2012). À ces trois familles d'aménagement ont été confrontées cinq variables clés : centralité, densité, accessibilité, mixité et compacité. Ces variables ont été sélectionnées en fonction de leur apparition fréquente dans la littérature. Elles forment le socle des normes et des règles des scénarios MOEBIUS, dont la démarche de construction figure sur le schéma 6.9. Ces critères d'aménagement ainsi déclinés en fonction des 4 scénarios sont appliqués uniquement aux terrains disponibles dans les plans d'aménagements généraux (PAG, voir figure 2.15 du chapitre 2). Pour permettre la comparaison, ces potentiels fonciers ont été découpés selon la même grille de cellules de 20 x 20 mètres, alignés sur la grille utilisée par MUP-City. Après une rapide présentation des indicateurs et des scénarios, nous présenterons les principaux résultats de cette partie du projet de recherche.

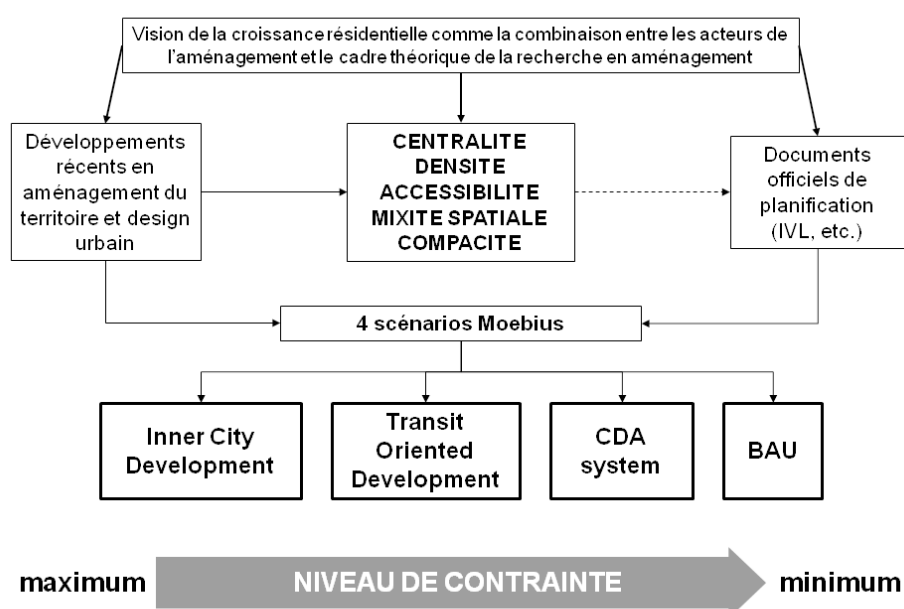


FIGURE 6.9 – Démarche de construction des scénarios de MOEBIUS, d'après Lord et al., 2011

2.1. Les 5 variables des scénarios MOEBIUS

En fonction de la littérature, cinq indicateurs ont été retenus pour construire les scénarios MOEBIUS : centralité, densité, accessibilité, mixité et compacité. Ils peuvent notamment faire l'objet d'une analogie avec ceux proposés par Cervero et Ewing (2010), lorsqu'ils abordent la question du développement urbain par rapport au choix des modes de transport ou au nombre de kilomètres parcourus.

1. Centralité

Le Programme Directeur a défini Luxembourg-Ville (et son agglomération), le Sud Minier et la Nordstad comme les 3 pôles économiques du pays. À ces trois zones urbaines s'ajoutent les communes prioritaires de l'IVL et celles des CDA. La typologie des communes permet de hiérarchiser les priorités d'urbanisation dans le but de redéfinir ou de renforcer le concept de centralité au Luxembourg.

2. Densité

La densité se définit ici comme le ratio entre un nombre de logements et une quantité de surface, facilement convertible en habitants par unité de surface. Dans l'IVL, la notion de densité est renvoyée aux plans régionaux et aux plans d'aménagement généraux. La densité est considérée ici comme un déterminant important de l'investissement public dans les transports en commun.

3. Accessibilité

L'accessibilité comprend ici un temps d'accès en transports en commun aux centres régionaux depuis les autres régions. Les centres considérés sont : Luxembourg-Ville et son agglomération, Esch-sur-Alzette et Diekirch/Ettelbruck, et des centres secondaires : Differdange, Steinfort, Wiltz, Echternach... Cette accessibilité prend en compte les infrastructures existantes pour éviter les relocalisations, tout en minimisant les temps de parcours.

4. Mixité

L'indicateur de mixité de l'occupation du sol se fonde sur la recherche d'une certaine hétérogénéité spatiale, telle que définie comme objectif d'aménagement au sein du Programme Directeur. L'occupation du sol est définie en 6 classes dans les PAG : zones d'activités (commerce + industrie), zones d'habitations, zones mixtes (commerces et habitations), zones de réserve (foncière), zones publiques (dédiées aux équipements et infrastructures) et les zones non constructibles. Les zones de réserve et les zones non constructibles ne sont pas intégrées au calcul de l'indicateur de mixité. Ce dernier se base sur un ratio entre les quatre autres catégories d'occupation du sol au sein des PAG.

5. Compacité

La compacité possède deux dimensions : la configuration géométrique et la composition de l'occupation du sol (niveau d'hétérogénéité). Dans le Programme Directeur, la compacité est généralement considérée (à tort) comme synonyme de la densité. La mesure de la compacité (au sens géométrique) se mesure ici pour chaque périmètre d'agglomération, qui délimite les Plans d'Aménagement Généraux. Un indice morphologique tiré de la littérature permet d'évaluer la compacité ou non des périmètres d'agglomération considérés.

2.2. Les scénarios de croissance résidentielle de MOEBIUS

2.2.1. Le scénario « Inner City Development »

L'objectif principal du scénario « Inner City Development » est de développer les centres urbains existants. Dans cette optique, l'essentiel du scénario repose sur les 3 pôles économiques du pays que présentés auparavant (mesure de la centralité). Le critère de densité vise à renforcer la construction au sein de ces 23 communes. D'un point de vue de l'accessibilité, seuls les espaces très bien desservis à destination des 3 pôles sont sélectionnés. Les communes ayant un fort taux de mixité de l'occupation du sol font l'objet d'une priorité au niveau de l'urbanisation, de même que celle possédant un périmètre d'agglomération très compact pour limiter les distances d'accès au centre.

2.2.2. Le scénario « TOD - MOEBIUS »

La finalité du scénario « TOD - MOEBIUS » consiste en une forte volonté d'optimiser le réseau de transport existant. De ce fait, l'ensemble des indicateurs se rapportent à la question des trans-

ports en commun. Du point de vue de la centralité, ne sont conservées que les communes ayant un bon accès en TC aux 3 pôles économiques. De même, les zones déjà denses tiennent compte de la desserte en transports en commun afin d'accentuer leur caractère prioritaire. L'accessibilité a pour but de renforcer l'accessibilité existante, à proximité des gares ferroviaires et des arrêts de bus. La mixité fonctionnelle doit elle aussi être élevée près de ces infrastructures. Enfin, un indicateur de compacité élevé permet d'accéder plus facilement aux transports en commun, par des distances plus courtes.

2.2.3. Le scénario « CDA system »

Le scénario « CDA system », pour système de Centre de Développement et d'Attraction, est une autre façon de renforcer les centralités luxembourgeoises (typologie des centres telle que définie dans le Programme Directeur). Derrière les 3 niveaux de CDA que comporte le document (supérieur, moyen et régional), on peut lire une volonté de *déconcentration concentrée*. Il s'agit à la fois de prolonger les hiérarchies existantes tout en assurant aux espaces ruraux l'accessibilité à des commerces ou des services. À terme, les CDA devraient accueillir certaines fonctions urbaines localisées pour l'instant à Luxembourg-Ville. Dans MOEBIUS, les cellules potentiellement urbanisables sont surtout sélectionnées si elles appartiennent à un CDA. Dans cette optique, une comparaison est possible avec les scénarios de modification du contexte global construits auparavant.

2.2.4. Le scénario « BAU »

Le scénario dit « BAU », pour Business As Usual, est le scénario du laissez-faire en matière de croissance résidentielle. C'est celui qui possède le moins de contraintes des quatre scénarios MOEBIUS, voir figure 6.9. L'urbanisation peut se faire au fil de l'eau, en fonction des besoins, dans l'ensemble des terrains disponibles du Luxembourg. Il forme donc une autre forme de référence, indiquant ce qu'il se passerait en l'absence d'interventionnisme dans la politique d'aménagement luxembourgeoise.

À l'heure actuelle, la disponibilité foncière³ au Luxembourg, toutes catégories confondues et sans priorisation temporelle (tous les terrains ne sont pas immédiatement mobilisables) est d'environ 6 000 hectares, ce qui représente un total de 150 000 cellules environ.

3. « Le potentiel foncier constructible théorique correspond à la surface totale des terrains disponibles, en se basant sur le statut réglementaire de la parcelle et non sur les dispositions du propriétaire à vendre ou à faire construire son terrain. » (Rapport Observatoire Habitat 2012)

2.3. Synthèse des résultats issus des scénarios MOEBIUS

Les résultats de la démarche de construction de scénarios dans le projet MOEBIUS sont présentés dans le tableau 6.10 (Gerber et al, 2013). Au premier abord, on constate que le nombre de cellules générées par les trois premiers scénarios est restreint, entre 6 et 13 000 cellules. En conservant des densités de construction équivalentes aux dynamiques actuelles, il n'y a que le scénario BAU qui permettrait de répondre aux objectifs de croissance résidentielle au Luxembourg pour 2030.

Dans le cadre de ce projet, les résultats obtenus ont ensuite été utilisés pour la suite de la démarche, qui comprend la localisation de la population synthétique (Cornélis et Barthélémy, 2012), la modélisation du choix modal (Omrani et al, 2014) et la simulation du trafic routier. Le modèle d'enchères utilisé (Caruso et Médard de Chardon, 2012) a permis de localiser l'ensemble de la population dans les potentiels obtenus, en accroissant de façon conséquente la densité de construction. Issus d'un croisement entre des objectifs d'aménagement, affichés dans le discours et les documents des politiques publiques et la littérature scientifique sur la question des formes urbaines, ces résultats peuvent être interprétés comme une inadéquation entre la volonté politique des personnes en charge de l'aménagement du Grand-Duché et les travaux de recherche menés depuis quelques années sur le sujet (Lord et al, 2015).

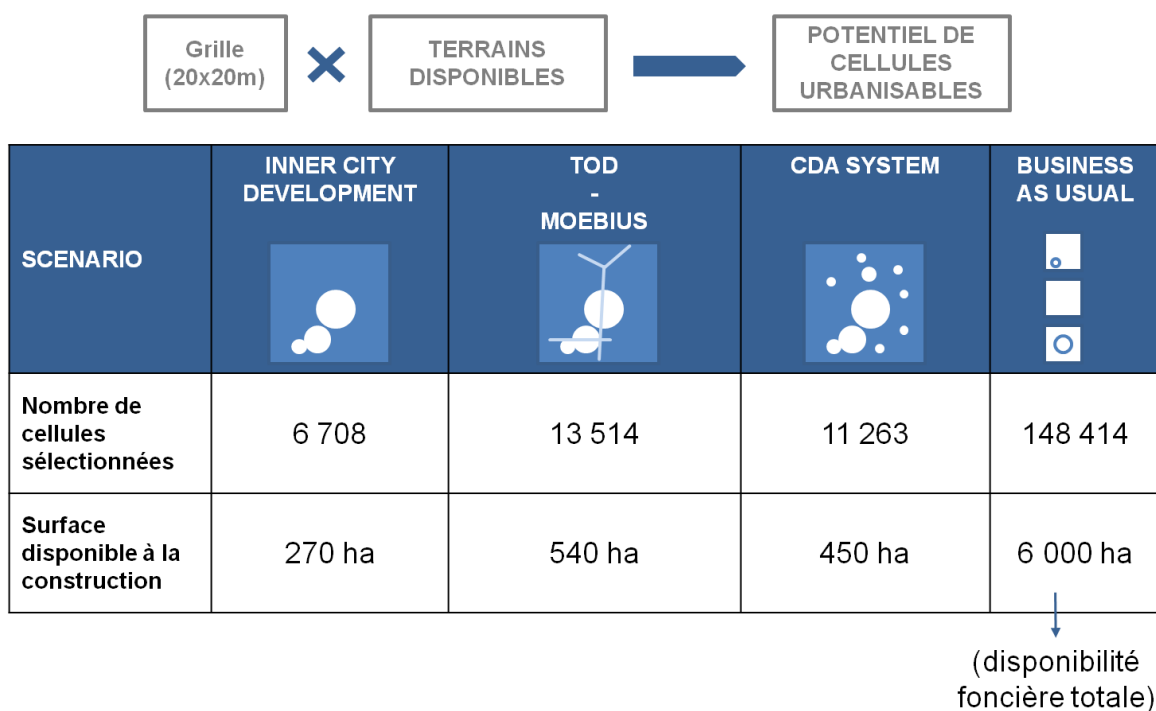


FIGURE 6.10 – Synthèse des résultats des scénarios de MOEBIUS, 2013

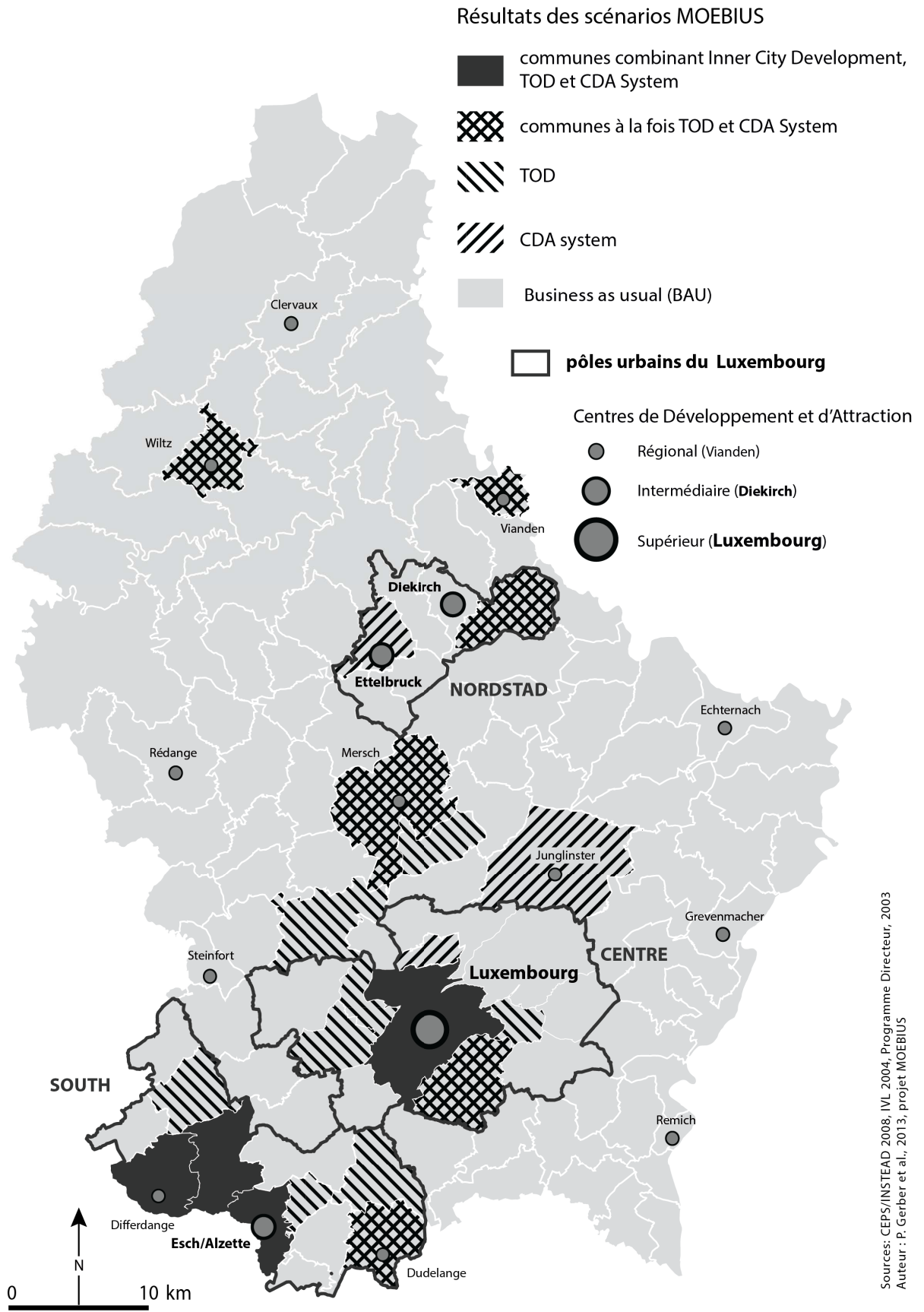


FIGURE 6.11 – Carte de synthèse des résultats des scénarios de MOEBIUS, 2013

3. Conclusion du chapitre 6

Ce sixième chapitre n'est rien de moins que l'élément central de la démarche de recherche. L'obtention de ces premiers résultats apporte une réponse concrète à l'un de nos questionnements, à savoir la construction de scénarios réalistes de croissance résidentielle au Luxembourg à l'aide d'une plateforme de simulation. Avec une sélection restreinte de critères, et leur modification progressive par essais successifs, il est possible d'obtenir des scénarios très contrastés qui répondent à des normes d'aménagement différentes. Nous avons également confirmé l'importance des données utilisées, que ce soit dans le cadre du FOD, des typologies de communes à l'origine des formes urbaines globales, ou encore des critères de restrictions, comme les zones non urbanisables ou les terrains disponibles.

Le tableau 6.14 présente une synthèse des principaux résultats obtenus. Un premier point de comparaison existe entre les scénarios au niveau de la surface à urbaniser et dépendant du nombre de cellules potentiellement urbanisables qui ont été simulées. En revenant sur les principaux leviers de ces écarts de surface urbanisée, comme expliqué dans le chapitre 2 sur le Luxembourg, la surface disponible théoriquement est de 5 512 hectares en 2010, dont 2 701 hectares pour l'urbanisation (en comptant 75% des zones mixtes). Le scénario IVL, qui constitue pourtant notre référence parce qu'il représente une forme de prolongement de tendances (en tous cas, une application des normes souhaitées), conduit à l'urbanisation de 4 801 hectares, soit près du double du foncier théoriquement disponible. À l'inverse, l'application du modèle fractal dans les terrains disponibles, au travers du scénario dit de la disponibilité foncière, permet de diminuer cette surface consommée de plus de 80%. Pour cela, il faudrait une densité résidentielle de 150 logements par hectare soit, comme évoqué dans le chapitre 3 et à l'aide des travaux de l'AUCAME, des immeubles de cinq ou six étages. La plus grande consommation foncière est atteinte avec le scénario basé sur une répartition des constructions dans les 116 communes, en considérant une densité de 18 logements à l'hectare, soit la densité résidentielle actuellement observée au Luxembourg. Logiquement, le scénario de la densité permet de diminuer assez fortement la consommation foncière, alors que les règles de densité ont été à peine doublées, avec un maximum de 60 logements par hectare dans les communes prioritaires. Ce seuil de 60 logements par hectare représente, d'après les travaux de l'AUCAME, des maisons de villes ou des maisons en bandes, tel qu'il est possible d'en trouver actuellement au Grand-Duché. Le scénario FOD, quant à lui, amène une diminution de 75% de la surface consommée ; en construisant à moins de 1 000 mètres des gares et à l'aide d'une densité résidentielle de 80 logements par hectare, la consommation foncière représente 1 083 hectares, soit à peine plus du tiers de la surface théoriquement disponible. Les scénarios de variations de projections démographiques ont pour objectif

de souligner les conséquences spatiales d'un changement de projection par rapport au scénario IVL de référence. Dans le cas d'une augmentation de l'ordre de 6 000 résidents supplémentaires, la consommation foncière augmenterait de 5%. Au contraire, les projections basses, si elles venaient à se réaliser, permettraient une diminution de 30% de la consommation foncière.

Sur le plan spatial, la répartition des cellules potentiellement urbanisables correspond globalement aux tendances en vigueur au Luxembourg. À l'issue des scénarios, une différenciation spatiale subsiste à l'échelle communale (voir figure 6.12). Les communes les plus souvent représentées dans les scénarios, c'est-à-dire où le plus de cellules sont générées, sont celles d'une large moitié sud du pays, qui comprend l'agglomération de la capitale Luxembourg-Ville. On retrouve également quelques communes centrales du pays, comme les centres de Wiltz, Rédange, l'agglomération de la Nordstad (Diekirch et Ettelbruck) ou Steinfort. La plupart des communes prioritaires de l'IVL sont également bien représentées, mais au regard de la construction des scénarios, ce résultat était attendu. Quelques centres (CDA régionaux) possèdent un potentiel d'urbanisation limité, comme Clervaux, Vianden, Echternach ou Remich. Pourtant plus petite que Clervaux, mais probablement mieux pourvue en aménités, la commune de Troisvierges, à l'extrémité nord du pays, semble constituer selon les scénarios projetés une nouvelle centralité septentrionale. Cinq communes ne font l'objet d'aucune croissance résidentielle : Eschweiler (au nord de Wiltz), Neunhausen et Heiderscheid (à l'ouest de la Nordstad), Septfontaines (entre Mersch et Steinfort) et Bech (entre Junglister et Echternach). Les communes du Lac-de-la-Haute-Sûre (au sud de Wiltz), Putscheid (au nord de Vianden), Ermsdorf (à côté de Diekirch) et Flaxweiler (au sud de Grevenmacher) peuvent être ajoutées à cette liste puisqu'elles totalisent moins de vingt cellules potentiellement urbanisables sur nos huit scénarios. La petite taille de ces communes et leur faible équipement explique en grande partie ce résultat. Ces espaces ont aussi été écartés par le modèle fractal d'urbanisation à un niveau d'échelle plus important.

Outre le nombre de cellules sélectionnées et les représentations cartographiques adoptées, on constate que l'analyse et la comparaison des scénarios entre eux de façon systématique n'est pas chose aisée à une échelle fine. Il y aurait probablement d'autres pistes à explorer. L'utilisation du logiciel *Map Comparison Kit* (MCK), développée par l'équipe du RIKS aux Pays-Bas a été envisagée. Malheureusement, le format de données et surtout les formes de développement résidentiel simulées ne semblent pas compatibles avec une application destinée à comparer des cartes d'occupation du sol issues d'automates cellulaires plus classiques. Il n'en demeure pas moins que les indicateurs d'accessibilité spatiale, et les indicateurs de mobilité quotidienne, qui font l'objet de la troisième partie de la thèse constituent un moyen de comparaison des scénarios précédemment simulés.

Scénario	Règles importantes	Densité (log/ha)	Nombre de cellules à urbaniser	Surface à urbaniser (en ha)
IVL	80% dans les communes prioritaires	35 (prioritaires) et 18 (complémentaires)	120 027	4 801
FOD	1 000m des gares et accès au TC	80	27 085	1 083
Projection hautes	+ 6 100 résidents	35 (prioritaires) et 18 (complémentaires)	125 670	5 028
Projections basses	- 37 901 résidents	35 (prioritaires) et 18 (complémentaires)	84 969	3 399
Densité élevée	augmenter la densité de construction	60 (prioritaires) et 35 (complémentaires)	64 166	2 567
116 communes	Pas de hiérarchie au niveau global	18	178 419	7 137
23 communes	urbanisation dans les 3 pôles urbains	42	78 105	3 124
Disponibilité foncière	urbanisation dans les terrains disponibles	151	21 465	858
Inner-City Development (MOEBIUS)	urbanisation dans les 3 pôles urbains	<i>non calculée</i>	6 708	270
TOD (MOEBIUS)	urbanisation près des infrastructures de transports en commun	<i>non calculée</i>	13 514	540
CDA system (MOEBIUS)	urbanisation dans les 15 CDA	<i>non calculée</i>	11 263	450
BAU (MOEBIUS)	pas de règle	<i>non calculée</i>	148 414	5 937

Tableau 6.14 – Principales caractéristiques des scénarios simulés

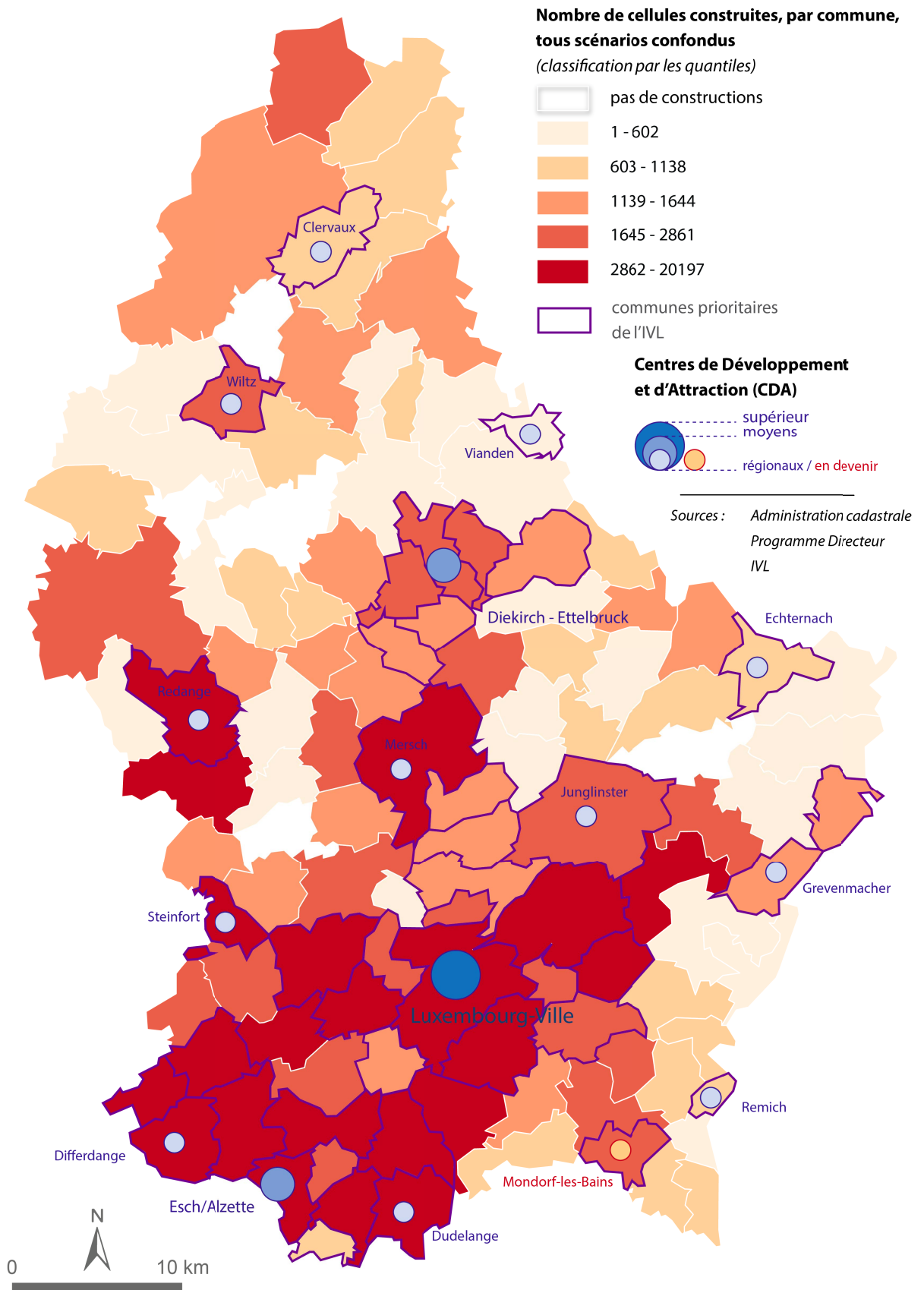


FIGURE 6.12 – Répartition communale des cellules générées dans les scénarios au Luxembourg en 2030

Conclusion de la deuxième partie

LA DEUXIÈME partie de cette thèse était consacrée à la simulation de scénarios de croissance urbaine. Nous avons vu, au cours des trois chapitres qui la composent, comment modéliser ces extensions futures du tissu urbain. La démarche a été présentée, ainsi que les outils à disposition, les données disponibles et les résultats sous forme de scénarios de développement résidentiel simulés.

C'est la première fois que MUP-City est appliqué à un cas d'étude tel que le Luxembourg. Ceci a nécessité de nouveaux développements concernant cette plateforme. Hormis les quatre règles d'accessibilité de la version précédente (0.8), il est désormais possible d'évaluer l'accessibilité aux aménités urbaines centrales, aux aménités vertes et de loisirs, et aux infrastructures en commun. La multiplication des règles (10 au total) a conduit un changement de méthode dans l'agrégation des valeurs en une valeur synthétique. La moyenne arithmétique des valeurs de chaque règle aurait été insuffisante et aurait « dilué » les évaluations particulières. Avec l'introduction des comparaisons par paires et de l'opérateur de Yager, une nouvelle possibilité de formalisation des règles d'aménagement est possible. Si, pour des raisons de temps et des questions d'ordre méthodologique, peu de combinaisons ont été testées, il est indéniable que cette méthode apporte davantage de subtilité dans la construction des scénarios.

Par ailleurs, la constitution du corpus de données n'a pas été chose aisée. En l'absence de base de données exhaustives concernant les activités (comme le fichier SIRENE en France), des extractions d'annuaire numérique ont été menées pour créer la base de données des aménités (commerces, services, loisirs) au Luxembourg. Ces dernières sont parfois mal renseignées au niveau des adresses et, de plus, les typologies utilisées pour les rubriques n'étaient pas toujours en adéquation avec les niveaux de recours potentiels souhaités. En outre, la base de données pour les aménités vertes semble elle aussi incomplète, surtout en ce qui concerne le premier niveau de recours. Les résultats de simulation obtenus n'en demeurent pas moins suffisamment réalistes.

Les résultats des premiers tests de sensibilité du modèle montrent clairement la difficulté de transposer des normes d'aménagement en règles sans remettre en cause les normes elles-mêmes. Ces tests illustrent aussi l'importance de disposer de projections démographiques fiables et sur le long terme. En cela, les travaux menés par le STATEC ont évité d'éventuels prolongements de tendances plus ou moins hasardeux.

La conclusion du chapitre 6 fait état de différences nettes entre les scénarios, tant sur le plan quantitatif de la consommation foncière que de la localisation spatiale de ces possibles extensions. Les règles d'aménagement, traduction des normes dans le modèle de simulation, constituent la source de ces divergences. À l'aide d'un paramètre, il est possible de faire varier les résultats du simple au double, voire au triple. En appliquant à l'échelle nationale des règles d'aménagement strictes (avec des seuils de distance identifiés précisément) et finalement peu nombreuses (une dizaine de règles en tout), la contrainte apportée au modèle d'urbanisation est réelle.

Les résultats obtenus dans le cadre du scénario FOD peuvent être rapprochés de ceux obtenus par ? et leurs simulations de différents scénarios urbains pour l'agglomération de Copenhague. Les auteurs ont découvert, pour le cas danois, une urbanisation potentielle de 15% à 23% à proximité (moins de 1 200 mètres) des gares ferroviaires. Avec 20% (1 083 hectares comparés aux 4 801 de l'IVL) de terrains urbanisables dans le cadre du scénarios FOD, la proximité est assez frappante. Sans nul doute, un des leviers d'action majoritaires dans la diminutions des surfaces consommées réside dans l'articulation entre forme locale et forme globale du développement résidentiel. Ce constat prolonge les conclusions établies par ? qui prônent, à l'aide de l'exemple des États-Unis, pour une meilleure coordination des politiques locales et des politiques fédérales en matière d'aménagement du territoire, et notamment de la croissance résidentielle.

Dans la troisième partie, la comparaison de ces scénarios, d'abord en matière d'accessibilité spatiale, puis à l'aide d'indicateurs de mobilité quotidienne, devrait apporter un éclairage supplémentaire à notre question de recherche qui concerne notamment la mesure du lien entre forme urbaine et fonctionnement de la ville. Les différences morphologiques (locales mais surtout globales) entre nos scénarios expliqueront probablement les différences dans les résultats de simulation d'une partie du fonctionnement urbain, les mobilités quotidiennes. Dès lors, il sera possible de quantifier le lien entre la forme urbaine et son fonctionnement.

**TROISIÈME PARTIE : COMPARAISON ET
ÉVALUATION DES SCÉNARIOS DE
CROISSANCE RÉSIDEN­TIELLE**

Introduction de la troisième partie

IL EXISTE une certaine difficulté dans le fait d'appréhender simultanément le puzzle constitué par les formes urbaines, les comportements de déplacement, et la localisation résidentielle (??). Ce fait, évoqué lors de l'introduction générale, fait partie de notre questionnement. Cette troisième partie a pour objectif principal de mesurer les conséquences spatiales des scénarios de développement résidentiel et ainsi de permettre des comparaisons. La méthodologie adoptée comporte deux étapes : i) la mesure d'indicateurs d'accessibilité spatiale à différentes aménités ; ii) la simulation des mobilités quotidiennes à l'aide de la plateforme MobiSim afin d'évaluer, à l'aide d'une approche individu-centrée, le fonctionnement potentiel des scénarios.

Le premier chapitre de cette troisième partie sera consacré à l'analyse d'indicateurs d'accessibilité spatiale mesurés avec MUP-City pour la situation initiale en 2010 et pour chacun des scénarios en 2030. Ce qui nous intéresse est de vérifier s'il existe des contrastes locaux liés à la localisation différenciée de la croissance résidentielle, en fonction des scénarios. En distinguant la situation initiale des scénarios, il est possible de quantifier l'apport des scénarios à l'évolution de l'offre spatiale en aménités variées (commerces, services, espaces verts et de loisirs ou transports en commun). Aussi, l'échelle fine des calculs d'accessibilité⁴ permet d'éviter l'écueil de l'agrégation tel que décrit par Krizek (2003). De nombreux travaux, notamment aux États-Unis, sont basés sur les unités de recensement, les zones de codes postaux ou les zones d'analyses des transports (*transportation analysis zones, TAZs*). Or, ces zones sont généralement très grandes (plus de 3 kilomètres de côté), contiennent jusqu'à plusieurs milliers de ménages et ne permettent pas d'avoir une certaine finesse dans l'analyse des différences d'accessibilité ; cela peut d'avérer hasardeux, notamment dans le cas des modes doux où les distances restent relativement courtes.

Comme l'a suggéré ?, il faut tenir compte à la fois du voisinage immédiat des espaces résidentiels, autrement dit de l'accessibilité spatiale, et de l'inscription de ce voisinage dans une zone urbaine plus large, ce qui est conforme avec le caractère multi-échelles des formes urbaines. Les

4. Tout comme les scénarios, les mesures d'accessibilité sont calculées à une résolution de 20x20 mètres

facteurs qui font varier l'accessibilité sont nombreux (??) : demande de transport, réseaux, coûts, connectivité... L'accessibilité peut être mesurée de nombreuses manières qui font l'objet de discussions au sein de la communauté scientifique (??), tant sur le plan des concepts qu'elle mobilise que des méthodes employées. Nous considérons ici l'accessibilité comme un révélateur du fonctionnement urbain, la mobilité quotidienne (?) et constitue donc une conséquence de la forme urbaine. De fait, les mesures d'accessibilité forment une réponse concrète pour les aménageurs dans l'évaluation des formes urbaines et, plus largement, dans le domaine de la planification (?).

? rappellent que les indicateurs d'accessibilité spatiales « classiques » sont relativement limités et il peut être nécessaire d'adopter une approche plus désagrégée (avec les questions que cela suppose) afin de prendre davantage en considération les comportements individuels. En effet, l'accessibilité peut se considérer selon deux approches.

La première se concentre sur la dimension spatiale, et donc la localisation des origines et d'une ou plusieurs destinations. L'accessibilité peut comprendre la distance métrique entre une personne (ou un lieu) et une destination ou la distance entre une personne (ou un lieu) et l'utilité de plusieurs destinations (?). De façon générale, l'accessibilité peut être définie comme la facilité relative que des individus ont à atteindre des lieux ou des activités (??). L'accessibilité spatiale, ou *place-based accessibility* (?), permet de mesurer la proximité d'un certain nombre d'aménités aux lieux fréquentés par les individus comme leur résidence ou leur lieu de travail (?).

La deuxième approche de l'accessibilité consiste à ajouter une dimension temporelle à l'accessibilité spatiale (??), ce qui permet d'intégrer des horaires de départ à l'origine et ainsi de définir des chaînes d'activités. Cette dimension temporelle est prise en compte à l'aide des horaires de passages des transports en commun ou la prise en compte de la congestion sur le réseau routier. Ces éléments permettent ainsi de définir des temps de trajets et des choix modaux, et ainsi de mesurer le degré de liberté des individus à pratiquer des activités en fonction de contraintes spatio-temporelles. On retrouve dans cette définition la notion d'opportunité en fonction d'un certain temps ou d'un coût de transport (?).

C'est pourquoi le deuxième chapitre de cette troisième partie décrira la simulation des mobilités quotidiennes, toujours pour la situation initiale en 2010 et pour une sélection de scénarios. À l'aide d'une population synthétique localisée spatialement dans les espaces de développement résidentiel, nous espérons observer des différences entre les scénarios afin d'affiner la réflexion sur le lien entre forme urbaine et fonctionnement. Les hypothèses à l'origine de la définition des normes

d'aménagements prises en compte dans la construction des scénarios seront-elles confirmées ?

Chapitre 7

Comparaison des scénarios à l'aide d'indicateurs d'accessibilité spatiale

« *L'espace c'est ce qui empêche que tout soit à la même place.* »

Paul Virilio

A PRÈS quelques rappels sur la notion d'accessibilité, ce chapitre sera consacré à la présentation des résultats des mesures d'accessibilité *ex-post* obtenues à l'aide de MUP-City pour chaque scénario de développement résidentiel. Par la suite, une partie de ces résultats feront l'objet d'une comparaison avec les résultats obtenus pour les scénarios issus du projet MOEBIUS.

1. L'accessibilité spatiale pour comparer les scénarios de croissance résidentielle

Dans la version utilisée de MUP-City, il existe 16 indicateurs d'accessibilité spatiale *ex-post*. Ces indicateurs ont déjà été employés dans de nombreux travaux (?????). On peut les rassembler en trois groupes principaux :

- la distance à l'aménité la plus proche, quelque soit le type pour une même fréquence de recours,
- le nombre d'aménités que l'on peut atteindre en une distance (ou un temps) donnée,
- la distance minimale pour accéder à l'ensemble des aménités de même fréquence de recours les plus proches.

Ces indicateurs ne sont pas calculés de la même manière que dans le cadre des évaluations *ex-ante* lors de l'étape de simulation des scénarios de développement résidentiel, ils ne doivent donc pas être confondus.

La distance à l'aménité la plus proche peut être vue comme une forme « d'accessibilité relative », telle que développée par Ingram dès 1971. Elle représente l'une des mesures d'accessibilité les plus simples, en exprimant le degré de connectivité de deux points situés sur un même plan (?).

Le nombre moyen d'aménités dans le voisinage d'une cellule représente l'offre potentielle (?). Le nombre d'aménités dans un voisinage donné est calculé ici selon une approche locale uniquement en considérant des distances en marche à pied ou en vélo. Les modes doux sont en effet à privilégier dans la fréquentation des commerces ou services de proximité (Aultman, 1997). De plus, la pratique régulière de la marche à pied et du vélo a un impact positif sur la santé, en prévision du surpoids, de l'obésité ou des maladies cardio-vasculaires (?).

La troisième famille d'indicateurs, calculant la distance minimale d'accessibilité à l'ensemble des commerces et services et aménités vertes ou de loisirs d'une même fréquence de recours, combine la notion de proximité et la diversité de l'offre en commerces et services.

Dans le cadre du calcul de la distance minimale à l'aménité la plus proche, les évaluations locales traduisent les aires de chalandises (?). Des effets de voisinages sont également à prévoir. Par exemple, si une cellule possède une bonne évaluation du nombre de commerces et services de fréquentation quotidienne à moins de 1000 mètres, il est plus que probable que sa voisine ait une évaluation proche de celle-ci. On obtient donc un effet d'auto-corrélation spatiale, avec une homogénéisation locale des valeurs (?).

Pour autant, une bonne évaluation locale pour un indicateur donné n'entraîne pas forcément une bonne évaluation pour d'autres indicateurs. Comme le souligne ?, les résultats d'accessibilité peuvent différer selon la localisation résidentielle. Une zone avec une bonne accessibilité aux transports en commun en marche à pied peut avoir une moins bonne accessibilité en voiture.

Le calcul des indicateurs a été effectué pour les 8 scénarios¹ et la situation initiale. Dans le cas des scénarios, seules les nouvelles cellules potentiellement urbanisables ont été prises en compte.

1. Pour rappel : IVL, FOD, densité, disponibilité foncière, 116 communes, 23 communes et variations des projections démographiques selon des hypothèses hautes et basses

Comme dans le cadre des évaluations ex-ante, les mesures de distances et de voisinages ont été réalisées sur un réseau détaillé, comprenant également les chemins et sentiers (pour préciser les calculs en marche à pied notamment). Au regard du grand nombre de résultats obtenus, il n'était pas forcément opportun de représenter par des cartes l'ensemble des indicateurs pour tous les scénarios. Nous avons donc dans un premier temps décidé de regarder les distributions des séries statistiques. Afin de comparer visuellement nos différents scénarios, l'utilisation des boîtes de dispersion (ou *boxplots*) a été employée. Cette méthode de représentation permet de visualiser sur un même support l'amplitude de la distribution ainsi que les principales variables descriptives : quartiles, médiane, moyenne. La comparaison des scénarios pour un même indicateur s'effectue d'abord du point de vue de la médiane (éventuellement aidée de la moyenne), de la position des deuxièmes et troisièmes quartiles et enfin de l'amplitude de la distribution à l'aide des premiers quartiles. La position de chaque scénario est indiquée pour chaque indicateur et servira de base au calcul du classement des scénarios par types d'indicateurs.

Dans le cadre d'une simulation des extensions résidentielles, une baisse générale de l'accessibilité aux aménités fait partie des résultats attendus, d'autant que l'augmentation du nombre d'aménités n'est pas simulée.

Ainsi, nous reprenons les trois principaux types d'indicateurs d'accessibilité évoqués précédemment pour envisager l'organisation de la section suivante, à savoir : la distance à l'aménité la plus proche, le nombre d'aménités dans un voisinage donné et la distance moyenne d'accessibilité à chaque type d'aménité d'une même fréquence de recours.

1.1. La distance de chaque cellule potentiellement urbanisable à l'aménité la plus proche

Les résultats qui suivent sont présentées pour le bâti déjà existant en ce concerne la situation initiale en 2010 et pour les cellules potentiellement urbanisables des scénarios de développement résidentiel en 2030.

1.1.1. Le commerce ou service de fréquentation quotidienne le plus proche

Au regard des distributions statistiques des valeurs d'évaluations des cellules potentiellement urbanisables de chaque scénario, on peut constater une diminution de la distance au plus proche commerce et service de fréquentation quotidienne par rapport à la situation initiale. Alors qu'il faut

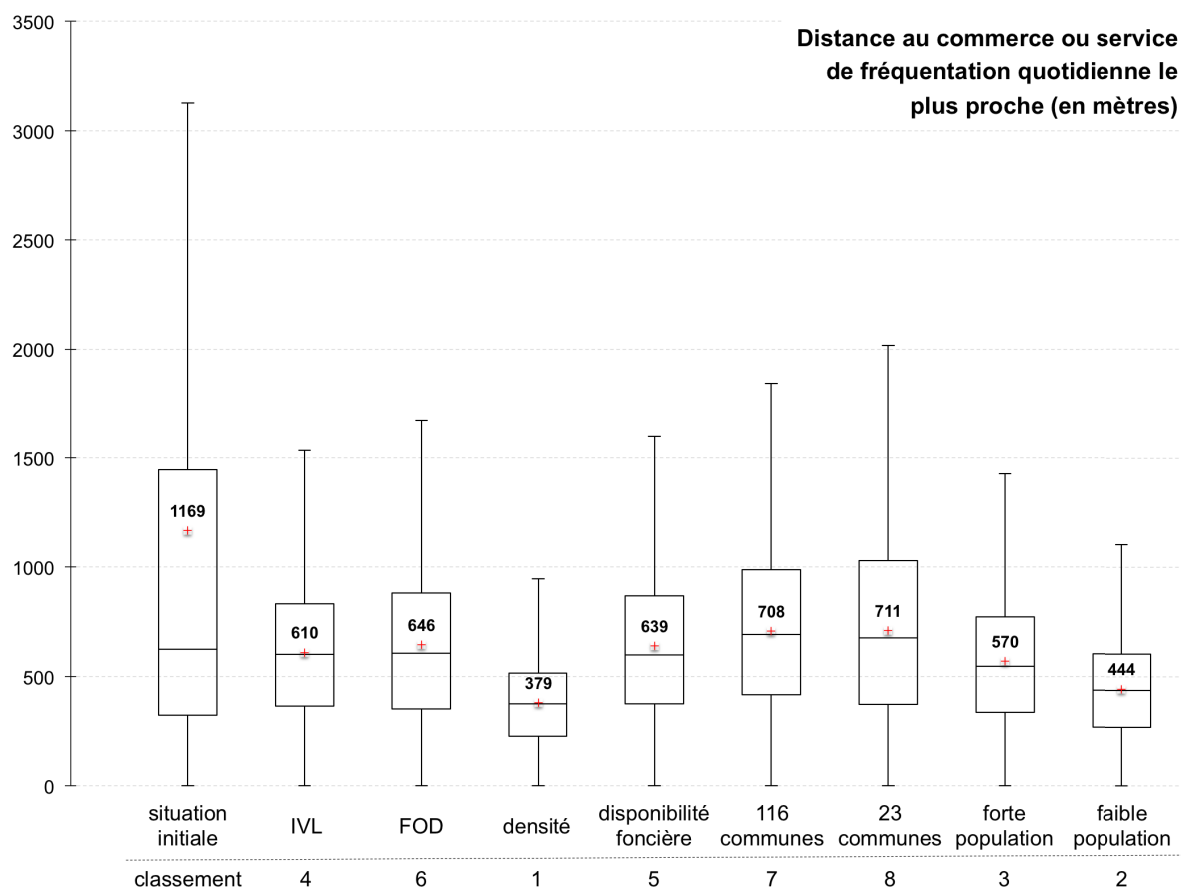


FIGURE 7.1 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité au commerce ou service de fréquentation quotidienne, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

en moyenne plus de 1 000 mètres et jusqu'à plus de 3 000 mètres (dernier quartile) en 2010 pour atteindre ce niveau d'aménité, le scénario densité permet de ramener cette distance moyenne à moins de 400 mètres (la proximité de la médiane et de la moyenne traduisent une certaine homogénéité de la distribution), tandis que les cellules les plus éloignées le seront d'environ 2 000 mètres (dernier quartile), pour le scénario reposant sur les 23 communes les plus centrales. Le scénario de la densité présente la distribution la plus resserrée de ses valeurs avec 75% des valeurs de distances inférieures à 1 000 mètres.

Pour les scénarios plus diffus spatialement, comme celui des 116 communes, les résultats obtenus sont également satisfaisants. Les commerces et services de fréquentation quotidienne qui sont bien dispersés sur l'ensemble du territoire luxembourgeois et l'utilisation de la règle d'accessibilité à ces aménités dans la construction de nos scénarios expliquent ces bons résultats. Pour rappel, la seuil adoptée dans la simulation des scénarios est de 1 000 mètres, 500 mètres étant déjà considérés comme une distance acceptable. Hormis les scénarios 116 et 23 communes dont le dernier quartile se situe au delà de 1 000 mètres, la plupart des scénarios sont bien évalués au regard des règles

d'aménagement appliquées.

1.1.2. Le commerce ou service de fréquentation hebdomadaire le plus proche

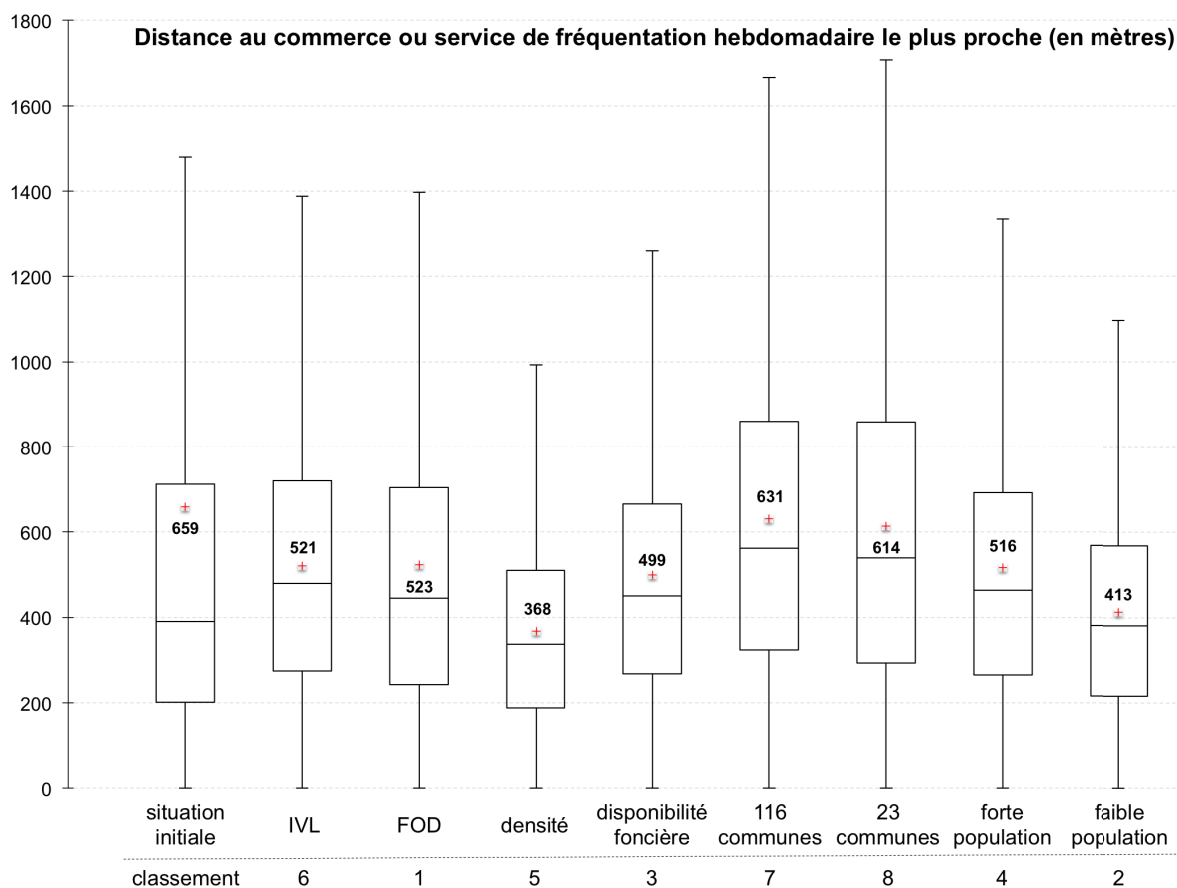


FIGURE 7.2 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité au commerce ou service de fréquentation hebdomadaire le plus proche, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Il est intéressant de noter que pour la situation initiale, la distance mesurée pour cet indicateur est inférieure à la mesure de la distance au commerce et service de fréquentation quotidienne. Comme il l'a été souligné dans les évaluations *ex-ante*, le Grand-Duché est bien pourvu et donc bien évalué en ce qui concerne l'accessibilité aux commerces et service de fréquentation hebdomadaire et ces aménités sont localisées de façon centrale par rapport au bâti existant. C'est pourquoi dans les scénarios plus diffus localement (116 et 23 communes, par exemple), l'amélioration de l'accessibilité à ces aménités est moindre par rapport à la situation initiale.

C'est encore une fois le scénario dense qui permet d'améliorer l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire. La distance moyenne est presque deux fois inférieure à la distance calculée pour la situation initiale, les deux médianes étant toutefois assez proches. les

principales variations apparaissent dans les valeurs élevées (derniers quartiles), les valeurs obtenues étant plus resserrées dans le scénario densité.

Dans le cas des autres scénarios, la situation est davantage contrastée. Pour l'urbanisation prenant place dans les 23 communes centrales, bien que la moyenne soit également inférieure à la situation initiale, la médiane est bien plus élevée et la distribution des valeurs plus étendue. C'est aussi le cas pour le scénario des 116 communes. Par ailleurs, on ne constate que très peu de différences statistiques entre les scénarios IVL, FOD et celui impliquant une hypothèse de forte croissance démographique. Même si l'amélioration de la situation initiale est moins nette que pour l'indicateur précédent, la règle de distance pour le commerce ou service le plus proche est de 2 000 mètres, soit supérieure aux valeurs obtenues avec cet indicateur.

1.1.3. L'aménité verte ou de loisirs de fréquentation quotidienne la plus proche

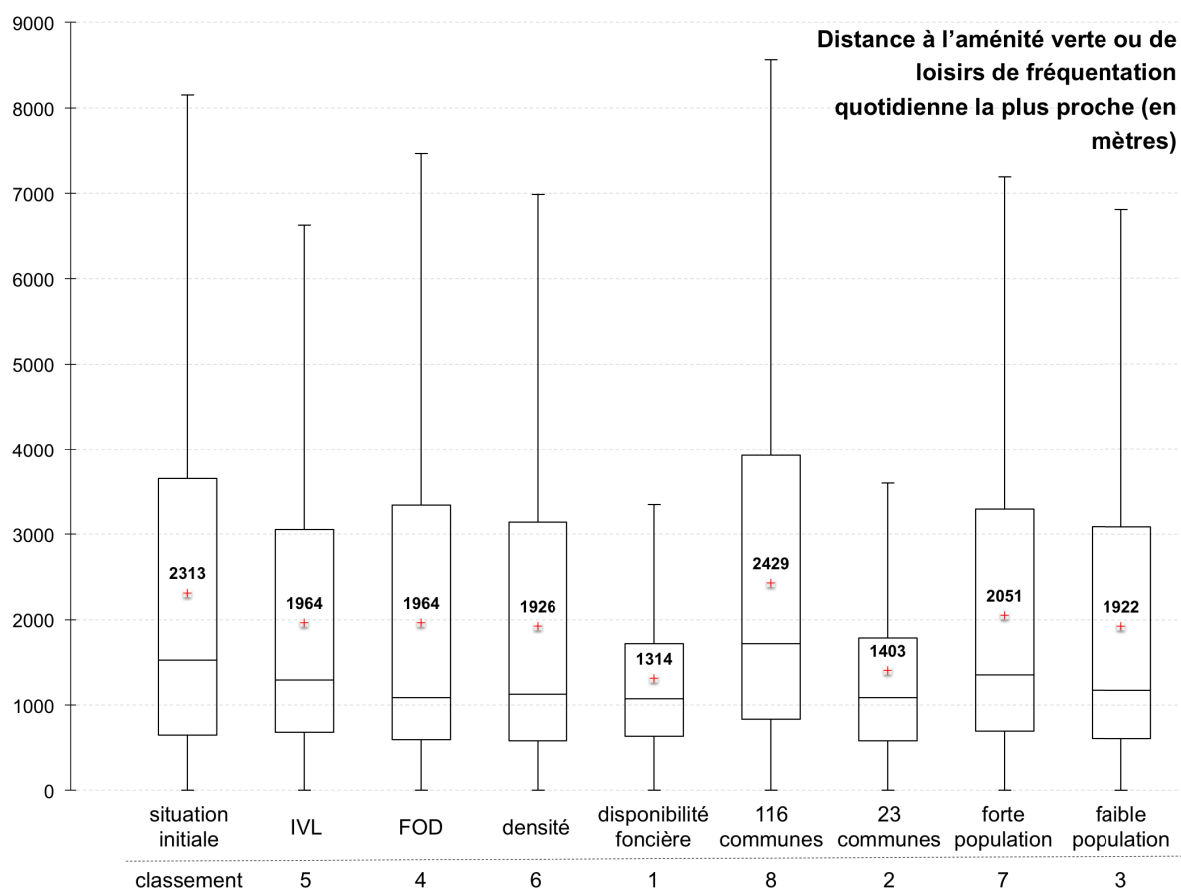


FIGURE 7.3 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à l'aménité verte ou de loisirs de fréquentation quotidienne la plus proche, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Comme cela a déjà été constaté dans les parties précédentes, le Luxembourg ne bénéficie pas d'une très bonne accessibilité aux parcs et jardins. On peut noter sur la figure 7.3 que les distances d'accessibilité mesurées sont parfois très élevées avec des valeurs atteignant les 8 000 mètres pour la situation initiale. En général, les scénarios tendent à abaisser ces distances, sauf dans le cas d'une urbanisation diffuse sur les 116 communes où la distance moyenne augmente ainsi que l'amplitude de la distribution. La règle considérée dans la partie précédente pour les aménités vertes ou de loisirs de fréquentation quotidienne est de 1 000 mètres maximum. Les scénarios FOD, densité, disponibilité foncière et 23 communes ont environ 50% de leur potentiel de croissance résidentiel qui permet de répondre à cette règle. À l'inverse, dans le cadre d'une urbanisation plus concentrée, pour les 23 communes ou dans les zones actuellement disponibles, la moyenne est inférieure à 1 500 mètres et 75% des valeurs d'évaluations sont inférieures à 4 000 mètres. Si ces distances sont peu susceptibles d'être parcourues de façon quotidienne en marche à pied², l'emploi du vélo permet d'améliorer l'accessibilité au parc le plus proche.

1.1.4. L'aménité verte ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire la plus proche

Si le scénario selon les terrains disponibles permet une meilleure accessibilité aux aménités vertes de fréquentation quotidienne, ce n'est plus le cas en ce qui concerne le niveau hebdomadaire, d'autant que les évaluations sont meilleures pour le niveau hebdomadaire que pour le niveau quotidien. Toutefois, tous les autres scénarios permettent de réduire la distance minimale d'accessibilité, notamment les scénarios IVL et le scénario 116 communes, qui impliquent une dispersion spatiale des cellules potentiellement urbanisables sur l'ensemble du territoire luxembourgeois. Ces résultats s'expliquent par la localisation des aménités de ce type, plutôt bien réparties dans les municipalités et souvent localisées à proximité des franges urbaines, où existent de nombreux espaces boisés de taille modeste mais situés à proximité des zones urbaines.

Les distances mesurées étant souvent inférieures aux normes d'aménagement prônées dans la construction des scénarios (2 000 mètres), une substituabilité de cette règle d'évaluation avec celle concernant les aménités vertes et de loisirs de fréquentation quotidienne pourrait être envisagée.

1.1.5. L'aménité verte ou de loisirs de fréquentation mensuelle la plus proche

L'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation mensuelle pourrait s'envisager comme une accessibilité aux franges urbaines, les espaces boisés les plus vastes n'étant pas locali-

2. Cf : les seuils d'acceptabilité des distances en marche à pied

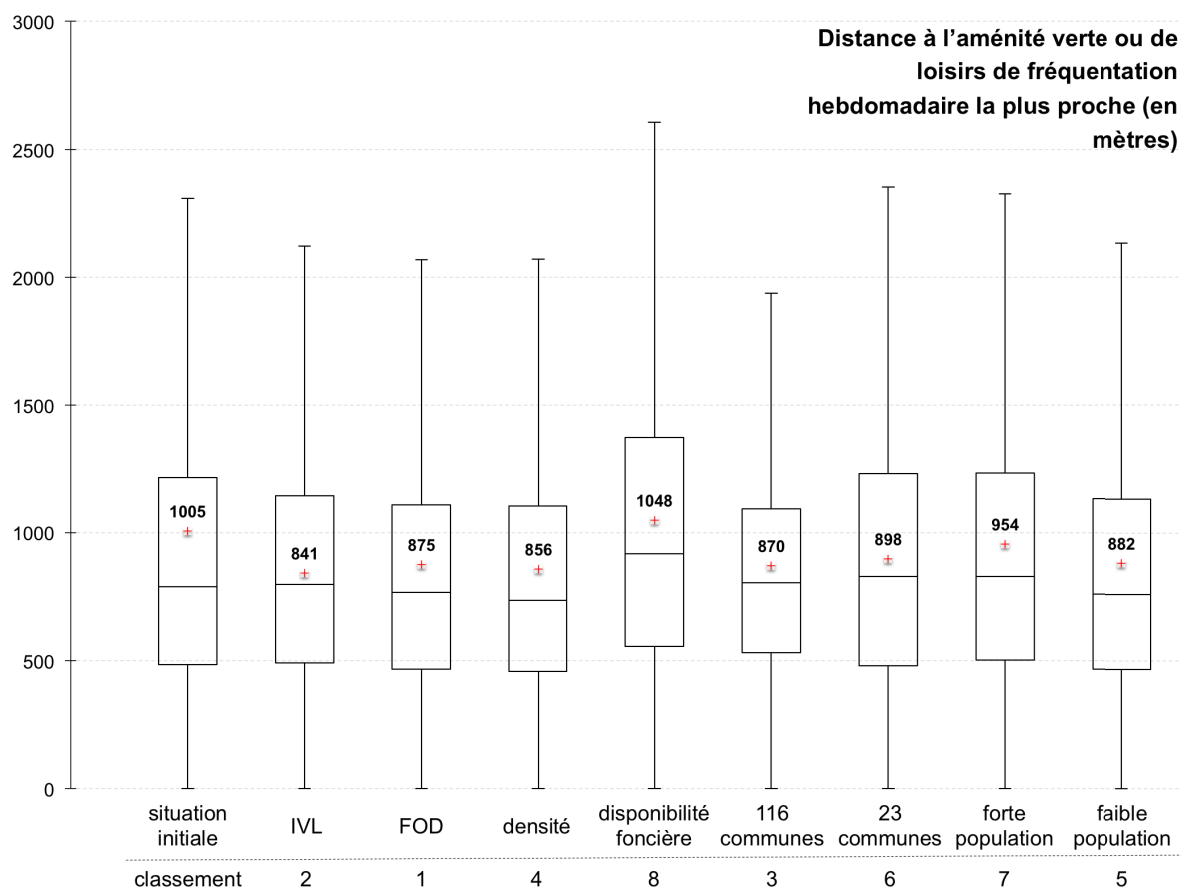


FIGURE 7.4 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à l'aménité verte ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire la plus proche, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

sés au sein des espaces urbains. De fait, quels que soient les scénarios, il n'y a pas d'amélioration de cette accessibilité par rapport à la situation initiale (moyennes et médianes inférieures à la situation initiale). On peut expliquer ce résultat du fait des formes urbaines simulées, qui sont localement denses et limitent l'étalement souvent induit par la croissance résidentielle. Parmi les résultats notables, on constate que le scénario FOD, qui est localement compact, permet de minimiser la distance aux grands espaces verts. Dans le même temps, le scénario basé sur une typologie de 23 communes, qui lui est globalement compact, augmente significativement l'amplitude de la distribution des valeurs d'évaluation. Avec des valeurs d'accessibilité inférieures à 5 000 mètres quel que soit le scénario, nous sommes en-dessous du seuil préconisé par Natural England (5 000 mètres pour les espaces verts de 100 hectares).

1.1.6. La gare ferroviaire la plus proche

Le scénario FOD minimise le plus la distance à la gare ferroviaire la plus proche, avec une distance moyenne d'un peu plus de 700 mètres. Dans l'ensemble, tous les scénarios permettent de

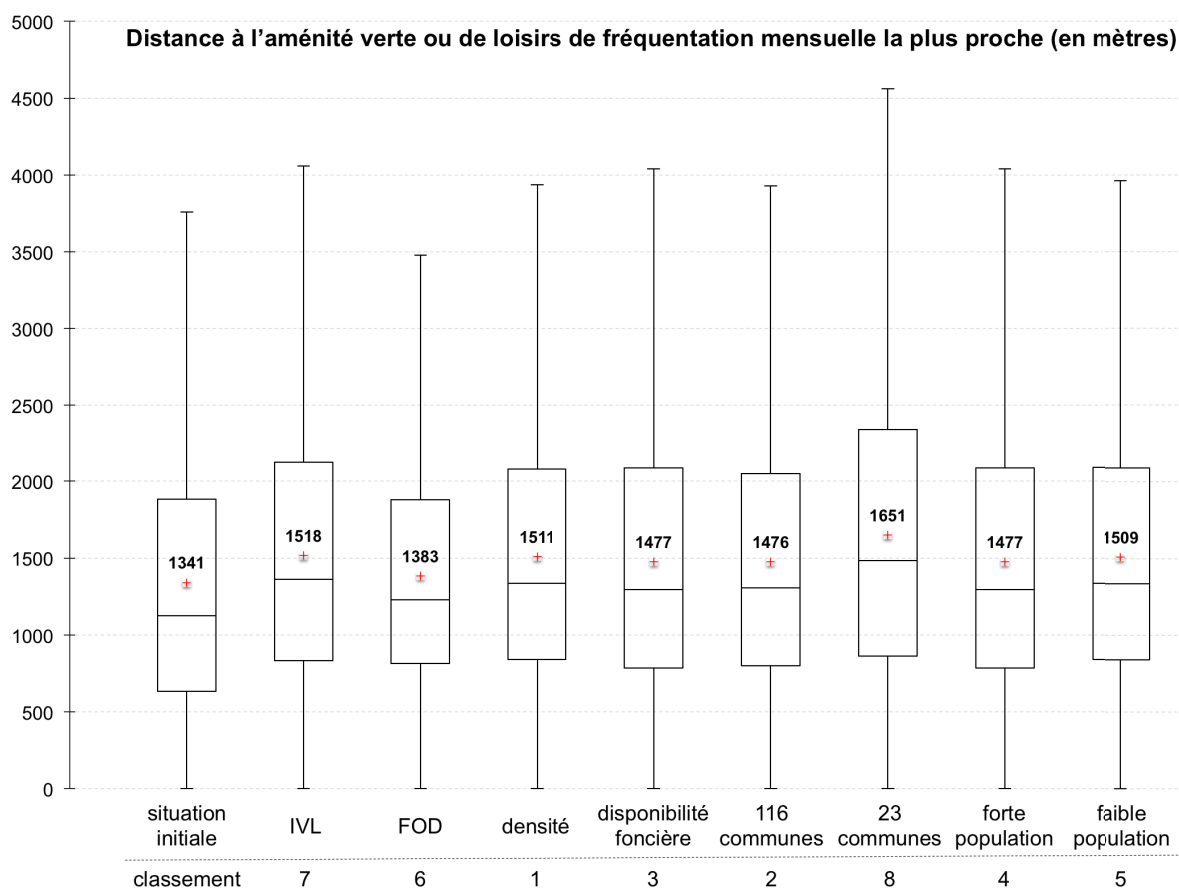


FIGURE 7.5 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à l'aménité verte ou de loisirs de fréquentation mensuelle la plus proche, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

réduire la distance d'accès à la gare la plus proche, celle-ci étant initialement comprise entre 0 et 17 kilomètres, avec une moyenne à plus de 5 000 mètres. Le scénario basé sur les 23 communes les plus centrales permet également d'obtenir de bons résultats pour cet indicateur, avec 75% des cellules potentiellement urbanisables situées à moins de 5 000 mètres de la gare la plus proche et une distance moyenne d'environ 2 000 mètres. À l'inverse, le scénario des 116 communes comporte des valeurs d'évaluation assez élevées, jusqu'à 13 kilomètres, certaines communes étant dépourvues d'infrastructures ferroviaires. De façon étonnante, le scénario de la densité ne permet pas de réduire de façon remarquable la distance à la gare la plus proche. En effet, certaines communes urbanisées dans ce scénario ne possèdent pas d'accès direct au train. En considérant la règle d'aménagement appliquée (3 000 mètres maximum) pour atteindre la gare ferroviaire la plus proche, seul l'ensemble des cellules du scénario FOD et une grande partie des cellules du scénario 23 communes sont situés à une distance acceptable. Avec des médianes aux alentours de 2 000 mètres, de nombreux scénarios ont un potentiel de croissance résidentielle à proximité des transports en commun.

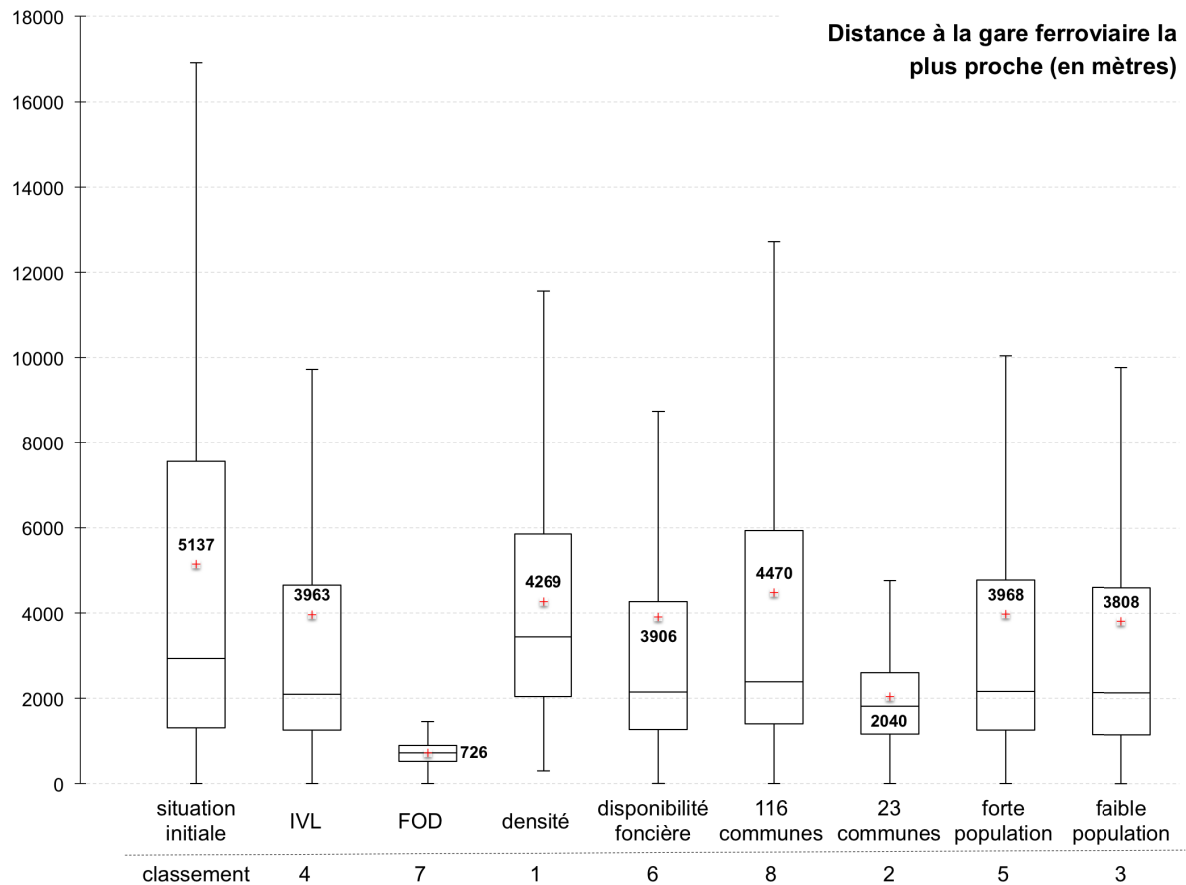


FIGURE 7.6 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à la gare ferroviaire la plus proche, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Au final, pour chaque scénario, les évaluations des scénarios en matière d'accessibilité aux aménités les plus proches (commerce ou service de fréquentation quotidienne et hebdomadaire, aménité verte de fréquentation quotidienne, hebdomadaire, mensuelle ou plus rare et gare ferroviaire) présentent de fortes variations, aucun scénario ne se classant premier pour tous les indicateurs.

Le tableau 7.1 fournit une proposition de classement des scénarios en fonction de la multiplication des valeurs de position des scénarios dans le classement de chaque indicateur, de sorte à ce que :

$$C_{t,k} = i_1 \times i_2 \times \dots \times i_n, \text{ où } C_t \text{ est le score total du scénario } k, \text{ en fonction de chaque indicateur } i_{1 \rightarrow n}$$

Le recours à la multiplication accentue le caractère discriminant du classement des indicateurs. Il n'y a pas de pondération entre les différents indicateurs d'accessibilité.

Le scénario densité arrive en première position puisqu'il s'est classé premier dans trois des six

indicateurs. Si on compare le scénario de la densité avec la référence qui est le scénario IVL, le gain relatif d'accessibilité est en grande partie dû à la division par deux du nombre de cellules dans le scénario. Comme les cellules les mieux évaluées *ex-ante* sont sélectionnées en premier lieu, il est logique que les scénarios comportant moins de cellules soit favorisés dans l'analyse des résultats.

C'est pourquoi le scénario de la densité est suivi par le scénario FOD et le scénario de variation des projections démographiques selon une hypothèse basse. Les scénarios de variation des projections démographiques selon une hypothèse hautes, des 23 communes et des 116 communes arrivent en queue de ce classement. Entre les deux, les scénarios IVL et de disponibilité foncière se placent à des positions intermédiaires. La méthode d'agrégation des résultats par multiplication n'est peut-être pas parfaite mais elle permet de souligner certaines tendances. Les variations soulèvent des choix opérationnels en vue de favoriser l'un ou l'autre scénario en l'absence de réelle démarcation de l'un d'entre eux.

	IVL	FOD	densité	dispo. fon- cière	116 com- munes	23 com- munes	forte popu- lation	faible popu- lation
comm & serv. quot.	4	6	1	5	7	8	3	2
comm & serv. hebdo.	6	5	1	3	7	8	4	2
aménité verte quot.	5	6	4	1	8	2	7	3
aménité verte hebdo.	2	4	1	8	3	6	7	5
aménité verte mensuelle	7	1	6	3	2	8	4	5
gare ferroviaire	4	1	7	6	8	2	5	3
produit des classement	6 720	720	168	2 160	18 816	12 288	11 760	900
classement total	5	2	1	4	8	7	6	3

Tableau 7.1 – Classement des scénarios en fonction des résultats obtenus pour chaque indicateur de distance minimale entre chaque cellule potentiellement urbanisable et l'aménité la plus proche

1.2. Le nombre moyen d'aménités localisées à une certaine distance de chaque cellule potentiellement urbanisable

1.2.1. Les commerces et services de fréquentation quotidienne, à moins de 1 000m de chaque cellule

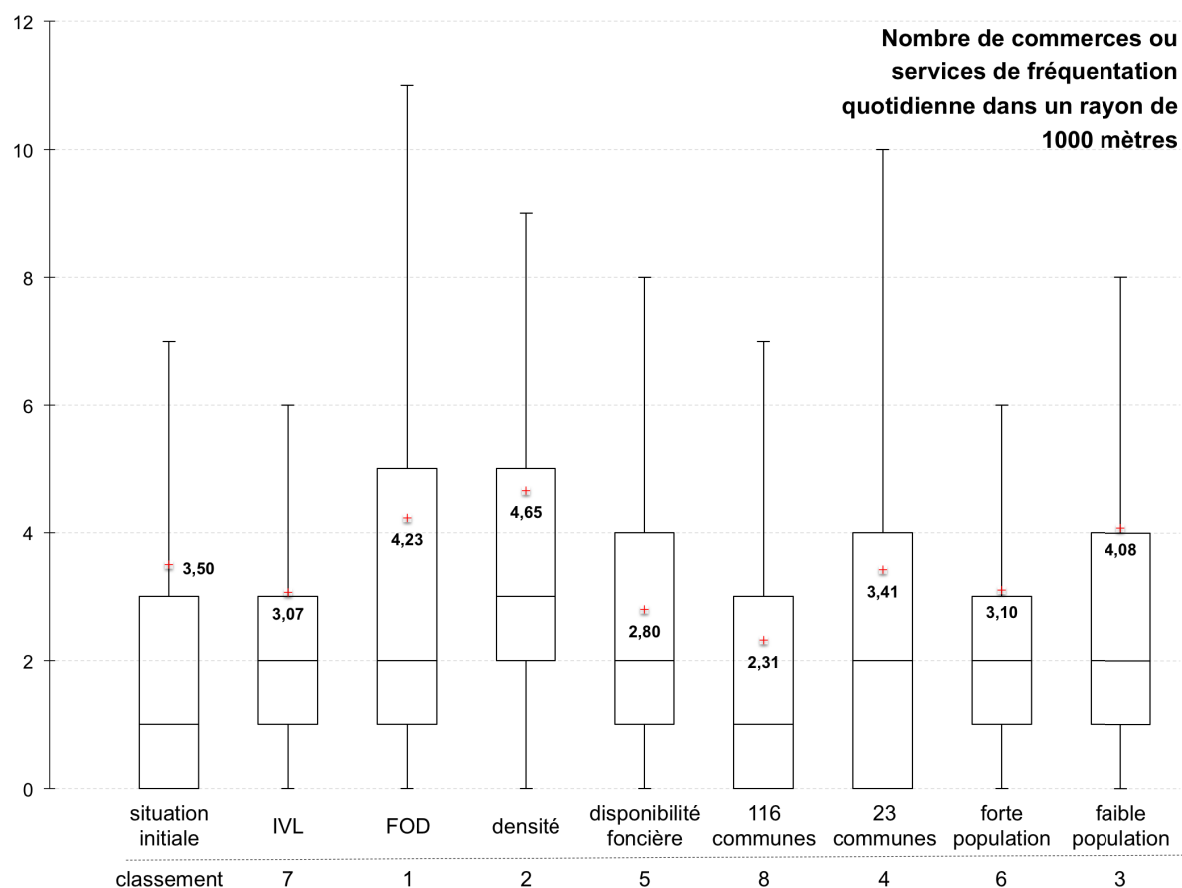


FIGURE 7.7 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne localisés à moins de 1 000m de chaque cellule potentiellement urbanisable, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Si la moyenne des évaluations du nombre de commerces et services de fréquentation quotidienne est parfois plus basse que dans la situation initiale, la médiane est toujours supérieure et la position plus haute des boîtes ainsi que des derniers quartiles confirme une amélioration potentielle de la situation par les scénarios proposés. Le scénario basé des 116 communes est le seul dont la situation s'approche de l'état initial. À l'opposé, les scénarios FOD et dense permettent d'augmenter très significativement le nombre d'aménités atteignables en parcourant une distance de 1 000 mètres. La règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne définit une très bonne accessibilité à partir de quatre aménités dans un voisinage de 1 000 mètres. Seuls les scénarios FOD, densité et dans une moindre mesure le scénario de variation des projections dé-

mographiques selon une hypothèse basse, permettent de s'approcher de ce seuil.

1.2.2. Les commerces et services de fréquentation hebdomadaire, à moins de 2 000m de chaque cellule

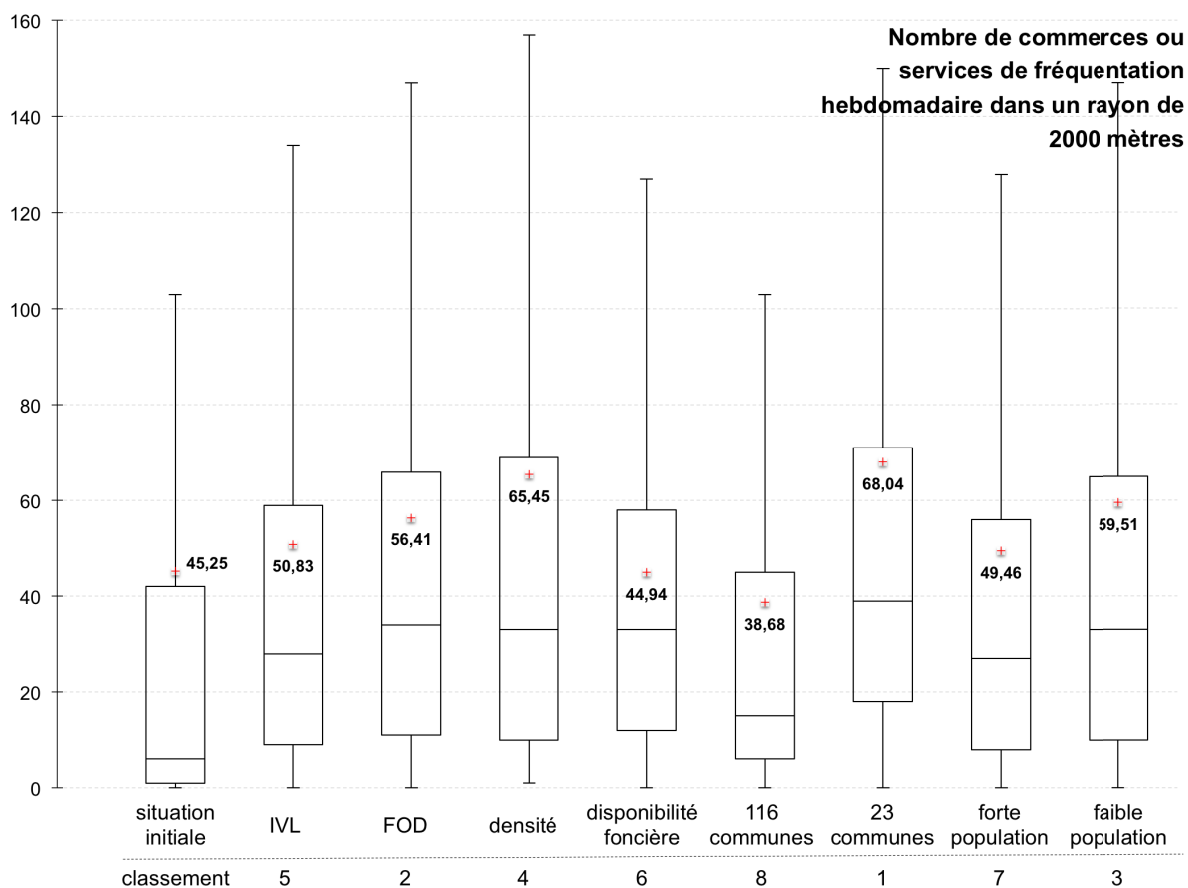


FIGURE 7.8 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire localisés à moins de 2 000m de chaque cellule potentiellement urbanisable, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Plus que les moyennes, il est intéressant ici de regarder les médianes qui sont nettement inférieures. La situation initiale fait état de 50% de cellules déjà bâties ayant accès à moins de 6 commerces ou services de fréquentation hebdomadaire. Le scénario le moins bien évalué est celui des 116 communes qui permet d'atteindre une valeur médiane de 15 aménités. Les autres scénarios ont des valeurs comprises entre 27 et 39 aménités dans un voisinage de 2 000 mètres. L'accès à une dizaine d'aménités de ce type dans un voisinage proche constitue déjà une bonne accessibilité.

Les résultats obtenus par l'évaluation de l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire sont assez similaires à ceux obtenus avec l'indicateur d'évaluation de l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne. Si moins de 40 aménités se situent

en moyenne à moins de 2 000 mètres des cellules du scénario des 116 communes, le scénario de la densité et celui basé sur 23 communes permettent d'en atteindre plus de 65. Si les cellules les mieux évaluées à l'état initial permettent d'atteindre une centaine d'aménités, les scénarios IVL, FOD, dense, des 23 communes ou avec variation de population selon une hypothèse basse contiennent des cellules dont l'évaluation dépasse les 120 voire 150 commerces et services dans leur voisinage.

1.2.3. Les arrêts de bus à moins de 1000m de chaque cellule

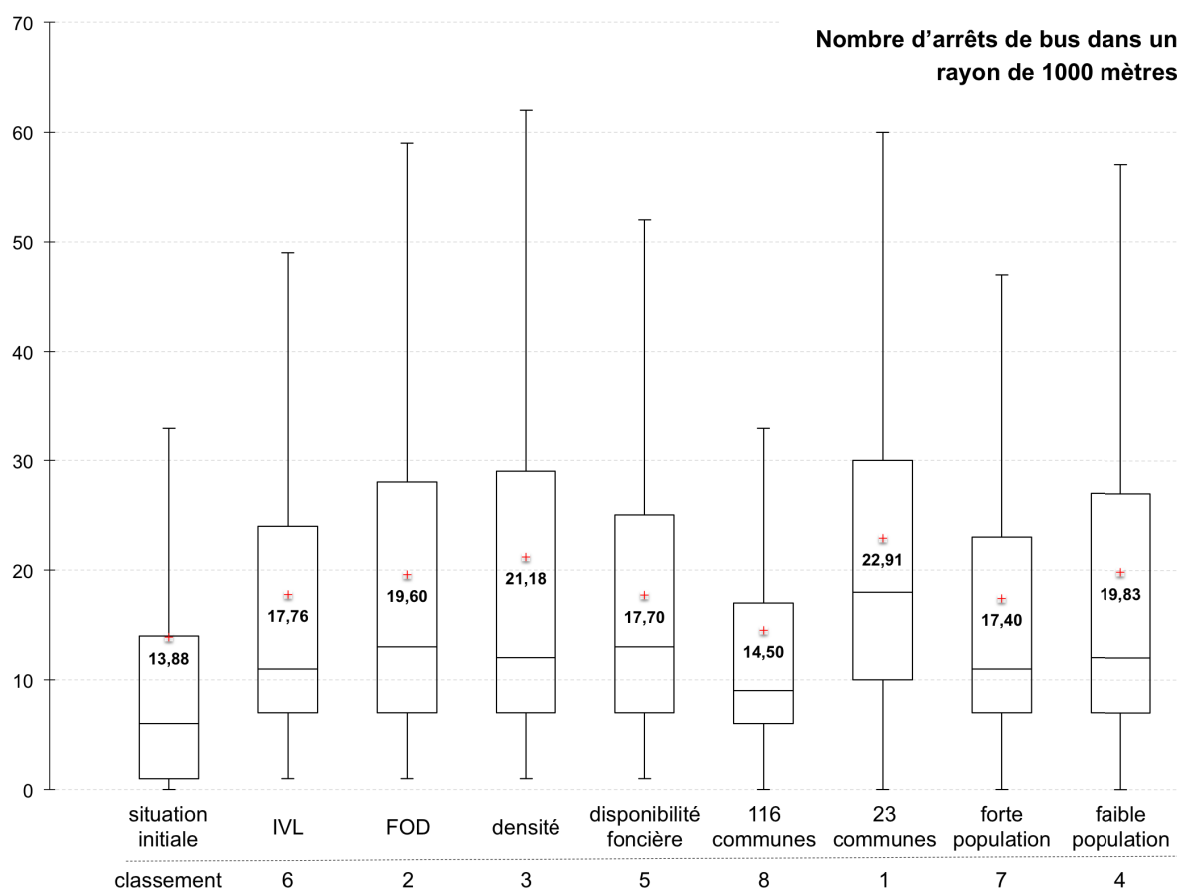


FIGURE 7.9 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux arrêts de bus localisés à moins de 1 000m de chaque cellule potentiellement urbanisable, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Dans le cas de l'évaluation de l'accessibilité aux arrêts de bus, une valeur plus élevée est obtenue pour l'ensemble des scénarios par rapport à la situation initiale. C'est pour le scénario reposant sur les 23 communes que le nombre d'arrêts de bus dans un rayon de 1 000 mètres autour des cellules évaluées est le plus important. De fait, c'est dans les communes les plus centrales du pays que le nombre d'arrêts est le plus élevé puisque les densités d'arrêts de bus y sont les plus importantes. Le scénario FOD, pourtant davantage basé sur l'infrastructure ferroviaire présente aussi de bons résultats. Il faut dire qu'une très grande majorité des gares du pays est pourvue d'arrêts de bus à proximité

immédiate dans l'optique de favoriser l'inter-modalité. À l'inverse, c'est dans le cadre du scénario des 116 communes que le nombre d'arrêts de bus est le plus réduit. Toutes les communes luxembourgeoises ne sont pas pourvues du même nombre d'arrêts de bus, ce qui génère des contrastes entre les scénarios où la répartition globale des cellules diffère.

1.2.4. Les aménités vertes ou de loisirs de fréquentation quotidienne à moins de 1 000m de chaque cellule

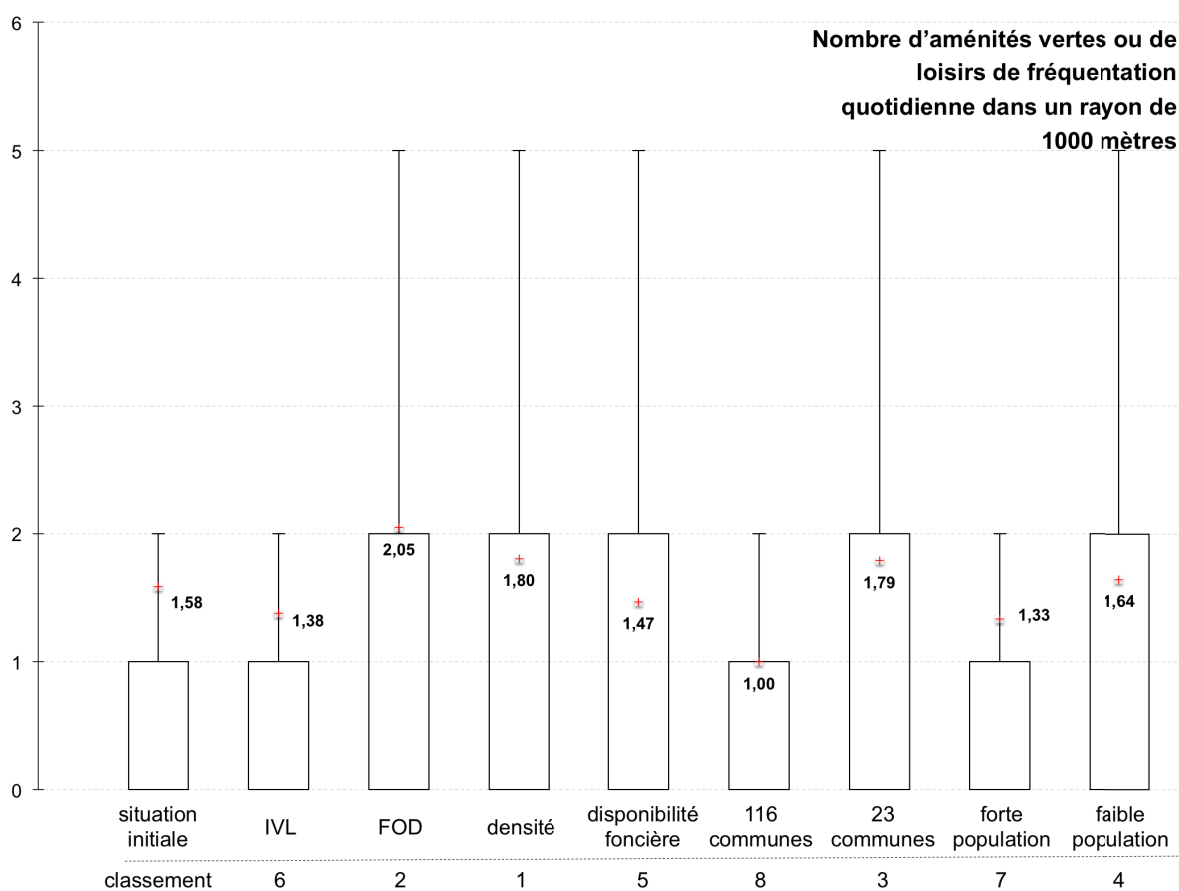


FIGURE 7.10 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux aménités vertes ou de loisirs de fréquentation quotidienne localisées à moins de 1 000m de chaque cellule potentiellement urbanisable, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Les résultats obtenus pour l'analyse du nombre d'aménités vertes de fréquentation quotidienne sont assez bien corrélés avec ceux issus du calcul de la distance minimale. Dans un rayon de 1 000 mètres, il est possible de trouver entre un ou deux parcs et jardins, rarement plus, comme l'indique la limite supérieure de nos boîtes. Ce sont les scénarios FOD, de densité et des 23 communes qui obtiennent les meilleurs résultats, même si le scénario selon les terrains disponibles et celui fondé sur des hypothèses basses des projections démographiques ont des résultats assez similaires. En tout état de cause, il semblerait que la localisation des espaces verts de proximité dans les espaces plutôt

urbains explique une grande partie de ces résultats. Lorsque la croissance résidentielle est spatialement plus dispersée au niveau communal, comme dans les scénarios IVL, des 116 communes ou selon une hypothèse de forte croissance démographique, le nombre d'aménités vertes dans un voisinage proche des cellules potentiellement urbanisables est plus réduit qu'à l'état initial.

1.2.5. Les aménités vertes ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire à moins de 2 000m de chaque cellule

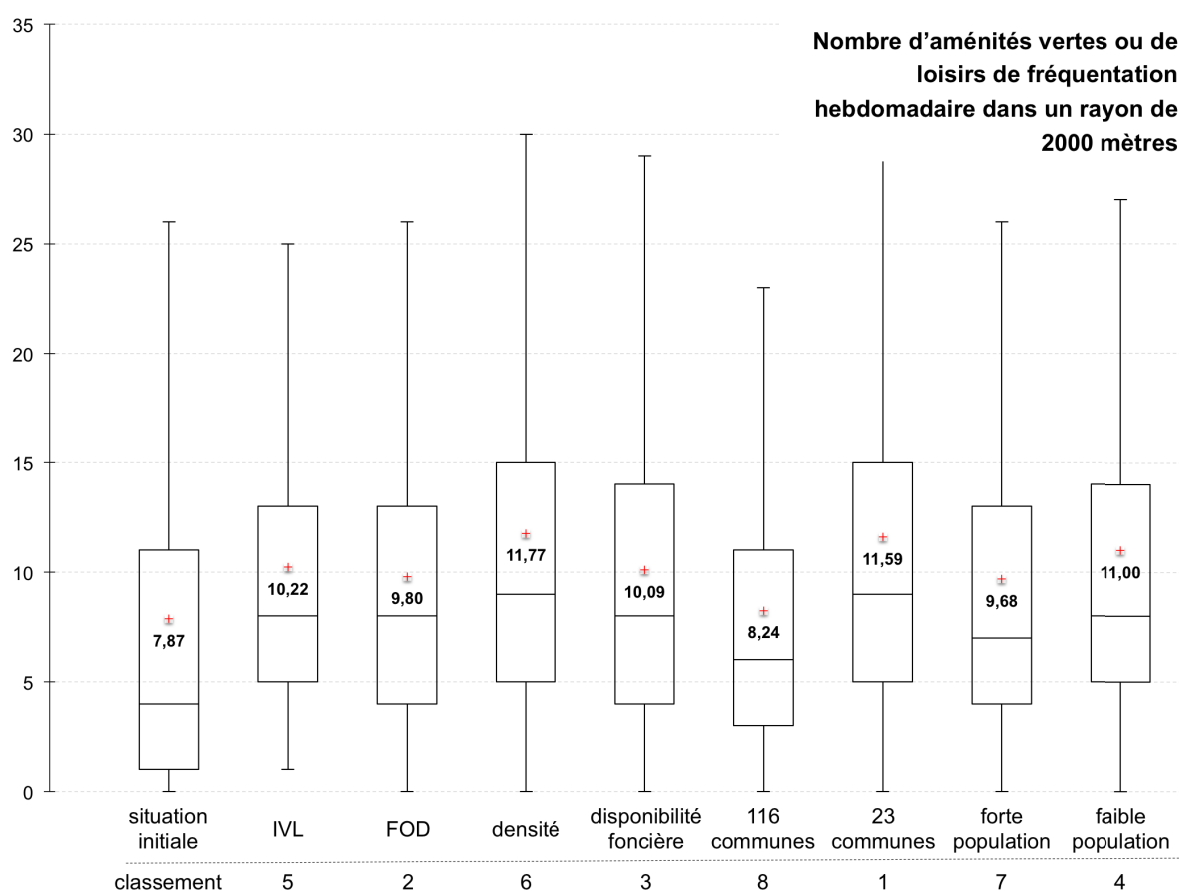


FIGURE 7.11 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux aménités vertes ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire localisées à moins de 2 000m de chaque cellule potentiellement urbanisable, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Contrairement aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation quotidienne, tous les scénarios permettent d'atteindre une plus grande quantité d'aménités dans un voisinage de 2 000 mètres, tant pour les cellules potentiellement urbanisables que les cellules initialement urbanisées. Ce sont les scénarios des 23 communes et de la densité qui sont les mieux évalués, même si les valeurs d'évaluation de chaque scénario sont assez proches. De fait, la valeur moyenne d'évaluation oscille entre 8,24 et 11,77 aménités en moyenne et le premier quartile se situe souvent au-dessus de 4 entités. C'est le scénario composé des 116 communes qui est le moins bien évalué. Les aménités vertes de

ce niveau sont composées d'infrastructures sportives généralement localisée dans les principales communes³ mais aussi d'espaces boisés de moins de 100 hectares, mieux réparties sur le territoire. C'est pour cette raison que peu de différences sont observées entre les scénarios.

Comme pour l'indicateur d'accessibilité à l'aménité la plus proche, il existe une forte variation dans le classement des scénarios pour chaque indicateur de comptage du nombre moyen d'aménité dans le voisinage des cellules potentiellement urbanisables. Le tableau 7.2 illustre la synthèse des classements des scénarios en fonction du produit des classements pour chaque indicateur. Trois scénarios se détachent nettement : 23 communes, densité et FOD. Si les deux derniers étaient déjà parmi les mieux classés lors des évaluations de proximité, le scénario des 23 communes est passé de la septième à la première place. Le comptage du nombre d'aménités dans un certain voisinage favorise les scénarios dont la forme urbaine est concentrée d'un point de vue global, sur un nombre restreint de communes de taille importantes. À l'inverse, les scénarios dont le développement résidentiel simulé est plus dispersé spatialement (IVL, hypothèse forte de croissance démographique et des 116 communes) ferment le classement.

	IVL	FOD	densité	dispo. fon- cière	116 com- munes	23 com- munes	forte popu- lation	faible popu- lation
nb. comm & serv. quot. (1 000m)	7	2	1	5	8	4	6	3
nb. comm & serv. hebdo. (2 000m)	5	4	2	6	8	1	7	3
nb arrêts de bus (1 000m)	6	3	2	5	8	1	7	4
nb aménité verte quot. (1 000m)	6	1	2	5	8	3	7	4
nb aménité verte hebdo. (2 000m)	5	6	2	3	8	1	7	4
produit des classement	6 300	144	16	2 250	32 768	12	14 406	576
classement total	6	3	2	5	8	1	7	4

Tableau 7.2 – Classement des scénarios en fonction des résultats obtenus pour chaque indicateur du nombre moyen d'aménités de chaque type dans le voisinage de chaque cellule potentiellement urbanisable

3. C'est notamment le cas pour les grands équipements sportifs : piscines, gymnases... Un peu moins pour les terrains de sport.

1.3. La distance moyenne minimale de chaque cellule à un ensemble d'aménités différentes

1.3.1. Distance moyenne minimale pour accéder à chaque type de commerce et service de fréquentation quotidienne

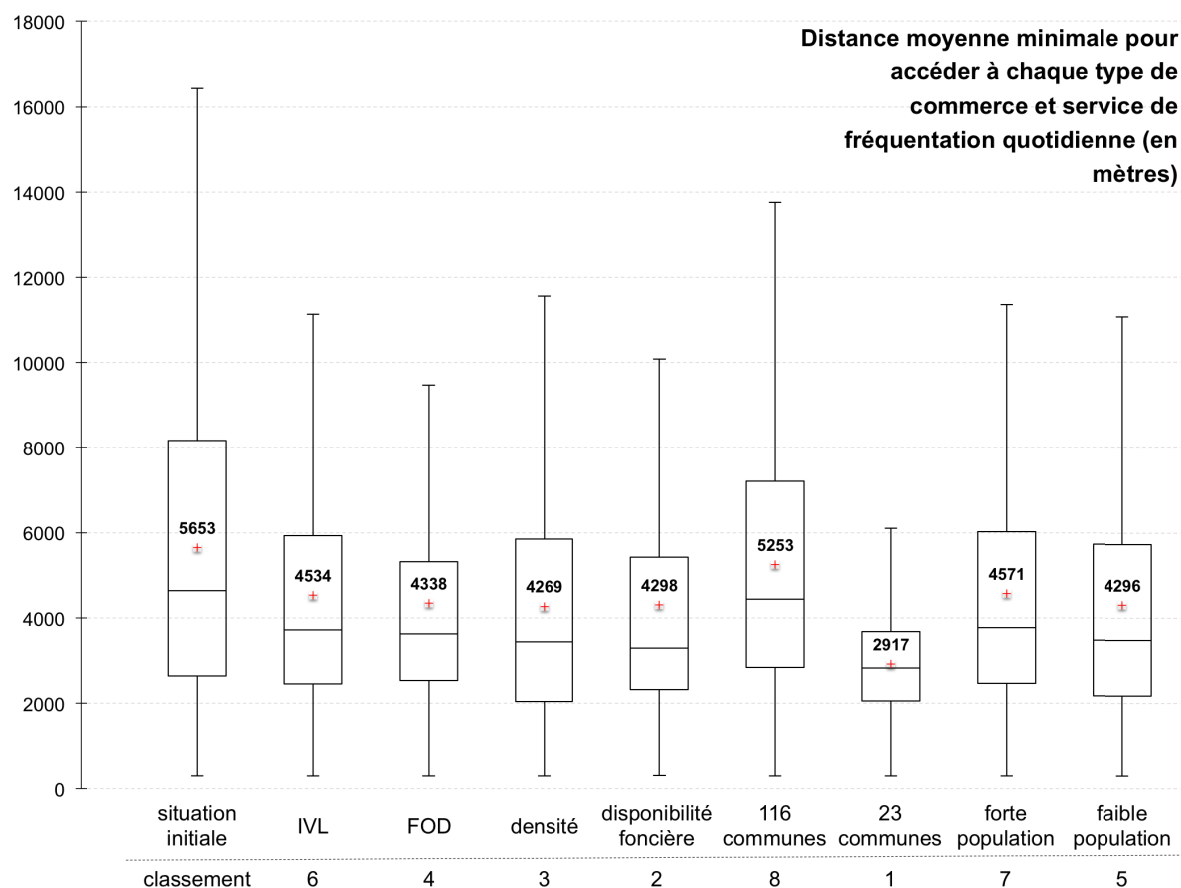


FIGURE 7.12 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type de commerces et services de fréquentation quotidienne, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Comme le montre la figure 7.12, c'est le scénario des 23 communes qui permet une meilleure accessibilité aux différents types de commerces et services de fréquentation quotidienne. En effet, chaque commerce et service de recours quotidien⁴ est atteint en moins de 3 000 mètres en moyenne et compris le plus généralement entre 2 000 et 4 000 mètres. Ce résultat est à mettre au regard de la situation initiale où le troisième quartile se situe à plus de 8 kilomètres et le maximum au delà de 16 kilomètres, donc l'accessibilité à un ensemble d'aménités différentes de fréquentation quotidienne est très grandement améliorée. Les scénarios FOD et des terrains disponibles obtiennent également des résultats intéressants. En revanche, le scénario des 116 communes qui possède est le

4. C'est à dire à la fois une alimentation générale ou une supérette, une boulangerie, une boucherie, une crèche, une école et un bureau de tabac / presse.

moins bien évalué puisqu'il faut en moyenne parcourir 5 000 mètres pour atteindre l'aménité quotidienne la plus proche de chaque type (2 000 mètres dans 75% des cas).

1.3.2. Distance moyenne minimale pour accéder à chaque type de commerce et service de fréquentation hebdomadaire

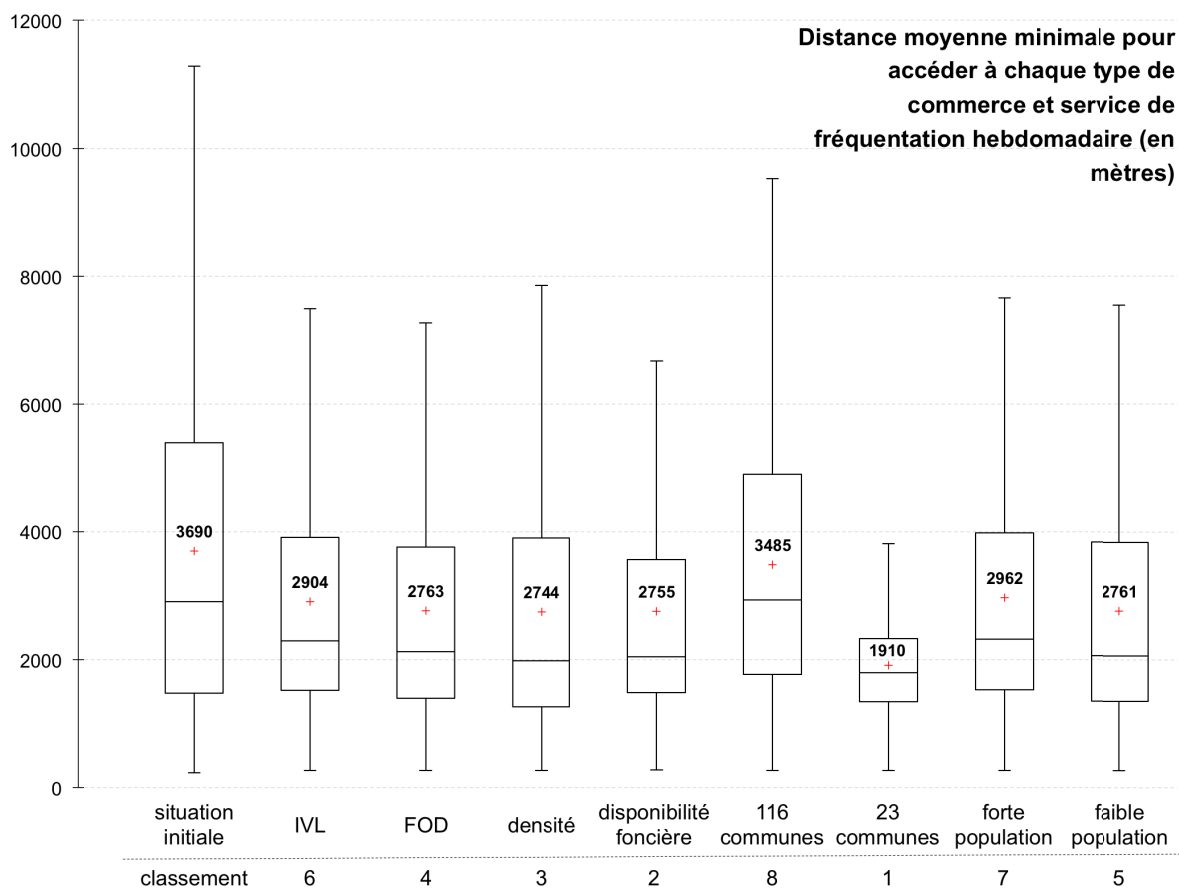


FIGURE 7.13 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type de commerces et services de fréquentation hebdomadaire, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Les résultats obtenus par la mesure de la distance moyenne minimale pour accéder à chaque type de commerce et service de fréquentation hebdomadaire⁵ sont en tous points identiques à ceux obtenus pour les commerces et services de recours quotidien. Une fois encore les cellules potentiellement urbanisables situées dans les 3 pôles urbains du pays (scénario des 23 communes) sont nettement mieux évaluées que les cellules initialement urbanisées avec une distance moyenne deux fois inférieure. Aussi, le dernier quartile se situe à moins de 4 000 mètres, ce qui est bien plus faible

5. C'est à dire à la fois à une agence bancaire, un café-bar, un coiffeur, un chausseur, un magasin de vêtements, une salle de fitness, une fleuriste, une station de lavage de voitures, un médecin généraliste, une pharmacie, un bureau de poste, un pressing, un restaurant, une station-service, un supermarché ou un hypermarché.

que les 11 kilomètres de la situation initiale et les 6 à 8 kilomètres des autres scénarios. En revanche, il faut près de 3 500 mètres pour rejoindre au chaque type d'aménités dans le cas du scénario des 116 communes.

On peut tout à fait comprendre ce résultat puisqu'un certain nombre de ces aménités, notamment les supermarchés, les agences bancaires ou encore les commerces de vêtements ou chaussures sont localisés dans les communes les plus importantes. Les distances à parcourir sont en général plus courtes que dans le cas des aménités quotidiennes du fait d'un nombre quatre fois plus élevé de commerces et services, et ce malgré un nombre d'aménités différentes plus conséquent.

1.3.3. Distance moyenne minimale pour accéder à chaque type de commerce et service de fréquentation mensuelle ou plus rare

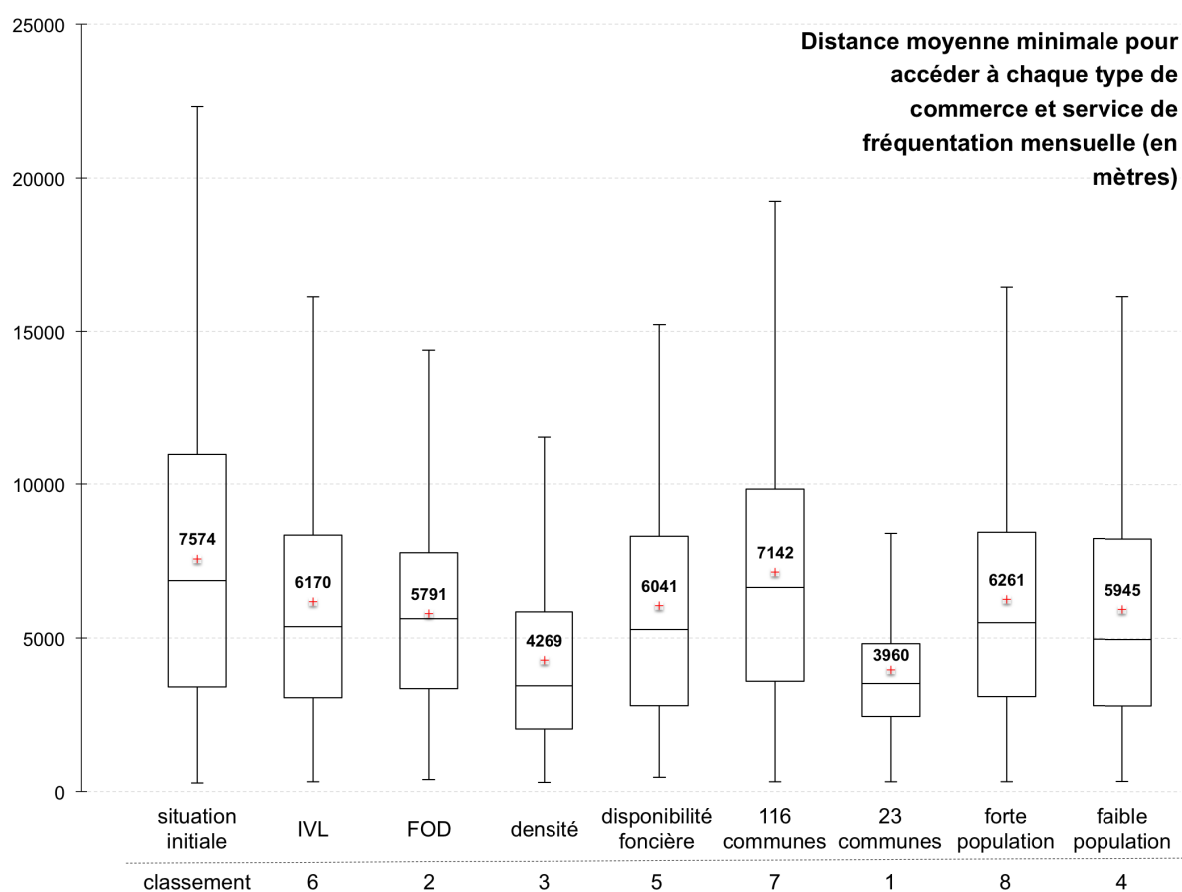


FIGURE 7.14 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type de commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

Au niveau des commerces et services de recours potentiel mensuel⁶, les résultats sont assez proches des deux niveaux précédents. Les administrations, les infrastructures de santé ou un grand nombre d'aménités culturelles sont implantées dans les plus grandes communes du pays. C'est pourquoi les scénarios denses et des 23 communes sont les mieux évalués. On peut également relever un résultat intéressant dans le cadre du scénario FOD pour lequel 75% des cellules potentiellement urbanisables sont situées à moins de 15 kilomètres de chaque type d'aménité mensuelle. Toutefois, il reste à savoir si ces kilomètres peuvent être parcourus en transports en commun, puisque leur utilisation est l'un des objectifs principaux du scénario FOD.

1.3.4. Distance moyenne minimale pour accéder à chaque type d'aménité verte ou de loisirs de fréquentation quotidienne

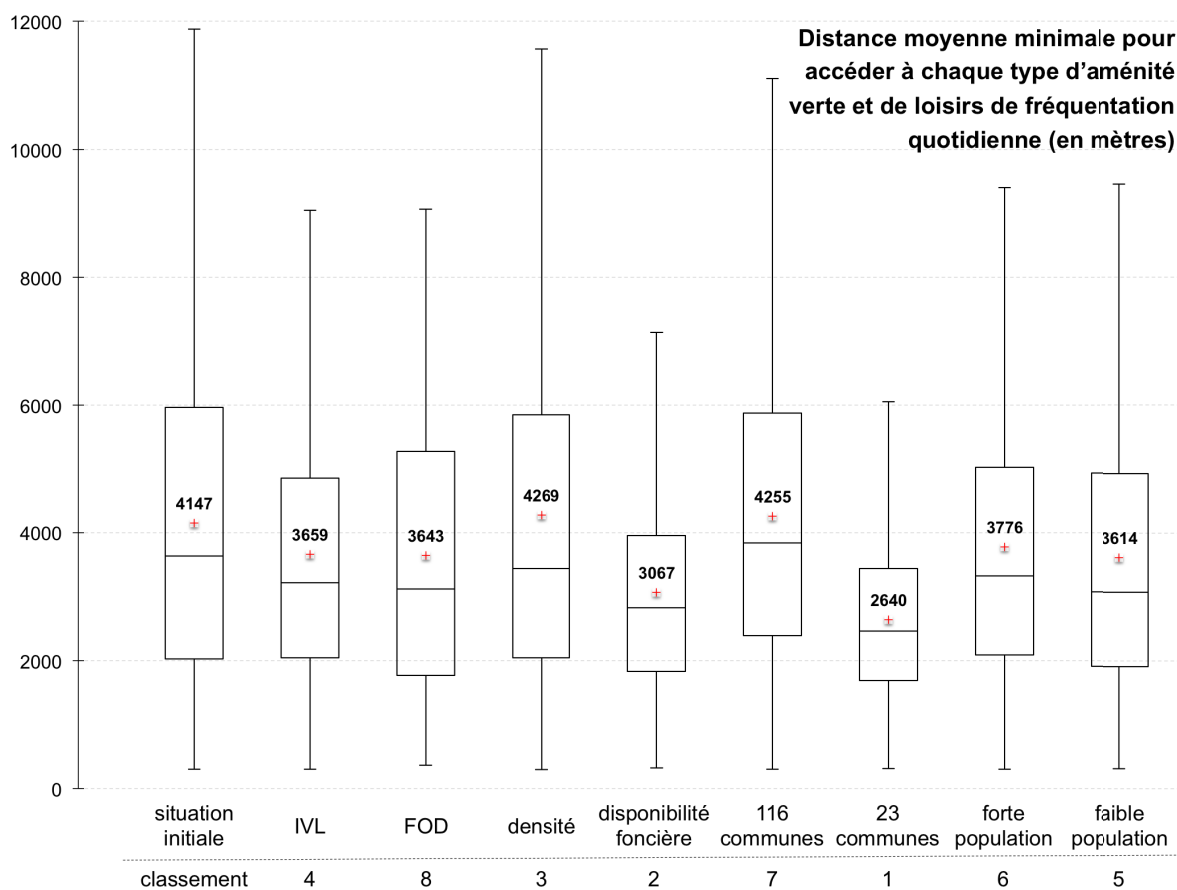


FIGURE 7.15 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type d'aménités vertes ou de loisirs de fréquentation quotidienne, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

6. C'est à dire à la fois à une mairie, une administration, une aménité culturelle (théâtre, cinéma, bibliothèque...), une librairie, un dentiste, un médecin spécialiste et un hôpital.

L'intérêt de cet indicateur est limité puisque ces aménités sont seulement de deux ou trois types (parcs / jardins, jardins familiaux, forêts et bois de moins de 2Ha), et les fonctions qu'elles proposent sont assez similaires. Un parc ou espace boisé de surface limitée permettent sensiblement les mêmes usages quotidiens (jeu des enfants, sports ou loisirs, promenade des animaux domestiques). C'est le scénario des 23 communes qui bénéficient de la distance moyenne la plus courte à chaque type d'aménités verte et de loisirs de fréquentation quotidienne. Le scénario des terrains disponibles arrive en deuxième position. Ces deux scénarios présentent une distribution statistique des valeurs d'accessibilité relativement resserrée, l'ensemble des cellules évaluées étant localisées à moins de 7 500 mètres des différentes aménités.

1.3.5. Distance moyenne minimale pour accéder à chaque type d'aménité verte ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire

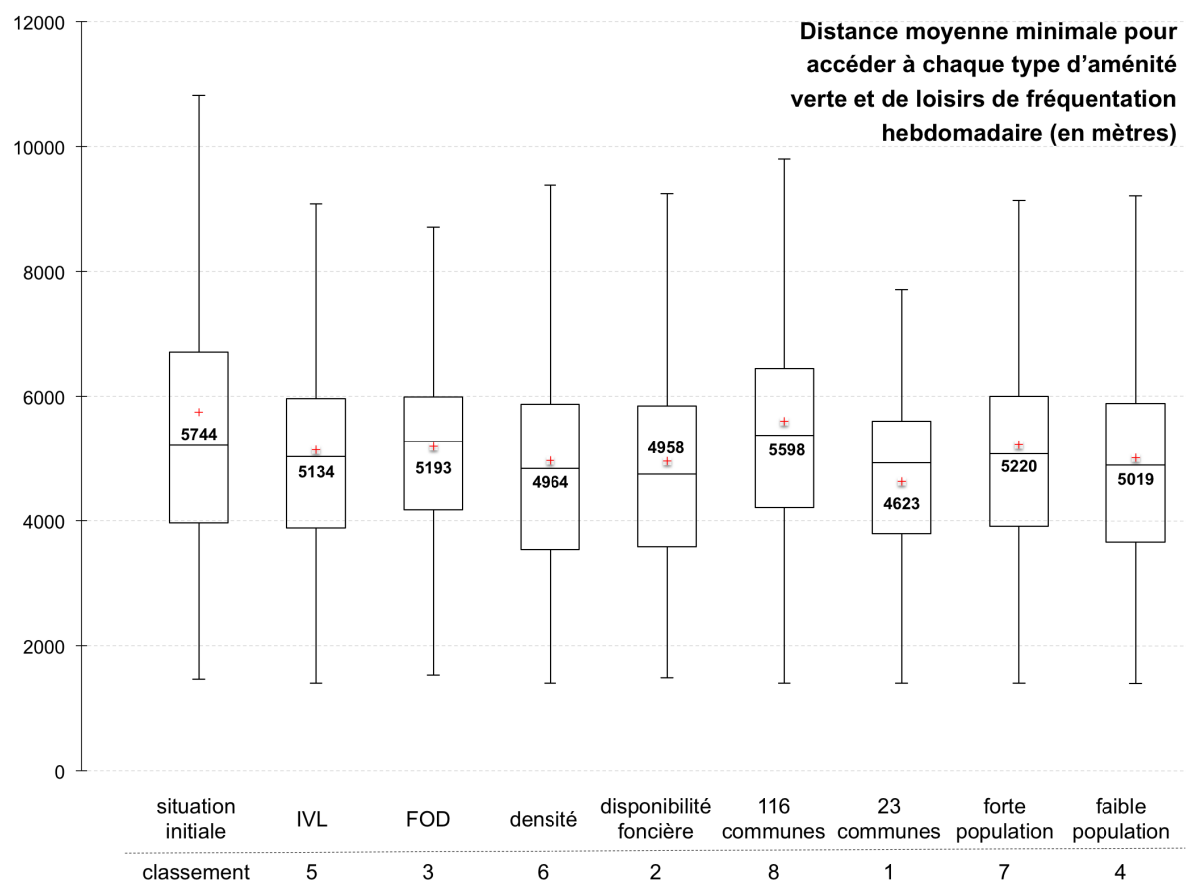


FIGURE 7.16 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type d'aménités vertes ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030

L'évaluation de la distance minimale d'accès à chaque type d'aménité verte ou de loisirs de recours potentiel hebdomadaire est assez semblable pour l'ensemble des scénarios, qui améliorent tous la situation initiale. Comme pour l'évaluation du nombre de ces aménités dans un voisinage

proche, la répartition spatiale de chaque type peut dépendre d'une compensation entre les types d'aménités. Par exemple, on peut aisément concevoir que la distance pour accéder au terrain de golf le plus proche n'est pas toujours des plus courtes, ces derniers étant peu nombreux et localisés dans les espaces plutôt ruraux. Néanmoins, les communes urbaines peuvent compenser ce manque relatif par un équipement sportif à proximité immédiate (gymnase ou piscine). Dans le même temps, les communes les plus rurales bénéficient d'une bonne accessibilité aux espaces boisés. Ces différentiels dans la localisation des activités expliquent en grande partie la ressemblance des valeurs représentées dans la figure 7.16.

Le tableau 7.3 présente le classement des scénarios pour les indicateurs d'accessibilité moyenne minimale pour atteindre chaque type d'aménité d'une même fréquence de recours. Cette fois, le scénario des 23 communes, déjà premier des indicateurs de comptage, figure en premier place pour chacun des cinq indicateurs. L'urbanisation étant concentrée dans les trois pôles urbains du pays, il est normal de pouvoir accéder à une grande variété d'aménités en un minimum de temps. Le scénario des terrains disponibles arrive en deuxième position ; les terrains actuellement constructibles au Luxembourg sont situés pour une majeure partie à proximité du bâti existant, qui est déjà bien évalué pour un certain nombre d'aménités, comme nous avons pu le constater dans la deuxième partie de la thèse. Le scénario FOD complète le haut du classement, indiquant que les espaces potentiellement urbanisables à proximité des gares ferroviaires bénéficient d'une assez bonne accessibilité à des aménités variées. Une fois encore, ce sont les scénarios les plus dispersés spatialement à l'échelle globale qui sont les moins bien évalués ; IVL, hypothèse d'une forte croissance démographique et des 116 communes.

Une synthèse des résultats obtenus pour chaque type d'indicateurs (distance minimale au plus proche, nombre d'aménités dans un voisinage, distance moyenne minimale pour accéder à chaque type d'aménités) est possible en multipliant les résultats des indicateurs entre-eux, ce qui accentue encore davantage les contrastes entre les scénarios. Le scénario des 23 communes, classé premier sur deux des trois familles d'indicateurs, est le mieux évalué en matière d'accessibilité synthétique du fait d'une adéquation entre la localisation des cellules potentiellement urbanisables et les aménités considérées. Le scénario de la densité arrive en deuxième place, puisqu'il se compose d'un nombre relativement restreint de cellules potentiellement urbanisables. Le scénario FOD est également assez bien évalué, il y aurait donc à proximité des stations ferroviaires luxembourgeoises des espaces potentiellement urbanisables proches d'une certaine variété de commerces, services ou d'espaces verts et de loisirs. Le scénario de la disponibilité foncière est également assez bien évalué, ce qui tend à démontrer que les terrains disponibles à la construction constituent un réel potentiel

	IVL	FOD	densité	dispo. fon- cière	116 com- munes	23 com- munes	forte popu- lation	faible popu- lation
comm & serv. quot.	6	3	4	2	8	1	7	5
comm & serv. hebdo.	6	3	4	2	8	1	7	5
comm & serv. mensuels.	6	3	2	5	8	1	7	4
aménité verte quot.	4	3	8	2	7	1	6	5
nb aménité verte hebdo. (2 000m)	5	6	3	2	8	1	7	4
produit des classement	4 320	486	768	80	28672	1	14 406	2 000
classement total	6	3	4	2	8	1	7	5

Tableau 7.3 – Classement des scénarios en fonction des résultats obtenus pour chaque indicateur de la distance moyenne minimale pour accéder à chaque type d'aménité d'une même fréquence de recours depuis les cellules potentiellement urbanisables

dans le développement futur au Grand-Duché. Comme nous l'avons évoqué précédemment lors des analyses de chaque type d'indicateurs, les scénarios les plus diffus spatialement sont également ceux dont l'accessibilité à différentes aménités semble la moins bonne. Les aménités mensuelles ou plus rares, ou certains commerces, services et loisirs de fréquence de recours hebdomadaire, se situent dans un nombre limité de communes mieux équipées, dont les municipalités les plus rurales demeurent éloignées.

	IVL	FOD	densité	dispo. fon- cière	116 com- munes	23 com- munes	forte popu- lation	faible popu- lation
produit des classement dist. min.	6 720	720	168	2 160	18 816	12 288	11 760	900
classement dist. min.	5	2	1	4	8	7	6	3
produit des classement nb. aménités	6 300	144	16	2 250	32 768	12	14 406	576
classement nb. aménités	6	3	2	5	8	1	7	4
produit des classement dist. moy. minimale	4 320	486	768	80	28 672	1	14 406	2 000
classement dist. moy. minimale	6	3	4	2	8	1	7	5
produit des classements	1,8.10 ¹¹	5,0.10 ⁷	2,0.10 ⁶	3,8.10 ⁸	1,8.10 ¹³	1,4.10 ⁵	2,4.10 ¹²	1,0.10 ⁹
classement final	6	3	2	4	8	1	7	5

Tableau 7.4 – Classement des scénarios en fonction des résultats obtenus pour chaque type d'indicateur d'accessibilité spatiale : distance minimale au plus proche, nombre d'aménités dans un voisinage, distance moyenne minimale pour accéder à chaque type d'aménités

2. Comparaison avec les résultats obtenus à partir des scénarios

MOEBIUS

Pour ne pas allonger la liste de résultats, seuls quelques exemples de chaque type d'indicateurs seront présentés. Le reste des distributions statistiques se situent en annexe. En guise de comparaison entre les scénarios MOEBIUS, le scénario des 23 communes fait office de référence des scénarios COSMELUX, puisqu'il ressortait souvent dans les résultats précédents.

2.1. La distance minimale à la gare ferroviaire la plus proche

Le scénario BAU de MOEBIUS, qui comprend l'ensemble des 150 000 cellules contenues dans les terrains disponibles, est le moins bien évalué en matière d'accessibilité à la gare la plus proche. La moyenne, la médiane et le maximum sont plus élevés que dans le cas de la situation initiale. À l'inverse, les trois autres scénarios de MOEBIUS ont des distributions relativement similaires aux résultats obtenus de le cadre du scénario des 23 communes. Les distributions indiquent une réelle

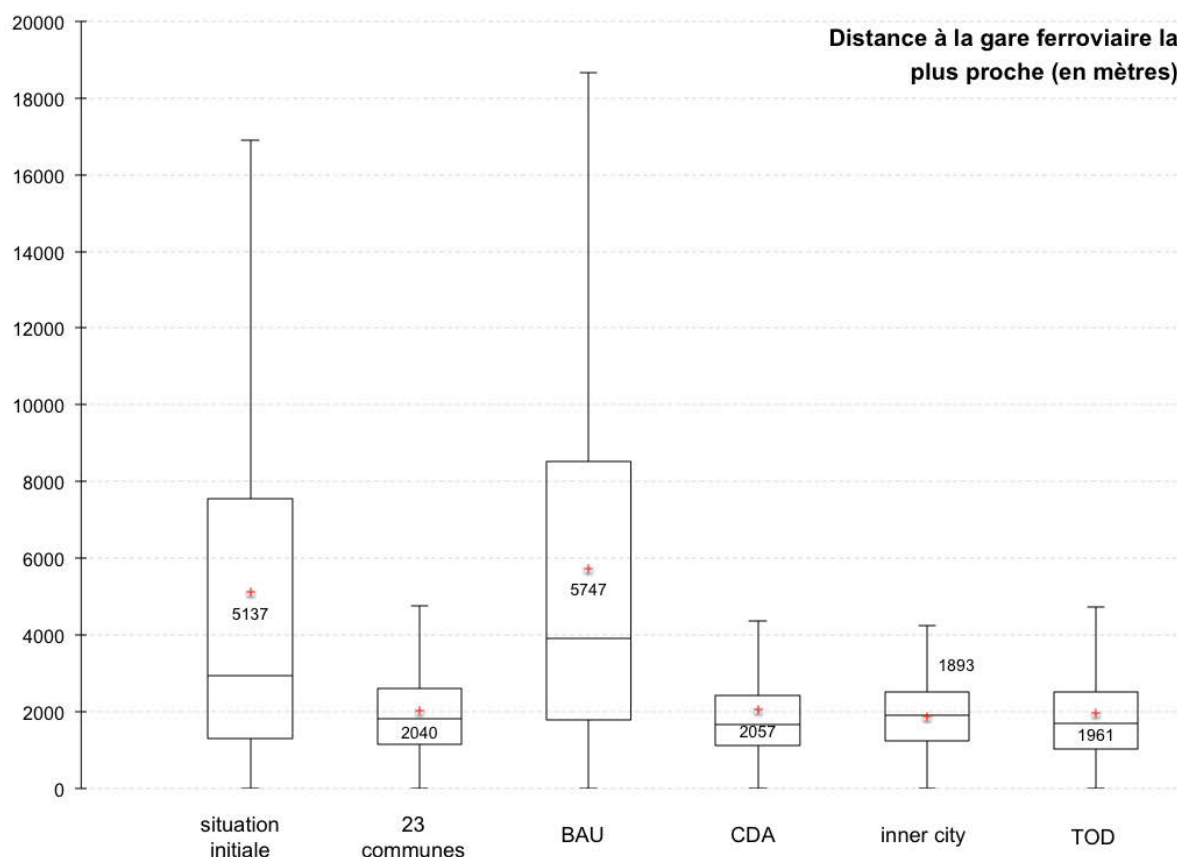


FIGURE 7.17 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à la gare ferroviaire la plus proche, pour la situation initiale (2010), le scénario 23 communes et les 4 scénarios MOEBIUS (2030)

amélioration par rapport à la situation initiale avec des distances plus de deux fois plus courtes pour rejoindre la gare la plus proche. Les distributions sont également très resserrées, avec une valeur de dernier quartile inférieure à 5 000 mètres, donc en-dessous de la moyenne de la situation initiale.

Les scénarios CDA, Inner City et TOD représentent chacun entre 6 000 et 13 000 cellules potentiellement urbanisables, comme nous l'avons vu en fin de seconde partie. Le scénario des 23 communes en contient 78 000. Les écarts en matière d'accessibilité sont donc à nuancer en fonction de la différence du nombre de cellules potentiellement urbanisables dans les scénarios, qui induit un biais dans la présente comparaison. La plus grande partie de ces cellules sont situées dans les principales agglomérations, bien desservies en transports ferroviaires. Contrairement aux résultats obtenus dans le cadre du scénario dit de la disponibilité foncière (moins de 4 000 mètres en moyenne pour accéder à la gare ferroviaire la plus proche), ce premier résultat de la comparaison avec les scénarios de MOEBIUS indique que tous les terrains disponibles actuellement au Luxembourg ne sont pas à urbaniser en priorité.

2.2. Le nombre d'arrêts de bus localisés à moins de 1 000 mètres de chaque cellule potentiellement urbanisable

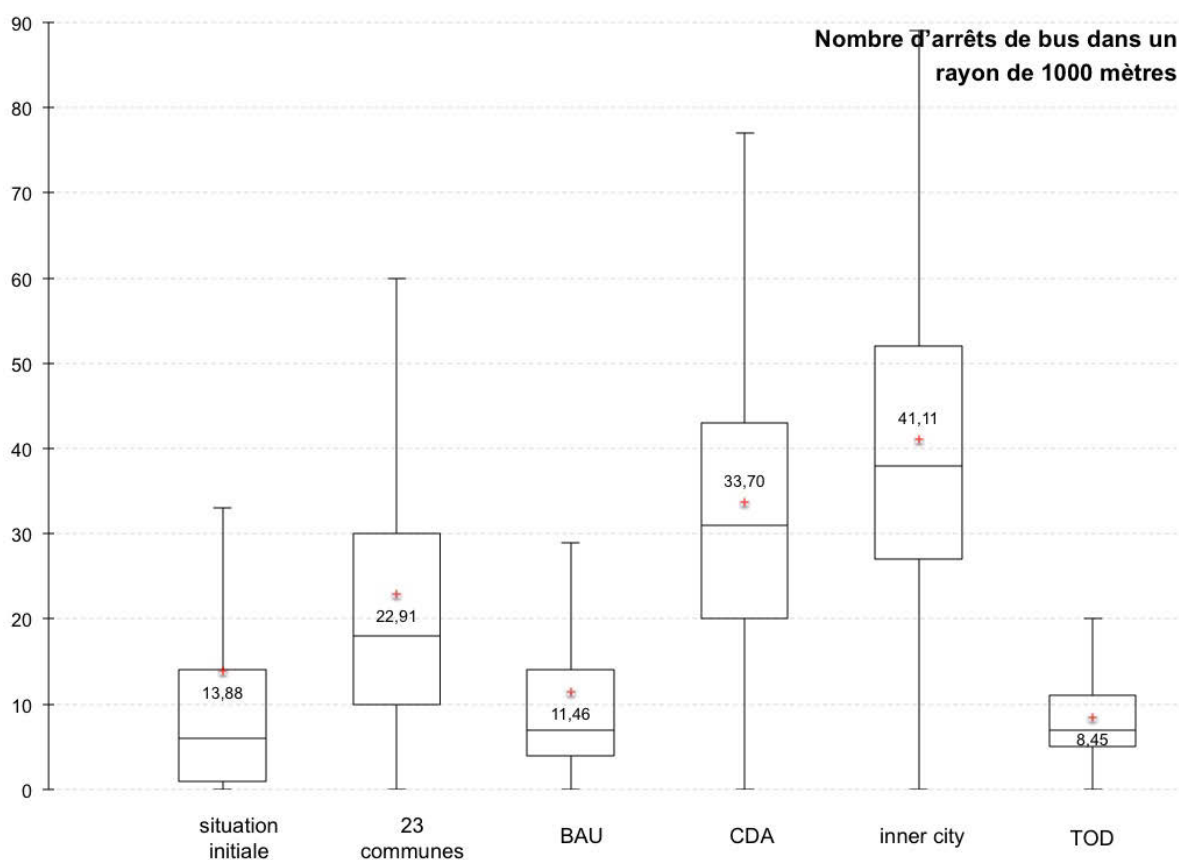


FIGURE 7.18 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux arrêts de bus, à moins de 1 000 mètres, pour la situation initiale (2010), le scénario 23 communes et les 4 scénarios MOEBIUS (2030)

Les résultats obtenus pour la mesure de l'accessibilité à un certain nombre d'arrêts de bus dans un voisinage de 1 000 mètres sont assez différents de ceux obtenus pour l'accessibilité à la gare la plus proche. Pour deux scénarios, BAU et TOD, les résultats obtenus sont similaires à ceux de la situation initiale. Si la moyenne est plus basse, la médiane est légèrement plus élevée et la distribution des valeurs plus resserrée. À l'opposé, les scénarios CDA et Inner City permettent d'obtenir de bien meilleurs résultats avec plus de 30 et 40 arrêts de bus en moyenne dans un voisinage de 1 000 mètres, et une valeur médiane cinq fois supérieure aux 6 arrêts de la situation initiale. Les résultats obtenus avec ces deux scénarios sont également nettement supérieurs à celui du scénario des 23 communes où le nombre médian d'arrêts de bus est de 22,9.

Le résultat du scénario BAU peut s'expliquer par le fait que la plus grande partie des arrêts de bus sont localisés en milieu urbain et donc pas nécessairement à proximité des terrains disponibles.

On a vu précédemment que la disponibilité foncière était en partie située dans les communes dites complémentaires (les communes les plus rurales du pays), et que les terrains disponibles pouvaient être situés en périphérie des espaces déjà urbanisés et sont ainsi dépourvus d'arrêts très proches. À l'inverse, le résultat du TOD est assez inexplicable. Est-ce dans les règles de construction du scénario, qui intègrent pourtant une certaine proximité aux infrastructures de transports en commun que les cellules à proximité immédiate des arrêts de bus sont écartées ?

2.3. La distance moyenne minimale de chaque cellule à chaque type d'aménité

2.3.1. Les commerces ou services de fréquentation hebdomadaire

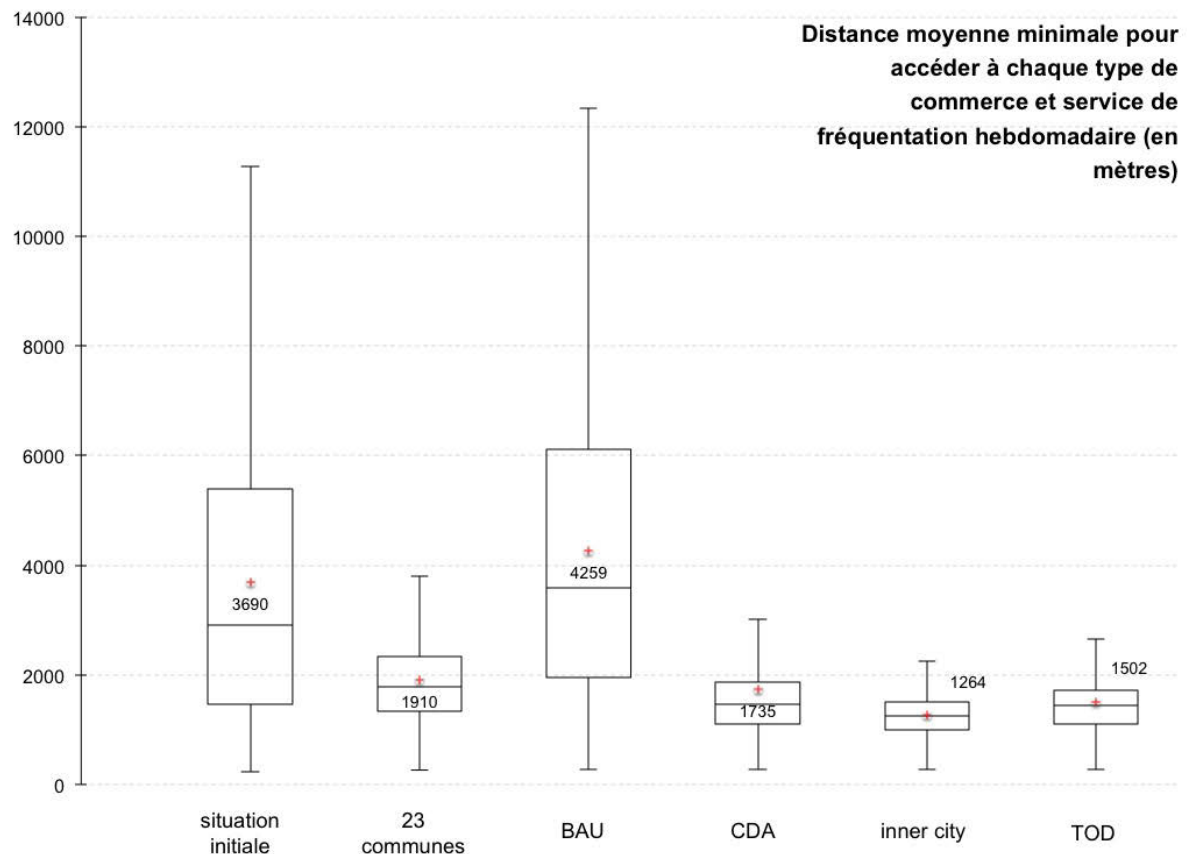


FIGURE 7.19 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type de commerces et services de fréquentation hebdomadaire, pour la situation initiale (2010), le scénario 23 communes et les 4 scénarios MOEBIUS (2030)

Les mesures d'accessibilité moyennes à chaque type d'aménités produisent sensiblement des résultats identiques quelque soit la fréquence de recours retenue. Nous détaillerons donc ceux obtenus pour l'accessibilité aux commerces et services de niveaux hebdomadaire, mais des conclusions similaires peuvent être obtenues pour les niveaux quotidiens et mensuels, au moins dans la

forme des distributions. On retrouve d'ailleurs des résultats analogues à ceux obtenus dans le cadre de l'évaluation de l'accessibilité aux infrastructures ferroviaires.

L'ensemble des scénarios, à l'exception du BAU, permettent de minimiser la distance moyenne à parcourir pour accéder à chaque type de commerces et services. Médianes et moyennes sont divisées par deux par rapport à la situation initiale. Les valeurs maximales observées sont également très inférieures aux 11 000 mètres du dernier quartile de la situation en 2010. À l'inverse, le scénario BAU de MOEBIUS possède une mauvaise évaluation de l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire. Le dernier quartile se trouve au dessus de celui de la situation initiale, tout comme la moyenne et la médiane. Les terrains déclarés comme actuellement disponibles au Luxembourg semblent ne pas être localisés à proximité des commerces et services, notamment de recours hebdomadaire, une partie de ces derniers étant davantage localisés dans les agglomérations les plus importantes. C'est notamment le cas pour les restaurants, les commerces d'équipements de la personne (chaussures, habillement) ou les salles de sports. Le scénario des 23 communes est à peine moins bien évalué que les scénarios CDA, Inner City et TOD.

2.3.2. Les aménités vertes ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire

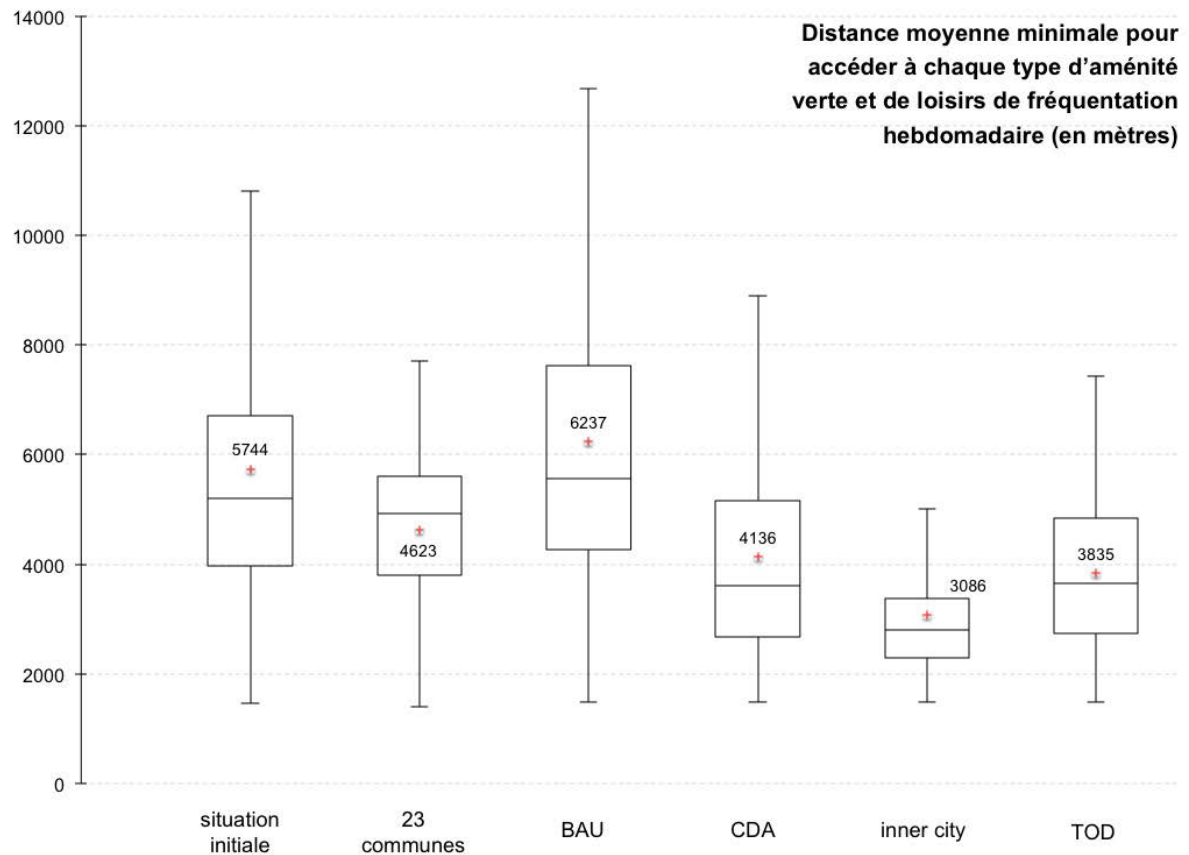


FIGURE 7.20 – Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type d'aménités vertes ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire, pour la situation initiale (2010), le scénario 23 communes et les 4 scénarios MOEBIUS (2030)

En ce qui concerne l'accessibilité moyenne à chaque type d'aménités vertes de fréquentation hebdomadaire, les résultats sont assez similaires à ceux obtenus avec l'indicateur précédent. À l'exception du scénario BAU, les scénarios MOEBIUS permettent de réduire significativement les distances moyennes à parcourir pour atteindre chaque type d'aménités. Si dans 75% des observations de 2010, la distance à parcourir était au maximum de 11 000 mètres, le dernier quartile du scénario Inner City se situe à 5 000 mètres, celui du TOD à 7 400 mètres et celui du scénario CDA à moins de 9 000 mètres. Les valeurs moyennes et médianes se retrouvent également diminuées de 30 à 50% environ. Là encore, les scénarios CDA, Inner City et TOD sont mieux évalués que le scénario des 23 communes. Les terrains disponibles du scénario BAU ne sont pas tous localisés à proximité de chaque type d'aménités vertes ou de loisirs hebdomadaires. Les grands équipements sportifs, tels que les gymnases et les piscines sont souvent localisés dans les principales agglomérations. Il est également curieux de noter que l'accessibilité aux terrains de golf, également prise en compte dans ce calcul, ne pénalise pas trop l'évaluation de cet indicateur. Malgré un nombre assez restreint de

ces aménités⁷, il semblerait qu'ils soient assez bien répartis sur l'ensemble du territoire.

3. Conclusion du chapitre 7

Comme nous venons de le voir dans ce court chapitre dédié à la comparaison des scénarios en matière d'accessibilité spatiale, les scénarios apportent une amélioration générale de l'accessibilité par rapport à la situation initiale pour chacun des indicateurs retenus, à l'exception des distances minimales d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire et aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation mensuelle.

L'évaluation *ex-post* de l'accessibilité spatiale permet, dans le cadre de notre démarche normative, de mesurer l'impact des règles d'aménagement appliquées *ex-ante* lors du paramétrage du modèle. Les boîtes de dispersion, et leur principe de construction sur la base des distributions des valeurs en quartiles permettent partiellement de tenir compte de l'ensemble des valeurs obtenues un indicateur donné. Cette méthode de représentation permet une visualisation simple et rapide, même si comparer une série de boîtes juxtaposées doit faire l'objet de choix dans la méthode de classement. La démultiplication des indicateurs statistiques (médiane, moyenne, quartiles) permet de préciser la comparaison des scénarios mais rend plus difficile l'interprétation et l'exploitation des résultats obtenus.

Pour chacun des seize indicateurs, le scénario le mieux évalué diffère souvent. Il semble pour l'instant peu évident d'en tirer des conclusions générales quant à la position prédominante de l'un d'entre eux sur l'ensemble des scénarios simulés. Néanmoins, on constate que des groupes de scénarios reviennent très souvent parmi les mieux évalués alors que d'autres ne le sont jamais. Il semblerait que la forme urbaine globale (la centralité) et la forme locale jouent un rôle prépondérant dans l'accessibilité aux aménités urbaines et aux espaces verts. Ce groupe se compose des scénarios FOD, de la densité, des 23 communes et parfois de la disponibilité foncière. À l'inverse, les scénarios IVL, des 116 communes et les scénarios de variations de projections démographiques (variantes de l'IVL) ne font pas fréquemment l'objet d'une très bonne évaluation. Ainsi, plus les formes urbaines sont différentes au niveau global, plus le contraste entre les résultats obtenus est élevé, ce qui confirme en partie les résultats obtenus par ?.

7. Il y a actuellement six terrains de golf au Luxembourg, ce qui est tout de même plus élevé que le nombre moyen par département en France (compris entre 3 et 4).

Ces différences dans le classement des scénarios traduisent une certaine inertie du territoire qui limite l'impact des scénarios dans l'amélioration de l'accessibilité à différentes aménités. La multiplication des indicateurs complique également la comparaison entre les scénarios et les conclusions qui en découlent, mais reflète la complexité de l'aménagement du territoire. En se plaçant dans un processus décisionnel, par exemple dans le cadre de politiques publiques, on mesure la difficulté de choisir entre les différentes options en présence. Pourtant, ces indicateurs, d'autant plus s'ils sont appréhendés de manière synthétique ou agrégée (avec les questions que cela soulève), fournissent des premiers éléments de réponses à l'évaluation et à la comparaison des scénarios de développement résidentiel.

Il semble également intéressant de confronter quelques évaluations d'accessibilité spatiale avec la littérature. Avec des valeurs médianes comprises entre 379 et 711 mètres pour l'accessibilité au commerce ou service de fréquentation quotidienne le plus proche, et entre 368 et 631 mètres pour le niveau hebdomadaire, l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables de nos scénarios se rapproche du seuil de 400 mètres, assez communément admis (Wiel et al., 1997 ; Tannier et al., 2008). Par définition, la moitié des cellules sont donc situées sous ce seuil, ce qui contraste avec les résultats observés sur l'agglomération d'Avignon par Cyrille Genre-Grandpierre (2007), où seulement 12% du bâti se situe à moins de 5 minutes à pied (300 ou 400 mètres) du commerce alimentaire le plus proche, et 29% en considérant l'ensemble des commerces retenus. À Montréal en 2007, Apparicio et al. mesuraient une distance moyenne d'accessibilité de 910 mètres au supermarché le plus proche (correspondant au dernier quartile de nos scénarios) avec une très grande hétérogénéité entre les unités de recensement, les résultats s'étalant de 183 à 6 390 mètres.

En ce qui concerne l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare, pour accéder à chaque type d'aménité, il faut moins de 20 kilomètres pour la totalité des scénarios et pour 75% des cellules potentiellement urbanisables, moins de 10 kilomètres. Ces valeurs coïncident avec le seuil d'acceptabilité décrit par Le Fort (2012), qui est de 15 minutes en voiture d'après une enquête menée en Wallonie (Belgique).

Les distances d'accessibilité obtenues pour l'évaluation de la proximité aux aménités vertes et de loisirs sont généralement supérieures aux commerces et services, ce qui confirme les résultats déjà obtenus par Lofti et Koohsari en 2009. Les deux auteurs ont démontré qu'à Téhéran (Iran), les commerces de proximité sont plus accessibles (toute la population se situe à moins de 1 200 mètres) que les écoles (11% de la population au-delà de 1 200 mètres) ou encore les espaces verts (5% de la population à plus de 1 200 mètres). D'après Barbosa (2007), les habitants de Sheffield (Royaume-

Uni) font face à un déficit d'accessibilité aux espaces verts de proximité. À Montréal (Canada), 100% des immeubles HLM de l'étude menée par Apparicio et al. (2011) ont un parc d'au moins un hectare dans un voisinage d'un kilomètre. Cette valeur d'accessibilité descend entre 500 et 700 mètres pour la ville de Cardiff au Royaume-Uni (?). Toutefois, ces valeurs peuvent être nuancées en affirmant que la distance à l'aménité la plus proche n'est pas le seul indicateur à prendre en compte en ce qui concerne la mesure de l'accessibilité aux espaces verts, la répartition spatiale de ces aménités jouant également un rôle important (?). C'est pourquoi les indicateurs de comptage dans un voisinage et la distance moyenne minimale d'accessibilité à plusieurs types d'aménités permettent de compléter ces observations.

Nous venons de constater tout l'intérêt des mesures d'accessibilité spatiale afin de comparer nos scénarios mais aussi les limites de ces indicateurs. Pour aller plus loin, et comme le suggèrent ? et ?, il semble nécessaire de considérer le comportement des individus selon une approche par les activités afin de mesurer les impacts des scénarios de croissance résidentielle sur les lieux d'activités. Comme l'évoquent ?, l'accessibilité comportementale permet d'évaluer le gain d'accessibilité des individus (*accessibility benefit measurements*). Il s'agit de tenir compte de leurs contraintes temporelles (?), de leurs chaînes d'activités (?), mais aussi de la qualité des dessertes (?). Ces propositions vont dans le sens de Krizek (2003) qui fait le constat que de trop nombreuses études analysent les déplacements de façon isolée au lieu de les intégrer dans des chaînes d'activités.

Il semble également important de considérer des comportements de déplacements différenciés en fonction des types de ménages. Selon les caractéristiques socio-économiques de ces derniers, les recours aux aménités seront différents, plus ou moins fréquents, plus courts ou plus longs, plus lents ou plus rapides. Il y a donc un réel enjeu à l'application d'un modèle de mobilité quotidienne, qui permet de dépasser les mesures d'accessibilité spatiale. À l'aide de cette démarche, on transforme la mesure d'un potentiel, l'accessibilité spatiale, en usage de ce potentiel au travers des comportements de mobilité. En désagrégeant l'information au niveau le plus fin, c'est-à-dire l'individu, la simulation des mobilités quotidiennes permet d'intégrer le niveau le plus fin de la décision et de l'arbitrage. Cette avancée passe par la prise en compte des plannings d'activités, contraints par la durée des activités, les horaires d'ouvertures ou la congestion (Weber, 2002 ; Kim, 2003). Bien sûr, ces comportements sont simulés, ils sont l'objet de choix de modélisation qui feront l'objet d'une description dans le chapitre suivant. La localisation de ménages dans les espaces potentiellement urbanisables constitue une étape importante du travail, avant une simulation des mobilités quotidiennes pour différents scénarios.

Chapitre 8

Comparaison des scénarios à l'aide d'indicateurs de mobilité quotidienne

« Les villes ne sont jamais que des ensembles plus ou moins réussis de tiroirs échafaudés les uns sur les autres. »

Jacques Sternberg, *Vivre en survivant*, 1977

COMME nous l'avons vu brièvement en introduction de cette troisième partie, et en conclusion du chapitre précédent, il y a un fort intérêt à comparer nos scénarios d'aménagement en matière de mobilité quotidienne. Ceci nécessite le passage par une étape intermédiaire, l'attribution des logements simulés dans les scénarios à des agents et des ménages synthétiques, représentatifs de la population réelle, afin que ceux-ci « peuplent » l'espace, y habitent, travaillent, aient une vie sociale, des loisirs, donc qu'ils s'y déplacent. Avant de simuler les comportements de mobilité des ménages en fonction des différents scénarios générés, il s'agit donc de faire correspondre aux espaces potentiellement urbanisables, un ou plusieurs ménages qui y résident. Cette étape correspond à l'allocation résidentielle, dont la méthode puis les résultats seront présentés dans les deux premières sections de ce chapitre. Le modèle de simulation des mobilités quotidiennes (MobiSim - MQ) sera présenté ensuite.

Afin de limiter le nombre d'opérations et les temps de calculs, la comparaison s'effectuera sur trois scénarios seulement : 1) le scénario IVL, qui nous sert de référence depuis le départ ; 2) le scénario FOD, afin de tester nos hypothèses de report modal de la voiture vers les transports en commun, censé être favorisé par la proximité aux stations de transports en commun et 3) le scénario dit des 23 communes, qui est l'un des scénarios les plus compacts, tant du point de vue de la forme urbaine

globale que locale, et qui est le scénario le mieux évalué sur le plan de l'accessibilité spatiale. La fin de ce chapitre sera consacrée à la comparaison des scénarios à partir des indicateurs de mobilité quotidienne obtenus par la simulation.

1. Application d'un modèle économique d'allocation résidentielle

1.1. Le choix résidentiel

Le choix résidentiel renvoie à l'idée d'un arbitrage entre les différentes composantes d'un logement et de son environnement. D'après ?, le « pack résidentiel » se compose de 5 éléments principaux : 1) la résidence, le logement (taille, superficie) ; 2) la composante économique (prix du logement, accès à l'emploi, coût de transport) ; 3) l'environnement résidentiel local (voisinage, composition sociale, aménités environnementales) ; 4) les aménités urbaines (commerces, services, infrastructures de transports, établissements scolaires) et 5) le réseau social (famille, amis).

Le modèle d'allocation résidentielle appliqué ici ne considère que l'impact de l'environnement résidentiel sur les choix de localisation résidentielle selon l'hypothèse que les variables en jeu influencent directement les comportements de mobilité quotidienne (Gordon, 1989 ; Bhat, 2002 ; Cervero, 2005 ; Naess, 2005). On considère donc que la localisation résidentielle de nos ménages va dépendre du résultat de l'arbitrage entre les différentes composantes de l'environnement résidentiel local, de la proximité aux aménités et au réseau social. Cet arbitrage est réalisé par les ménages dans le processus d'allocation résidentielle, qui consiste en l'application d'un modèle économique d'enchères sous contrainte de maximisation de l'utilité individuelle.

Dans notre exemple et à notre échelle de travail, il n'est pas possible de tenir compte des caractéristiques intrinsèques du logement, qui nécessiterait la création ou la saisie d'un parc immobilier à l'échelle nationale. En raison des données à notre disposition, cette étape n'est pas envisageable. La question du prix des logements est intégrée à la démarche de façon endogène dans le modèle de maximisation d'utilité sous contraintes d'enchères. Par conséquent, le prix des logements est déterminé a posteriori.

1.2. Principes de la maximisation de l'utilité d'une localisation résidentielle à l'aide d'un modèle d'enchère

Afin de localiser les ménages de la population synthétique (cf section 1.3.1) dans les cellules des scénarios, nous avons opté pour le modèle d'allocation résidentielle développé par Geoffrey Caruso et Cyrille Médard de Chardon à l'Université de Luxembourg (??). Il s'agit d'un modèle micro-économique d'enchères entre les ménages sous contrainte d'une maximisation de leur utilité. Ce modèle a été développé (en partie) et utilisé dans le cadre du projet MOEBIUS.

Le modèle repose principalement sur la capacité des ménages à estimer la valeur de leur logement (ici assimilé au terrain), en fonction de leurs caractéristiques (type de ménage, revenus...) et de leurs préférences résidentielles. La valeur est calculée sur la base d'une utilité directe (Ettema, 2011) et non d'une utilité espérée. Cette estimation de valeur est faite par chaque ménage pour chaque cellule disponible. Dans le cas présent, la consommation résidentielle est logiquement unitaire, c'est-à-dire qu'à un ménage correspond un logement. De plus, il n'y a pas de consensus, ou *trade-off* entre les ménages (Waddell, 2002). L'utilité d'une cellule résidentielle pour un ménage comporte trois dimensions : la consommation de biens économiques (Z), les externalités vertes (G) et les externalités sociales (S), de sorte que l'utilité directe U est définie par une équation de type Cobb-Douglas :

$$U(Z, G, S) = ZG^\beta S^\gamma$$

Les variables β et γ traduisent les préférences individuelles des ménages. Elles servent à calibrer le modèle d'enchères en pondérant l'arbitrage entre externalités vertes et sociales. Afin de déterminer l'utilité d'un ménage, on calcule sa capacité à acheter des biens économiques (synonyme de « bonheur » en économie) en enlevant au revenu les coûts fixes, les coûts de transports ainsi que la rente foncière, ce qui donne Z , non pondéré dans l'équation précédente :

$$Z = Y - T - T_s - R$$

Avec :

Y = revenu du ménage

T = coût de transport pour se rendre au travail

T_s = coût de transport pour accompagner les enfants à l'école ¹

R = coût du logement (variable exogène du modèle)

En remplaçant Z dans le calcul de l'utilité, on obtient l'utilité indirecte, sous contrainte budgétaire, V :

$$V = (Y - T - T_s - R)G^\beta S^\gamma$$

L'objectif du ménage va être de maximiser son utilité en fonction de la différence entre la rente effective (celle qu'il va payer) et la rente de réserve (la rente maximale). Plus cette différence sera grande, plus la capacité Z du ménage à acheter des biens sera grande. C'est pourquoi on parle d'un modèle sous contrainte d'utilité, puisque ménage obtient satisfaction en minimisant le prix de son « loyer » par rapport à celui qu'il peut au maximum payer en fonction de son revenu. Ceci est possible notamment puisque nous sommes situés dans un système où il y a théoriquement plus d'offre que de demande (?).

La rente d'enchère maximale pour un ménage est calculée en fonction de U , que l'on peut définir comme l'utilité de l'ensemble des autres ménages et qui est corrélée aux revenus Y de ces mêmes ménages. De cette sorte, nous sommes dans un modèle de ville fermée, où la compétition s'effectue entre les ménages du système. Nous sommes en situation d'équilibre à court terme à population donnée. Finalement, c'est le mécanisme de *market-cleaning* qui est à l'origine de la rente finale du fait de la compétition entre les ménages. Ce processus peut être schématisée en trois étapes :

1. Le calcul des possibilités d'enchère (Ψ) pour chaque ménage et pour chaque cellule, dérivée du calcul de l'utilité indirecte. Dans les paragraphes précédents, nous venons de décrire les modalités de calculs des capacités à enchérir pour les ménages. Plus l'utilité d'un ménage est importante, plus sa capacité à enchérir croît, comme le montre la figure 8.1.

$$\Psi = Y - T - T_s - U(G^\beta S^\gamma)$$

1. Ce paramètre n'est valable que pour les ménages avec enfants et s'ajoute au coût de déplacement pour se rendre au travail.

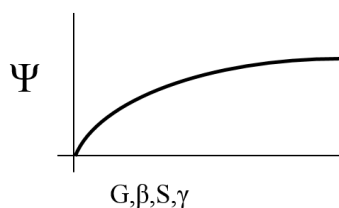


FIGURE 8.1 – Evolution des possibilités d'enchères en fonction des externalités pondérées par les préférences individuelles, d'après Caruso et C. Médard de Chardon, Conférence finale de MOEBIUS, 2013

2. L'allocation des ménages, en fonction du classement des enchères précédemment calculées. Il y a allocation quand l'enchère maximale pour une cellule rencontre le choix le plus satisfaisant pour un ménage. La figure 8.2 présente le principe général de cette étape.

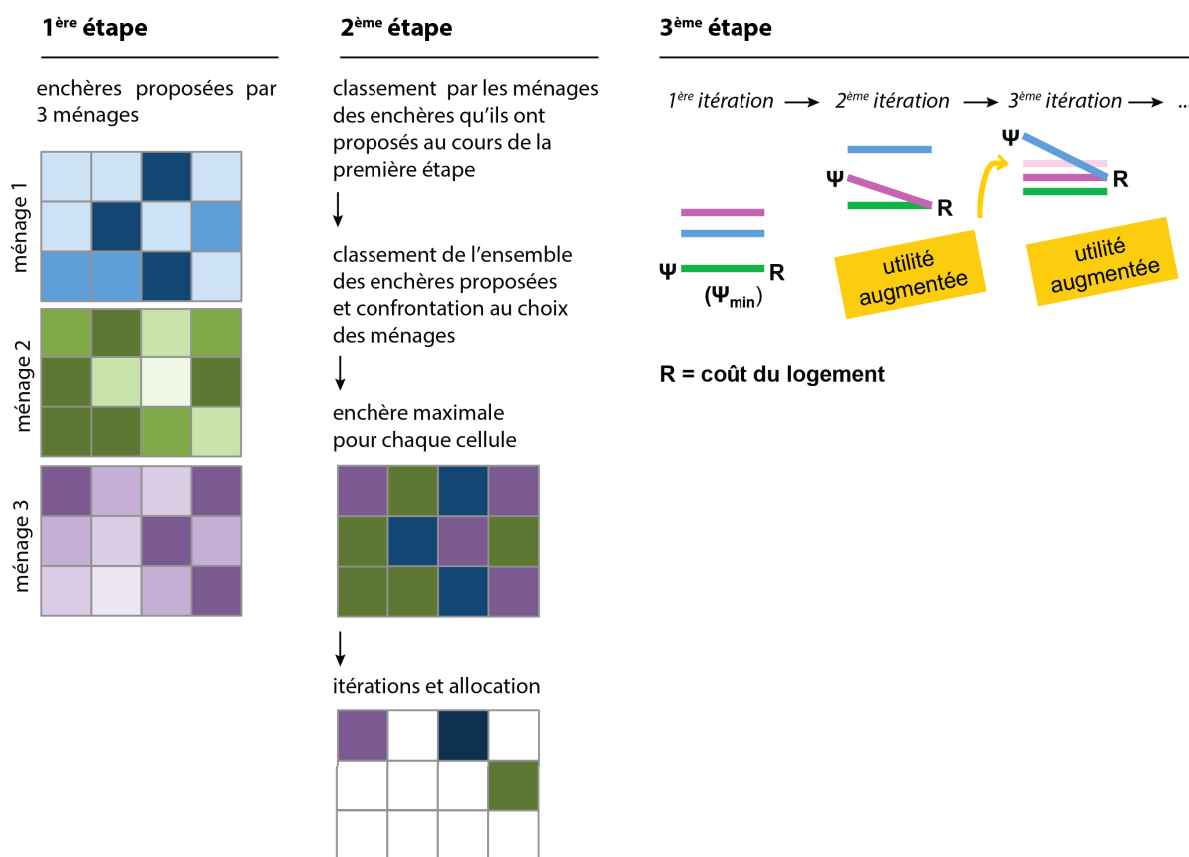


FIGURE 8.2 – Principe d'allocation entre les enchères et le choix des ménages, d'après G. Caruso et C. Médard de Chardon, Conférence finale de MOEBIUS, 2013

3. Le calcul de la rente finale et de l'utilité. Le calcul de la rente finale s'effectue à partir de la plus petite enchère remportée. L'ensemble des enchères sont minimisées et un nouveau calcul de l'utilité est effectué pour l'ensemble des ménages. Les rentes diminuent donc de façon uniforme afin que l'ensemble des utilités individuelles des ménages augmente, comme le montre la troisième étape de la figure 8.2. Ce processus est de nouveau itératif jusqu'à atteindre l'équilibre et qu'aucune utilité ne puisse plus augmenter au détriment d'une autre.

1.3. Description méthodologique du modèle

Le modèle d'allocation résidentielle nécessite deux entrées indispensables à son fonctionnement : 1) les ménages à localiser, 2) les lieux de localisation possibles pour ces ménages.

Il n'est légalement pas concevable de détenir et d'utiliser un fichier composé de l'ensemble de la population luxembourgeoise et de ses caractéristiques socio-économiques. De même, d'un point de vue prospectif, il n'existe pas encore de fichier de recensement de la population en 2030, il faut donc utiliser une population synthétique. Cette dernière reprend l'ensemble de la population du pays, où un habitant est représenté par une ligne dans un tableau. Les attributs (âge, genre, niveau d'éducation...) sont ensuite distribués aux individus tout en respectant les distributions statistiques observées à l'aide des recensements. La mise en ménage des individus est également effectuée, de sorte qu'on obtient deux tables liées. Une table contient les individus et leurs caractéristiques, l'autre les ménages et le lien aux individus qui les composent ainsi que certaines caractéristiques propres aux ménages. On obtient ainsi une population synthétique, qui se définit comme un ensemble numérique d'individus et de ménages, conformes aux réalités observées et représentant la population telle qu'elle existe empiriquement. La population synthétique est issue du projet MOEBIUS dans le cadre duquel elle a été développée, par l'équipe d'Eric Cornelis au Groupe de Recherche sur les Transports de Namur, en Belgique (Barthélémy et Toint, 2013).

Les localisations possibles de ces ménages sont les cellules simulées dans les scénarios d'aménagement. Ces cellules vont faire l'objet d'un traitement a posteriori afin de leur conférer un certain nombre de caractéristiques telles qu'elles sont prises en compte de le modèle d'allocation (ratio d'espaces verts, distance métrique à l'école la plus proche et distance-temps au centre-ville, densité de population avoisinante).

1.3.1. La population synthétique

La construction de la population synthétique s'effectue en deux étapes principales : 1) la construction de la population synthétique à l'année de référence (T_0) et 2) l'évolution de cette population jusqu'à l'horizon de simulation (T_1) et en fonction des projections démographiques.

La méthode employée pour générer la population en T_0 est celle de Bhat (Bhat et Guo, 2007). Elle s'appuie sur l'utilisation d'une fonction itérative (IPFP, *Iterative Proportional Fitting Process*), doublée d'une fonction aléatoire à partir d'un échantillon des distributions estimées. Le résultat est contrôlé à la fois au niveau individuel et des ménages.

Deux types de données ont été utilisées en entrée du modèle de génération de la population synthétique : 1) le recensement général de la population luxembourgeois, réalisé par le STATEC en 2001, 2) les données issues du panel du PSELL (Panel Socio-Économique sur la vie au Luxembourg), pour affiner certaines informations au niveau individuel.

Les attributs qui caractérisent les agents sont leur genre, leur âge, leur niveau d'éducation², la possession ou non du permis de conduire, la possession ou non d'un abonnement aux transports en commun, la catégorie socio-professionnelle, la nationalité, leur zone d'emploi³, le fait qu'ils soient actifs ou non et enfin le fait qu'ils soient au chômage ou non.

Au niveau du ménage, les attributs sont moins nombreux avec : la municipalité de résidence, le type de ménage (couple avec ou sans enfants, famille monoparentale, célibataire ou autre), le nombre d'individus qui composent le ménages et le nombre d'actifs qui font partie du ménage. Un extrait de la population synthétique est présenté dans la figure 8.3.

2. Représenté par le plus haut diplôme obtenu en date du recensement

3. Pour des raisons techniques, il n'a pas été possible d'utiliser les communes d'emploi, le Luxembourg a donc été découpé en six zones d'emplois

commune	id_ind	id_men	type men	taille men	actifs men	gender	age	educ	csp	natio	zone emploi	actif	chomage	permis	abo TC
BASCHARAGE	84840	31615	3	4	3	2	19	1	0	1	0	0	0	2	2
BASCHARAGE	84841	31615	3	4	3	1	53	2	0	1	0	0	0	1	2
BASCHARAGE	84842	31615	3	4	3	2	21	2	0	1	0	0	0	1	2
BASCHARAGE	84843	31615	3	4	3	2	46	1	3	1	4	1	0	1	2
BASCHARAGE	84856	31622	3	4	2	2	6	0	0	5	0	0	0	0	2
LUXEMBOURG	609969	446613	3	4	3	1	1	0	0	4	0	0	0	0	2
LUXEMBOURG	609970	446613	3	4	3	2	33	3	0	6	0	0	0	1	2
LUXEMBOURG	609971	446613	3	4	3	1	1	0	0	4	0	0	0	0	2
LUXEMBOURG	609972	446613	3	4	3	1	53	3	1	4	6	1	0	1	2
LUXEMBOURG	609973	446614	3	3	1	2	23	2	0	5	0	1	1	2	2

FIGURE 8.3 – Extrait de la population synthétique, attributs des individus et du ménage auquel il appartient, d'après E. Cornélis, Conférence finale de MOEBIUS, 2013

La seconde étape de calculs consiste à faire évoluer la population générée en T_0 , année par année jusqu'en T_1 . Pour ce faire, le modèle utilise les tendances observées des évènements possibles afin de déterminer les probabilités que ces évènements arrivent aux ménages ou aux individus. Le processus d'application des évènements est ordonné selon le déroulé suivant :

- l'âge : tous les ans, les agents vieillissent d'une année ;
- l'entrée dans la vie active et l'émancipation familiale : en fonction de l'âge et du niveau de diplôme, un nouveau ménage peut être créé, et le ménage des parents est mis à jour ;
- la CSP, l'emploi, le chômage, le permis de conduire ou l'abonnement aux transports en commun évoluent tous en fonction des grandes tendances observées au niveau du Luxembourg ;
- la retraite, à partir de 54 ans, et qui fait passer l'individu d'actif à inactif ;
- les naissances, possibles uniquement pour les individus en couple, en fonction du taux de fécondité et du nombre d'enfants déjà présents dans le ménage ;

- les décès, en fonction du taux de mortalité, pour les autres individus qui composent éventuellement le ménage du défunt, le type de ménage est mis à jour ;
- les séparations, en fonction d'un taux, pondéré par le nombre d'enfants dans le ménage, le ménage est donc divisé en un ménage célibataire et une famille monoparentale ;
- les unions, pour les individus célibataires, qui se font sur la base d'une recherche de proximité d'âge et de CSP : la localisation du futur ménage est aléatoire entre les précédentes localisations des deux individus ;
- les migrations, des individus ou ménages en provenance ou à destination du Luxembourg sont ajoutés ou retirés à la population résidente en fin de simulation.

Le calcul du revenu a été effectué après la simulation de la population synthétique, puisque nécessaire à l'allocation résidentielle et au calcul d'utilité. Le revenu a été calculé au niveau individuel pour les actifs, en respectant les moyennes observées au niveau national et en tenant compte de trois spécificités que sont : le genre (les hommes ont un revenu supérieur de 15% aux femmes), la catégorie socio-professionnelle et l'âge.

1.3.2. Les attributs spatiaux

Comme nous l'avons vu précédemment, l'allocation résidentielle est dérivée du calcul de l'utilité indirecte, calculée pour chaque ménage. Le « niveau de bonheur » des agents, fruit de cette utilité dépend de son revenu, de ses préférences et de sa localisation résidentielle qui a également certains attributs. Ces derniers sont représentés sur la figure 8.4.

La distance au centre-ville a été calculée en distance géométrique sur le réseau, et en temps de parcours, à l'aide de l'extension *Network Analyst* du logiciel de SIG ArcGIS. La distance à l'école la plus proche a été calculée en utilisant le même procédé. Le ratio d'espaces verts correspond à la part de surface en espaces verts autour d'une cellule donnée. Pour calculer ce ratio, des zones tampons de 100 mètres ont été générées autour de chaque cellule, puis les espaces verts ont été découpés en fonction de ces zones tampons. Le ratio a ensuite été obtenu en faisant le rapport de la surface en espace vert sur la surface totale de la zone tampon. Une méthode analogue a été employée pour calculer la densité de population dans un rayon de 100 mètres autour d'une cellule, cette densité représentant les externalités sociales. Enfin, la capacité des cellules en nombre d'habitants est issue

de la phase de construction des scénarios. Cette capacité permet de calculer combien de ménages peuvent habiter dans une même cellule.

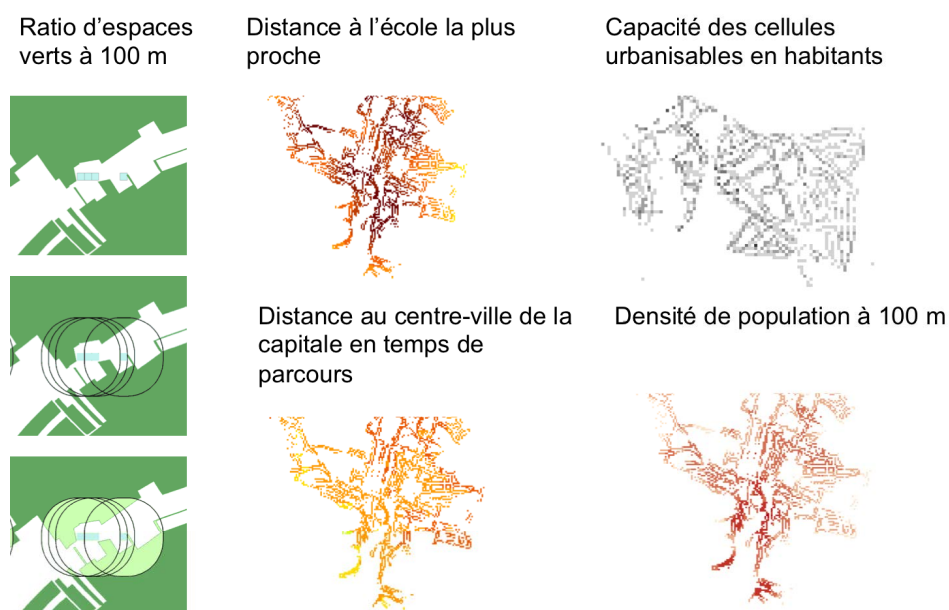


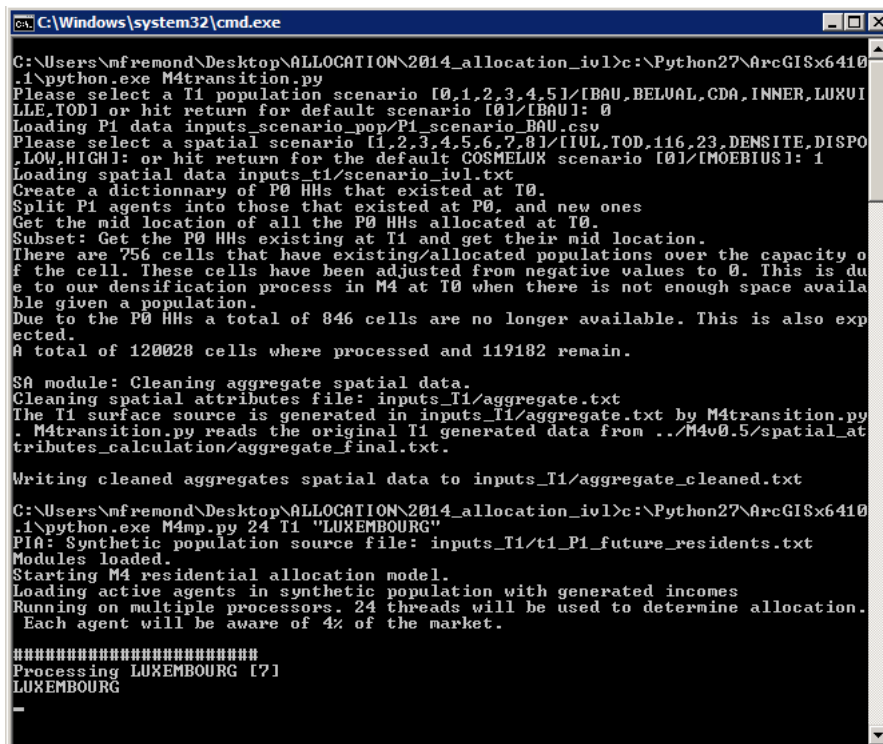
FIGURE 8.4 – Attributs des cellules urbanisables, d'après G. Caruso et C. Médard de Chardon, Conférence finale de MOEBIUS, 2013

Une fois l'utilité indirecte obtenue, ce qui constitue la première étape du calcul de l'allocation résidentielle, nous pouvons passer à l'application du modèle d'enchères, dont les principes sont rappelés dans l'encart technique 8.5.

Sur le plan technique, le modèle d'allocation résidentielle se présente sous la forme de scripts exécutables en langage Python (version 2.7). Il fonctionne selon un processus stochastique et une méthode dite de Monte Carlo. L'exécution de ce programme nécessite l'utilisation d'un serveur de calcul afin de pouvoir lancer en parallèle, c'est-à-dire sur plusieurs processeurs, plusieurs calculs en même temps et de réduire les temps d'analyses. D'abord conçu pour fonctionner sur le serveur de calcul de l'Université de Luxembourg, le modèle a très bien fonctionné sur le serveur de la MSHE C.N. Ledoux de Besançon.

La capture d'écran ci-dessous présente le modèle en fonctionnement. Une fois le modèle exécuté en T_0 , il doit être lancé pour chaque scénario en T_1 , soit huit fois dans notre cas. Entre les deux étapes, une transition permet d'établir les différences entre les deux périodes. Tout d'abord il faut déterminer les cellules disponibles en T_1 , et donc la population qui peut y être localisée. Par la suite, il est nécessaire de définir les ménages qui ne sont pas relocalisés et ceux qui doivent l'être. Les ménages déjà localisés en T_0 ne font pas l'objet d'une nouvelle allocation. Les nouveaux ménages sont issus des étapes de décohabitation, émancipation du domicile parental ou séparation. À ces nouveaux ménages s'ajoutent les migrants qui constituent la plus grande partie des ménages à localiser. Une dernière étape de calcul, dite de consolidation, permet de joindre la population en T_0 (moins les nouveaux ménages) à la population localisée en T_1 .

La validation du modèle est faite sur la base des projections démographiques du STATEC, qui ont été effectuées au niveau communal. Pour laisser une large place aux choix individuels des agents quant à leur localisation, ces projections ont été ramenées à l'échelle des cantons. Suivant les scénarios, un nombre plus ou moins grand de communes peuvent ne pas être sujettes à ne nouvelles localisations résidentielles.



```
C:\Windows\system32\cmd.exe
C:\Users\mfremond\Desktop\ALLOCATION\2014_allocation_iv1>c:\Python27\ArcGISx6410
.\python.exe M4transition.py
Please select a T1 population scenario [0,1,2,3,4,5]/[BAU,BELVAL,CDA,INNER,LUXVI
LLE,TOD] or hit return for default scenario [0]/[BAU]: 0
Loading P1 data inputs_scenario_pop/P1_scenario_BAU.csv
Please select a spatial scenario [1,2,3,4,5,6,7,8]/[IUL,TOD,116,23,DENSITE,DISPO
,LOW,HIGH] or hit return for the default COSMELUX scenario [0]/[MOEBIUS]: 1
Loading spatial data inputs_t1/scenario_iv1.txt
Create a dictionary of P0 HHs that existed at T0.
Split P1 agents into those that existed at P0, and new ones
Get the mid location of all the P0 HHs allocated at T0.
Subset: Get the P0 HHs existing at T1 and get their mid location.
There are 756 cells that have existing/allocated populations over the capacity o
f the cell. These cells have been adjusted from negative values to 0. This is du
e to our densification process in M4 at T0 when there is not enough space availa
ble given a population.
Due to the P0 HHs a total of 846 cells are no longer available. This is also exp
ected.
A total of 120028 cells were processed and 119182 remain.

SA module: Cleaning aggregate spatial data.
Cleaning spatial attributes file: inputs_T1/aggregate.txt
The T1 surface source is generated in inputs_T1/aggregate.txt by M4transition.py
. M4transition.py reads the original T1 generated data from ../M4v0.5/spatial_at
tributes_calculafion/aggregate_final.txt.

Writing cleaned aggregates spatial data to inputs_T1/aggregate_cleaned.txt

C:\Users\mfremond\Desktop\ALLOCATION\2014_allocation_iv1>c:\Python27\ArcGISx6410
.\python.exe M4mp.py 24 T1 "LUXEMBOURG"
P10: Synthetic population source file: inputs_T1/t1_P1_future_residents.txt
Modules loaded.
Starting M4 residential allocation model.
Loading active agents in synthetic population with generated incomes
Running on multiple processors. 24 threads will be used to determine allocation.
Each agent will be aware of 4% of the market.

#####
Processing LUXEMBOURG [7]
LUXEMBOURG
-
```

FIGURE 8.5 – Encart technique : principes techniques du modèle d'allocation résidentielle

2. Résultats du modèle d'allocation résidentielle

Cette section présente les résultats du modèle d'allocation pour les trois scénarios retenus : IVL, FOD et 23 communes. Une représentation de ces résultats dans nos cellules de 20 mètres n'étant pas possible, les résultats ont été agrégés à l'échelle communale. Un parallèle peut être fait avec les constats du chapitre 2 concernant les dynamiques démographiques et résidentielles en vigueur au Luxembourg. Ces résultats dépendent des scénarios de croissance résidentielle tels qu'ils ont été définis dans le chapitre 6, soumis au modèle économique d'allocation résidentielle, et donc de l'arbitrage des agents de la population synthétique. Nous verrons également l'intérêt de rapprocher les variations relatives, entre la situation initiale et nos scénarios en 2030, avec le nombre de nouveaux ménages dans chaque commune.

La population (synthétique) en 2010 comptait 441 069 individus répartis dans 171 953 ménages. Conformément aux projections démographiques établies par le STATEC, 720 738 individus composent la population en 2030, avec 351 241 ménages. Cette différence revient à l'ajout de 279 669 individus entre les deux dates, soit 179 288 ménages supplémentaires. Comme cela a déjà été évoqué dans le chapitre 2, cette dynamique de population (des individus et surtout des ménages) fait du Luxembourg un laboratoire unique de modélisation et de simulation.

Les communes en bleu clair, sur les cartes 8.6, 8.7 et 8.8 sont celles où la population décroît ou n'augmente pas. De fortes variations négatives, allant jusqu'à 60% peuvent être observées. Ces variations s'expliquent par le fait que les scénarios sont restrictifs au niveau communal : si aucune cellule potentiellement urbanisable n'a été définie, aucun nouveau ménage ne pourra venir y habiter. Les variations négatives de population sont donc la conséquence des variations naturelles de population et des mouvements qui y sont associés (les décohabitations, les séparations et les décès). Dans les communes très peu peuplées, et à un horizon de vingt ans, on peut imaginer que les décès peuvent constituer une part de variation conséquente du nombre total de résidents.

2.1. Le scénario IVL

Dans le scénario IVL, notre scénario de référence, la croissance résidentielle a lieu dans pratiquement toutes les communes, à l'exception d'une quinzaine, en bleu clair sur la carte 8.6. La majorité de ces municipalités est localisée dans un ensemble contigu, entre la *Nordstad* et Wiltz. À l'inverse, les communes qui voient leur population fortement augmenter se répartissent de façon assez homogène sur le territoire, indépendamment du nombre absolu de nouveaux résidents.

La commune qui accueille le plus de nouveaux ménages (15 683) est la capitale Luxembourg-Ville, la croissance de sa population étant de 45%. Les deux communes suivantes sont Sanem et Wiltz. Sanem voit sa population plus que doubler avec la localisation de 9 588 nouveaux ménages, ainsi la population initiale de 4 951 ménages triple, pour atteindre 14 539 ménages résidents en 2030. À Wiltz, le nombre de ménages est pratiquement multiplié par six entre 2010 et 2030, faisant passer le nombre de ménages de 1 627 à plus de 10 543. Un certain nombre d'autres communes prioritaires connaissent une croissance conséquente : Bascharage (160%), Bertrange (350%), Redange (410%), Merttert (166%), Junglinster (167%), Mersch (183%), Mamer (158%) ou Strassen (103%). Pé-tange, Grevenmacher ou l'agglomération de la *Nordstad* connaissent également une dynamique importante. Dans l'ensemble, la majeure partie des nouveaux ménages se situent dans la moitié sud du pays, correspondant aux cercles les plus grands de la carte 8.6.

La localisation de nombreux ménages dans le nord du pays pourrait surprendre, notamment en ce qui concerne la commune d'Heinerscheid, 2 232 nouveaux ménages (+700%) à la frontière avec l'Allemagne. Comme le montre la carte 6.1 (voir chapitre 6), un potentiel conséquent de cellules a été généré dans le nord du pays avec des localités bien évaluées. Par contre, la croissance dans le nord s'effectue majoritairement dans les communes périphériques : Wintrange (143%), Troisvierges (237%), Heinerscheid ou Hosingen (300%) ; et non dans la commune plus centrale de Clervaux, qui connaît tout de même une croissance de 546 ménages, soit 88%.

L'un des résultats les plus marquants est la localisation de peu de nouveaux ménages dans la communes d'Esch-sur-Alzette (662 ménages, +5,5%). C'est pourtant la deuxième ville du pays et sa situation, au cœur du bassin minier, lui confère un intérêt majeur. Le scénario IVL a conduit la génération de plus de 2 000 cellules, donc approximativement la possibilité de localiser 3 000 ménages. À la suite du modèle d'allocation, il semblerait que la préférence des agents se soit tournée vers les communes voisine de Sanem ou Kayl (4 922 ménages, +183%). Parmi les hypothèses que soulève ce résultat, l'accessibilité aux aménités, notamment aux espaces verts, pourrait être relativement meilleure dans les municipalités contiguës à Esch-sur-Alzette.

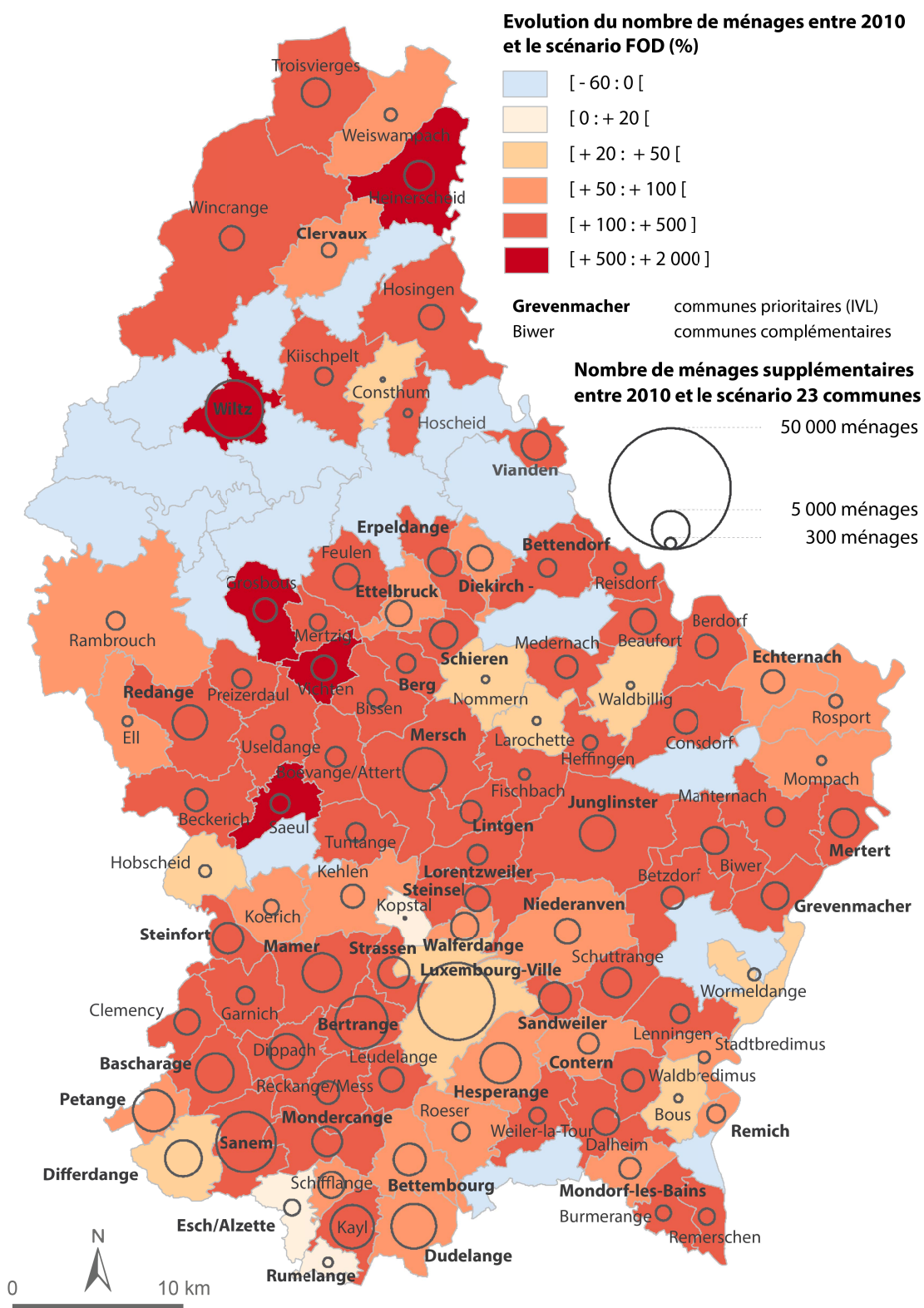


FIGURE 8.6 – Résultats de l'allocation résidentielle à l'échelle communale pour le scénario IVL

2.2. Le scénario FOD

Le scénario FOD apporte un niveau de contrainte beaucoup plus important que le scénario IVL puisque la croissance démographique est circonscrite dans moins d'une quarantaine de communes. La carte 8.7 révèle des contrastes entre ces différentes communes et montre une nouvelle différenciation spatiale au niveau global.

La municipalité qui accueille le plus de nouveaux résidents n'est plus la capitale Luxembourg-Ville. Schuttrange (+15 843 ménages, 1 052 en 2010), Betzdorf (+12 881 ménages, 774 en 2010) et Betrange (+14 257 ménages, 2 047 en 2010) totalisent un quart des nouveaux ménages, comme pouvait le laisser présager le nombre de cellules urbanisables générées avec ce scénario. Le chapelet de communes bien desservies par le train entre Walferdange et la Nordstad voit également sa population augmenter fortement. Il en va de même pour quelques communes au nord du pays, notamment Kiischpelt (+5 233 ménages, 316 en 2010) et Troisvierges (+8 153, 890 en 2010) qui, malgré un fort éloignement au centre de la capitale⁴, connaissent une forte croissance démographique. Comme dans le scénario IVL, la commune de Clervaux, bien qu'ayant une croissance relative conséquente (230%), reçoit assez peu de nouveaux ménages (+1 426). Les communes du sud minier, bien pourvues en infrastructures ferroviaires, supportent également une croissance soutenue de leur nombre d'habitants. Esch-sur-Alzette, qui comporte deux gares, est l'une des seules de cette zone à ne pas recevoir de nouveaux ménages dans le cadre du scénario FOD, malgré plus de 400 cellules potentiellement urbanisables dans la commune et la présence de deux gares ferroviaires. À l'issue du modèle d'affectation, les futurs ménages ont préféré, une nouvelle fois, les municipalités voisines de Kayl (255%), Differdange (112%), Bettembourg (130%) et plus au nord, Steinfort (520%), du fait de l'arbitrage entre les différentes composantes du calcul de l'utilité : l'accessibilité aux aménités et les coûts de transports à la capitale.

Lors la présentation du scénario, on remarquait que quelques communes où se trouvent des gares ferroviaires ne sont pas définies comme potentiellement urbanisables. Il s'agit de Leudelange, pourtant à proximité immédiate de Luxembourg, Manternach, non loin du centre de Merttert, Erpeldange et Bourscheid (voisines de la Nordstad) et Weiswampach entre Troisvierges et Clervaux. Le nombre d'aménités dans ces communes reste limité, et sans cellules à urbaniser dans le scénario, il n'est pas possible que des ménages puissent s'y localiser par le processus d'allocation.

Finalement, le résultat du modèle d'allocation confirme l'organisation spatiale du scénario, avec

4. La distance en temps et en kilomètre à Luxembourg-Ville fait partie du calcul de l'utilité dans le modèle d'allocation.

trois axes de développement principaux autour de la capitale. Le premier part vers le nord, tout le long de la voie ferrée. Le deuxième se dirige vers l'est et la frontière avec l'Allemagne et le dernier occupe tout la partie sud ouest du pays avec le bassin minier. La comparaison des scénarios en matière de mobilité quotidienne devrait apporter de nouveaux éléments face à cette structuration contrainte du développement résidentiel au niveau national. Les agents utiliseront-ils davantage les transports en commun en raison de leur proximité géographique aux infrastructures ferroviaires ?

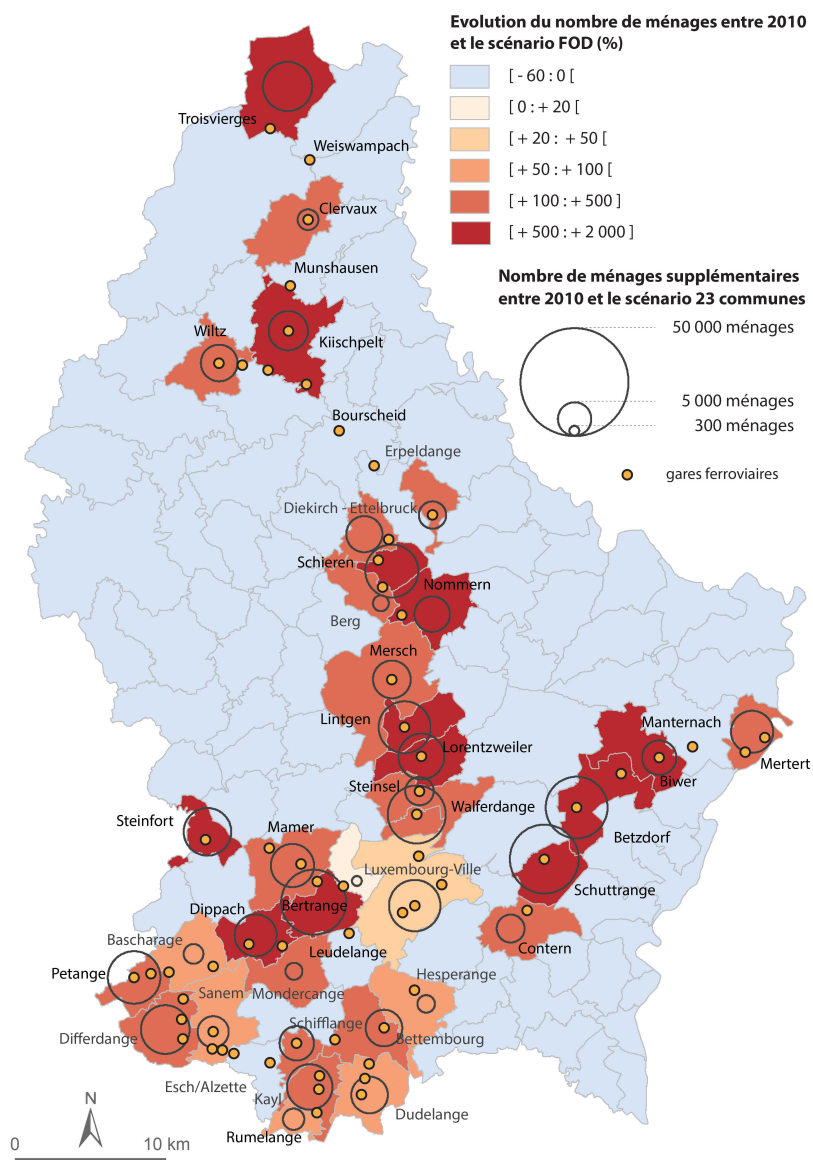


FIGURE 8.7 – Résultats de l'allocation résidentielle à l'échelle communale pour le scénario FOD

2.3. Le scénario des 23 communes

Le scénario des 23 communes est le plus contraignant des scénarios, de par la localisation du développement résidentiel dans les trois pôles économiques du pays. Des suites du processus d'allocation résidentielle, la plupart des communes retenues connaissent une croissance très forte de leur population.

Avec 61 772 nouveaux ménages (1/3 du total des nouveaux ménages), Luxembourg-Ville accueille le plus de résidents, soit une augmentation de 175% par rapport à 2010. Les communes limitrophe d'Hesperange, Sandweiler et Walferdange intègrent une partie de cette centralité. La commune de Mamer, pourtant non adjacente à la capitale fait également partie du pôle central : sa croissance démographique, de 8 728 ménages, augmente donc de façon conséquente. L'agglomération de la Nordstad est le deuxième siège d'une forte croissance de population, avec 66 812 nouveaux ménages. Seule la commune de Berg, pourtant comprise dans cette agglomération et comportant un potentiel de près de 1 000 cellules potentiellement urbanisables dans le scénario, n'a pas partagé la dynamique des communes voisines.

Dans le sud, Sanem (+11 026 ménages) est une nouvelle fois la commune qui connaît le plus fort développement suivi des localités de Bascharage et Kayl. Dans le cadre de ce scénario, Clemency possède un fort développement du fait de sa relative proximité à la capitale ; elle reçoit 4 692 nouveaux ménages (+ 611%). Schifflange, dont le potentiel théorique s'élevait à 2 600 ménages d'après le scénario, a subi une évolution plus modérée que prévue, avec une croissance de 35%. Comme dans le scénario FOD, un résultat inattendu réside dans le fait qu'Esch-sur-Alzette n'accueille aucun nouveau ménage, malgré un potentiel de plus de 5 000 cellules urbanisables, probablement pour les raisons évoquées pour les scénarios IVL et FOD. Rumelange perd elle, de la population du fait des dynamiques naturelles de la population alors que les cellules urbanisables créées par simulation pouvaient accueillir 1 200 ménages.

Selon ce scénario, la population du Luxembourg en 2030 résidera dans 20 des 116 communes. Avec une structure spatiale aussi marquée, il semble légitime de s'interroger sur les comportements de mobilité qui en découleront. Les résultats des mesures d'accessibilité spatiale ont été meilleurs pour ce scénario du fait du caractère spatialement limité du développement résidentiel. Il importe maintenant de mesurer les conséquences des scénarios sur les comportements de mobilité. , avec la présentation de la plateforme MobiSim - MQ⁵, puis des résultats de simulation obtenus.

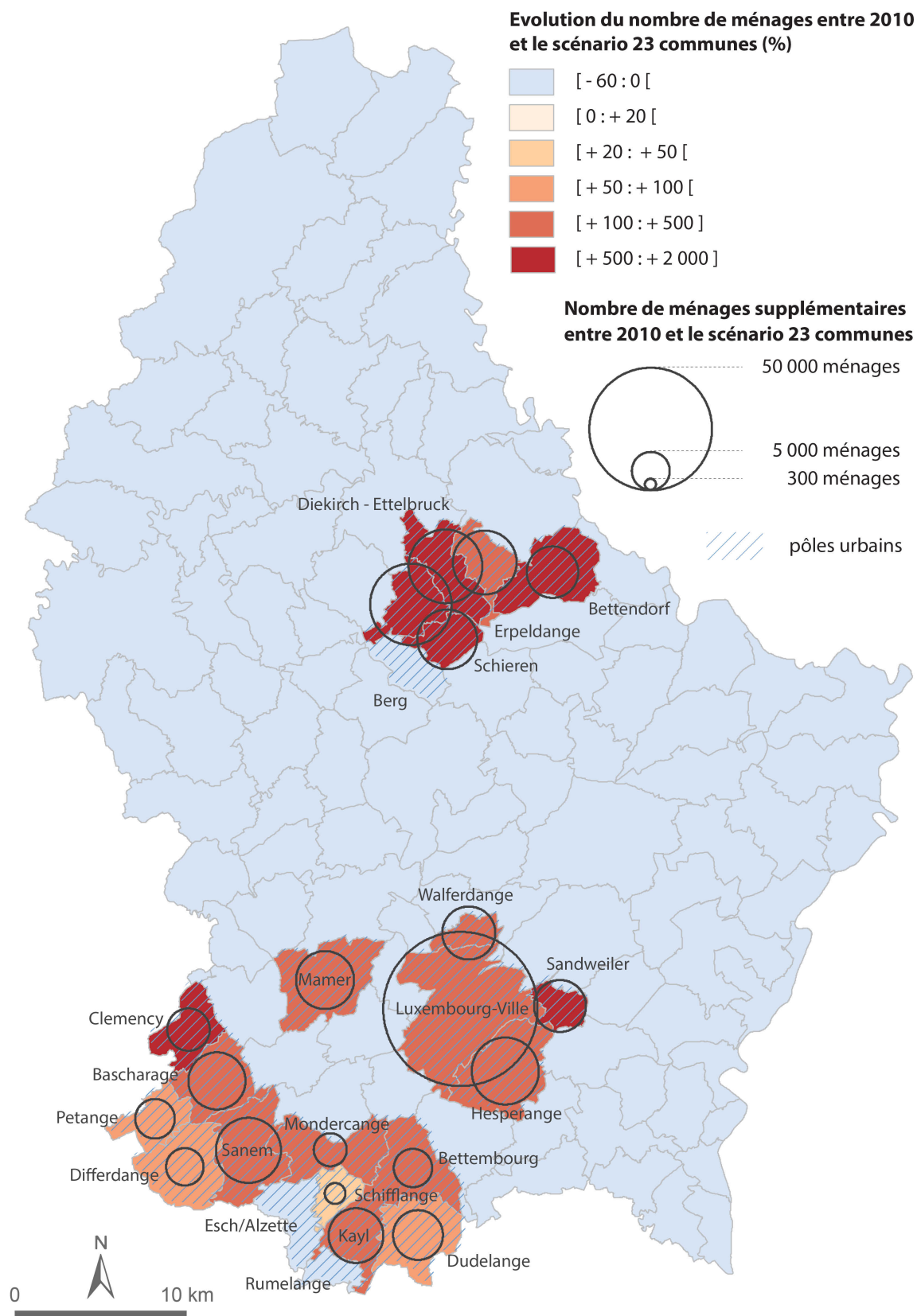


FIGURE 8.8 – Résultats de l'allocation résidentielle à l'échelle communale pour le scénario des 23 communes

3. Application d'un modèle de simulation des mobilités quotidiennes, MobiSim - MQ

Le modèle de mobilité quotidienne permet de ré-interroger, à une échelle désagrégée, le potentiel d'offre urbaine, tel qu'exploré au travers des mesures d'accessibilité aux aménités. L'application d'un modèle de mobilité quotidienne permet de vérifier et de valider l'accessibilité potentielle aux aménités. Autrement dit, est-ce que les normes d'aménagement appliquées dans la définition des scénarios de croissance résidentielle influencent les pratiques de mobilité dans le sens désiré ?

La modélisation de la mobilité quotidienne des individus se base sur plusieurs étapes qui se réfèrent en premier lieu aux activités des individus et des ménages. À partir de ces activités, un « programme d'activités » peut être construit pour chaque agent. Les déplacements associés à ce programme d'activités sont alors simulés avec un modèle qui se rapproche des modèles à quatre étapes (voir figure 8.9), classiques pour ce genre d'opérations. Cette modélisation permet d'introduire dans MobiSim - MQ la génération et de la distribution des déplacements, du choix modal et de l'affectation du trafic sur les différents réseaux. Le calibrage et la validation du modèle ne s'effectue que pour la situation initiale en 2010 à partir des données connues.

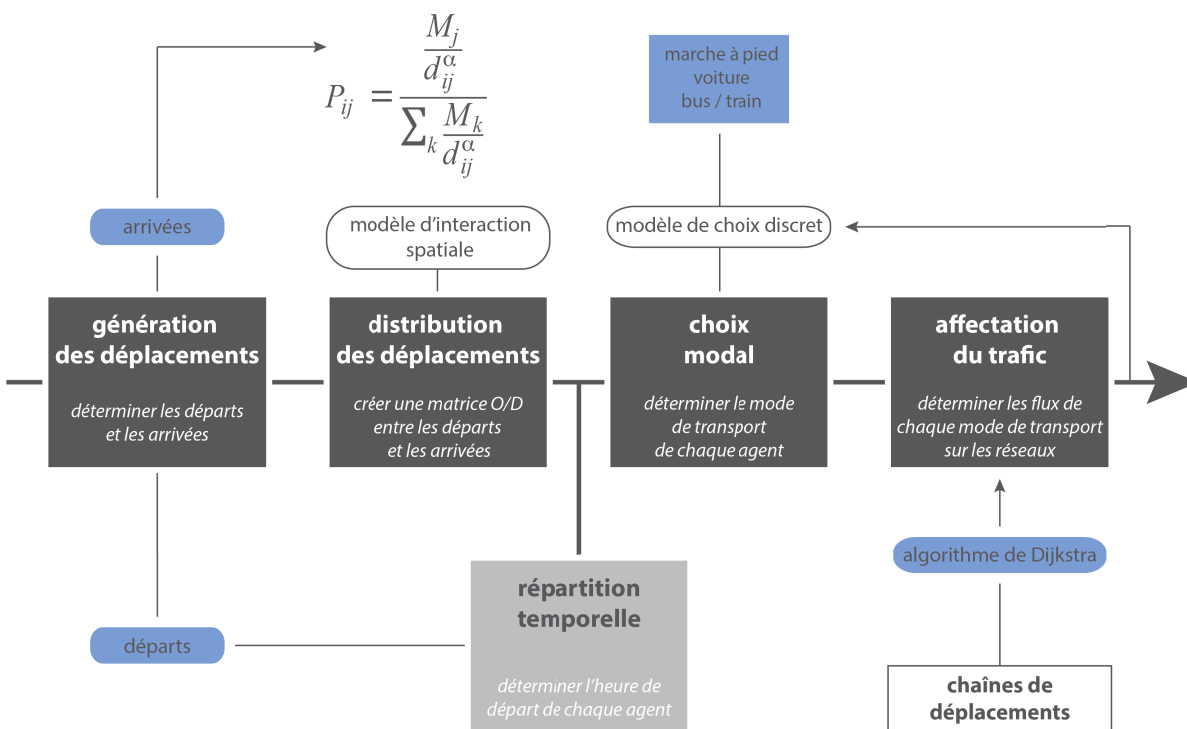


FIGURE 8.9 – Fonctionnement du modèle de simulation des mobilités quotidiennes de MobiSim, d'après ?

3.1. Génération, répartition temporelle et distribution des déplacements

D'un point de vue technique, la distribution des flux de déplacements dans MobiSim s'effectue en deux étapes : 1) la génération du programme d'activités des agents pour une journée, sachant que chacune de ces activités est soumise à un certain nombre de contraintes horaires ; 2) la distribution des déplacements en reliant le lieu de départ des agents (leur domicile par exemple), au lieu d'arrivée (le travail, un commerce, un loisir...) dans le cadre de ce programme. Le calcul se fonde sur un modèle d'interaction spatiale.

Ces deux étapes ne sont pas indépendantes du temps : elles sont calculées pour un jour ouvré standard (le mardi 17 septembre 2013 dans notre cas) et se succèdent au cours de cette journée selon une logique qui permet aux agents d'optimiser leurs activités et leurs déplacements en termes d'origine et de destination. L'ensemble des activités sont intégrées à une chaîne de déplacements, qui tient compte des pérégrinations, c'est-à-dire la prise en compte d'activités secondaires au cours d'un trajet entre deux activités principales de la journée, comme effectuer un achat entre le travail et le retour au domicile. Huit motifs de déplacements principaux ont été intégrés dans le programme d'activités des agents : le travail, la recherche d'emploi, les études, le recours à des commerces ou services, les loisirs, le réseau social, l'accompagnement scolaire et le travail frontalier⁶. La probabilité de réaliser une activité dépend des caractéristiques des agents. Une activité est également caractérisée par sa durée (plus ou moins un écart-type de temps), une priorité de réalisation (le travail, accompagnement des enfants et seulement après, si c'est possible, des achats ou des loisirs), et une heure de départ.

Les programmes d'activités simulés permettent de répondre aux questions suivantes : quels agents font quoi, quand, comment et pendant combien de temps ? Il reste toutefois la question primordiale du où ? C'est l'étape de distribution des déplacements. Cette distribution repose sur un modèle d'interaction spatiale, tel que proposé par Huff (1964), et construit autour de trois postulats : la complémentarité (entre les lieux), la friction de la distance (avec une pondération possible en fonction du motif de déplacement) et l'absence de substitution (qui nécessite de tester toutes les combinaisons de complémentarité et de distances entre les lieux). Les destinations des déplacements sont différenciées par motifs, et agrégés selon une grille de 100 mètres de côté dans l'optique de définir des polarités en limitant le nombre de destinations possibles.

6. Afin de tenir compte des flux de frontaliers et donc de charger le réseau routier aux heures de pointe, les flux automobile en provenance d'Allemagne, de Belgique et de France sont pris en compte. Cependant, les pérégrinations de cette main d'œuvre ne sont pas incluses dans le modèle, sachant que plus de 54% d'entre eux se contentent d'un simple trajet domicile-travail (Schmitz et al., 2012).

3.2. La distribution des déplacements selon les motifs

3.2.1. Le travail

Le motif *travail* concerne les actifs ayant un emploi. D'après une enquête du CERTU sur les temps de la ville et les modes de vie (2001), 20% des actifs ne se rendent pas quotidiennement au travail (maladie, congés ou déplacement professionnel). La règle est donc que 80% des actifs se rendent au travail, partent entre 4h et 10h avec une pointe à 7h, pour une durée de 9h (les 8h de travail réglementaire, plus la pause déjeuner). Le travail peut intégrer ou non un retour au domicile au cours de la pause déjeuner. Au Luxembourg, 20% des actifs rentrent chez eux le midi pour déjeuner, la journée est donc découpée en deux selon le même principe. Il peut également être réalisé à temps partiel (30% des femmes au Luxembourg, d'après Boush et Gerber (2001)) et finir plus tôt dans l'après-midi, avec un retour vers 15h.

Les destinations du travail sont les zones d'emplois, les zones mixtes et les zones publiques telles que définies dans les Plans d'Aménagement Généraux. Le nombre d'emplois par commune (STAT-TEC, 2010) a été ventilé dans ces zones, de sorte que le passage par le carroyage à 100 mètres de résolution rende compte de la structure spatiale des emplois à l'échelle communale.

3.2.2. La recherche d'emploi

La *recherche d'emploi*, pour les actifs sans emploi, représente les mobilités quotidiennes effectuées par les personnes en recherche d'un emploi, comme se rendre à l'Agence pour le Développement de l'Emploi ou en entretien dans les lieux d'emplois. Les départs ont lieu tout au long de la journée, pour une durée moyenne de 3h.

Les destinations des recherches d'emploi sont les mêmes que pour le motif travail.

3.2.3. Les études

Les *études* concernent les lycéens et les étudiants à l'Université, pour se rendre à leur établissement de façon autonome lorsqu'ils résident encore chez leurs parents. Les départs s'effectuent en matinée (de 6 à 10h), pour une durée de 8 heures, plus ou moins une heure.

Les destinations pour les études sont les lycées et les établissements de l'Université. Les effectifs de 2013 permettent de pondérer les établissements en fonction de leur taille, de manière à les

prendre en compte de façon assez réaliste dans le modèle d'interactions spatiales.

3.2.4. Le recours aux commerces et services

Les *achats*, ou le recours à des services, concernent l'ensemble des individus. La fréquence de recours est quotidienne, hebdomadaire ou mensuelle selon l'aménité en question. Au Luxembourg, certains établissements fermant tôt, deux horaires de fermetures ont été intégrés afin de contraindre le programme d'activité, 18h30 et 20h30. N'ayant aucune information sur les horaires de fréquentation des commerces au Luxembourg, les règles existantes de MobiSim ont été utilisées (paramétrées selon l'Enquête Ménage Déplacements de Besançon), en adaptant les horaires aux fermetures des magasins au Grand-Duché. Trois pics de départ peuvent être observés, à 10h, 12h (pour le déjeuner) et entre 17h et 19h après le travail pour les actifs. Cette activité dure 30 minutes plus ou moins 25 minutes.

Les données de commerces et services utilisées précédemment dans la thèse ont permis de créer la carte des destinations, carroyée à 100 mètres de résolution, pour ce motif. Des masses ont été attribuées à ces commerces ou service, sur la base de leur rayonnement (local ou global), leur fréquence de recours et leur attractivité intrinsèque⁷. La méthode de calcul des masses de commerces et services est présentée en annexe.

3.2.5. Les loisirs

Concernant les *loisirs*, les règles de fonctionnement sont les mêmes que pour les achats, mais la probabilité de réaliser cette activité est un peu plus faible. Le paramétrage de cette activité est issu de l'enquête sur les pratiques culturelles au Luxembourg (Culture 2009, LISER) qui comprend de nombreuses questions sur les loisirs des Luxembourgeois (sports, culture, sorties...). Un arbre de décision a été appliqué sur ces données et trois règles de déplacements ont pu être ainsi définies, en fonction des caractéristiques socio-économiques des ménages. Le détail des arbres de décision figure en annexe. Ainsi, les retraités ont une probabilité journalière de 43% de pratiquer un loisir, les salariés et actifs sans emplois 52% et les étudiants 79%.

7. « Il s'agit du pouvoir d'attraction d'un commerce sur la clientèle, indépendamment de l'attraction exercée par le noyau commercial dont fait partie ce commerce. Les "locomotives" en particulier (gros hypermarchés, grandes surfaces spécialisées [...]) sont des établissements bénéficiant d'une forte attractivité intrinsèque. C'est aussi le cas des maxi-discomptes et de certains magasins particulièrement réputés ou très spécialisés. » (Tannier, 2003)

Les données d'aménités vertes et de loisirs utilisées précédemment dans la thèse ont servi à créer la carte des destinations, carroyée à 100 mètres de résolution, pour ce motif. Des masses d'attractivité différenciées ont été appliquées aux différents types de loisirs (voir annexes).

3.2.6. Le réseau social

La fréquentation du *réseau social* permet à chaque agent de visiter sa famille ou ses amis, dans le cadre d'activités qui pourraient s'assimiler aux commerces, services ou loisirs, mais qui ont lieu au domicile des personnes visitées. La base Culture 2009 a également été employée pour définir les profils de déplacements. Les moins de 25 ans (étudiants pour une partie) ont une probabilité de déplacement quotidienne de 36% contre 21% pour les autres agents. Les destinations du réseau social correspondent à la carte de population totale issue du modèle d'allocation résidentielle, carroyée à 100 mètres de résolution. Il en ressort des zones plus ou moins denses en habitants, donc en possibilités d'interactions sociales.

3.2.7. L'accompagnement scolaire

L'*accompagnement scolaire* désigne le fait que les parents conduisent leur(s) enfant(s) à l'école le matin et viennent les chercher le soir. Ce motif de déplacement concerne bien sûr uniquement les ménages avec enfants. Si les enfants ont moins de 12 ans, alors la probabilité des parents de les accompagner est de 30%, sinon elle est de 15% (Bousch et Gerber, 2001). L'âge de 12 ans représente la rentrée au collège / lycée pour les élèves luxembourgeois⁸. Les élèves bénéficient alors d'un ramassage scolaire qui n'est pas simulé, puisqu'indépendant des lignes régulières de transports en commun.

Les crèches et les écoles fondamentales (primaires) sont les destinations de l'accompagnement scolaire. Il n'y a pas de masses d'attractivité pour ce motif. Pour le choix d'une destination, on se base sur le plus proche voisin de l'origine du déplacement.

3.2.8. Le travail frontalier

Le motif *travail frontalier* permet d'attribuer aux agents frontaliers un programme d'activité spécifique qui est de venir travailler au Luxembourg sans effectuer d'autres activités. On dénombre 64 131 frontaliers qui : 1) utilisent leur voiture pour se rendre au travail ; 2) se rendent au travail, hors

8. Au Luxembourg, la scolarité du collège et du lycée s'effectue généralement au sein du même établissement.

maladie, congés ou déplacement professionnel (80% des actifs) ; 3) partent entre 5h et 9h (Schmitz et al., 2012). Les frontaliers se rendent dans les mêmes zones d'emplois que les résidents, telles que définies précédemment. La population des frontaliers a été ajoutée à ce moment de la démarche, puisqu'ils n'ont pas participé au processus d'allocation résidentielle. Les agents frontaliers ont tous les mêmes caractéristiques socio-démographiques, d'âge, de CSP, de revenus... Ils résident dans les centroïdes des communes frontalières conformément à la répartition observée dans le cadre de l'Enquête Mobilité Frontaliers (Schmitz et al, 2012).

La figure 8.10 présente les boîtes de dialogues de MobiSim qui permettent de générer les programmes d'activités des agents. Chaque activité (première boîte en haut à gauche) fait l'objet de règles (deuxième boîte), en fonction des caractéristiques des agents ou des ménages. Ces règles sont des probabilités conditionnelles de réaliser ou non cette activité. Dans notre exemple, les actifs (activités comprises entre 1 et 6) ont 20% de probabilité de réaliser une activité *réseau social* au cours de la journée. La dernière étape (troisième boîte en bas à droite) sert à définir les modalités temporelles de cette activité, qui peut dans cet exemple se dérouler entre 9h et 20h, pour une durée moyenne d'une heure trente, avec un écart-type d'une demi-heure.

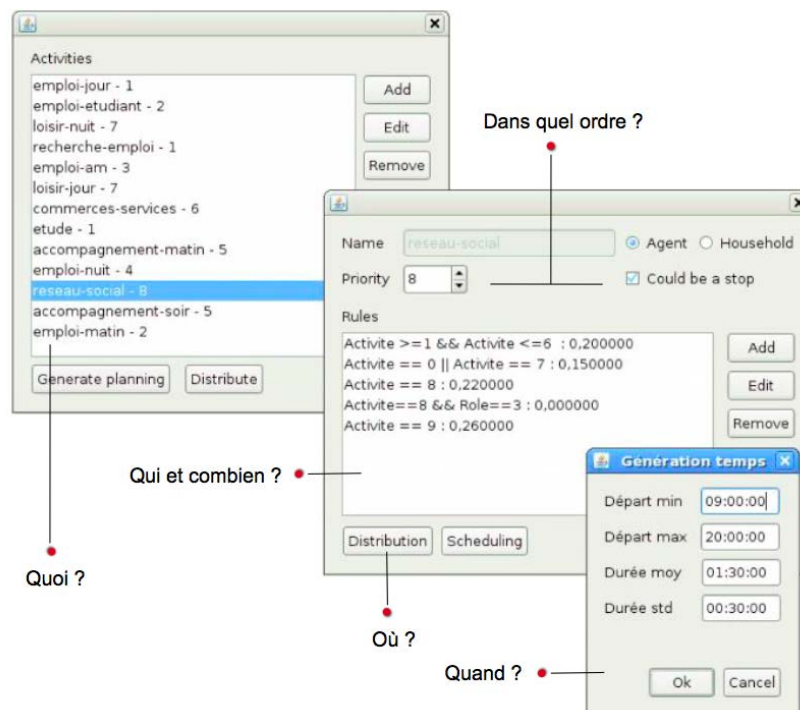


FIGURE 8.10 – Boîtes de dialogue pour la construction des programmes d'activité, Antoni (2012)

Le résultat de la génération des programmes d'activités est représenté pour exemple sur la figure 8.11. Les heures de départ sont représentées pour chaque motif des 1,68 millions de déplacements

simulés pour l'année 2010. Dans la première moitié de la journée, le plus grand nombre de départs concernent les actifs (ici ceux qui partent la journée sans coupure le midi), avec plus de 100 000 départs entre 7h et 9h à l'heure de pointe. Les agents qui partent faire des achats sont également assez nombreux, avec plus de 67 000 départs avant midi. On y trouve les retraités mais également des actifs qui réalisent un achat avant de se rendre sur leur lieu de travail. De la même manière, plus de 33 000 départs pour effectuer des loisirs sont effectués en matinée. Les étudiants, conformément à la règle définie dans le modèle, partent tous entre 6 et 10h, soit près de 3 000 déplacements au cours de cette période. L'accompagnement scolaire implique 10 000 départs le matin, mais près de 37 000 l'après-midi au retour de l'école. Cette deuxième moitié de la journée est d'ailleurs plus propice aux loisirs, avec 124 000 départs, ou aux achats, avec 147 000 déplacements, notamment effectués après la pause déjeuner ou à la sortie du travail aux alentours de 18h. Les visites à la famille ou des amis sont également faites majoritairement en fin de journée (près de 72 000 déplacements contre 20 000 avant midi). Enfin, les retours au domicile, s'ils commencent dès 9h pour les agents les plus matinaux, s'étalent tout au long de la deuxième moitié de la journée avec un pic de déplacements entre 19 et 21h.

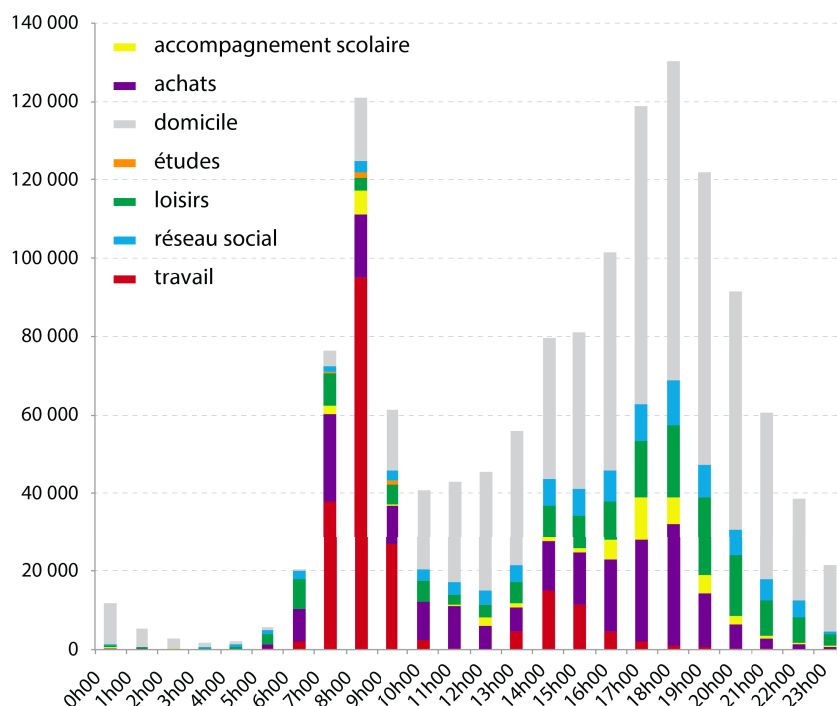


FIGURE 8.11 – Répartition horaire des motifs de départ des déplacements au Luxembourg en 2010 (simulation MobiSim)

La carte 8.12 représente le résultat général de l'étape de distribution des déplacements qui fait suite à la génération des programmes d'activités. Cette carte des flux illustre le volet spatial de la matrice origine / destination entre les activités des agents. Tous les déplacements de la journée qui se-

ront simulés pour l'année 2010 de référence y figurent. Les déplacements frontaliers sont également pris en compte, on peut les deviner en clair aux abords des frontières. On retrouve bien la structure spatiale du Luxembourg, avec une très grande majorité de flux à destination de Luxembourg-Ville, du bassin minier au sud et de la Nordstad. Quelques pôles urbains secondaires (Wiltz, Echternach...) apparaissent également. Ces flux de déplacements sont à cette étape de la modélisation déconnectés des réseaux de transports. Ils vont faire l'objet d'un choix modal dans le but d'être affectés sur les réseaux (routiers et de transports en commun) et de représenter ainsi des comportements réalistes de mobilités quotidiennes pour les agents.

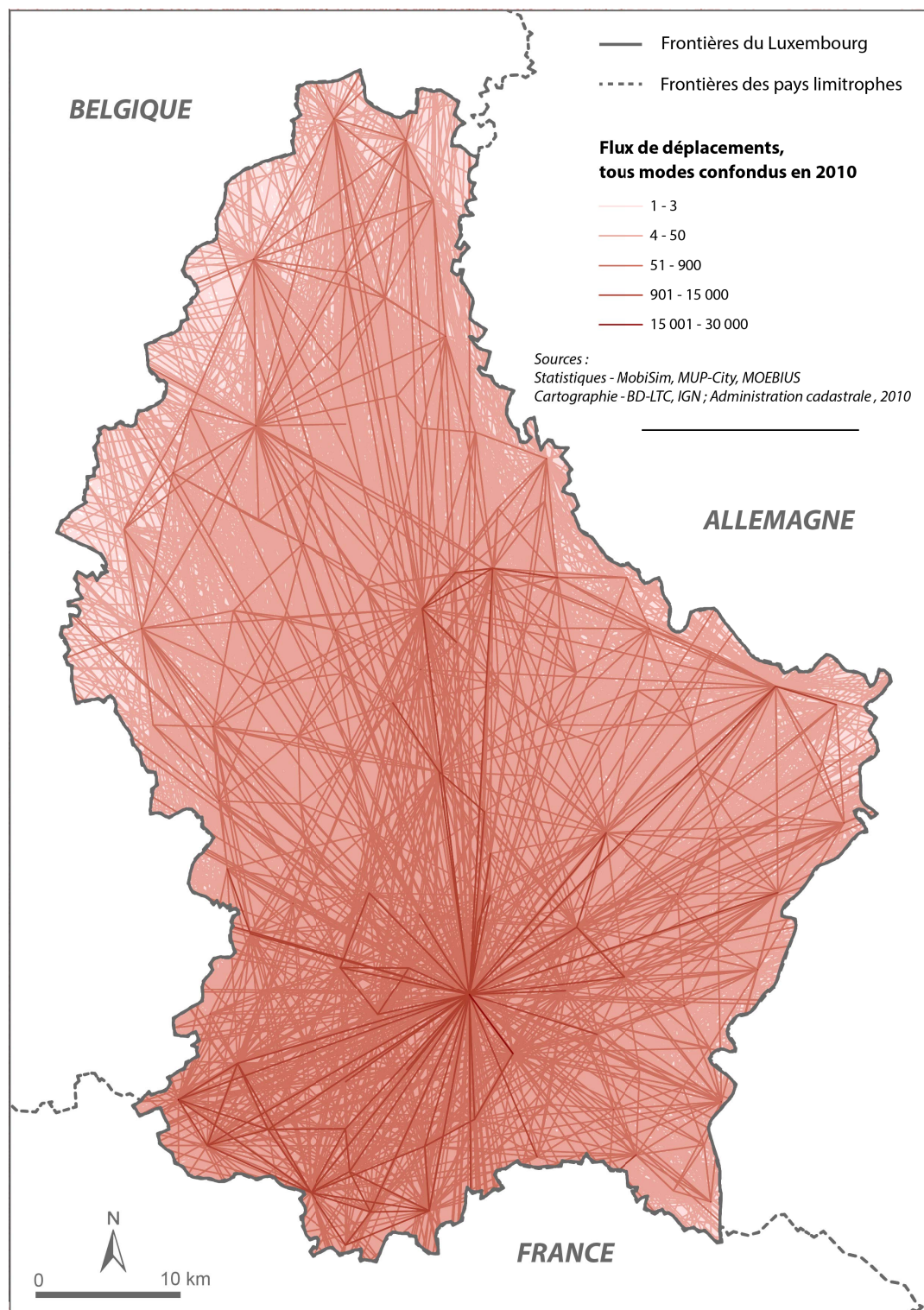


FIGURE 8.12 – Ensemble des flux issus de la distribution des déplacements sur une journée au Luxembourg en 2010 (simulation *MobiSim*)

3.3. Choix modal

Dans la version de MobiSim utilisée pour cette thèse, les agents disposent d'un choix entre trois modes de transport : la marche à pied, les transports en commun (bus ou train) ou la voiture. Une fonction de coût généralisé est définie, puisque les coûts de déplacements ne sont pas uniquement liés au prix du carburant (pour l'automobile) ou à celui du titre de transport (pour les modes collectifs), mais intègrent l'ensemble des coûts supportés par les usagers (Gaudry, 2007). Le coût généralisé est calculé en deux étapes dans MobiSim :

1. Pour chaque tronçon k à emprunter, on calcule un coût d'emprunt (CT) du tronçon, pour un agent a , utilisant un mode de transport m , de sorte que CT soit égale à la somme des coûts de la distance d et du temps t nécessaire pour parcourir le tronçon k , en lien avec la vitesse de déplacement (dépendante du mode) :

$$CT_{a,m,k} = (Cd_m \times d_k) + (Ct_a \times t_k)$$

2. en faisant la somme de tous les tronçons que l'agent doit emprunter pour effectuer son trajet de i à j , on obtient C, Cf_m le coût fixe de déplacement, alors le coût généralisé total pour un trajet est :

$$C_{a,i,j,m} = Cf_m + \sum_{k=i}^j CT_{a,m,k}$$

Par la suite, on transforme ce coût généralisé en probabilité de choix modal, d'abord en déterminant le coût minimum :

$$c_{a,i,j} = \min\{C_{a,i,j,m}\}$$

Ce coût minimum permet de calculer l'écart relatif entre le mode m et le coût minimum :

$$\Delta_{a,i,j,m} = \frac{C_{a,i,j,m} - c_{a,i,j}}{c_{a,i,j}}$$

Le coût relatif pour chaque mode est ensuite rapporté au paramètre de coût maximum :

$$P_{a,ij,m} = \begin{cases} 1 - \frac{\Delta_{a,ij,m}}{\Delta_{max}} & \text{si } \Delta_{a,ij,m} < \Delta_{max} \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

On obtient une loi de probabilité discrète $p_{a,ij,m}$, pour un agent a , se déplaçant de i à j par le mode m :

$$p_{a,ij,m} = \frac{P_{a,ij,m}}{\sum_k P_{a,ij,k}}$$

Les variables du choix modal (voir figure 8.2) permettent de paramétrer le modèle puis de le calibrer en fonction des données obtenues en sortie du modèle et des données observées du Luxembourg.

3.4. Affectation des déplacements et calibrage du modèle de mobilité quotidienne

L'étape de calcul d'itinéraires consiste à déterminer le nombre de véhicules sur chaque tronçon routier ainsi que la charge en usagers du système de transports en commun. L'étape d'affectation des déplacements dépend des programmes d'activités simulés ainsi que du choix modal. Pour les utilisateurs des modes de transports individuels (la voiture et la marche à pied dans notre cas), le calcul de l'itinéraire entre le point de départ et le point d'arrivée de chaque agent utilise l'algorithme de Dijkstra, autrement appelé algorithme du plus court chemin. Cette étape est complétée par le calcul des chaînes de déplacements, spécifiques aux agents qui profitent de leur trajet initial (domicile-travail) pour satisfaire d'autres motifs (achats, loisirs, accompagnement, réseau social). Les résultats obtenus (en nombre de véhicules ou de personnes sur les tronçons) permettent de déterminer le niveau de congestion des réseaux (embouteillages sur les routes) et peuvent influencer l'itinéraire que choisiront les agents pour réduire leurs temps de trajets ou le mode de transport qu'ils utiliseront pour se déplacer. Il y a donc ici une rétroaction avec l'étape de détermination du choix modal, comme le montre la figure 8.9.

Le réseau routier utilisé dans les premières parties de la thèse a fait l'objet de corrections au niveau de sa topologie et des attributs de vitesse (calculés à partir des vitesses théoriques), de capacités (obtenus dans le cadre d'autres travaux au LISER) et de direction (repérage des sens de circulation). Pour la marche à pied, le même réseau a été utilisé avec une valeur de vitesse fixe, définie à 4km/h (Julien et Carré, 2003).

Pour les usagers des transports en commun, le calcul d'itinéraire est contraint par la structure du réseau de transports publics, tel qu'il est intégré dans le modèle. On distingue le réseau de bus du réseau ferroviaire, les deux types véhicules n'empruntant pas les mêmes infrastructures. Toutefois, les fiches horaires permettent d'établir des correspondances entre les deux modes de transports et de les considérer comme un seul mode. Les horaires de circulation des transports en commun sont issues d'une base constituée par la *Verkéiersverbond* (Communauté des Transports au Luxembourg), selon un système standardisé. L'utilisation d'un script d'extraction réalisé par Sylvain Klein au Liser, a permis de rendre cette base compatible avec les pré-requis techniques de MobiSim. Il y a près de 400 lignes de transports (2 000 parcours, avec les allers-retours et variantes de desserte) au Luxembourg. Pour rappel, nous utilisons une journée type de circulation, ici le 17 septembre 2013, pour éviter vacances scolaires, week-end et jours fériés. La figure 8.13 présente un extrait de fiche horaire, pour la ligne CFL 60-318 du train entre Luxembourg-Ville et Esch-sur-Alzette. Ce train circule le matin à 5h50 au départ de la capitale, les lundi et mardis. Ce n'est pas une course scolaire (non gérée dans le cadre de la thèse).

ID_Station	Nom de la station	courses scolaires	Im-----
200405035	Luxembourg Gare	0	05:50
221101001	Berchem Gare	0	05:56
220102005	Bettembourg Gare	0	06:02
220105002	Noertzange Gare	0	06:06
221401002	Schifflange Gare	0	06:10
220402034	Esch/Alzette Gare	0	06:13

FIGURE 8.13 – Exemple de fiche horaire, la ligne 60 du train entre Luxembourg-Ville et Esch-sur-Alzette (extrait)

En l'absence de données exhaustives sur les pratiques de mobilités quotidiennes au Luxembourg⁹, le calibrage des résultats issus des simulations de MobiSim a été effectué à l'aide des données existantes à l'échelle nationale. Le tableau 8.2 établit une synthèse des données utilisées et leurs sources.

Le premier objectif était d'obtenir un nombre de déplacements quotidiens en cohérence avec les pratiques observées de mobilités au Luxembourg. En 2012, dans son document sur une *Stratégie durable pour une mobilité durable*, le ministère publie un chiffre de 1,66 millions de déplacements quotidiens au Luxembourg. Avec 1,68 millions en sortie du modèle, et sans une connaissance exhaustive des comportements de mobilité (notamment pour les autres déplacements que le domicile

9. Une enquête ménages - déplacements a été effectuée en 1995 par le Grand-Duché, mais ces données sont indisponibles et ces statistiques sont aujourd'hui obsolètes.

- travail), ce résultat est satisfaisant, d'autant plus que le chiffre de 1,66 millions de déplacements est également le fruit d'une simulation par la Cellule Modèles de Transport.

Les données connues sur lesquelles nous nous sommes appuyées concernent principalement le motif travail. En 2009, Carpentier et Gerber publiaient les résultats provenant d'une enquête sur un échantillon représentatif de la population luxembourgeoise, le PSELL (Panel Socio-Économique sur la vie au Luxembourg). Les résidents déclaraient alors une distance moyenne de 12 kilomètres pour se rendre sur leur lieu de travail, 16 kilomètres pour ceux utilisant la voiture pour un parcours de 23 minutes. Avec des distances simulées de 12,5 kilomètres et 14 kilomètres pour la voitures (26 minutes), il est possible de noter une certaine proximité des résultats de simulation issus de *MobiSim* pour 2010 avec les réalités du Grand-Duché. Les parts modales entre la voiture, 78% simulées (76% pour le panel) et les transports en commun, 17% simulées (13% pour le panel, auxquels il est possible d'ajouter près de 2% de la catégorie « voiture et autre mode ») confirment ces observations, même si la part des transports en commun peut paraître élevée.

En 2010, 1,68 millions de déplacements ont été simulés, pour une population de 505 200 habitants, ce qui représente 3,33 déplacements en moyenne par résident. À titre de comparaison, d'après l'enquête nationale transports en déplacements de 2008, les Français effectuent 3,15 déplacements quotidiens en moyenne.

Enfin, pour compléter ces données, l'Enquête Mobilité Frontaliers dont les résultats ont été publiés en 2012, apporte un éclairage supplémentaire sur les déplacements des actifs en provenance d'Allemagne, Belgique et France (Schmitz et al 2012). La distance moyenne de trajet est identique entre les résultats de simulation *MobiSim* et le chiffre de l'enquête, même si les frontaliers semblent circuler un peu plus rapidement dans le modèle que de façon empirique (mais il n'y a pas de congestion simulée de l'autre côté de la frontière luxembourgeoise).

Maintenant que la simulation des mobilités quotidiennes fournit des résultats satisfaisants pour l'année de référence (2010), nous pouvons passer à la dernière étape de la démarche, la comparaison de trois scénarios de développement résidentiels à l'horizon 2030. Bien sûr, aucune validation des résultats n'est envisagée, le modèle de simulation est employé ici de façon exploratoire.

Paramètre	Explication et valeurs possibles
Coût fixe TC	C'est le prix d'un voyage en transports en commun. Partant des différents abonnements annuels existants au Luxembourg ^a , pour les écoliers : 0€ ; les étudiants : 0,15€ ; les retraités : 0,20€ ; pour les autres agents : 0,65€.
Coût kilométrique par mode	Le coût kilométrique d'une voiture était de 0,34€ en moyenne au Luxembourg en 2013, d'après la législation grand-ducale. Les autres modes ont un coût nul.
Coefficient de confort par mode	Égal à 1 pour tous les modes, non utilisé dans le cas présent.
Propension maximale	Variable qui permet d'ajuster le choix modal en réglant l'arbitrage entre deux modes, construit sur la différence de coût. Par défaut dans MobiSim, cette valeur est de 2.
Valeur du temps	Autre variable qui permet d'ajuster le choix modal, notamment l'utilisation des modes les moins rapides. En donnant une plus grande valeur au temps des agents, ceux-ci sont moins susceptibles d'utiliser les transports en commun ou la marche à pied et préféreront la voiture.
Temps de correspondance	Nombre de minutes nécessaires à l'agent pour passer du bus au train et inversement, puisque les deux réseaux sont gérés séparément dans MobiSim (par défaut : 2 minutes, ajustable).
Temps de stationnement	Temps à rajouter au temps de déplacement en voiture dans l'optique de trouver une place de stationnement (par défaut : 5 minutes, ajustable).
Temps de marche à pied pour rejoindre le réseau	Lorsque l'origine ou la destination est légèrement éloignée du réseau, temps nécessaire pour le rejoindre (par défaut : 2 minutes, ajustable).

^a. Exemple de calcul pour un retraité, l'abonnement annuel est de 100€, divisé par les deux fois (aller-retour) 255 jours ouvrés de 2013, $\frac{100}{255 \times 2} = 0,20\text{€}$

Tableau 8.1 – Les variables susceptibles d'influencer le choix modal d'un agent

Variable utilisée	Résultat obtenu	Résultat observé
Nombre total de déplacements	1,68 millions	1,66 millions (Cellule modèle de Transport, MoDu, 2012)
Distance moyenne parcourue pour le motif travail (tous modes confondus)	12,5 km	12 kilomètres (Carpentier et Gerber, 2009)
Distance moyenne parcourue en voiture pour le motif travail	14 km	16 km (Carpentier et al, 2011)
Temps moyen d'un déplacement en voiture pour le motif travail	26 minutes	23 minutes (Carpentier et al, 2011)
Part d'utilisation de la voiture pour le motif travail	78%	76% (Carpentier et Gerber, 2009)
Part d'utilisation des transports en commun pour le motif travail	17%	13% (Carpentier et Gerber, 2009)
Distance moyenne parcourue en voiture pour le motif travail - frontalier	44 km	44 km (Schmitz et al, 2012)
Temps moyen d'un déplacement en voiture pour le motif travail - frontalier	50 minutes	53 minutes (Schmitz et al, 2012)

Tableau 8.2 – Calibrage du modèle de simulation MobiSim en 2010 à l'aide de données observées

4. Les résultats de la comparaison des scénarios en matière d'indicateurs de mobilité quotidienne

4.1. Le nombre de trajets

En 2030, le nombre de déplacements est presque identique pour chaque scénario, avec une différence maximale de 1 944 déplacements simulés entre le scénario FOD et le scénario des 23 communes. Pour chaque scénario, 2,88 millions de trajets ont été simulés, sans qu'il y ait de changements dans le programme d'activités des 720 738 agents. Avec une croissance de 43% de la population, le nombre absolu de déplacements a augmenté de 72% ; rapporté au nombre d'agents, cela conduit à 4 déplacements par jour contre les 3,33 de la situation initiale. Le graphique 8.14 détaille le nombre de déplacements quotidiens effectués en moyenne par chaque agent en fonction des modes de transports utilisés. Le nombre de déplacements par agent augmente entre 2010 et les trois scénarios puisque dans le même temps la taille de la population croît. La part des déplacements en voiture croît moins fortement que pour les deux autres modes de transports, le scénario FOD permet même de maintenir le nombre moyen de déplacements quotidiens effectués en voiture par rapport à la situation initiale de 2010. Dans le cadre des scénarios IVL et 23 communes, le nombre de déplacements effectués en marche à pied est plus important que le nombre de déplacements effectués en transports en commun. Pourtant l'objectif de 25% en marche à pied visé par le gouvernement luxembourgeois (voir chapitre 2) n'est pas atteint, alors que les règles de construction des scénarios étaient relativement strictes sur cet aspect.

Il importe ensuite de considérer la nature de ces déplacements. Sont-ils le fruit de l'amélioration généralisée de l'accessibilité à une grande variété d'aménités ? Existe-t-il une redéfinition du partage modal en faveur des transports en commun et des modes doux, conformément aux hypothèses générales de la thèse ?

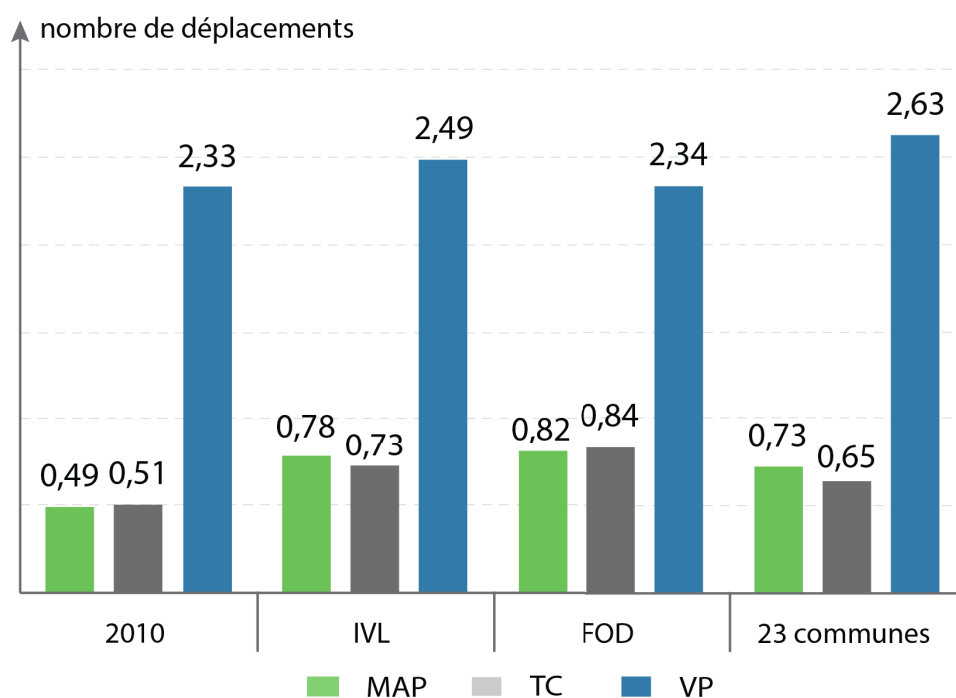


FIGURE 8.14 – Comparaison du nombre de déplacements quotidiens par agent et par modes entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030

4.2. Le partage modal

4.2.1. Le partage modal à l'échelle nationale

Le graphique 8.15 présente la répartition par modes de l'ensemble des déplacements, pour la situation initiale en 2010 et pour chacun des trois scénarios simulés. Le partage modal entre la situation initiale et les scénarios fait l'objet de changements conséquents. Pour l'ensemble des scénarios, on constate : 1) un recul de la part liée à la voiture; 2) une augmentation de la part des déplacements en transports en commun et en modes doux. Le scénario FOD (*Fractal-Oriented Development*) montre les changements les plus conséquents, avec une diminution de 16,4% de la part des déplacements en voiture, passant de 70% en 2010 à 58,5%. Parallèlement, la part liée aux transports en commun augmente de 38% tandis que la part liée à la marche à pied augmente de 39%. Les résultats obtenus pour les deux autres scénarios sont assez similaires, le scénario IVL arrive en deuxième position en matière de partage modal alors que le scénario des 23 communes, pourtant plus compact d'un point de vue global, voit la part des déplacements liés à la voiture passer de 70% à 65,6%.

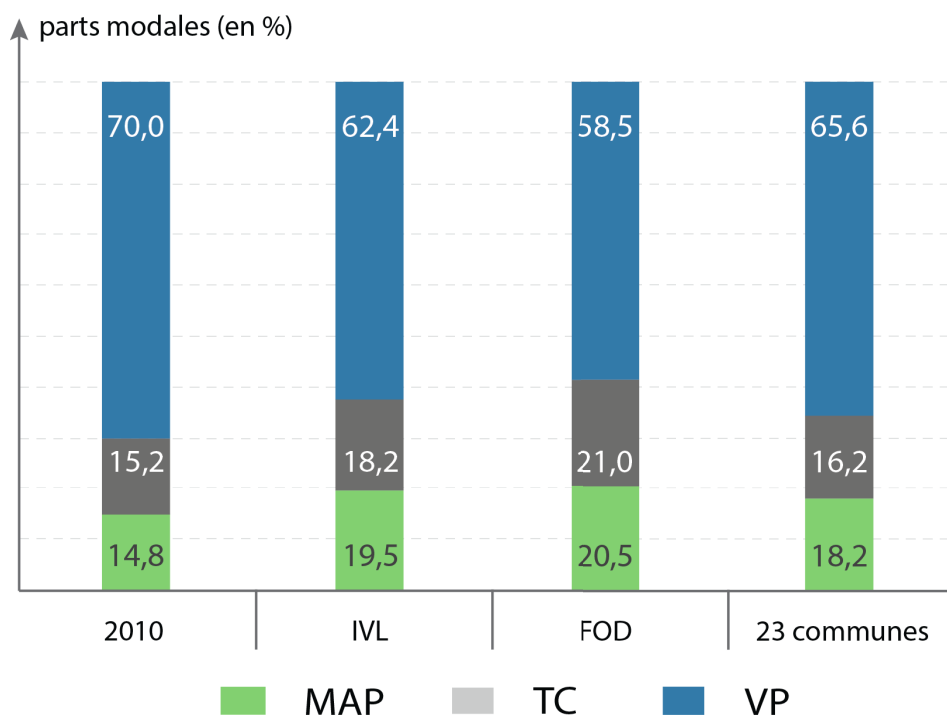


FIGURE 8.15 – Comparaison des parts modales entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030

4.2.2. Le partage modal à l'échelle communale

Les cartes 8.16 nous renseignent sur la répartition spatiale des évolutions du partage modal. Pour chaque scénario, l'évolution de chaque mode à partir de la situation initiale a été calculée, de sorte à obtenir neuf cartes à l'échelle communale de l'évolution des trois modes de déplacements. La même discrétisation, construite à partir de la distribution statistique des valeurs d'évolution, permet la comparaison entre les modes et entre les scénarios. Les cartes à l'échelle communale confirment les tendances observées pour l'évolution globale des parts modales présentées précédemment. Les tendances générales d'augmentation de la marche à pied et des transports en commun au détriment de la voiture apparaissent clairement. Toutefois, des contrastes locaux et de subtiles différences entre les scénarios existent, faisant bien apparaître l'intérêt d'une telle démarche désagrégée.

L'augmentation de la part des déplacements effectués en marche à pied est généralisée sur l'ensemble du territoire luxembourgeois pour les trois scénarios. Dans la capitale, la plus grande évolution intervient dans le scénario FOD, avec une augmentation de 49%, en passant de 17% en 2010 à plus de 25% en 2030. Ce ne sont pas dans les plus grands centres urbains que cette croissance est la plus forte, mais plutôt dans de petites communes rurales où la marche à pied en 2010 était relativement faible. Ainsi, pour le scénario IVL, les taux d'évolution les plus conséquents ont lieu

4. Les résultats de la comparaison des scénarios en matière d'indicateurs de mobilité quotidienne

davantage dans le nord du pays. À Neunhausen à l'est de la Nordstad, le taux de marche à pied était de 2,6% en 2010 et dépasse les 14% dans le scénario IVL, soit une évolution positive de 445%! À l'inverse, quelques communes ont une évolution négative de la pratique de la marche à pied. Il s'agit de communes de taille relativement importante, bénéficiant d'une certaine centralité et qui possédaient une part de marche à pied élevée en 2010 : Mondorf-les-Bains, Dudelange, Mertert, Diekirch, Echternach et Grevenmacher. Dans le cadre du scénario des 23 communes, l'évolution de la part accordée à la marche à pied diminue de 28% à Diekirch et de 18% à Ettelbruck.

En ce qui concerne les évolutions de la part des transports en commun par rapport à la situation initiale, les résultats sont davantage contrastés entre les communes. Les croissances les plus importantes ont une nouvelle fois lieu dans les communes modestes où ce mode ne dépasse pas les 15% en 2010. Les communes plus centrales de Grevenmacher (+54%), Wiltz (+51%), Mertert (+50%), Echternach (43%) ou Mersch (33%) connaissent des évolutions marquées dans le cadre du scénario IVL. Conformément aux hypothèses, les évolutions sont plus importantes dans le cadre du scénario FOD. Au regard de la carte située juste au centre de la figure 8.16, une certaine analogie avec l'organisation radiale du réseau ferroviaire luxembourgeois apparaît. Les communes qui connaissent une croissance marquée sont localisées à proximité immédiate des stations de train. Parmi elles, quatre communes doublent la part modale des transports en commun : Reckange/Mess et Garnich proches de la capitale, Nommern près de la Nordstad et Neunhausen à côté de Wiltz. On retrouve également une forte évolution sur l'axe en direction de l'est et traversant les communes de Sandweiler, Biwer, Schuttrange, Betzdorf et Mertert. Dans le cadre du scénario des 23 communes, les évolutions sont moins marquées spatialement : seules quatre communes, déjà présentes dans les deux autres scénarios ressortent avec une évolution supérieure à 40% : Garnich, Neunhausen, Schuttrange et Consthum. Par contre, c'est dans le cadre du scénario des 23 communes que la baisse de la part modale accordée aux transports en commun semble la plus forte, elle touche 45 communes (contre 18 pour l'IVL et 28 pour le FOD), localisées notamment aux abords des espaces frontaliers, au sud, à l'est, et dans le nord du pays. À Mamer et Strassen, à l'ouest, tout comme à Schifflange et Tandel, la baisse dépasse les 20% dans le cadre du scénario des 23 communes. Malgré une augmentation de 1% pour le scénario FOD, Luxembourg-Ville voit l'utilisation des transports en commun diminuer dans les deux autres scénarios, moins 6% (IVL) et moins 10% (23 communes). Il apparaît toutefois nécessaire de relativiser ces diminutions de la part des transports en commun, qui est probablement à mettre au profit de la marche à pied dans le cas des très courtes distances.

La dernière série de comparaisons aborde l'évolution à l'échelle communale de la part modale liée à la voiture dans les déplacements quotidiens. Selon les résultats obtenus à l'échelle nationale,

une diminution générale de la part de la voiture est observée dans les trois scénarios. Dans le cadre du scénario IVL, les diminutions les plus fortes prennent place dans une large moitié nord du pays, notamment dans les communes frontalières de la Belgique, où la marche à pied a augmenté, en devenant concurrentielle à la voiture pour certains déplacements. Toujours dans le scénario IVL, seules deux communes ont une croissance de la part des déplacements en voiture : Grevenmacher (+1%) à l'est, et Diekirch (+2,5%) dans la Nordstad. Dans le cadre du FOD, aucune commune n'est dans cette configuration. La commune de Nommern connaît une baisse de 47% de la part de déplacement en automobile en passant de 70% en 2010 (la moyenne nationale) à 37%. D'après ce scénario en faveur des transports en commun, 29 communes, soit le quart des communes du Grand-Duché, seraient en mesure de diminuer de 20% la part modale de la voiture en 2030. Le scénario des 23 communes fournit des résultats plus mitigés quant à une baisse de l'utilisation de la voiture. Six communes faisant partie des trois pôles, donc où une grande partie de la nouvelle population s'est localisée, voient la part de la voiture augmenter : Bettembourg (1%), Ettelbruck (1,9%), Mamer (2,3%), Dudelange (3,7%) et surtout Diekirch (11,7%).

À Esch-sur-Alzette, suite au modèle d'allocation résidentielle, nous avons constaté une faible augmentation de la population dans le cadre du scénario IVL et une diminution de la population dans les scénarios FOD et 23 communes. Dans le premier cas, la part des déplacements effectués en marche à pied augmente (+15%) tandis que les parts en transports en commun et en voiture diminuent (respectivement -12% et -3%). Ceci est sûrement dû à la localisation des nouveaux ménages, relativement éloignée des deux gares, mais suffisamment à proximité d'un certain nombre d'aménités pour susciter le report modal vers la marche à pied pour quelques déplacements. Lorsqu'il n'y a pas d'augmentation de la population, comme à Esch-sur-Alzette dans le scénario FOD, la situation tend vers une forte augmentation de la marche à pied (+34%), et une diminution des transports en commun (-12%) et de la voiture (-11,5%). Dans le scénario des 23 communes, la part de la voiture s'intensifie même légèrement (+1,5%).

4. Les résultats de la comparaison des scénarios en matière d'indicateurs de mobilité quotidienne

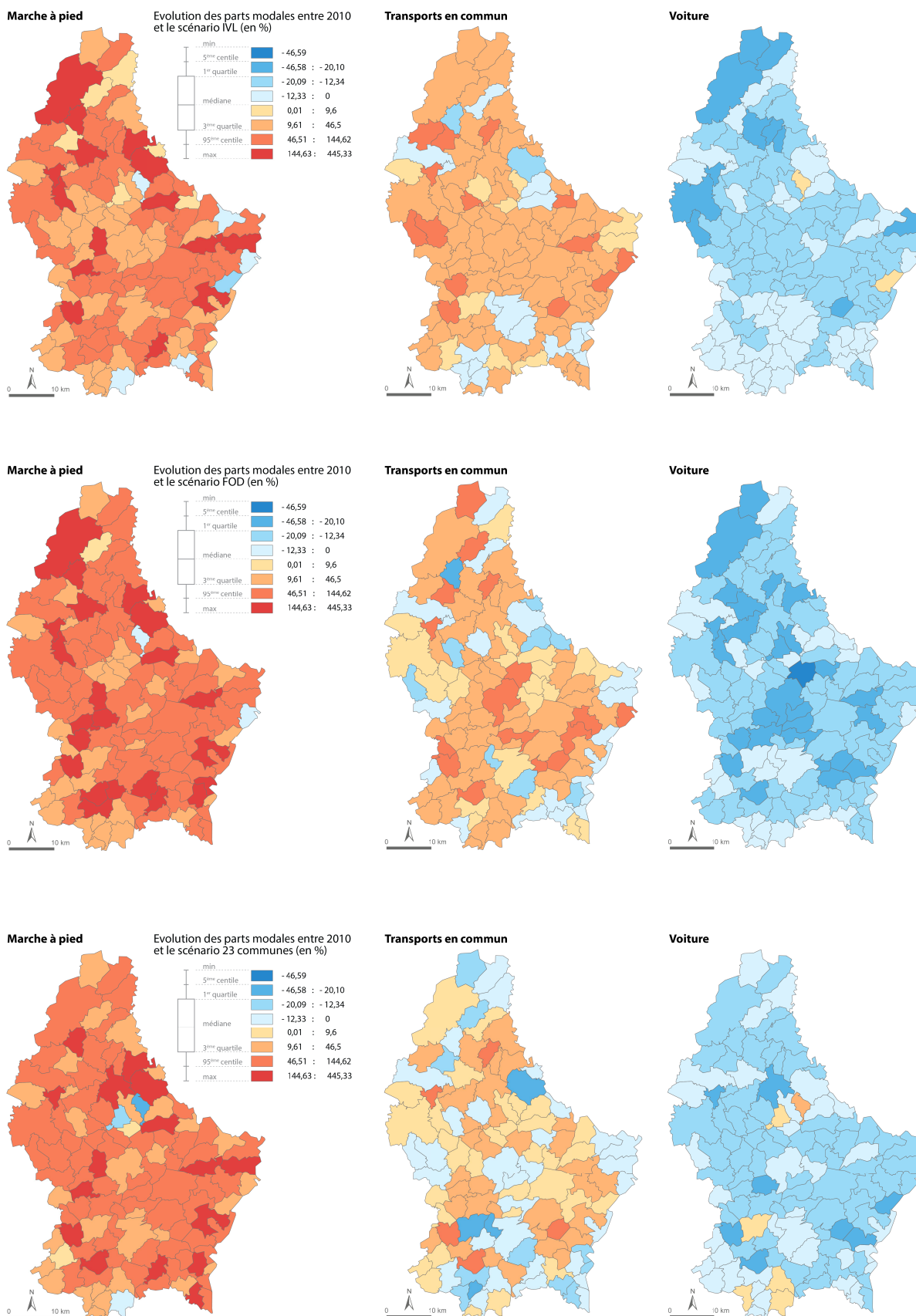


FIGURE 8.16 – Evolution des parts modales (marche à pied, transports en commun et voitures) pour chaque scénario (IVL, en haut ; FOD, au centre ; 23 communes en bas)

4.2.3. Le partage modal par motif de déplacements

Le tableau 8.3 présente l'évolution du partage modal entre la situation initiale de 2010 et chacun des trois scénarios, et ce, pour sept motifs de déplacements : accompagnement scolaire, achats (ou service), études, loisirs, réseau social, retour au domicile et travail.

En ce qui concerne l'accompagnement à l'école des enfants, pour tous les scénarios, il s'agit d'un basculement de l'ordre de 10 à 17% depuis la voiture et en faveur de la marche à pied. Les nouveaux ménages, qui constituent une masse critique importante sont localisés à proximité de nombreuses aménités, dont les établissements scolaires font partie. De plus, le modèle gravitaire force la « carte scolaire » (inexistante au Luxembourg), en conduisant les parents à emmener leurs enfants à l'école la plus proche de leur domicile, facilitant ainsi la pratique de la marche.

Les achats (accès à des commerces ou services), les loisirs et le retour au domicile connaissent les mêmes dynamiques, qui diffèrent légèrement selon les scénarios. Dans le cadre du scénario IVL, la part de la voiture recule de 7% tandis que la marche à pied croît de 4 ou 5% et les transports en commun de 2%. Ces tendances s'accroissent dans le cadre du scénario FOD, où la voiture baisse de 11% et la hausse se répartit à peu près uniformément entre la marche et les transports en commun. À l'inverse, avec le scénario des 23 communes, si le sens des tendances demeure similaire, les proportions sont plus restreintes, avec des variations de quelques points seulement. Une fois encore, ces changements peuvent être dus à la proximité des commerces, services, aménités vertes ou de loisirs à proximité des nouvelles extensions du tissu résidentiel. Ceci qui explique aussi les variations du retour au domicile qui intègre le retour de ces deux activités, relativement prépondérantes dans l'emploi du temps des ménages.

Dans le cadre du motif travail, le report modal s'oriente davantage vers les transports en commun, plus 9% pour l'IVL, 14% pour le FOD et 5% pour le scénario des 23 communes. Pour les deux premiers scénarios, la localisation des nouveaux ménages à proximité des stations de transports en commun, notamment dans le cadre du scénario FOD favorise les transports ferroviaires et en bus, quand bien même, nous le verrons par la suite, ces derniers sont plus longs. Le motif travail reste l'un des plus contraints sur le plan des horaires, avec une heure de pointe très forte entre 7h et 9h, aussi la congestion peut entraîner un changement de mode les transports en commun devenant davantage concurrentiel du fait de la congestion.

Les déplacements des étudiants connaissent les variations les plus conséquentes du tableau. Quel que soit le scénario, près d'un agent sur trois allant étudier délaisse la voiture au profit des

4. Les résultats de la comparaison des scénarios en matière d'indicateurs de mobilité quotidienne

Motif	Ecart 2010 - IVL			Ecart 2010 - FOD			Ecart 2010 - 23 communes		
	MAP	TC	VP	MAP	TC	VP	MAP	TC	VP
accompagnement scolaire	14%	0%	-14%	15%	2%	-17%	11%	-1%	-10%
achats	5%	2%	-7%	5%	6%	-11%	3%	1%	-3%
études	14%	20%	-34%	14%	23%	-37%	16%	13%	-28%
loisirs	4%	2%	-7%	6%	5%	-11%	3%	1%	-4%
réseau social	5%	-6%	1%	9%	-4%	-5%	3%	-7%	5%
retour au domicile	5%	2%	-7%	6%	5%	-11%	3%	0%	-4%
travail	4%	9%	-12%	4%	14%	-18%	3%	5%	-8%

Tableau 8.3 – Comparaison des parts modales (marche à pied, transports en commun et voiture) entre la situation initiale en 2010 et les scénarios IVL, FOD et des 23 communes en 2030, en fonction de plusieurs motifs de déplacements

modes doux ou des transports en commun. On peut rappeler que ce motif concerne seulement 3 700 mouvements quotidiens. Pour les scénarios IVL et FOD, il semblerait une nouvelle fois que la proximité aux arrêts de bus et de train joue un rôle important, tandis que pour le scénario des 23 communes, la localisation dans les trois pôles du pays intègre nécessairement une proximité aux lycées et surtout aux établissements universitaires.

Le motif réseau social est le seul pour lequel les dynamiques semblent moins nettes ; dans le scénario IVL et le scénario des 23 communes, la voiture progresse légèrement, respectivement de 1 et 5%, au détriment des transports en commun (-6 et -7%) mais non de la marche à pied (+5 et +3%). Pour le scénario FOD, les deux modes motorisés reculent (-4% pour les transports en commun et -5% pour la voiture) alors que la marche augmente de 9%. Les destinations des visites aux familles et aux amis (un des motifs de déplacements les moins étudiés) sont constituées de la carte de population dans le modèle de distribution des activités. Dans le cadre du FOD, il y aurait donc davantage d'adéquation entre la localisation des nouvelles extensions résidentielles et la localisation de l'ensemble de la population, ce qui pourrait être moins le cas des scénarios IVL et des 23 communes.

Ces résultats résultent donc principalement de concordance entre la localisation des ménages et celle des aménités, sans pour autant négliger les aspects temporels des emplois du temps des ménages. Il faut tout de même disposer d'un temps raisonnable pour cumuler plusieurs activités dans une journée, surtout en pratiquant les modes doux ou les transports collectifs, ce que semble permettre davantage l'IVL et plus encore le FOD, que le scénario des 23 communes.

4.3. Les distances parcourues

Le graphique 8.17 présente les distances kilométriques parcourues, par mode et rapportées au nombre d'agents entre la situation initiale de référence et les scénarios. Deux tendances se dégagent : 1) les distances en marche à pied et en transports en commun augmentent fortement ; 2) les distances parcourues en voiture diminuent légèrement.

Entre 2010 et les trois scénarios, les distances parcourues par agent triplent. Elles sont légèrement supérieures dans le cadre du scénario IVL que dans les deux autres scénarios. Ce résultat est à mettre au regard des résultats obtenus précédemment à propos des parts modales. Dans les espaces nouvellement urbanisés des scénarios, il semblerait que la marche à pied soit une alternative à la voiture et peut-être aux transports en commun pour les distances de moins de deux kilomètres. Une explication réside dans la localisation de ces extensions urbaines, qui du fait des normes de développement résidentiel à proximité des aménités, permettent d'accéder à une offre plus rapprochée.

Les distances parcourues en transports en commun doublent dans le cadre des scénarios IVL et FOD, ce qui s'explique en partie par les évolutions positives des parts modales. Les fortes évolutions de cette part modale sont notamment réparties dans des communes assez éloignées des centres d'emplois, ce qui explique également l'allongement des distances en transports en commun. Le scénario des 23 communes, qui fait l'objet de moindres changements dans le partage modal, conduit tout de même à une augmentation de 55% des distances parcourues en transports en commun, malgré des développements résidentiels concentrés dans une vingtaine de communes et à proximité des grandes zones d'emploi.

En revanche, les distances parcourues quotidiennement par chaque agent en voiture diminuent : de 1,4% pour le scénario IVL (le plus dispersé spatialement au niveau du développement résidentiel) ; de 10% pour le FOD et de 7% pour le scénario des 23 communes. Ces évolutions, bien qu'inférieures comparativement aux autres modes, sont tout de même considérables, avec près de 2,5 kilomètres de voiture parcourus en moins quotidiennement par chaque agent utilisant leur automobile. En multipliant 2,5 kilomètres, par les 720 738 agents et les 365 jours d'une année, on obtient une économie potentielle de 660 millions de kilomètres. Avec un parc automobile luxembourgeois émettant en moyenne 161 grammes de CO₂ par kilomètre (Hansen, 2012), cette distance représente une émission en moins de 106 000 tonnes de CO₂, soit les rejets effectués annuellement par les habitants d'une ville de 9 000 habitants dans tous les domaines de la vie quotidienne.

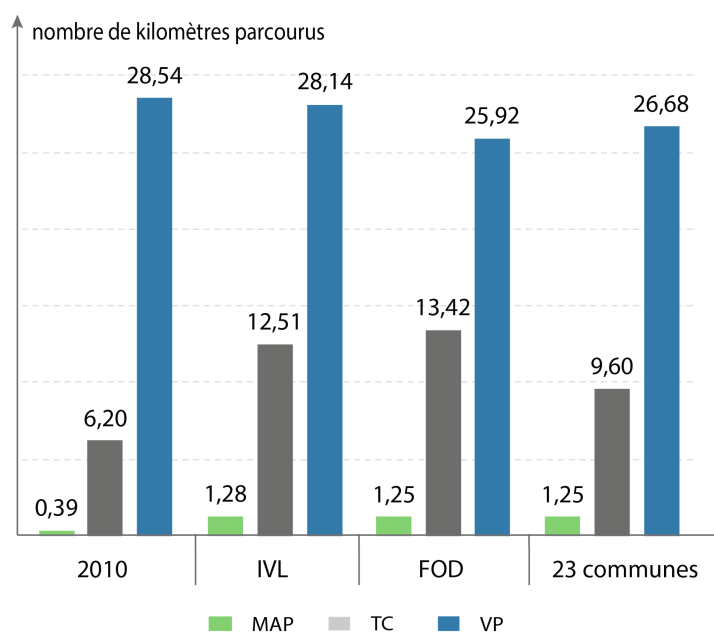


FIGURE 8.17 – Comparaison des distances moyennes parcourues par modes et par agent, entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030 (en kilomètres)

4.4. Le budget-temps moyen (par agent)

Le graphique 8.18 présente par mode et en fonction de chaque scénario le nombre de minutes que dure en moyenne un déplacement. Avec un fort allongement des distances parcourues en marche à pied et en transports en commun, il est fort logique que les temps moyens de déplacements augmentent également fortement, ces temps étant ni compressibles ni extensibles (en théorie, il n'y a pas de congestion en marche à pied ou en transports en commun). Toutefois, il est curieux de noter que les temps moyens des déplacements automobiles restent constants et identiques entre la situation initiale et les trois scénarios, avec 21 minutes en moyenne. Alors que les distances parcourues diminuent, les temps de déplacements sont identiques, ce qui induit une diminution des vitesses de déplacement et de la congestion sur le réseau routier.

Les graphiques 8.19 et 8.20 précisent les résultats précédents en fonction des motifs de déplacements. Le premier constat réside dans le fait que les variations des temps moyens de déplacements quotidiens par agent dépendent des motifs, certains entraînant davantage de changements que d'autres qui ont une inertie plus forte. Ces écarts dépendent également des modes de transports utilisés, d'autant qu'une minute de différence en marche à pied n'a pas la même valeur qu'une minute en bus, train ou encore en voiture, où le confort de déplacement est plus important.

En marche à pied comme en voiture, les temps de déplacements les plus courts sont ceux des étudiants se rendant au lycée ou à l'université, avec des temps compris entre 12 et 19 minutes. C'est

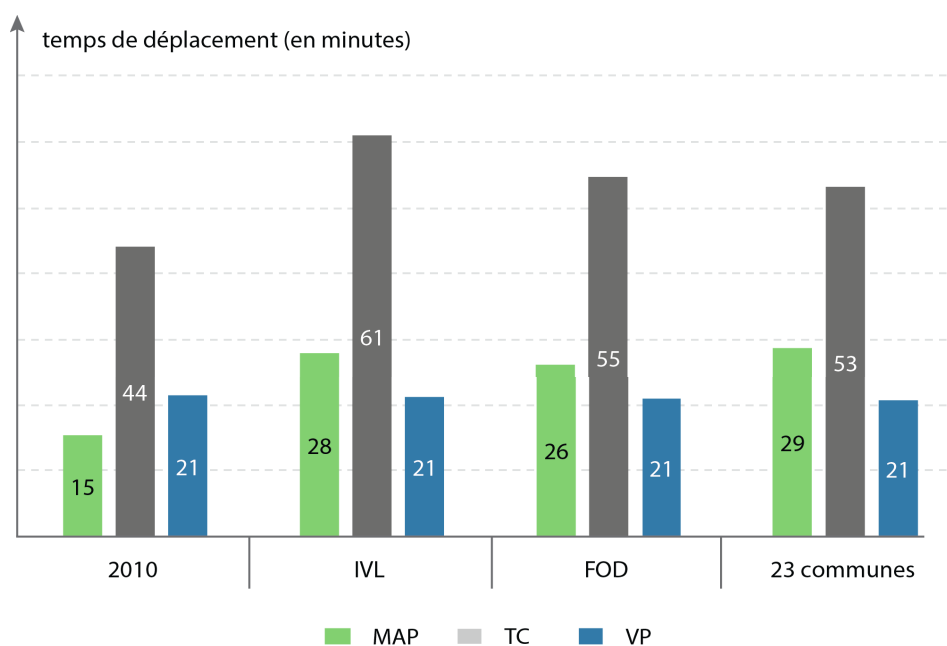


FIGURE 8.18 – Comparaison des budgets-temps moyens par déplacement et par mode entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030 (en minutes)

le scénario FOD qui permet de minimiser ces temps de déplacements. En transports en commun, le scénario des 23 communes rapproche davantage les étudiants de leur destination, avec un temps moyen de 38 minutes, contre 42 minutes pour le FOD et 46 minutes pour l'IVL ; en 2010, le temps moyen était de 31 minutes. D'ailleurs, quelque soit le motif de déplacement, les temps passés dans les transports en commun augmentent du fait d'un éloignement entre les lieux de destinations et les lieux de développement résidentiel, d'autant qu'il n'y a pas d'extension du réseau de transports collectifs intégrés à la présente démarche de simulation.

Si les distances moyennes parcourues en marche à pied ont triplé, des écarts non négligeables existent en fonction des motifs de déplacement. Comme nous l'avons vu lors de l'analyse des parts modales, le scénario FOD permet de minimiser les temps de parcours afin d'effectuer une visite à des amis ou de la famille : de 19 minutes en 2010 à 24 minutes pour ce scénario contre 30 minutes dans le scénario des 23 communes. Là aussi, quel que soit le motif, le scénario FOD obtient les meilleurs résultats pour la marche à pied.

Nous venons de voir que les temps de déplacements en voiture entre 2010 et les trois scénarios restaient identiques avec 21 minutes en moyenne. De subtiles variations existent en fonction des activités à réaliser. Pour l'accompagnement scolaire, le temps moyen de 14,6 minutes en 2010 passe à 14,3 minutes pour l'IVL, 14,4 minutes pour le FOD et 15 minutes pour le scénario des 23 communes. Pour le motif achat, quel que soit le scénario, le temps de déplacement en voiture augmente

d'environ un demi point de pourcentage. Afin de se rendre au travail, le temps passé dans la voiture croît d'une minutes entre 2010 et 2030 et même d'une minute trente environ pour le scénario IVL. Des écarts semblables peuvent être observés dans le cadre des loisirs. La fréquentation du réseau social en voiture ne génère pas de temps de déplacement supplémentaire, à l'exception une nouvelle fois du scénario IVL.

Les résultats obtenus dans l'analyse des temps de déplacement assoient les hypothèses explicatives émises sur des indicateurs précédents. La mobilité quotidienne simulée dépend fortement de l'interaction spatiale entre les espaces résidentiels, notamment ceux issus des scénarios de développement et de la localisation des aménités, des emplois et de la population. Sans générer de nouvelles aménités ni d'étendre les réseaux routiers et de transports publics, une amélioration des conditions de mobilités quotidiennes reste possible. Toutefois, avec un nombre conséquent de résidents, générant de nouvelles circulation, il existe une certaine dégradation des conditions de circulation, notamment en voiture. L'étude de la congestion associée aux scénarios, vue par les baisses de vitesses des déplacements, devrait permettre de confirmer ces affirmations.

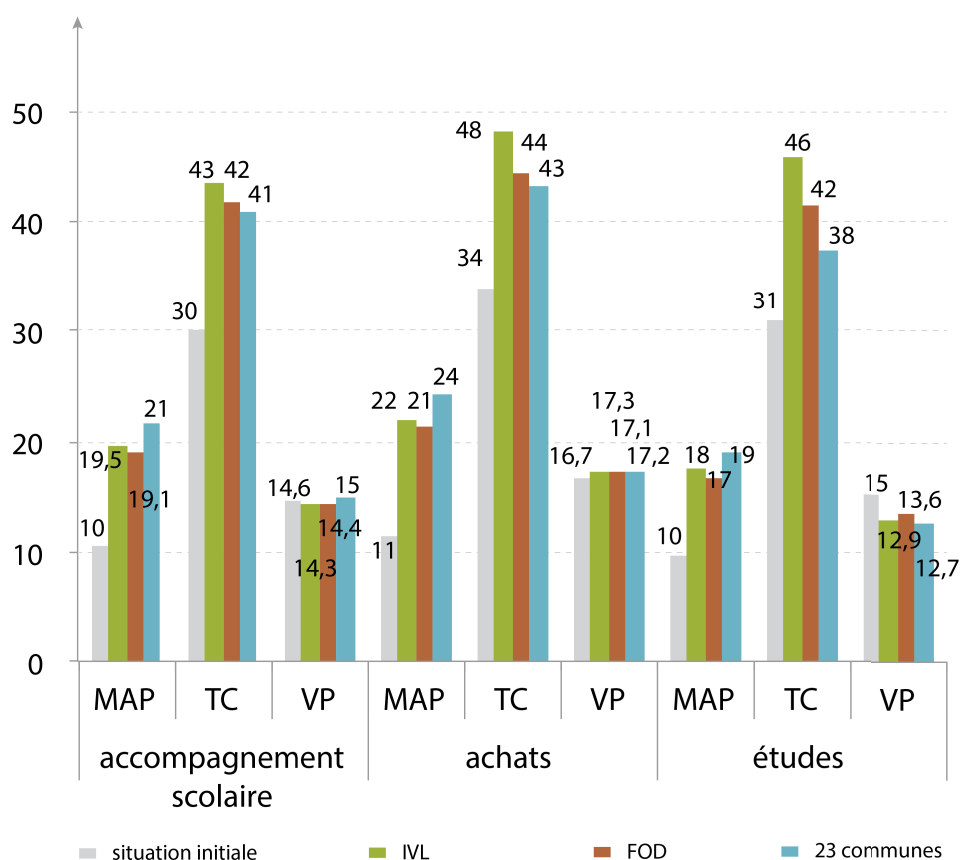


FIGURE 8.19 – Comparaison des budgets-temps moyens par déplacement, par motif et par mode entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030 (en minutes)

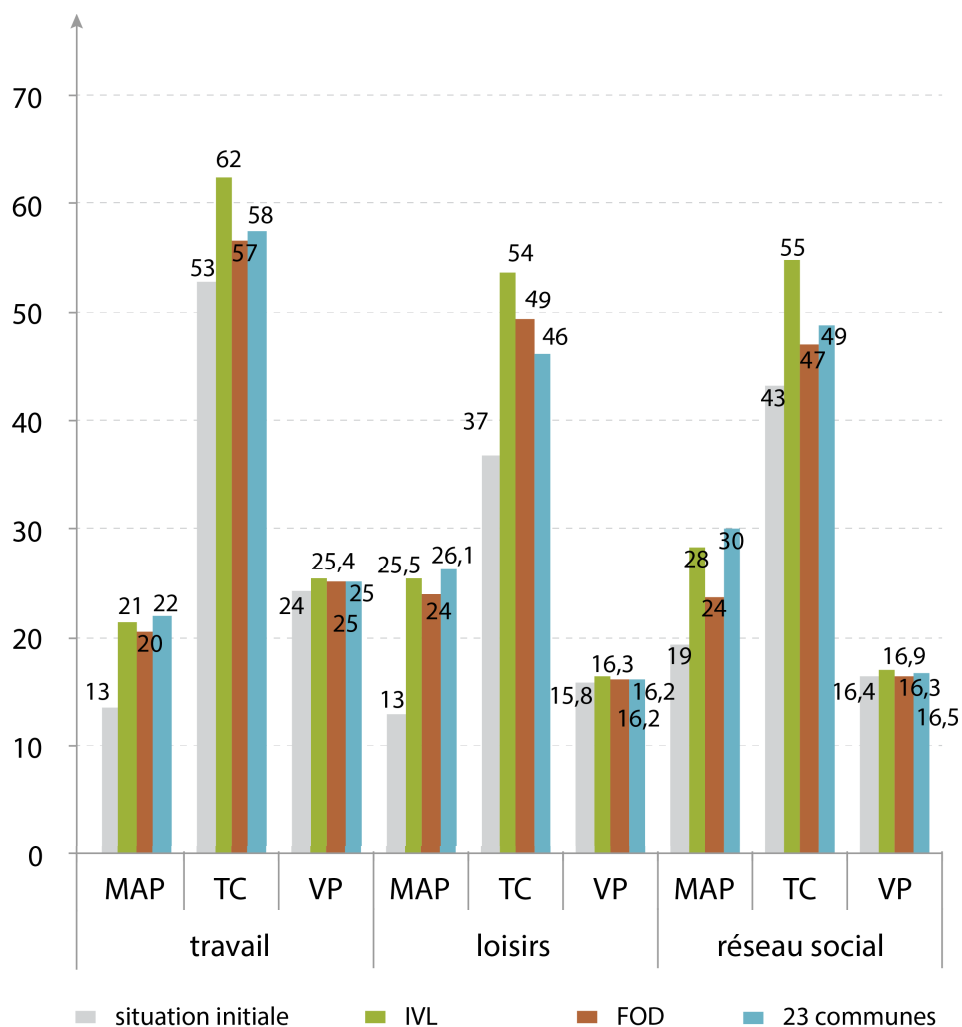


FIGURE 8.20 – Comparaison des budgets-temps moyens par déplacement, par motif et par mode entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030 (en minutes)

4.5. La vitesse moyenne en voiture

La figure 8.21 présente le calcul des écarts de vitesses constatés entre la situation initiale et chaque scénario, par tronçon de route et concernant la circulation automobile. Les vitesses sont mesurées entre 8h et 9h, à l'heure de pointe, où la circulation est la plus importante. Les pertes de vitesses, conséquences de la congestion, nous intéressent principalement ; il s'agit des tronçons représentés en rouge par un trait plus épais. On constate que la distribution spatiale de ces pertes de vitesses sont liées aux formes du développement résidentiel.

Le scénario IVL est le plus dispersé à l'échelle globale, les tronçons les plus touchés par le phénomène de congestion sont répartis sur le territoire à l'échelle nationale. Des baisses importantes de vitesse (supérieures à 10km/h) peuvent être constatées autour de la capitale, où de nombreux résidents et frontaliers se rendent pour travailler. Les échangeurs autoroutiers du sud du pays sont également concernés. On constate également des diminutions des vitesses de circulation en provenance du nord du pays, aux abords des agglomérations de Wiltz, Clervaux et de la Nordstad. Pour les 56 000 tronçons étudiés, la vitesse moyenne diminue de 0,4km/h.

Les baisses de vitesses aux heures de pointe dans le scénario FOD suivent également les formes du développement résidentiel simulées. On retrouve trois grands axes de congestion, où la nouvelle population est concentrée. Comme pour le scénario IVL, les abords de la capitale et le sud du pays sont plus difficiles d'accès pour se rendre au travail le matin. C'est également le cas depuis l'axe de développement en direction de l'est du pays, avec les communes de Mersch, Biwer, Betzdorf, et Niederaven à proximité de Luxembourg-Ville. Le troisième axe concerne les mobilités en voiture dans le nord du pays. Dans le cadre du scénario FOD, les communes le long de la voie ferrée à destination de Troisvierges ont fait l'objet de nombreuses constructions dont on observe ici une des conséquences. Toutefois, contrairement au scénario IVL, les gains de vitesse sur d'autres tronçons (en vert) semblent plus importants. Il semblerait également que la circulation au sein de Luxembourg-Ville soit légèrement plus rapide. Dans ce scénario, la vitesse moyenne baisse de 0,3%.

Le scénario des 23 communes est le plus concentré au niveau global, les baisses des vitesses de circulation le sont également. La circulation autour (et à l'intérieur) de la capitale et dans le bassin minier semble fortement ralentie, avec une forte présence de tronçons où la baisse dépasse les 10km/h mais aussi de nombreuses routes où cette baisse est comprise entre 5 et 10km/h (en orange) ce qui, en moyenne, est déjà considérable. Comme nous l'avons vu lors de l'allocation résidentielle, la localisation d'une grande partie du développement résidentiel dans la Nordstad entraîne des conséquences majeures sur la circulation, avec de nombreux tronçons souffrant de congestion

autour de l'agglomération septentrionale du pays. En dehors des trois pôles, les vitesses de circulation augmentent. La baisse de vitesse moyenne est la plus importante dans ce scénario, avec une diminution de 0,5km/h.

La figure 8.21 fournit en complément une synthèse statistique de ces variations de vitesse en fonction des trois scénarios, du nombre et de la longueur des tronçons concernés. Si le scénario des 23 communes semble être celui où les pertes de vitesse touchent le moins de tronçons et mécaniquement le moins de kilomètres, les conditions de circulation les plus lentes sont atteintes dans le cadre de ce scénario. Le matin entre 8h et 9h, 108 kilomètres de route connaissent de forts ralentissements, dépassant les 10 km/h en moyenne et atteignant parfois plus de 30 km/h. Dans le même temps ce sont seulement 73 kilomètres qui sont touchés pour le scénario FOD et 43 kilomètres pour le scénario IVL. Comme l'illustre la carte correspondante, les tronçons routiers du scénario IVL subissent le plus de pertes de vitesses, avec près de 10 000 kilomètres de route en ralentissement (une bonne partie étant minimales), soit 22% du total. Dans l'autre sens, le scénario des 23 communes induit une augmentation des vitesses de circulation sur près de 14% du réseau, situé à l'écart des grands axes de circulation entre la Nordstad, le bassin minier et l'agglomération de Luxembourg-Ville. Pour chacun des trois scénarios, près de deux tiers des routes, notamment le réseau secondaire beaucoup moins emprunté, ne fait pas l'objet de pertes de vitesse.

4. Les résultats de la comparaison des scénarios en matière d'indicateurs de mobilité quotidienne

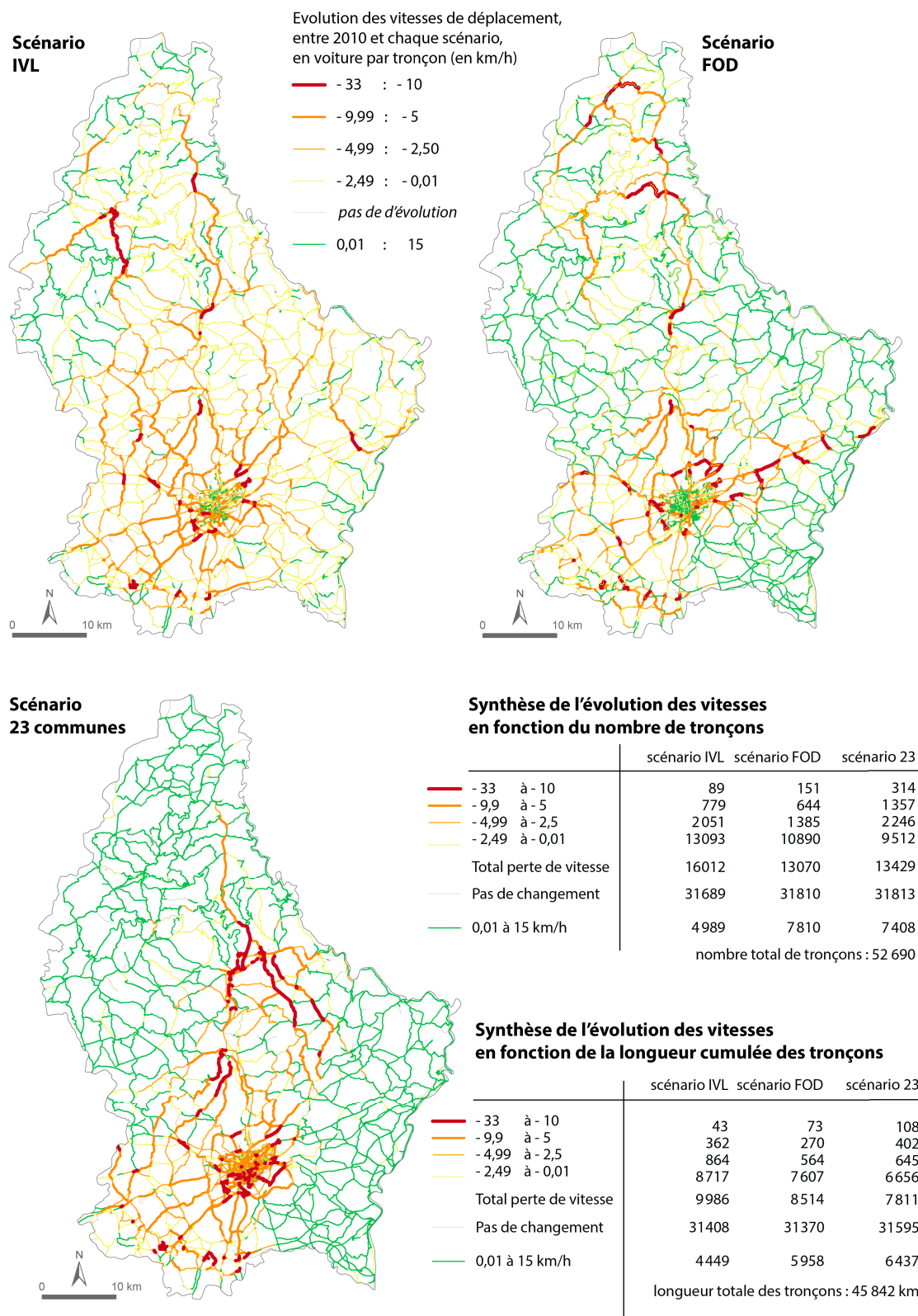


FIGURE 8.21 – Comparaison des vitesses de circulation en voiture par tronçon, de 8h à 9h, entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030 (en km/h)

5. Conclusion du chapitre 8

L'objectif principal de ce huitième et dernier chapitre était de comparer les scénarios de développement résidentiel à l'aide d'indicateurs de mobilité quotidienne. En d'autres termes, il importait de voir comment, au travers de la simulation des comportements de mobilité quotidienne, les agents pouvaient bénéficier ou non des potentialités induites par les nouvelles formes de développement résidentiel.

Dans ce contexte, l'allocation résidentielle formait un pré-requis afin de localiser la population composée de ménages, dans les logements simulés par les scénarios. Les résultats issus de cette partie du travail de thèse ont fait l'objet d'une rapide description, même si d'autres aspects de ce volet auraient pu être développés, comme la répartition spatiale des rentes foncières et des utilités par exemple.

Nous l'avons vu en conclusion du chapitre 7, les mesures d'accessibilité spatiales à différentes aménités et à l'aide de plusieurs types d'indicateurs n'ont pas permis d'identifier un scénario qui soit clairement le meilleur parmi les huit qui ont été simulés, même si un petit groupe de scénarios font l'objet de meilleures évaluations. À l'aune des simulations de mobilités quotidiennes pour trois scénarios (IVL, FOD et 23 communes), il devient cependant possible d'apporter quelques précisions.

Le report modal en faveur des transports en commun et de la marche à pied au détriment de la voiture, quel que soit le scénario, est un premier résultat très encourageant. De plus, les évolutions de ces changements de modes de transports entre 2010 et 2030 sont de l'ordre d'une dizaine de points, soit 30 à 40% supplémentaires de déplacements à pied, en bus ou en train et environ 15% de déplacements en voiture de moins. Les meilleurs résultats obtenus avec le scénario FOD confirme le lien entre la proximité des espaces résidentiels au réseau de transports publics et leurs utilisation (??). L'analyse au niveau communal des évolutions de parts modales apporte une information supplémentaire aux indicateurs agrégés, dans la mesure où de réels contrastes apparaissent à l'échelle nationale même si certaines dynamiques restent difficiles à expliquer, comme les variations dans les distances ou les temps de déplacement en fonction de certains motifs, où les différences locales entre deux communes pourtant voisines et partageant des caractéristiques similaires (éloignement à la capitale, équipements en commerces...).

Le lien entre forme urbaine et distance moyenne parcourue quotidiennement doit passer par

une lecture modale. Entre la situation initiale et les scénarios, il semblerait que les agents parcourent de plus longues distances. Cependant, les distances en voiture diminuent, tandis que les distances en transports en commun et en marche à pied augmentent fortement. Plusieurs explications sont possibles : 1) le report modal a aussi été effectué par des individus se déplaçant sur de longues distances (du nord du pays vers la capitale par exemple) ; 2) malgré une offre en aménités de proximité conséquente (voir chapitre 7), les individus choisissent de fréquenter des lieux éloignés de leur domicile, à proximité de leur lieu de travail, du fait des pérégrinations et des chaînes d'activités. Quoiqu'il en soit, chaque scénario engendre des changements dans les distances moyennes parcourues, ce qui montre l'intérêt des règles de développement résidentiel appliquées dans la construction des scénarios.

Enfin, l'analyse des budget-temps et des vitesses de congestion établit un lien entre saturation des réseaux de transports (ici routiers) et report modal. Les transports en commun et la marche à pied étant beaucoup plus utilisées dans les scénarios que dans la situation initiale, il est logique que les temps de déplacements qui leur sont accordés augmentent. L'analyse des baisses de vitesses de circulation apporte une information supplémentaire, avec la répartition spatiale de la congestion due aux nouvelles extensions résidentielles. La concentration du développement résidentiel induit une corrélation spatiale avec la congestion sur les routes voisines, avec des ralentissements de plus en plus conséquents à proximité des espaces accueillant le plus de nouveaux ménages. Ainsi, les baisses de vitesses observées dans le cadre du scénario des 23 communes touchent moins de tronçons que dans le cadre du scénario IVL et pourtant, c'est le scénario qui subit le plus de congestion. Le scénario FOD, qui connaît le report modal le plus favorable vers les alternatives à la voiture semble le moins concerné par les questions de congestion, ce qui conforte l'idée de la rétroaction sans toutefois répondre à la question : est-ce à cause de la congestion que les agents circulent plus à pied, en bus ou en train, ou l'inverse ?

Conclusion de la troisième partie

CETTE TROISIÈME et dernière partie a été l'occasion de confirmer l'hypothèse générale de la thèse concernant le lien entre les formes du développement résidentiel et les mobilités quotidiennes qui y sont associées. Deux étapes de travail ont été nécessaires avec d'abord les calculs d'accessibilité spatiale puis la simulation des mobilités quotidiennes.

Les différentes mesures d'accessibilité, distance à la plus proche aménité, comptage dans un voisinage, accessibilité à plusieurs types d'aménités, ont fourni de nombreux résultats. La principale conclusion réside dans l'amélioration quasi systématique des accessibilités entre la situation initiale et les différents scénarios. Ce résultat de contrôle de la forme du développement résidentiel est un argument en faveur de la mise en place de règles strictes. La mise en place d'un modèle fractal de développement résidentiel couplé à quelques règles d'accessibilité permet d'améliorer nettement l'accessibilité à une variété d'aménités (Tannier et al, 2012b). Certains scénarios ont permis de diviser par deux voire par trois la distance minimale aux aménités les plus proches et la distance pour accéder à chaque type d'aménité d'une même fréquence de recours. La synthèse de ces résultats est difficile à effectuer, le classement des scénarios n'étant pas identique d'un indicateur à l'autre. La méthode de classement (Chakar, 2006) utilisée reste simple et discutable, d'autres indicateurs, pondérés et / ou composites auraient pu être développés. Quoiqu'il en soit, l'accessibilité spatiale à différentes aménités représente la traduction concrète d'une offre spatiale à destination de la population qui y réside.

Cependant, pour de multiples raisons, les individus profitent partiellement de cette offre. Personne ne fréquente l'ensemble des commerces de son quartier au retour de sa journée de travail, avant d'aller faire du sport, puis d'enchaîner sur une sortie au cinéma suivie d'une promenade en forêt. La journée n'est composée que de 24 heures. C'est pourquoi la simulation des mobilités quotidiennes, appuyée sur une approche comportementale des agents, apporte un élément nouveau dans la comparaison des scénarios. En faisant circuler, au cours d'une journée type, l'ensemble de la population luxembourgeoise suivant un programme d'activités potentiel et réaliste (fondé sur des

observations empiriques françaises et luxembourgeoises), il est possible d'approcher au mieux une partie du fonctionnement urbain. Même si tous les scénarios n'ont pas fait l'objet d'une telle simulation, des différences conséquentes sont apparues entre les scénarios IVL, FOD et des 23 communes. Alors que le scénario des 23 communes offre probablement le plus de potentialités en matière d'accessibilité spatiale aux aménités, les mobilités quotidiennes issues du scénario FOD permettent davantage de report modal vers la marche à pied et les transports en commun. Le scénario des 23 communes, avec son développement résidentiel très concentré à l'échelle globale, génère plus de congestion sans toutefois que celle-ci ne favorise nécessairement un changement de mode. Le scénario IVL, pourtant spatialement plus dispersé, représente sur la base des indicateurs retenus, une alternative plutôt intéressante.

De nombreuses étapes ont été nécessaires afin de parvenir à ces résultats mais le couplage entre les sorties de MUP-City, le modèle d'allocation résidentielle de MOEBIUS et MobiSim apparaît comme une approche intéressante et innovante, surtout dans le cadre d'une application au Luxembourg. Les dynamiques en vigueur au Grand-Duché lui confèrent un statut de laboratoire d'aménagement du territoire, sur le plan de la simulation tout du moins. À l'instar du projet VIL-MODEs, les outils de simulation à disposition permettent d'intégrer une grande partie des éléments qui composent le système morphologique de la ville et de son fonctionnement. L'outil ainsi mis en place permet un réel apport en matière d'aide à la décision tant sur le plan des politiques publiques que des techniques d'aménagement. Même avec une quantité de données limitée voire incomplète, une approche par des « faits stylisés », sur la base de solides expériences de recherche, permet l'utilisation d'une méthodologie désagrégée dont l'intérêt réside tant sur la possibilité de naviguer entre les échelles d'analyses, que l'intégration de subtilités (spatiales, comportementales) aux niveaux les plus fins.

CONCLUSION GÉNÉRALE

« Quand j'arrive dans une ville, je vais toujours sur le plus haut clocher ou la plus haute tour pour voir le tout ensemble, avant de voir les parties ; et, en la quittant, je fais de même pour fixer mes idées. »

Montesquieu, 1728

AU REGARD de ce travail de thèse, l'intérêt de l'approche normative en aménagement, telle que décrite dans l'introduction générale, réside dans le fait d'avoir pu évaluer, à l'aide de la simulation spatiale, l'impact de la forme urbaine sur les mobilités quotidiennes. Pour ce faire, une série de scénarios d'aménagements réalistes ont été construits en respectant des objectifs d'aménagement issus de normes et de règles concrètes, basées sur la littérature et tenant compte des aspects contextuels. Comme indiqué au cours du premier chapitre, bon nombre de préconisations de formes urbaines, modèles de villes ou utopies, intègrent des normes qui font ensuite l'objet d'une traduction sous forme de règles. Ces normes et ces règles peuvent être de nature différente et toucher à de multiples aspects de l'urbain, et ce, à différentes échelles : répartition au niveau global du développement résidentiel, localisation au niveau local, densité, accessibilité, intégration de la ville et de ses espaces avoisinants...

La proposition méthodologique de construction de scénarios d'aménagement faite dans la thèse intègre cinq aspects majeurs : les projections démographiques, la densité bâtie, la forme urbaine (locale et globale), l'accessibilité aux aménités et les restrictions de construction. Disposer de solides projections démographiques devrait former tout point de départ d'une telle démarche de simulation, afin de quantifier les besoins en logements. Cette demande de logements est ensuite convertie en potentiel de développement résidentiel, c'est-à-dire une quantité de surface à urbaniser en vue d'accueillir les nouveaux ménages. Dans ce sens, les normes de densité bâties jouent un rôle prépondérant. Par la suite, les normes de répartition globale et locale du développement résidentiel ainsi que l'accessibilité à des aménités variées servent à orienter les localisations des futurs logements afin d'atteindre le ou les objectifs fixés. Chacun de ces points nécessite la mise en place et la discussion de normes, puis leur transposition en règles. Le chapitre 5, dédié à l'évaluation de la pertinence des règles au regard des objectifs visés, a permis de mettre l'accent sur les difficultés pour l'aménageur de définir des règles strictes d'aménagement et de mesurer leurs impacts sur la démarche de construction des scénarios. Nous avons pu constater l'importance des seuils et des critères des règles d'aménagement sur les résultats de simulation. S'il semble important de se référer à la littérature et aux expériences antérieures dans la définition des règles, il n'empêche que le recours à la simulation permet de tester une grande variété de mesures *in-vitro* sans qu'il soit possible d'ef-

fectuer les mêmes tests de façon empirique (?). De fait, la *ville d'essai* à même de « métamorphoser subitement le monde social » proposée par Fourier en 1822 semble s'éloigner. La démarche déductive proposée ici se fonde sur l'objectif à atteindre, celui de la ville durable, et la mise en place d'une méthode exploratoire afin d'identifier précisément les leviers afin d'y parvenir. Dans cette optique, la rétroaction entre les évaluations *ex-ante* et *ex-post* revêt un intérêt majeur.

Cette procédure implique cependant la multiplication de seuils, de règles, de tests et d'aller-retours qui ne facilitent pas la comparaison raisonnée de scénarios. Ainsi, au nombre de huit, puis de trois dans le huitième chapitre, ces scénarios de développement résidentiel ont tout de même fait l'objet de comparaisons plus ou moins systématiques. D'abord, les mesures d'accessibilité spatiale nécessitent d'effectuer une succession de choix sur les indicateurs retenus et sur la façon de hiérarchiser les scénarios. La prédominance des scénarios des 23 communes, de la densité ou du *Fractal-Oriented Development* dans ces résultats, révèlent un caractère évident mais essentiel du développement résidentiel : celui-ci doit-être contenu, confiné spatialement au risque de constater des baisses généralisées de l'accessibilité. Néanmoins, le développement résidentiel possède un caractère inéluctable (Lord et al., 2015). La forme urbaine globale, autrement dit la répartition spatiale du développement résidentiel dans certaines communes plutôt que d'autres tient une place prépondérante (Tannier et al., 2012a). En sélectionnant trois scénarios relativement contrastés pour la simulation des mobilités quotidiennes, les résultats devaient laisser apparaître de forts contrastes. Si des différences ont clairement été identifiées au sein du dernier chapitre, il n'en demeure pas moins que le sens des dynamiques observées est assez similaire entre les scénarios IVL, FOD et des 23 communes, avec une baisse de l'usage de la voiture et une augmentation de la marche à pied et des transports en commun, malgré des formes globales assez opposées.

La relative proximité des résultats tient sur plusieurs aspects. Premièrement, le territoire est sujet à une certaine inertie ; en l'absence de nouvelles extensions des voies de communications (routières et ferroviaires) ou d'intégration de nouvelles formes de mobilités, la circulation de la population en 2030 s'effectue sur les mêmes supports qu'en 2010, ce qui a pour conséquence de faciliter les comparaisons mais de restreindre des comportements alternatifs ou innovants. Par exemple, dans les préceptes qui accompagnent le concept urbanistique du « TOD » (Calthorpe, 1993) figurent d'une part la localisation des habitations à proximité des nœuds de transports en commun, mais aussi le développement de cheminements piétons, de forme globalement maillée, afin d'améliorer la connectivité des fonctions urbaines en privilégiant des modes doux. Dans ce sens, et pour compléter la démarche de construction des scénarios, la génération de réseaux pédestres aurait pu s'envisager. Le développement urbain doit aussi s'accompagner d'un développement commercial

de proximité, avec des aménités urbaines à proximité de ces nœuds de transports (notamment aux intersections avec le réseau pédestre) ce qui pose la question de la localisation des commerces ou services, voire des emplois. En effet, d'un scénario à l'autre, les lieux de destinations des activités sont identiques. Sans générer de nouvelles aménités (ou de les relocaliser), il existe une forme de dépendance des comportements de mobilités, comme des mesures d'accessibilité, à la répartition spatiale des aménités. La question de la localisation des aménités a d'ailleurs fait l'objet de nombreuses réflexions au sein du projet VILMODEs, sans qu'aucune réelle solution ne soit apportée en matière de simulation spatiale des évolutions du tissu économique, notamment en ce qui concerne les commerces, services, aménités vertes ou de loisirs. Une réflexion similaire a été menée dans le cadre du projet MOEBIUS où un scénario tentait de prendre en considération le développement économique de Belval, avec un nombre d'emplois augmentant fortement. Des changements au niveau de la répartition des parts modales ont alors été observées pour les déplacements domicile-travail. Dans notre cas, les phases de scénarisation se sont davantage focalisées sur les formes du développement résidentiel.

Ainsi, l'un des aspects prépondérants de la démarche de scénarisation réside dans l'utilisation du modèle fractal de croissance résidentielle, qui passe par la génération de formes fractales semi-aléatoires. Cet aléa constitue un atout non négligeable dans la forme locale du tissu résidentiel, mais pose la question de la reproductibilité des résultats d'une simulation à l'autre. En considérant les mêmes entrées (paramétrage du modèle, terrain d'étude, dimension fractale identique) et les mêmes critères de constructions de scénario, il reste impossible d'obtenir exactement les mêmes formes en sortie du modèle. En ce sens, comme évoqué lors du chapitre 4, MUP-City, qui reste un outil d'aide à la décision, ne sert pas à identifier une solution optimale unique, mais permet de parcourir un éventail de solutions possibles. MUP-City est un modèle multi-échelle dont l'ensemble du fonctionnement général repose sur la décomposition des règles, y compris fractale selon une grille à chaque niveau d'échelle. Le positionnement de la grille, s'effectuant au plus haut niveau d'analyse jusqu'à ce que l'ensemble de la zone étudiée soit comprise dans une seule cellule, devient alors prépondérant. Un décalage de cette grille, de quelques centaines de mètres seulement, couplé au caractère aléatoire du générateur de fractales, peut alors produire des résultats localement très différents (Gruson et al., 2010).

Le modèle d'allocation résidentielle, employé d'abord pour une simple raison méthodologique ayant pour finalité la localisation de la population synthétique dans les espaces de développement résidentiel des différents scénarios, montre des aspects intéressants. Dans le cadre de la thèse, les analyses en sortie du modèle se concentrent sur la répartition spatiale de la population au niveau

communal. Toutefois, ce modèle est également totalement désagrégé, et aurait pu servir à des approfondissements à des échelles encore plus locales tout en intégrant les caractéristiques socio-économiques des ménages (âge, type de ménage, revenus...). De même, d'un point de vue d'économiste (ou de géographe économiste), il pourrait exister un fort intérêt dans le croisement de la démarche de construction des scénarios d'aménagement et de la distribution spatiale des valeurs d'utilités et de rentes foncières, telles que disponibles en sortie du modèle. Ces aspects avaient déjà été relevés au sein du projet MOEBIUS (Gerber et al., 2013), démontrant des différences nettes en matière d'utilité et de « bien-être économique » entre les scénarios *Inner City Development* et *Business as Usual*.

L'application d'un modèle de mobilité quotidienne, tel que MobiSim, induit également un certain nombre de choix de paramétrage. En l'absence de données fines ou du moins détaillées sur les comportements existants de mobilité quotidienne au Luxembourg, il semblait néanmoins difficile d'approfondir ces aspects, même s'il a été possible d'envisager certains calages à partir de données d'enquêtes ad hoc. Dans la thèse, le choix modal n'est composé que de trois modes (marche à pied, transports en commun et voiture) alors que la plateforme permet d'en utiliser jusqu'à neuf (marche à pied, cycles non-motorisés, bus, bus à haut niveau de service, tramway, métro, cyclomoteurs, motos, voitures). L'intégration du projet de Tramway à Luxembourg-Ville, dont l'arrivée est prévue pour 2018, sur le même principe que celui de Besançon dans le cadre de VILMODes (arrivé en 2015), aurait pu constituer un déterminant de l'évolution des conditions de mobilité. Toutefois, la problématique de la thèse étant concentrée sur le lien entre forme urbaine et mobilité quotidienne, le choix effectué a été de restreindre les variations entre les scénarios aux normes et règles du développement résidentiel. Dans cette démarche, la mobilité quotidienne, a fortiori durable, est un objectif résultant des scénarios et non un levier d'action principal. Aussi, l'évolution du prix des carburants dans le coût kilométrique en voiture ou encore les destinations d'activités pour le modèle gravitaire n'ont pas évolué.

Le choix du Grand-Duché du Luxembourg comme terrain d'application, conditionné en partie par le cadre du projet MOEBIUS, possède un intérêt scientifique indéniable. Le pays possède des caractéristiques géographiques telles qu'elles permettent l'application de notre démarche : une surface de 2 500 km², une capitale métropole d'à peine plus de 100 000 habitants, un nombre de grandes communes restreint. Petit par la taille, il n'en demeure pas moins un laboratoire, presque un incubateur, idéal pour mener ce genre d'expérimentation. Comme nous l'avons vu lors du deuxième chapitre, le Luxembourg est confronté à des dynamiques relativement exceptionnelles pour un pays d'Europe occidentale, avec une croissance démographique soutenue, fortement cor-

réglée à une croissance économique marquée et finalement assez peu touchée par la crise financière de 2008. De ces dynamiques découlent trois objectifs majeurs que sont : i) la localisation de cette croissance démographique ; ii) la réduction de la consommation foncière induite par la demande croissante en logements et iii) la réduction de la dépendance automobile. Par ces tendances, on évite aussi l'inertie de certains scénarios, tels qu'observés dans le cadre du projet VILMODEs. Du fait de la démarche de scénarisation, plusieurs normes d'aménagement ont ainsi pu être évaluées. Les modifications du contexte global ont appuyé ou non la hiérarchie des centres et le polycentrisme existant. Certains scénarios ont servi à simuler une politique de densification résidentielle par la mise en place de règles strictes de densités de construction. L'amélioration de l'accessibilité à une grande variété d'aménités a constitué une partie centrale du questionnement, tout comme une réflexion sur le fait d'identifier des leviers visant à favoriser les déplacements en modes doux ou en transports en commun. Certains objectifs du gouvernement luxembourgeois, identifiés dans les documents stratégiques, n'auront pas forcément été atteints lors des différentes simulations, comme le report modal de la voiture vers les transports en commun à une hauteur de 25% et les modes doux à un niveau de 25% également. Pourtant, les règles de constructions des scénarios peuvent être considérées comme strictes, comme celui des 23 communes ou le FOD. Il convient alors de s'interroger sur les limites de ce caractère strict et les facteurs de progression dans l'atteinte des objectifs : existe-t-il d'autres moyens, non identifiés dans le cadre de cette démarche, qui permettraient de répondre aux objectifs visés ? À l'inverse, des leviers d'actions semblent avoir été mobilisés pour correspondre aux attentes des politiques publiques. Dans la diminution de la consommation foncière, la densité de construction joue un rôle majeur, même si c'est loin d'être le seul. Aussi, une augmentation même relative de cette densité et une meilleure répartition du développement résidentiel à l'échelle communale constituent des pistes à approfondir. Les résultats issus de la simulation des mobilités quotidiennes à la fin de la démarche de modélisation justifient à eux seuls l'apport du raisonnement aux problématiques luxembourgeoises.

L'application de cette démarche de simulation représente aussi un certain défi méthodologique et technique. Du début à la fin de la méthode, trois modèles ont été couplés : MUP-City pour le développement résidentiel et les mesures d'accessibilité spatiale, MOEBIUS pour le développement résidentiel (en comparaison), et la population synthétique ainsi que l'allocation résidentielle, et enfin MobiSim pour la simulation de la mobilité quotidienne. L'articulation de ces différents outils a nécessité la mise en relation de leurs données d'entrées, de leurs sorties (statistiques et / ou spatiales) et un dialogue permanent avec un système d'information géographique. De plus, le choix de travailler à une échelle fine a conduit à démultiplier l'information dans les limites des données disponibles, et le cas échéant, à créer la donnée.

Malgré des dimensions géographiques restreintes, une résolution de 20 x 20 mètres au Luxembourg nécessite la mise en place d'une grille composée de 13 millions de cellules. Même en effectuant de simples opérations dans un système d'information géographique (sélections, tris, exports...), les opérations peuvent s'avérer longues voire inopérantes. La plupart des calculs issus de ce travail n'auraient pas abouti sans l'utilisation de serveurs de calculs dotés d'une puissance conséquente et de grandes capacités de stockage. Une seule affectation en sortie de MobiSim, contenant par exemple les 2,88 millions de déplacements et leurs attributs pèse environ 2Go.

D'ailleurs, la quantité de résultats en sortie des différents modèles pose (après la question de leurs analyses et interprétations thématiques) celle de leurs traitements, notamment graphiques et cartographiques. L'approche désagrégée revêt de nombreux atouts dans la prise en compte de processus complexes, mais soulève la question de la transcription des résultats. Lorsqu'un agent ou une cellule correspondent à une ligne d'un tableur, il n'est pas question de sortir un tableau de plusieurs centaines de milliers ou de millions de lignes. Les médias à disposition demeurent limités, que ce soit du point de vue des écrans numériques et de leurs résolutions, des contraintes numériques grandissantes du fait de la multiplication des supports (ordinateurs, tablettes, *smartphones*), ou pire du papier où dans le cadre de productions scientifiques européennes, le format A4 de 297x210mm domine largement. De fait, et nous l'avons constaté à de multiples reprises au cours de ce travail, la représentation de travaux pourtant menés à un niveau désagrégé ne peut se faire qu'en recourant à une forme d'agrégation des résultats, au niveau communal, au travers d'un carroyage... Il semble alors légitime de s'interroger sur le sens thématique d'une agrégation à la commune de données individuelles (?), comme les caractéristiques socio-économiques, une donnée de choix modal ou encore une utilité économique. Réaliser une moyenne des utilités individuelles au niveau communal demeure relativement gênant, mais l'analyse de distributions statistiques, à l'aide de boîtes de dispersion par exemple, apporte déjà un premier élément de réponse. La mise en place de plateformes numériques d'exploration de données, interactives et relativement universelles (le langage HTML5 permet une grande portabilité sur les supports) serait à même d'améliorer ces aspects techniques de restitution de l'information.

Les comparaisons des scénarios à l'aide d'indicateurs d'accessibilité spatiale ont soulevé des interrogations quant à l'agrégation des différents indicateurs en une valeur synthétique d'évaluation. Le recours à une telle méthode éviterait l'écueil des méthodes de classements. La mise en place d'une méthode afin de pondérer les indicateurs sur la base de profils de ménages et de leurs aspirations résidentielles, constitueraient une amélioration notable. Les attentes d'un couple avec de

jeunes enfants n'étant pas les mêmes que pour une personne âgée, il deviendrait possible de conférer aux espaces potentiellement urbanisables des orientations à privilégier. La prise en compte des profils des ménages ou individus serait également une perspective intéressante dans l'exploitation des résultats issus de la mobilité quotidienne, avec des analyses plus fines sur des groupes d'individus plus ou moins vulnérables sur le plan de la mobilité : personnes âgées, jeunes enfants, familles monoparentales, etc. Par ailleurs, la génération de nouveaux réseaux de transports (notamment routiers) et de nouvelles aménités en cours de simulation serait aussi intéressante pour comprendre les processus qui lient la forme urbaine aux mobilités quotidiennes.

Le présent travail de recherche doctorale offre des perspectives nombreuses et variées en rapport avec certains résultats obtenus. Par exemple, le travail d'exploration de la littérature en matière de préconisation de formes urbaines pourrait se poursuivre afin d'identifier d'autres objectifs, normes et règles au sein de cadres spatio-temporels différents, ce qui constitueraient un certain enrichissement de la pensée urbanistique.

Ultérieurement, le travail de simulation, a fortiori dans l'évaluation d'une démarche normative appliquée à l'aménagement, se doit d'intégrer une partie des acteurs locaux, responsables politiques, aménageurs ou citoyens ; se pose alors la question de leur niveau d'intégration. Si les objectifs sont définis par les politiques publiques aidées par des groupes d'experts, qui doit se charger de la définition des normes et des règles d'aménagement ? L'intégration des acteurs dans la démarche de construction des scénarios, dans le choix des variables à retenir et dans la définition des seuils à appliquer représentent un enjeu majeur dans l'application d'une démarche d'aménagement. Il serait envisageable d'aller plus loin en discutant des règles et de leurs seuils, non seulement avec les personnels techniques des collectivités, mais, pourquoi pas, avec leurs résidents ? Cette démarche d'ouverture, sans doute difficile au niveau de la procédure (recrutement du groupe cible, prise en considération des enjeux, obtention d'un consensus par exemple), permettrait sans aucun doute de confronter des résultats prospectifs différentes tout en offrant de nouvelles perspectives d'aménagement ou de développement résidentiel. C'est le sens de la première expérience en cours à Besançon, mobilisant MUP-City en entrée de simulation et l'ensemble de MobiSim, avec la simulation des mobilités résidentielles et des mobilités quotidiennes (?).

ANNEXES

Méthode de calcul des masses pour les commerces et services

Parmi les établissements commerciaux et de service, on peut distinguer plusieurs offres distinctes (Decoville et al, 2011)¹⁰ : l'offre commerciale de proximité, l'offre commerciale de rayonnement, les soins médicaux et les services. L'attractivité de chaque établissement dépend du rayonnement, de la fréquence de recours et de l'attractivité intrinsèque¹¹ de l'aménité (Tannier, 2003). Alors, la masse m d'une aménité est de : $m = r \times f_q \times a$, avec r , le rayonnement (global, intermédiaire, local), f_q , la fréquence de recours potentielle et a , l'attractivité intrinsèque. Le détail des masses est présenté sur la figure 8.22 pour les commerces et services.

Commerces et services	Rayonnement (local = 1, intermédiaire = 2, global = 3)	Fréquence de recours	Attractivité intrinsèque	Masse
Offre commerciale de proximité				
Alimentations générales, biologiques, sportives, épicerie...	1	1	100	100
Boucheries, charcuteries, poissonneries, volailles, fromageries	2	2	50	200
Tabacs, presse/journaux	1	1	200	200
Supérettes	1	1	100	100
Boulangeries, pâtisseries, chocolatiers, confiseurs	1	1	200	200
Offre commerciale de rayonnement				
Fleuristes	2	3	30	180
Lavage de voitures	3	3	10	90
Pressings – blanchisseries	2	3	10	60
Coiffeurs	1	2	30	60
Stations services	2	2	50	200
Commerces de chaussures	3	3	10	120
Commerces de vêtements	3	3	10	120
Supermarchés / hypermarchés	3	2	500	3000
Offre médicale				
Médecins généralistes	2	2	10	40
Dentistes	3	3	10	40
Médecins spécialistes	3	3	10	40
Pharmacies	1	2	100	200
Maisons médicales	2	2	50	200
Hôpitaux	3	3	500	4500
Offre de services				
Agences bancaires	2	3	30	180
Postes	2	2	100	400
Mairies	2	3	10	60
Administrations publiques	3	3	50	450

FIGURE 8.22 – Méthode de détermination des masses affectées aux commerces et services dans le cadre du modèle d'affectation de MobiSim

10. Dans le cadre des travaux de l'Observatoire du Développement Spatial sur la centralité urbaine au Luxembourg.

11. « Il s'agit du pouvoir d'attraction d'un commerce sur la clientèle, indépendamment de l'attraction exercée par le noyau commercial dont fait partie ce commerce. Les "locomotives" en particulier (gros hypermarchés, grandes surfaces spécialisées, [...]) sont des établissements bénéficiant d'une forte attractivité intrinsèque. C'est aussi le cas des maxi-discomptes et de certains magasins particulièrement réputés ou très spécialisés. »

Méthode de calcul des masses pour les aménités vertes et de loisirs

En ce qui concerne les loisirs, on peut distinguer thématiquement, l'offre en espaces verts, l'offre sportive, et l'offre récréative. C'est cette dernière qui a une pondération plus importante. Les bars et les restaurants, qui bénéficient d'une forte fréquentation sont les aménités à l'attractivité la plus forte.

Comme le Luxembourg est très boisé et que les points d'aménités se situent à l'intersection des réseaux et des espaces boisés, la masse des aménités forestières devra être restreinte. Pour les forêts de plus de 2Ha (c'est-à-dire les espaces boisés qui ne sont pas des parcs plus ou moins urbains), la masse est de 1. Pour les espaces verts de moins de 2Ha, et les terrains de sports extérieurs (dédiés à la pratique du football, tennis ou autres), la masse est de 10. Pour les espaces verts plus petits (parcs, jardins, jardins familiaux) et les infrastructures sportives plus conséquentes (gymnases, piscines), la masse est de 100. L'ensemble de ces masses est ensuite agrégé dans un carroyage de 100m, en utilisant une somme des masses des activités localisées dans une même cellule. Il arrive souvent que des terrains de sports ou des parcs urbains soient situés à proximité d'un gymnase, l'attractivité de la cellule n'en sera que renforcée. A l'inverse, les points d'accès aux espaces forestiers, souvent séparés les uns des autres n'ont que peu d'attractivité pris isolément.

Loisirs	Attractivité intrinsèque	Coefficient de pondération	Masse
Offre en espaces verts			
Forêts, bois, de 2 à 100Ha	1	20	20
Forêts, bois, de plus de 100Ha	1		20
Forêts, bois, de moins de 2Ha	10		200
Parcs urbains – jardins publics - jardins familiaux	100		2000
Offre sportive			
Terrains de football	10	30	300
Terrains de tennis	10		300
Terrains de golf	10		300
Fitness centers	100		3000
Gymnases	100		3000
Piscines	100		3000
Offre récréative			
Librairies	10	50	500
Aménités culturelles (théâtre, cinéma, bibliothèques, salles de spectacles)	20		1000
Cafés - Bars	100		5000
Restaurants	100		5000

FIGURE 8.23 – Méthode de détermination des masses affectées aux aménités vertes et de loisirs dans le cadre du modèle d'affectation de MobiSim

Méthode de calcul des probabilités de déplacements des agents pour les motif « loisirs » et « réseau social »

Les probabilités de déplacements des agents pour les motifs loisirs et réseau social, nécessaire à la distribution des activités dans MobiSim, ont été calculées à partir des résultats de l'enquête sur les pratiques culturelles au Luxembourg. Cette enquête, effectuée sur les individus du panel PSELL au LISER, date de 2009 et comprend 1 455 individus. Pour les deux motifs, la méthode employée est identique : 1) recodage des variables de fréquence ; 2) somme des fréquences pour les différents motifs intermédiaires (se promener en forêt ou aller au cinéma par exemple) afin d'obtenir une seule fréquence pour toutes les activités ; 3) application d'un arbre de décision, avec en variable dépendante la fréquence de déplacement pour le motif concerné (loisirs ou réseau social) et en variables indépendantes, les caractéristiques socio-économiques des individus. La méthode CHAID a été employée, avec les paramètres indiqués sur les figures 8.24 et 8.25 ; 4) pondération des résultats de l'arbre de décision par le nombre d'individus par classe et obtention de probabilités finales.

Exemple pour la probabilité d'effectuer des loisirs

1^{ère} étape : Recodage des variables de fréquentation en fonction d'une probabilité journalière : Jamais = 0, épisodiquement, plus rarement = 1/60, régulièrement, au moins une fois par mois = 1/30, une fois par semaine = 1/7, plusieurs fois par semaine = 3/7

2^{ème} étape : Somme des différentes variables numériques pour construire une variable unique « loisirs_jour », qui représente la probabilité pour un individu d'effectuer un déplacement concernant ce motif.

3^{ème} étape : Analyse de cette variable par un arbre de décision, la variable « loisir_jour » étant la variable dépendante et les variables : taille du ménage, sexe, classes d'âge, niveau d'études, statut d'activités, CSP, horaires de travail décalés et nombre d'heures de travail hebdomadaire les variables indépendantes.

4^{ème} étape : Ajout d'une variable « loisirs_classe », qui reprend les trois nœuds obtenus par la classification statistique. Calcul de la pondération de la variable « loisir_jour » par le champ poids de l'individu, contenu dans l'enquête et calcul de la moyenne pondérée par classe d'individus. Ces trois valeurs constituent les probabilités de déplacement pour le motif loisir de chacun des types d'individus.

- salarié / indépendant / chômeur = 0,52 ;
- étudiant ou élève / autre = 0,79 ;
- retraité / au foyer sans autre activité / handicapé = 0,4.

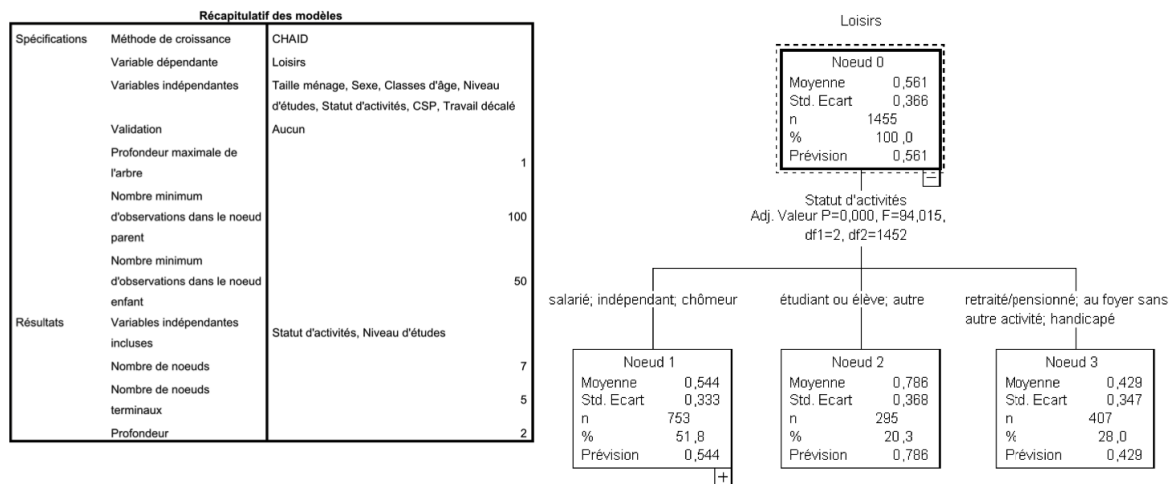
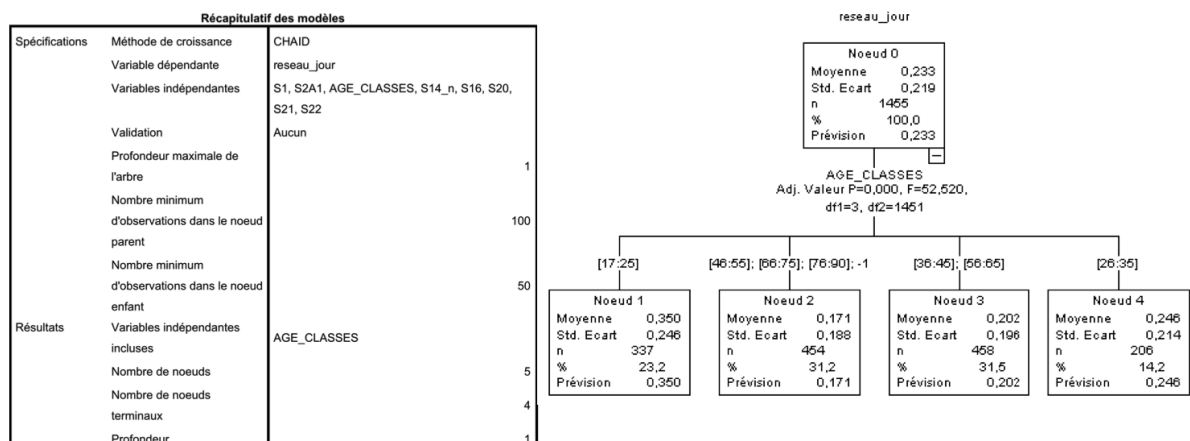


FIGURE 8.24 – Résultats de l'arbre de décisions sur les données de l'enquête relative aux pratiques culturelles, pour le motif loisirs, au Luxembourg en 2009

Exemple pour la probabilité d'effectuer des loisirs

De même que pour les loisirs, la moyenne pondérée par classe a été calculée. On obtient alors deux classes d'individus, les 17-25 ans, avec une probabilité de déplacement de 0,36 et les autres classes d'âge, avec une probabilité de déplacement de 0,21.



S1 = nombre d'individus dans le ménage ; S2 = genre ; S14 = niveau du plus haut diplôme obtenu ; S16 = statut d'activité (actif, retraité, étudiant...); S20 = catégorie socio-professionnelle ; S21 = travail en horaires décalés ; S22 = nombre d'heures travaillées par semaine

FIGURE 8.25 – Résultats de l'arbre de décisions sur les données de l'enquête relative aux pratiques culturelles, pour le motif réseau social, au Luxembourg en 2009

Coupures de presse

« MY HOME IS MY CASTLE » : L'AMOUR DU LUXEMBOURGEOIS POUR SA MAISON INDIVIDUELLE

Dr Robert L. Pothier

La note N°12/2009 de l'Observatoire de l'habitat vient de le confirmer : 95% des Luxembourgeois préfèrent la maison individuelle à tout autre type de logement. La population résidente est majoritairement propriétaire de son domicile. L'IVL regrette l'étalement urbain non bridé, la consommation outrancière d'espace. Avec la centralisation décentralisée, on se rapproche quelque peu du modèle culturaliste de la ville traditionnelle. Les embouteillages et le gaspillage d'énergie et de temps sont contreproductives tant pour l'économie que pour la qualité de vie.

Certes, le goût prononcé de l'individualisme tient sa part de responsabilité dans cette évolution, tout comme la mobilité. Mais la situation, telle que nous la connaissons est le fruit d'une politique volontariste, renouvelée de génération en génération. Le Luxembourgeois si fière de sa maison n'est que responsable en partie de son « amour » pour sa propriété. Il a été carrément formé, éduqué à cette fin.

Les communes rurales confrontées à l'exode vers les villes étaient au bord du gouffre financier. Une population en diminution ne pouvait plus assurer le financement des services à offrir. Les communes rurales allaient rendre des terrains disponibles à la construction, profiter de la tertiarisation de l'économie, et attirer de nouveaux habitants. Les prescriptions d'habiter la commune ou le lieu de son travail furent supprimées au nom de la liberté individuelle.

Des abattements d'impôts ont encouragé l'exode des villes vers les campagnes. Enfin, on cessait de vivre à l'ombre du lieu de travail et pouvait choisir un cadre de vie personnalisé. Des conditions de prêt à l'acquisition de voitures individuelles ont soutenu une mobilité galopante. Ces phénomènes apparus dès la fin des années 1960, ne se sont que greffés sur un terrain déjà amplement préparé d'avance totalement en faveur de l'habitat dans un écrin de verdure.

Le goût de la maison individuelle remonte à la politique sociale du XIXe siècle. Ce goût s'explique aussi par la place que détient l'individu dans une société devenue anonyme suite à la division du travail et aux migrations. L'égalité des chances donne à chacun la liberté de s'affirmer. La dénatalité constatée déjà au XIXe siècle dans les milieux citadins a renforcé la place de l'individu dans la société. Il prend plus de place dans les mentalités, et ce n'est pas un hasard de voir émerger le goût pour la maison individuelle en parallèle avec celui pour le caveau individuel ou familial au détriment de la fosse commune !

La société industrielle d'antan se basait sur des populations rurales migrées vers les centres industriels et d'affaires. Ils furent logés dans des « casernes » aux conditions hygiéniques souvent pitoyables. Ce furent des foyers tant d'épidémies que d'insurrection. Il fallait se pencher sur les questions du logement pour l'ouvrier, l'employé, le fonctionnaire. Catholiques sociaux et libéraux étaient unanimes pour dire que la maison individuelle, centrée sur la famille, entourée de verdure fut le modèle le plus sain à adopter pour loger ces nouvelles couches sociales et de migrants. Ils recopiaient aux échelles sociales leurs propres normes de valeur et modes d'habitat. Le bourgeois vivait dans une réplique en miniature du château de l'aristocrate, l'employé et l'ouvrier

issu des couches rurales de la population devaient se contenter d'un logement rural modernisé. L'accès à cette propriété fut cependant limité aux classes moyennes susceptibles de s'intégrer progressivement dans la bourgeoisie moyenne. D'autre part, il fallait clouer le travailleur au sol pour mieux stabiliser l'économie. Pour y réussir, il fallait développer un langage architectural capable de persuader le migrant à vouloir s'installer.

La ville industrielle fut donc rapidement décriée comme véritable « monstre ». Elle n'était plus « désirable » aux yeux de ses habitants, respectivement des migrants. Elle devint synonyme de criminalité, de dégénérescence, d'épidémies, de bruits, d'absence d'air, de lumière et de nature. Que recherchent encore aujourd'hui nos compatriotes qui construisent leur « bungalow » dans un pré quelconque ? La Nature. Une image idéalisée de la campagne où le cultivateur est bien celui qui entretient une coulisse. Des études menées par l'Université de Genève ont montré que ce sont ceux qui s'installent dans les campagnes sont les plus résistants à tout changement de leur environnement. Ils s'insurgent contre tout ce qui perturbe leur image idéalisée, poussant de ce fait l'étalement à se poursuivre à grande échelle.

Au XIXe siècle, la réaction contre l'architecture nouvelle des villes s'est organisée autour de mouvements qu'on qualifiait de « régionalistes ». Ils s'opposaient contre une architecture universaliste, interchangeable, qui privait les villes de leur caractère unique, historique et environnemental. Cette architecture universaliste s'exprimait notamment par le néo-classicisme et la néo-Renaissance importée de la Méditerranée vers les pays nordiques. Cette architecture exportée partout dans le monde, symbolisait l'Etat

centralisateur, voire même colonisateur. Les régionalistes prônaient un urbanisme et une architecture respectueux du climat, de la topographie, de la flore, du patrimoine historique. Ils regrettaient l'urbanisme reposant sur des axes en perspectives totalement insoucieux du tissu urbain, de la topographie, de l'histoire, de l'environnement. Ils détestaient cet urbanisme ostentatoire qui exposait l'architecture représentative comme joyaux à admirer. L'urbanisme et l'architecture régionalistes, par contre, axés sur la dimension humaine, sur l'homme concret, exprimaient l'aspiration du peuple à plus de démocratie, à davantage de participation aux faits sociétaux.

Les architectes et urbanistes régionalistes se sont mis à étudier avec acribie l'architecture mineure, celle des campagnes, celle du Moyen Age, celle de l'homme ordinaire, non pas dans le but de copier l'ancien, mais d'en distiller l'essentiel pour mieux répondre aux questions du moment. Leur constat fut impressionnant : la maison rurale réunissait la famille, habitat et morale, le travail et les loisirs. Elle exploitait au mieux les conditions climatiques, maintenait le lien avec l'environnement naturel et le patrimoine historique. Ils se montraient fascinés par la rationalité de l'espace inventée par le cultivateur pour sa maison. Ils confrontaient ces nouvelles connaissances aux nouveaux matériaux de construction et aux nouvelles normes d'hygiène pour opérer leurs « choix raisonnés » et concevoir la maison moderne, issue de son environnement, la maison unifamiliale du périurbain ! Leur mouvement devait combattre la laideur des villes et leur redonner leur charme type et pittoresque.

Ce modèle fut fortement promu par le Gouvernement, avec en tête Paul Eyschen, Ministre d'Etat. Il fut soutenu par une équipe de personnalités avisées, comme l'architecte de l'Etat,

Charles Arendt, qui recherchait lui-même à définir la maison luxembourgeoise suite à l'étude des « traits essentiels de l'âme luxembourgeoise ». Antoine Hirsch, directeur de l'École d'artisans de l'Etat fut une autre personnalité engagée dans la définition du « Heimathaus ». Le professeur Auguste van Werveke présenta la première « maison luxembourgeoise » en 1904 dans le cadre de l'Exposition nationale de l'artisanat et du commerce. Georges Traus et Nicolas Petit, Jean-Pierre Koenig et Jean Warken sont indissociables du mouvement au Luxembourg. Emile Mayrisch, comme directeur de l'ARBED s'investit beaucoup dans les questions du logement social, et prônait à son tour, la maison individuelle s'inspirant de l'ancien logement rural. Il s'en référa pour la construction des colonies ouvrières. La création du Crédit Foncier en 1906 assurant des crédits pour la construction de logements à prix modérés fut au départ de deux concours, en 1907 et 1909 pour définir la maison du Bon Pays et celle des Ardennes. Paul Eyschen parcourut personnellement les campagnes pour promouvoir la maison individuelle luxembourgeoise. Il fut impressionné par le Colloque tenu en 1909 à Trèves sur le thème du régionalisme en architecture et urbanisme. En 1911 il invita à Luxembourg le Dr Kampffmeyer, secrétaire général de la Gartenstadtbewegung. Emile Hellemans, grand architecte bruxellois, réputé pour son architecture à prix modérés, présenta dans ce cadre ses modèles de maisons pour le Bon Pays, les Ardennes, les régions industrielles du pays. La Gelsenkirchener Bergwerks AG fut la première à construire, au bassin minier, des colonies ouvrières sur le modèle de la cité-jardin.

Or, la « maison luxembourgeoise » ou « Heimathaus » fut plus proche de l'habitat à prix modéré allemand ou belge que de modèles de logement typiquement luxembourgeois et historique.

La maison luxembourgeoise fut donc en quelque sorte un produit d'importation. Le patrimoine historique national ne présentait guère de particularismes architecturaux. Il suffisait donc de s'inspirer de cette architecture régionaliste conçue pour les pays nordiques et répondant aux critères d'un logement pour les classes moyennes. Le mouvement régionaliste fut un mouvement international auquel le Luxembourg se ralliait. Le caractère luxembourgeois lui fut attribué par le recours quasi exclusif à des matériaux de construction locaux et à des fournisseurs autochtones.



Or, il serait erroné de croire que ce modèle de ville fut introduit à ce moment uniquement. Le modèle remonte, pour le Luxembourg à 1868, moment où une commission fut en charge de dresser le premier plan d'aménagement de la ville de Luxembourg. Au XIXe siècle, architectes et urbanistes avaient bien compris qu'une ville démunie de ses remparts se dilue dans l'espace à l'image d'une tâche d'huile. Ils inventaient une architecture représentative susceptible de traduire la centralité du lieu. Ils comprenaient aussi que les villes ne pouvaient s'étaler sans aucune structuration de l'espace. A nouveau ils se tournaient vers la structure du village pour organiser les nouveaux quartiers. Ils introduisent la voie irrégulière, les constructions librement disposées ou regroupés dans l'espace. Du coup la ville historique et les nouveaux quartiers semblaient fusionner. Ce fut du moins ce que l'on espérait.

Les Gouvernements luxembourgeois de 1867 à 1930 furent proche du mouvement régionaliste aussi sur le plan urbanistique. Ils s'entouraient de personnalités réputées pour leur engagement en faveur de cet « urbanisme vert » : Louis Fuchs et Edouard André furent des ingénieurs paysagistes. Leur aménagement de l'espace se nourrissait dans la peinture du pleinairisme et ils concevaient les parcs comme jardins anglais susceptibles de rendre l'image d'une campagne idéalisée, imitant étangs et cascades, grottes, etc. Victor Jammaer, architecte de la ville de Bruxelles, proche de Charles Buls et régionaliste convaincu approuva en 1873 le plan d'aménagement général de la ville de Luxembourg. L'architecte Jean Baes, réputées pour ses villas en cottage style, fut appelé par le Gouvernement pour prêter main forte à l'aménagement du palais grand-ducal. Joseph Stubben qui œuvrait à son tour à Luxembourg, Esch-sur-Alzette, Dudelange et Differdange, fut un grand protagoniste de

l'urbanisme régionaliste. Le plan d'aménagement de la ville de 1873 n'est rien d'autre qu'un park estate, inauguré la même année en Grande Bretagne. Il ne fut point un hasard que Luxembourg-ville était caractérisée par des villas entourées de grands jardins et de parcs qui fusionnaient avec le parc de la ville (tant les villas construites au centre même du parc que celles du bd Joseph II donnant sur le parc). Edouard André aménagea tous ces parcs et jardins privées pour qu'ils s'intègrent au mieux au parc que représente tout l'ancien front de la plaine. La ville de Luxembourg de 1873 présente même des traits typiques de la cité jardin trente ans avant Howard Ebenezer ! Ce schéma développé pour la bourgeoisie sera reproduit, avec les adaptations qui s'imposaient pour créer les quartiers résidentiels, les colonies de maisons d'employés et d'ouvriers.

La maison individuelle dans son écrin de verdure, et avec tous les méfaits qu'elle puisse produire, représente bel et bien une tradition au Luxembourg, ce qui explique l'attachement à ce modèle d'habitat promu par l'Etat pendant plus d'un siècle.



FIGURE 8.26 – Extrait de Carnets d'opinions n°3 Baukultur, article de Robert Philippart, 2009

MAISON, SACRÉE MAISON

Avec 73% de la population résidente propriétaire de son logement, le Luxembourg se situe légèrement au-dessus de la moyenne européenne. Une proportion qui, en revanche, atteint 84,5% (source: recensement 2011) si on ne tient compte que des résidents ayant la nationalité luxembourgeoise.

Le rapport de l'habitant luxembourgeois avec son logement a toujours été passionnel. La configuration démographique et sociologique qui a, pendant longtemps, été celle du pays, a largement contribué à dessiner son paysage urbanistique. Aujourd'hui, les deux tiers des habitants du pays vivent dans les maisons unifamiliales, et plus d'un quart dans une maison isolée, accolée à aucune autre habitation. La maison, c'est sacré...

Ceux qui, il y a 20 ans, ont fait le choix de devenir propriétaires peuvent aujourd'hui se frotter les mains: avec la vertigineuse croissance démographique (le pays comptait 408.000 habitants en 1995 et 563.000 aujourd'hui, soit une hausse de 38%), la demande n'a jamais été en mesure de suivre l'offre, induisant, mécaniquement, une forte hausse des prix de l'immobilier, largement supérieure à celle de l'inflation.

Une bulle? Non, à en croire les analystes de l'Observatoire de l'habitat et de la Banque centrale, tant que la demande reste soutenue. Et c'est le cas. Un mur pour ceux qui souhaitent accéder à un logement, y compris en location? Certainement. Comme le montrent les différentes données reprises dans ce supplément spécial, aucun type de bien n'est épargné par le phénomène et pratiquement aucune région géographique non plus.

La problématique ne date donc pas d'hier et les gouvernements successifs se sont penchés avec plus ou moins de bonheur sur la question. La précédente législature a mis en place le Pacte logement, aujourd'hui signé par 98 communes sur les 105 que compte le pays. Le gouvernement arrivé au pouvoir en décembre 2013

s'est donné comme « premier objectif » de « maîtriser l'évolution des prix sur le marché immobilier en augmentant l'offre de logements et de terrains constructibles ».

La coalition DP-LSAP-Déi Gréng a identifié pour cela quatre leviers d'action: la mobilisation de terrains à bâtir, la dynamisation de la création de logements sociaux et de logements à prix abordables, la révision de ce Pacte logement et la réforme de l'impôt foncier et des subsides au logement.

Un an et demi après la publication de ce programme, les choses n'ont pas énormément bougé, en tous les cas certainement pas au rythme souhaité. « Je crois peu aux miracles », reconnaît Marc Hansen, le tout nouveau secrétaire d'État au Logement, interviewé dans ce supplément. *Il faut être pragmatique et surtout patient. Les évolutions en matière de logement se font sentir sur des années. C'est loin d'être une problématique qui peut se résoudre rapidement.* »

Vu du côté de ceux qui cherchent à accéder à un logement à un prix supportable, la patience a des limites. Sur quelque 60.000 locataires recensés sur le marché privé du logement, environ 20% sont dans une situation où la part du logement dans leurs dépenses mensuelles, charges comprises, représente plus de 40% de leurs revenus disponibles, ce qui constitue un indicateur de grande précarité. Mais les alternatives ne sont guère réjouissantes non plus: ce ne sont pas les travailleurs frontaliers, bloqués chaque matin sur la route ou compressés dans les wagons de train, qui penseront le contraire.

Sans doute le rêve d'accession à une petite maison tranquille avec jardin n'est-il plus vraiment de mise pour les générations actuelles et futures. Mais la question du « bien loger » est clairement un enjeu sociétal qui va devenir majeur à très court terme, directement lié à ceux de la mobilité et du « vivre ensemble » auxquels les autorités

publiques du Luxembourg - forcément soutenues par les acteurs privés - devront trouver rapidement les bonnes réponses. Défi, sacré défi. ◀

Par **Jean-Michel Gaudron**,
rédacteur en chef de Paperjam
E-mail: jean-michel.gaudron@paperjam.lu
Twitter: @jmgaudron

FIGURE 8.27 – Paperjam, Supplément - Guide de l'immobilier résidentiel, août 2015

Besoins à l'horizon 2030 : il faudrait 80 000 logements

Le constat est alarmant. Le Luxembourg manque cruellement de logements, alors que le pays connaît une forte croissance démographique. La construction est à la peine et les terrains constructibles se font rares.

La population du Grand-Duché augmente bien plus vite que la construction de logements. Le Conseil économique et social a livré ses recommandations pour que le logement, problème numéro un au Grand-Duché, devienne plus accessible.

Avant de donner ses recommandations, le CES a dressé un constat. Et autant le dire tout de suite, malgré toutes les recommandations, la situation du Grand-Duché est dramatique en matière de logement. Pénurie de logements, construction à la peine avec un manque cruel de terrains, il sera bien difficile d'inverser la tendance.

Les chiffres sont édifiants : selon les projections du Statec, entre 2010 et 2030, il faudrait 129 000 nouveaux logements, soit 6 500 nouveaux logements par an, dont 4 000 rien que pour l'accroissement démographique. Or on est loin du compte puisque en moyenne, de 2002 à 2010, environ 2 800 logements par an ont été construits. Alors, comme tout ce qui est rare, les prix des logements se sont envolés au Luxembourg et acheter devient très problématique.

Un facteur-clé qui influe notamment sur les prix : le foncier constructible. Selon l'Observatoire de l'habitat, 2 701 hectares sont potentiellement constructibles. Alors que 317 hectares, selon l'avant-projet « plan sectoriel logement », ne faisant pas partie du périmètre

d'agglomération actuel, sont réservés à des projets d'envergure destinés à l'habitat.

Le CES a donc fait le calcul : ce sont 3 018 hectares qui, au Luxembourg, sont potentiellement constructibles. D'ici 2030, environ 50 000 nouveaux logements pourraient être construits. Les chiffres sont impressionnants mais largement insuffisants, puisque pour couvrir les besoins résultant du seul accroissement de la population, il faudrait 80 000 nouveaux logements.

Pas de solution miracle

Et il n'y a pas de solution miracle pour le foncier : « Même si le potentiel foncier était pleinement exploité, il y aurait un manque de plus ou moins 30 000 nouveaux logements d'ici à 2030 », explique Gary Kneip, président du CES. Reste donc l'intervention publique, qui est pour l'institution incontournable. Pour le CES, les pouvoirs publics vont devoir utiliser les différents moyens d'intervention à leur disposition : aménagement du territoire, pacte logement, etc. Ceci afin de débloquer l'offre de terrains, mais aussi de réduire les prix du logement. Dans cette optique, le CES préconise de mesurer l'efficacité de ces instruments.

Alors comment agir ? Le CES reconnaît que le prix du foncier constitue le facteur essentiel du caractère de plus en plus inabordable du logement : « La clé d'une réduction du prix du loge-



Au Grand-Duché : pénurie de logements, construction à la peine avec un manque cruel de terrains, il sera bien difficile d'inverser la tendance.

Photo RL

ment c'est de réduire de façon substantielle le coût du foncier », poursuit Gary Kneip, qui évoque certains ménages où 50 % du budget est alloué au logement.

Parmi les principales recommandations pour lutter contre la hausse des prix du logement, le CES préconise une extension des périmètres d'agglomération. Les zones urbaines devraient grignoter sur les campagnes pour gagner de l'espace habitable. Il faudra mettre en place d'un côté des mesures pour combattre la spéculation foncière et de l'autre des taxes sur la rétention de terrains. La position du groupe salarial au sein du CES est plus précis : il faudra l'intervention de l'État pour un

plafonnement des prix des terrains dans les nouvelles zones d'agglomération, par aire et par région.

Parallèlement, il va falloir mobiliser les terrains non bâtis avec notamment une obligation de construire prévue dans la législation qui serait appliquée par les communes. L'objectif est de donner tous les pouvoirs aux communes pour pousser les propriétaires de terrains à bâtir. Il va falloir également augmenter la densité résidentielle du bâtiment, en clair : moins de jardins et des immeubles plutôt que des maisons individuelles.

Concernant le logement subventionné, ce dernier devrait rele-

ver de l'exception selon le CES. Le promoteurs publics vont devoir néanmoins recentrer leurs missions en faisant la promotion de la construction de logements locatifs, dès lors un quota de logements subventionnés devrait atteindre la même proportion par rapport au nombre total de logements que le taux de la population exposée à un risque de pauvreté. Tout cela alors que les futurs partis de la coalition sont en pleine discussion pour former un futur gouvernement. Et la question du logement risque de faire débat.

Audrey Somnard.
(Le Quotidien)

FIGURE 8.28 – Républicain Lorrain, Édition de Thionville, Jeudi 7 novembre 2013

Demande et besoins en logements

Quelles solutions potentielles pour les acteurs publics ?

Un pays de propriétaires occupants

Le Luxembourg est avant tout un pays de propriétaires occupants, puisque plus de 68 % des ménages étaient propriétaires de leur logement en 2010 (parmi lesquels 39 % n'avaient pas terminé le remboursement d'un prêt pour l'acquisition de leur logement, alors que 29 % avaient achevé ces remboursements). Le Luxembourg se situe à ce titre au-dessus de la moyenne de l'Union Européenne, en-dessous des chiffres de l'Espagne (83 % de propriétaires), mais très largement au-dessus du niveau relevé en Allemagne (seulement 53 % de propriétaires).

Une proportion non négligeable des ménages n'est plus en mesure d'accéder à la propriété, modèle résidentiel dominant jusqu'ici au Luxembourg. Une Note récente de l'Observatoire de l'habitat montre ainsi que seuls 61 % des ménages locataires résidents avaient les ressources financières suffisantes pour acheter un appartement correspondant à leurs besoins en 2009, et que 31 % seulement pouvaient se permettre d'acheter une maison. Entre 2005 et 2009, la capacité d'achat des locataires semble avoir fortement diminué, et les ménages les plus touchés sont les familles monoparentales, ainsi que les couples avec un ou plusieurs enfants. Par exemple, seules 46 % des familles monoparentales auraient pu envisager d'acheter un appartement d'une taille suffisante en 2009. Or, le Luxembourg étant un pays de propriétaires, une très grande majorité des aides étatiques est destinée à faciliter l'accès à la propriété, et l'accès au logement locatif n'est que marginalement aidé.

Un marché de la location peu profond et peu subventionné

29 % des ménages locataires du parc privé (c'est-à-dire payant un loyer au prix du marché) vivent aujourd'hui en-dessous du seuil de risque de pauvreté, ce qui représente environ 14 000 ménages en 2009. Parmi ceux-ci, plus de 43 % consacrent plus de 40 % de leurs revenus disponibles aux dépenses de logement (loyer et charges liées au logement) et 59 % déclarent avoir des difficultés à « joindre les deux bouts ».

Depuis 2003, ce taux de risque de pauvreté des locataires a fortement augmenté, et le Luxembourg se situe aujourd'hui au-dessus de la moyenne européenne en la matière.

Seulement 4,3 % des ménages bénéficient d'un loyer modéré ou d'un logement à titre gratuit, alors que 27,6 % des ménages s'acquittent d'un loyer au prix du marché. Seuls 1,5 % des ménages sont véritablement logés dans des logements locatifs sociaux du Fonds du Logement, de la Société nationale des habitations à bon marché (SNHBM) ou appartenant à des administrations communales, ce qui correspond à un total d'environ 3 000 logements locatifs sociaux. 1,5 % des ménages sont des ménages locataires payant un loyer inférieur au prix du marché, mais parce qu'ils sont logés par des membres de leur famille ou bénéficient d'une aide de leur employeur. Enfin, près de 2 % des ménages sont quant à eux logés à titre gratuit. Ici, il apparaît que l'appel à l'aide intergénérationnelle est une dimension essentielle au Luxembourg, pour les accédants à la propriété, mais également pour le paiement d'un loyer. Cette aide permet de pallier l'absence de subventions de l'État, ou vient en complément des dispositifs existants.

L'accès à un logement décent devient de plus en plus coûteux, et la part du revenu disponible des ménages consacrée aux dépenses de logement a fortement augmenté depuis plusieurs années. C'est particulièrement le cas pour les outsiders du marché du logement, c'est-à-dire les ménages les plus jeunes principalement qui sont contraints de changer de logement, pour des raisons professionnelles ou familiales (en cas de mise en couple, de naissance d'un enfant,...). Au contraire, les ménages occupant le même logement depuis longtemps n'ont pas été affectés dans la mesure où les cas parmi les propriétaires, pour lesquels les hausses récentes des prix du logement ont même constitué une augmentation de leur patrimoine. Mais c'est également le cas pour les locataires, puisque les loyers en cas de changement de location ont augmenté beaucoup plus vite que les loyers de ceux qui n'ont pas changé de logement.

Finalement, les mouvements récents des prix de vente et des loyers ont conduit à une forte redistribution des revenus et de la richesse. Ce sont donc les locataires, dont la situation financière appelle à un soutien appuyé, qui sont les moins aidés financièrement pour le paiement de leurs charges de logement.

La montée de situations d'exclusion du logement

Pour les situations les plus graves, un nombre important de ménages se retrouvent en situation d'« exclusion du logement ». Une enquête réalisée par le CEPS/Instead en 2006 dénombrait ainsi 715 personnes en situation d'« exclusion du logement ». 23 % des personnes en situation d'exclusion appartenaient à la catégorie des « sans-abris », alors que 59 % étaient des personnes « sans logement » vivant dans des foyers, des centres d'accueil, des logements encadrés, etc. Surtout, l'étude du CEPS/Instead montrait que la situation de sans-abri n'est que la situation la plus extrême, l'aboutissement d'un phénomène d'exclusion du logement. Pour de nombreux ménages, le coût du logement représente un lourd fardeau, et un événement fortuit (perte d'emploi, chômage partiel, séparation du couple) risquerait de conduire progressivement ces ménages fragiles vers une situation d'exclusion du logement. Dans cette situation de pénurie de logements à prix abordable, l'intervention de l'État semble donc particulièrement nécessaire.

Besoins en logement au Luxembourg

Les dernières estimations du STATEC sur l'évolution de la demande potentielle et des besoins en logements ont été réalisées par François Peltier à partir de projections démographiques pour la période 2010-2030. Dans le scénario démographique central, le nombre total de ménages augmenterait d'un peu plus de 40 % entre 2010 et 2030, pour atteindre 284 438 ménages en 2030. Le nombre moyen de personnes par ménage diminuerait quant à lui, passant de 2,43 en 2010 à 2,23 personnes par ménage en moyenne en 2030.

De façon très intéressante, les exercices du STATEC suggèrent que la baisse de la taille des ménages est due essentiellement à la déformation de la structure par âge de la population luxembourgeoise (les ménages de retraités comptant moins de membres que les ménages constitués de couples de 20 à 40 ans, qui ont plus fréquemment des enfants à charge), alors que l'évolution des comportements de décohabitation (avec notamment l'augmentation du nombre des divorces) joue un rôle moindre.

A partir des projections des ménages privés, François Peltier projette les besoins en logements correspondants. Pour faire face à l'accroissement du nombre de ménages (un plus de 81 702 ménages), le nombre de logements nouveaux à construire devrait légèrement dépasser les 4 000 logements par an. En complément, 45 600 logements environ seraient nécessaires pour assurer le remplacement du stock de logements, soit environ 2 280 logements supplémentaires par an. Au total, les besoins en logements nouveaux s'élèveraient à environ 129 000 logements nouveaux, soit un peu plus de 6 500 logements nouveaux chaque année de 2010 à 2030.

Ce nombre est très nettement supérieur aux dernières statistiques sur les logements achevés chaque année. Selon les chiffres les plus récents du STATEC, le nombre de logements achevés ne s'élevait qu'à 2 266 en 2006, 3 023 en 2007, 4 444 en 2008 et 3 740 logements en 2009. Dès lors, il apparaît clairement que l'effort de construction devra être intensifié dans les prochaines années.

Néanmoins, François Peltier souligne que les exercices de chiffrage de la demande potentielle en logements doivent être interprétés avec prudence. Il s'agit simplement d'un exercice de projection démographique, tendanciel. Les facteurs économiques, en particulier les évolutions des prix des logements, des loyers, du revenu des ménages privés et des taux d'intérêt, ne sont pas implicitement intégrés à ces projections. Toutes ces variables macro-économiques sont ici supposées évoluer tendanciellement. Dès lors, ces projections ne permettent pas d'évaluer les conséquences d'une nouvelle hausse des prix de logements et des loyers. Autrement dit, que se passerait-il si l'offre de logements évolue conformément aux projections relatives aux besoins en logements, mais avec des prix des nouveaux logements construits

totallement inabordables pour une frange non négligeable des nouveaux ménages ? Par ailleurs, les exercices de projection du STATEC n'intègrent pas la possibilité d'un déséquilibre initial du stock de logements disponibles. Dans ces cas, les besoins en logements pourraient être plus importants que les 6 500 logements par an annoncés, pour que ce déficit initial puisse progressivement se résorber.

Les outils à la disposition des acteurs publics

Les outils à la disposition des pouvoirs publics pour lutter contre une pénurie de logements à prix abordables peuvent être schématiquement classés en trois catégories : 1. des mesures visant à accroître l'offre sur le marché du logement ; 2. des dispositifs cherchant à agir sur la demande en la « solvabilisant » ; 3. des outils de régulation et de réglementation du marché du logement.

Par ailleurs, l'une des caractéristiques du marché du logement luxembourgeois étant le faible niveau de mobilité résidentielle, une solution complémentaire pourrait être de chercher à faciliter cette mobilité.

Comme le souligne Marco Hoffmann, « le discours politique des dernières années s'est fortement articulé autour du « Pacte logement », un pacte qui vise un effort conjoint – étatique et communal – pour augmenter l'offre ». La loi du 22 octobre 2008 prévoit en effet la création d'un pacte liant directement l'État et les communes pour favoriser la construction de nouveaux logements. Par la signature du pacte logement, les communes s'engagent ainsi à augmenter leur population d'au moins 15 % sur une période de 10 ans, à participer activement aux efforts et mesures de l'État visant à réduire le coût du foncier, à assurer une mixité sociale de la population, et à favoriser une densité de bâti appropriée qui permettra une utilisation rationnelle des ressources foncières. Pour réduire le coût du foncier, la loi du 22 octobre 2008 a aussi prévu la création de nouveaux instruments et a renforcé certains instruments existants à disposition des communes. A peine plus de trois ans après le vote de la loi du 22 octobre 2008, il est difficile de procéder à son évaluation complète. Même si les communes remplissent leurs objectifs dans les dix prochaines années, le nombre de logements nouveaux par an construit dans ces 103

communes (5 200) ne sera toutefois pas suffisant pour faire face aux besoins quantitatifs en logement identifiés par le STATEC (environ 6 500 logements par an de 2010 à 2030).

En revanche, il faut noter que les instruments prévus dans la loi du 22 octobre 2008 n'ont pour l'instant été que modérément utilisés par les communes signataires. Par exemple, il apparaît qu'aucune des communes signataires du pacte logement n'a pour l'instant utilisé les systèmes de taxation permis par la loi du 22 octobre 2008.

Compléter ou réorienter les aides individuelles au logement

Actuellement, les aides individuelles au logement sont surtout destinées à favoriser l'accès à la propriété. Les aides en capital (primes de construction et d'acquisition) et les aides en intérêt (subvention et bonification d'intérêt) absorbent une forte part du budget consacré à la politique du logement au Luxembourg. Ces aides permettent d'alléger la charge représentée par le remboursement de l'emprunt pour une frange importante des ménages accédants à la propriété.

En revanche, il faut souligner que l'attribution de la bonification d'intérêt ne dépend que de la composition des ménages, et pas du tout de conditions sur les revenus des ménages accédants à la propriété. Une réorientation de certaines des aides individuelles à l'accession à la propriété pourrait donc être envisagée. Le ministère du Logement prévoit déjà de conditionner certaines de ces aides à des critères liés aux performances énergétiques des bâtiments, pour inciter les futurs acquéreurs à être attentifs à l'isolation et à l'efficacité du système de chauffage dans le choix de leur logement.

Pour aider les locataires, qui ne disposent pour l'instant quasiment d'aucune aide pour la prise en charge de leur loyer alors qu'ils sont les plus nombreux à figurer en dessous du seuil de pauvreté, il pourrait être envisageable de créer une allocation ou une subvention pour ces ménages, qui viendrait utilement compléter le dispositif de « garantie locative » existant pour aider les ménages à intégrer le marché de la location. Le règlement grand-ducal du 2 avril 2004 introduisant l'« aide étatique au financement d'une garantie locative »

n'a connu qu'un succès limité, puisqu'il est stipulé que le loyer versé par le futur locataire ne devrait pas représenter plus du tiers de ses revenus disponibles pour que ce locataire puisse prétendre à une garantie locative. Or nombreux sont les locataires qui consacrent plus de 33 % de leur budget au paiement de leur loyer, particulièrement parmi les ménages modestes, *a priori* les plus concernés par le besoin d'une garantie locative. L'introduction d'une aide financière visant à couvrir une partie du loyer permettrait de s'affranchir de ce problème et de « solvabiliser » les ménages locataires du parc privé. Une « subvention de loyer », sur le modèle de la subvention d'intérêt pour l'accession à la propriété, pourrait être conditionnée aux revenus et à la composition du ménage locataire.

Les détracteurs de tels dispositifs d'aide directe aux locataires pour accroître leur demande solvable arguent que ces aides conduisent essentiellement à une hausse des loyers. Certaines études menées en France suggèrent ainsi que plus de 50 % du montant des allocations perçues par les ménages locataires du parc privé ont été absorbées à court terme par des hausses de loyer et ont profité essentiellement aux bailleurs.

Toutefois, il faut noter que les aides aux locataires sont très largement diffusées en France puisque plus de 45 % des ménages locataires touchaient une aide en 2005. De plus, le taux de couverture de ces aides est très important : elles couvrent en moyenne près de 43 % du montant du loyer parmi les ménages bénéficiaires dans le secteur locatif privé. Une aide plus ciblée et plus limitée pourrait avoir des effets plus modérés sur les loyers.

Par ailleurs, l'effet potentiellement « inflationniste » de l'introduction d'une aide financière à destination des locataires pourrait être neutralisé par une réglementation visant un encadrement ou un contrôle des loyers.

Renforcer la réglementation

La mise en place d'un contrôle ou d'un encadrement des loyers peut prendre diverses formes. A ce titre, la loi du 21 septembre 2006 sur le bail à usage d'habitation (dite « loi sur le bail à loyer ») prévoit déjà une forme de plafonnement des loyers, puisque le loyer réclamé pour une année entière ne pourra pas dépasser 5 % du « capital investi » par le bailleur. En revanche, la solution extrême de blocage des loyers ne paraît guère envisageable en temps de paix, puisque cette solution risque de conduire à une forte baisse de l'offre de logements locatifs et à un non-entretien des logements. Un dispositif plus fin, prenant exemple sur les « Mietespiegel » à l'œuvre en Allemagne, pourrait en revanche fournir une solution réglementaire pour contenir les hausses de loyers. Mais un tel dispositif requiert une connaissance fine, voire exhaustive, des loyers pratiqués, ce qui n'existe pas à l'heure actuelle au Luxembourg.

De plus, il n'est pas envisageable d'encadrer les hausses de loyer sans maîtriser les évolutions des prix de vente des logements. En cas de forte hausse des prix, les rendements locatifs diminueraient en effet et rendraient l'investissement non rentable pour les bailleurs. Dès lors, la mise en place d'un système d'encadrement des loyers ne peut pas se faire sans résoudre auparavant ou dans le même temps le problème de pénurie de logement.

La réglementation peut également être utilisée pour imposer un « quota » de logements sociaux à l'échelle des projets ou des communes. Le pacte logement instauré par la loi du 22 octobre 2008 stipule ainsi que 10 % de la surface nette ou 10 % des logements réalisés doivent être réservés au logement à coût modéré dès lors que le projet de construction occupe une surface supérieure ou égale à 1 hectare. Le risque est alors que les promoteurs décident de

fractionner leurs projets pour contourner cette obligation... Le ministère du Logement note ainsi que seuls 77 logements à coûts modérés sont actuellement en construction dans l'ensemble des projets en cours dans les communes signataires du Pacte Logement.

Favoriser la mobilité résidentielle

Au Luxembourg, la mobilité résidentielle est relativement limitée, comme le suggère l'Observatoire de l'habitat dans une note publiée en 2011. Or il existe parallèlement de nombreux logements sous-occupés. Par exemple, de nombreuses personnes âgées occupent de grandes maisons, qui pourraient être utilisées pour loger des ménages avec enfants. Pour ces personnes âgées, la sous-occupation de leur logement représente également un coût, puisqu'elles doivent chauffer un logement très grand qui n'est plus nécessairement adapté à leurs besoins.

Dès lors, il serait utile de favoriser la mobilité résidentielle, en agissant sur les coûts de la mobilité (par la prise en charge d'une partie des frais et de la charge de travail engendrés par un déménagement pour les personnes âgées par exemple) et/ou en permettant à un ménage d'extraire des liquidités de sa résidence principale (en mettant en location cette résidence principale devenue trop grande pour les besoins du ménage, pour prendre en location un logement plus petit, et éventuellement plus adapté et plus accessible). Une solution alternative dans ce cadre pourrait être la mise en place de système de co-logement de personnes de différentes classes d'âge, contribuant à la mixité générationnelle et assurant des avantages mutuels pour les participants (sécurité pour les personnes âgées et loyer plus attractif pour les jeunes locataires). ◆
Patrick Bousch et Julien Licheron sont chercheurs au CEPS/Instead

FIGURE 8.29 – Forum, Mercredi 9 mai 2012

Le Luxembourg peut bâtir 30 000 logements

LUXEMBOURG - Marco Schank, ministre du Logement, a dressé ce lundi matin le bilan et les perspectives de la construction au Grand-Duché.



Luxembourg-Ville est la commune qui dispose du plus de place, avec 234 ha disponibles pour des constructions. (photo: Editpress)

Chaque commune luxembourgeoise dispose, en moyenne, de 23 hectares de terrain disponibles pour construire des logements, a expliqué le ministre délégué au Logement, Marco Schank, ce lundi matin lors d'une conférence de presse. Ce qui fait, au total, 2 701 ha de libres sur le territoire luxembourgeois. De quoi bâtir 30 000 logements. C'est la capitale qui dispose du plus de place, avec 234 ha disponibles pour des constructions, soit 8,7% de l'ensemble des terrains disponibles.

Marco Schank a également rapporté que 21,60% des zones du Plan d'aménagement général (PAG) destinées à l'habitat étaient encore disponibles et que la plupart des terrains destinés à l'habitat sont situés dans les communes à tendance rurale. 28% de l'ensemble des terrains théoriquement disponibles pour l'habitat sont mobilisables rapidement.

À noter que l'État devrait injecter 103,8 millions d'euros de plus ces prochaines années dans des logements subventionnés. Le Conseil de gouvernement a en effet donné son aval, vendredi, à un texte qui ajoute la création de 943 logements à ceux déjà prévus dans le 9^e programme de construction d'ensembles de logements subventionnés. Le texte originel tablait sur la création de 8 438 logements pour un investissement de l'État de 491 millions d'euros.

FIGURE 8.30 – L'essentiel (en ligne), Lundi 18 juin 2012



Photo : alain rischard

Près de 30 000 nouveaux logements pourraient être construits dans le pays... théoriquement. Mais de nombreux freins demeurent.

Un potentiel sous-exploité

Face au déficit de logements, l'État entend devenir un acteur influent dans ce secteur.

Près de 2 700 hectares sont théoriquement disponibles pour la construction au Luxembourg. Mais entre la théorie et la pratique, de nombreux efforts restent à faire, expliquait hier Marco Schank à l'occasion de la présentation du 9^e programme du logement.

De notre journaliste
Romain Van Dyck

En 2010, sur les quelque 5 500 hectares de terrains disponibles au Luxembourg, 2 701 l'étaient théoriquement pour la construction de logements. Soit, expliquait hier le ministre du Logement Marco Schank, «23 hectares en moyenne par commune», et un potentiel d'environ «30 000 nouveaux logements dans le pays».

Tout cela est bien beau, mais très théorique. Car cette «disponibilité» est loin de se concrétiser par la construction de logements. D'abord, plus de 70 % des terrains concernés ne sont pas mobilisables rapidement, pour de nombreuses raisons comme l'absence d'accepta-

tion de plan d'aménagement particulier (PAP).

Par ailleurs, certains acteurs ne jouent clairement pas le jeu. On se souvient du coup de gueule du Premier ministre, lors du dernier discours sur l'état de la Nation, lorsqu'il pestait contre certains «petits capitalistes»: «Est-il vraiment nécessaire que ceux qui ont des terrains pressent ceux qui en cherchent jusqu'à la dernière goutte de sang? Nous nous détruisons nous-mêmes...»

Marco Schank rappelle donc qu'il existe la possibilité de faire pression sur les propriétaires avec une «taxe spécifique» sur les terrains et les immeubles non utilisés, comme cela a pu être fait à Esch-sur-Alzette.

Car le marché est extrêmement tendu: «Les prix des logements ont explosé, et la demande de logement est plus élevée que l'offre», constate le ministre. En plus des causes précédemment citées, il met en cause la croissance démographique, le vieillissement de la population résidente, mais aussi la dimi-

nution de la taille des ménages (divorcés, célibataires en hausse) qui font pencher la balance du mauvais côté...

Des habitats durables pour fixer la population

Pour augmenter de façon significative la production de logements, un plan sectoriel a été mis en place. «L'État doit devenir un acteur influent sur ce marché du logement», prévient le ministre.

Les communes et les propriétaires privés devront collaborer davantage avec l'État. L'utilité publique et la réservation de surface pour éviter la spéculation pourront être invoquées, par exemple, dans les communes dites prioritaires (une quarantaine de communes situées principalement dans le centre et le sud du pays, là où les besoins sont les plus urgents).

Par ailleurs, l'achat de terrains à des fins immobilières permettra la viabilisation rapide des zones dites «projets d'envergure».

Ces zones concernent près de 552

hectares de terrains, pour permettre la création de 17 680 nouveaux logements et d'abriter quelque 45 000 habitants. Huit cents nouveaux logements devront être construits chaque année pendant 20 ans pour y parvenir.

Où? Principalement dans le Centre-Sud et le Sud. Un ensemble de grands projets est déjà initié sur les friches de Mersch ou encore à Wiltz.

Enfin, l'État va mettre la main à la poche et prendre en charge un montant de près de 100 millions d'euros pour permettre le 9^e programme de construction d'ensembles d'habitations. Soixante-quatorze nouveaux projets, soit 855 logements, sont attendus pour les prochaines années. Sur ces logements subventionnés, 222 seront destinés à la vente et 633 à la location. Et plus question de construire des bâtiments érigivores, d'après le ministre: «L'accent sera mis sur la qualité de ces logements, avec des habitats durables et contemporains, pour favoriser la sédentarisation de la population.»

FIGURE 8.31 – Le Quotidien, Mardi 19 juin 2012

Table des figures

1	L'approche normative, une interface entre les aspirations individuelles, les politiques d'aménagement et les préconisations de formes de villes	37
---	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Chapitre 1. Objectifs, normes et règles dans l'aménagement urbain

1.1	Le problème à résoudre	44
1.2	De l'objectif aux règles, les normes	45
1.3	Champ sémantique de la norme	48
1.4	Repères historiques de quelques auteurs et utopies	55
1.5	Le plan de Milet par Hippodamos, illustration de B.F. Weber, 1999, d'après un original de À. von Gerkan, 1935	58
1.6	Plan Général de la Saline Royale de Chaux, à Arc-et-Senans, par Claude Nicolas Ledoux, 1774, les éléments de légendes, non lisibles, détaillent les fonctions des bâtiments.	62
1.7	Vision d'ensemble du projet de Phalanstère, par Charles Fourier, 1876	63
1.8	Plan pour la ville de Philadelphia, par Thomas Holme, 1682	67
1.9	<i>Victoria, Plan for a Model Town</i> , par James Silk Buckingham, 1849	68
1.10	<i>Garden-City, Grand Avenue</i> , par Ebenezer Howard, 1902	70
1.11	<i>Garden-City</i> , Organisation schématique d'un groupe de villes, une région urbaine, par Ebenezer Howard, 1902	72
1.12	<i>Le plan Voisin de Paris</i> , par Le Corbusier (1925), maquette du site d'implantation, Fondation Le Corbusier, Paris	77
1.13	Forme régionale du TOD, par Peter Calthorpe, 1993	84
1.14	Plan général du TOD « urbain », par Peter Calthorpe, 1993	84
1.15	Exemple de deux densités de construction. À gauche, 4 logements par hectare. À droite, 10 logements par hectare, illustrations de John Ellis	86
1.16	Le concept de transect appliqué à la <i>Smart Growth</i> , d'après Duany Plater-Zyberk & Company	92

1.17 Le code basé sur les formes, exemple pour la ville de Seaside (Floride, États-Unis), d'après Duany Plater-Zyberk & Company, 1986	95
1.18 Extrait du code basé sur les formes, d'après Duany Plater-Zyberk & Company, 1986	95
1.19 Les niveaux d'échelles dans la fougère, un exemple fractal, d'après Barry G. Adams (Laurentian University), 2010	98
1.20 Illustration du lien entre mesure de la densité et mesure de la fractalité, à l'aide de deux formes composées de 64 carrés, d'après Thomas et al., 2008	99
1.21 Les espaces bâtis (en noir) et non bâtis (en blanc) dans l'agglomération de Luxembourg	101
1.22 Représentation de la théorie des lieux centraux selon Christaller, 1933 et de son adaptation au modèle fractal d'urbanisation par Frankhauser et al., 2007	103
1.23 Le téragone, exemple des deux premières étapes d'itérations, d'après Frankhauser, 2000	104

Chapitre 2. Le Grand-Duché de Luxembourg et les particularités de son développement résidentiel......

2.1 Géographie physique du Luxembourg et occupation du sol	113
2.2 Les découpages administratifs du Luxembourg	116
2.3 Schéma de principe de l'organisation de l'aménagement du territoire au Luxembourg, d'après le Programme Directeur d'Aménagement du Territoire, ministère de l'Intérieur, 2003	120
2.4 Evolution de la population totale et des ménages au Luxembourg entre 1900 et 2011, Base 100 en 1900 (source : STATEC, 2011)	122
2.5 Evolution de la taille des ménages au Luxembourg entre 1900 et 2011 (source : STATEC, 2011)	123
2.6 Taux de variation de la population et du PIB au Luxembourg entre 1960 et 2010 (source : EUROSTAT, 2010)	124
2.7 Taux de variations de la population entre 1960 et 2010 au Luxembourg (source : EUROSTAT, 2010)	125
2.8 Répartition de la densité de population au Luxembourg à l'échelle des localités en 1843 et 2001 (Source : Gerber et Klein, 2009)	126
2.9 Variations de population au Luxembourg entre 2001 et 2011	128
2.10 Evolution des volumes de construction de bâtiments, logements et maisons unifamiliales au Luxembourg, Observatoire de l'Habitat, 2014	130

2.11 Evolution des prix de l'immobilier au Luxembourg, à partir d'une base 100 en 2005, Observatoire de l'Habitat, 2014	131
2.12 Prix moyens annoncés à l'achat pour une maison individuelle au Luxembourg en 2014	133
2.13 Surface moyenne des logements dans les pays d'Europe, EUROSTAT, 2012	134
2.14 Superficies foncières nettes consommées par des bâtiments dans les zones d'habitations au Luxembourg entre 2004 et 2010 (source : d'après Feltgen et Pouget, Observatoire de l'Habitat, 2013)	139
2.15 Les différents zonages au sein des plans d'aménagements généraux au Luxembourg, d'après l'Observatoire de l'Habitat, 2011	140
2.16 Répartition des différents zonages dans les terrains disponibles au sein des plans d'aménagements généraux au Luxembourg, Observatoire de l'Habitat, 2010	141
2.17 Superficie foncière disponible théoriquement pour l'habitat au Luxembourg (source : Observatoire de l'Habitat, 2010)	142
2.18 Taux d'utilisation des transports en commun pour se rendre au travail au Luxembourg	146
2.19 Degré de saturation des réseaux routiers et autoroutiers au Luxembourg en 2009, d'après la Cellule Modèles de Transport	148
2.20 Campagne de communication autour du <i>M-Pass</i> , <i>Verkéiersverbond</i> , 2012	150
2.21 Campagne de communication en faveur des transports en commun le week-end, <i>Verkéiersverbond</i> , 2013	150
2.22 Communes prioritaires des différents documents de planification du Luxembourg	153
2.23 Le modèle de ville polycentrique dans un espace paysager au Luxembourg, ministère de l'Intérieur, 2008	156
2.24 Schéma de principe des mesures « d'arrondissement » de la forme urbaine au Luxembourg, d'après une figure du Plan Sectoriel Logement, ministère du Logement, 2014	158

Chapitre 3. Conception de scénarios de croissance résidentielle pour le Luxembourg : proposition méthodologique.....

3.1 Variables retenues dans la construction des scénarios de croissance résidentielle	175
3.2 Niveaux de contrainte et logique de construction des scénarios dans le projet VILMODes (Antoni et al 2014)	177
3.3 Démarche processuelle de modélisation des scénarios d'aménagement	178

3.4	Méthode de construction des besoins en logement	180
3.5	Quelques repères sur la densité résidentielle, avec des exemples de construction, AUCAME, 2010	181
3.6	Impact de la densité de construction sur la consommation foncière, exprimée en unité d'habitation (U.H.*), AUCAME, 2010	182
3.7	Configurations possibles selon la dimension fractale du tissu résidentiel simulé	183

Chapitre 4. Modélisation fractale et normative de la croissance résidentielle

4.1	Illustration de la règle fractale d'urbanisation, avec $N_{max} = 5$ et $r = 3$, exemples de possibilités, d'après ?	200
4.2	Méthode de calcul de la règle d'accessibilité aux espaces ouverts, d'après (?)	201
4.3	Fonction d'évaluation de la règle d'accessibilité aux espaces ouverts	202
4.4	Fonction d'évaluation de la règle de proximité à la route, d'après ?	202
4.5	Principe d'identification des agrégats de commerces et services de fréquentation quotidienne	203
4.6	Fonction d'évaluation du nombre n de commerces et services de fréquentation quotidienne	204
4.7	Fonction d'évaluation de la distance d aux commerces et services de fréquentation quotidienne	205
4.8	Fonction d'évaluation de la diversité δ des commerces et services N1 à moins de 1 000 mètres	205
4.9	Principe d'identification des agrégats de commerces et services de fréquentation hebdomadaire	207
4.10	Fonction d'évaluation du nombre n de commerces et services de fréquentation hebdomadaire	208
4.11	Fonction d'évaluation de la distance d aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire	209
4.12	Fonction d'évaluation de la diversité des commerces et services de fréquentation hebdomadaire	209
4.13	Fonction d'évaluation de la distance Λ aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare	211
4.14	Données nécessaires à la création de scénarios de croissance résidentielle	217
4.15	Principe du géocodage d'adresses et obtention de données géographiques	220
4.16	Ensemble des aménités prises en compte dans le modèle	221

4.17 Méthodologie de construction des points d'accès aux aménités vertes et de loisirs	223
4.18 Superposition de trois résolutions différentes (20, 50 et 100 mètres), sur la localité de Frisange	227
4.19 Encart technique : Méthodologie de sélection du potentiel d'urbanisation en sortie de MUP-City	229

Chapitre 5. Évaluation de la pertinence des règles d'aménagement au regard des objectifs

visés	
5.1 Test de l'augmentation de la dimension fractale (extrait sur la municipalité d'Esch-sur-Alzette)	238
5.2 Distribution spatiale des valeurs d'évaluation, avec (à gauche) et sans (à droite) la règle de proximité aux espaces non-bâti	242
5.3 Influence de la règle de proximité au réseau routier à 100 et 300 mètres	244
5.4 Influence locale de la règle de proximité au réseau routier	245
5.5 Distribution spatiale des valeurs d'évaluation avant (600m) et après (1 000m) modification de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne (zoom sur Luxembourg-Ville et ses environs)	246
5.6 Distribution spatiale des valeurs d'évaluation avant (à gauche) et après (à droite) modification de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire	248
5.7 Distribution spatiale des valeurs d'évaluation de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare	250
5.8 Distribution spatiale des valeurs d'évaluation, avant et après modification de la règle d'accessibilité aux transports en commun	251
5.9 Distribution spatiale des valeurs d'évaluation avant et après modification de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation quotidienne (zoom sur Luxembourg-ville et ses environs)	253
5.10 Distribution spatiale des valeurs d'évaluation avant et après modification de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation hebdomadaire	254
5.11 Distribution spatiale des valeurs d'évaluation de la règle d'accessibilité aux aménités vertes de fréquentation mensuelle ou plus rare	256
5.12 Comparaison des deux pondérations des règles en faveur de l'accessibilité aux commerces et services ou en faveur de la proximité aux transports en commun (zoom sur Luxembourg-Ville et ses environs)	264

5.13 Comparaison des deux séries de pondérations, en faveur de l'accessibilité aux commerces et services (à gauche, les points noirs désignent les commerces et services) ou en faveur de la proximité aux transports en commun (à droite, les petits points noirs désignent les arrêts de bus, les gros les gares ferroviaires), représentation par la méthode de densité des noyaux (extrait sur Luxembourg-ville)	265
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

Chapitre 6. Le Grand-Duché de Luxembourg à horizon 2030 : différents scénarios de croissance résidentielle

6.1 Résultat du scénario IVL, représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation	273
6.2 Résultat du scénario FOD, représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation	277
6.3 Résultat du scénario de modification des projections démographiques (hypothèse haute), représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation	280
6.4 Résultat du scénario de modification des projections démographiques (hypothèse basse), représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation	281
6.5 Résultat du scénario d'augmentation de la densité, représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation	284
6.6 Résultat du scénario de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle (116 communes), représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation	288
6.7 Résultat du scénario de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle (23 communes), représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation	289
6.8 Résultat du scénario de la disponibilité foncière, représentation par la méthode des noyaux et zoom sur le potentiel d'urbanisation	292
6.9 Démarche de construction des scénarios de MOEBIUS, d'après Lord et al., 2011	293
6.10 Synthèse des résultats des scénarios de MOEBIUS, 2013	297
6.11 Carte de synthèse des résultats des scénarios de MOEBIUS, 2013	298
6.12 Répartition communale des cellules générées dans les scénarios au Luxembourg en 2030	302

Chapitre 7. Comparaison des scénarios à l'aide d'indicateurs d'accessibilité spatiale

7.1 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité au commerce ou service de fréquentation quotidienne, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	314
7.2 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité au commerce ou service de fréquentation hebdomadaire le plus proche, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	315
7.3 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à l'aménité verte ou de loisirs de fréquentation quotidienne la plus proche, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	316
7.4 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à l'aménité verte ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire la plus proche, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	318
7.5 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à l'aménité verte ou de loisirs de fréquentation mensuelle la plus proche, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	319
7.6 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à la gare ferroviaire la plus proche, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	320
7.7 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne localisés à moins de 1 000m de chaque cellule potentiellement urbanisable, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	322
7.8 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire localisés à moins de 2 000m de chaque cellule potentiellement urbanisable, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	323
7.9 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux arrêts de bus localisés à moins de 1 000m de chaque cellule potentiellement urbanisable, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	324
7.10 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux aménités vertes ou de loisirs de fréquentation quotidienne localisées à moins de 1 000m de chaque cellule potentiellement urbanisable, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	325

7.11 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux aménités vertes ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire localisées à moins de 2 000m de chaque cellule potentiellement urbanisable, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	326
7.12 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type de commerces et services de fréquentation quotidienne, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	328
7.13 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type de commerces et services de fréquentation hebdomadaire, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	329
7.14 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type de commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	330
7.15 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type d'aménités vertes ou de loisirs de fréquentation quotidienne, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	331
7.16 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type d'aménités vertes ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire, pour la situation initiale en 2010 et chaque scénario en 2030	332
7.17 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à la gare ferroviaire la plus proche, pour la situation initiale (2010), le scénario 23 communes et les 4 scénarios MOEBIUS (2030)	336
7.18 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité aux arrêts de bus, à moins de 1 000 mètres, pour la situation initiale (2010), le scénario 23 communes et les 4 scénarios MOEBIUS (2030)	337
7.19 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type de commerces et services de fréquentation hebdomadaire, pour la situation initiale (2010), le scénario 23 communes et les 4 scénarios MOEBIUS (2030)	338
7.20 Distributions statistiques des valeurs d'évaluation de l'accessibilité à chaque type d'aménités vertes ou de loisirs de fréquentation hebdomadaire, pour la situation initiale (2010), le scénario 23 communes et les 4 scénarios MOEBIUS (2030)	340

Chapitre 8. Comparaison des scénarios à l'aide d'indicateurs de mobilité quotidienne

8.1 Evolution des possibilités d'enchères en fonction des externalités pondérées par les préférences individuelles, d'après Caruso et C. Médard de Chardon, Conférence finale de MOEBIUS, 2013	349
8.2 Principe d'allocation entre les enchères et le choix des ménages, d'après G. Caruso et C. Médard de Chardon, Conférence finale de MOEBIUS, 2013	349
8.3 Extrait de la population synthétique, attributs des individus et du ménage auquel il appartient, d'après E. Cornélis, Conférence finale de MOEBIUS, 2013	352
8.4 Attributs des cellules urbanisables, d'après G. Caruso et C. Médard de Chardon, Conférence finale de MOEBIUS, 2013	354
8.5 Encart technique : principes techniques du modèle d'allocation résidentielle	355
8.6 Résultats de l'allocation résidentielle à l'échelle communale pour le scénario IVL	358
8.7 Résultats de l'allocation résidentielle à l'échelle communale pour le scénario FOD	360
8.8 Résultats de l'allocation résidentielle à l'échelle communale pour le scénario des 23 communes	362
8.9 Fonctionnement du modèle de simulation des mobilités quotidiennes de MobiSim, d'après ?	363
8.10 Boîtes de dialogue pour la construction des programmes d'activité, Antoni (2012)	368
8.11 Répartition horaire des motifs de départ des déplacements au Luxembourg en 2010 (simulation MobiSim)	369
8.12 Ensemble des flux issus de la distribution des déplacements sur une journée au Luxembourg en 2010 (simulation MobiSim)	371
8.13 Exemple de fiche horaire, la ligne 60 du train entre Luxembourg-Ville et Esch-sur-Alzette (extrait)	374
8.14 Comparaison du nombre de déplacements quotidiens par agent et par modes entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030	379
8.15 Comparaison des parts modales entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030	380
8.16 Evolution des parts modales (marche à pied, transports en commun et voitures) pour chaque scénario (IVL, en haut ; FOD, au centre ; 23 communes en bas)	383
8.17 Comparaison des distances moyennes parcourues par modes et par agent, entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030 (en kilomètres)	387

8.18 Comparaison des budgets-temps moyens par déplacement et par mode entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030 (en minutes)	388
8.19 Comparaison des budgets-temps moyens par déplacement, par motif et par mode entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030 (en minutes) .	389
8.20 Comparaison des budgets-temps moyens par déplacement, par motif et par mode entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030 (en minutes) .	390
8.21 Comparaison des vitesses de circulation en voiture par tronçon, de 8h à 9h, entre la situation de référence en 2010 et les scénarios en 2030 (en km/h)	393
8.22 Méthode de détermination des masses affectées aux commerces et services dans le cadre du modèle d'affectation de MobiSim	411
8.23 Méthode de détermination des masses affectées aux aménités vertes et de loisirs dans le cadre du modèle d'affectation de MobiSim	412
8.24 Résultats de l'arbre de décisions sur les données de l'enquête relative aux pratiques culturelles, pour le motif loisirs, au Luxembourg en 2009	414
8.25 Résultats de l'arbre de décisions sur les données de l'enquête relative aux pratiques culturelles, pour le motif réseau social, au Luxembourg en 2009	414
8.26 Extrait de Carnets d'opinions n°3 Baukultur, article de Robert Philippart, 2009	416
8.27 Paperjam, Supplément - Guide de l'immobilier résidentiel, août 2015	417
8.28 Républicain Lorrain, Édition de Thionville, Jeudi 7 novembre 2013	418
8.29 Forum, Mercredi 9 mai 2012	421
8.30 L'essentiel (en ligne), Lundi 18 juin 2012	422
8.31 Le Quotidien, Mardi 19 juin 2012	423

Liste des tableaux

Chapitre 1. Objectifs, normes et règles dans l'aménagement urbain	
1.1 Objectif, normes et règles de la cité antique	59
1.2 Objectif, normes et règles de l'utopie industrielle	64
1.3 Objectif, normes et règles du mouvement hygiéniste	66
1.4 Objectif, normes et règles de la cité-jardin	73
1.5 Objectif, normes et règles de l'idéal libertaire	76
1.6 Objectif, normes et règles de la ville du Corbusier	78
1.7 Objectif, normes et règles de la Nouvelle Economie Urbaine	82
1.8 Objectif, normes et règles du <i>Transit-Oriented Development</i>	88
1.9 Objectif, normes et règles de la <i>Smart-Growth</i> et du Nouvelle Urbanisme	97
1.10 Objectif, normes et règles de la ville fractale	107
Chapitre 2. Le Grand-Duché de Luxembourg et les particularités de son développement résidentiel	
2.1 Typologie des logements au Luxembourg, d'après le recensement du STATEC, 2011 .	135
2.2 Part des régions / cantons dans le total des logements achevés au Luxembourg entre 1992 et 2009, STATEC, 2011	136
2.3 Evolution de l'occupation du sol au Luxembourg entre 1972 et 2010, d'après l'Administration du Cadastre et de la Topographie et le STATEC, 2015	137
2.4 Objectifs et normes au Luxembourg	164

Chapitre 4. Modélisation fractale et normative de la croissance résidentielle

4.1 Synthèse des grandes périodes de l'aménagement dans la deuxième moitié du XX ^{ème} siècle, (d'après Klosterman, 2001 ; Malczewski, 2004 et Foth, 2009)	189
4.2 Le caractère multi-échelles des règles de MUP-City	199
4.3 Valeurs d'importance accordées à une règle par rapport à une autre	215
4.4 Comparaison par paires de l'importance des règles. Exemple pour trois règles F_1 , L_2 et TC	215

Chapitre 5. Évaluation de la pertinence des règles d'aménagement au regard des objectifs

visés

5.1 Evaluation de l'accessibilité à chaque aménité pour les cellules bâties à l'état initial de 2010	235
5.2 Cellules nouvellement construites pour une simulation entre 2010 et 2030	237
5.3 Influence de la désactivation successive des règles sur l'intérêt des cellules potentiellement urbanisables d'après MUP-City	239
5.4 Extrait du tableau 5.3	241
5.5 Extrait du tableau 5.3 et modification du seuil de la règle de proximité au réseau routier	243
5.6 Influence de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	246
5.7 Influence de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	247
5.8 Influence de la règle d'accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	249
5.9 Influence de la règle d'accessibilité aux transports en commun sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	251
5.10 Influence de la règle d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation quotidienne sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	252

5.11 Influence de la règle d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation hebdomadaire sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	254
5.12 Influence de la règle d'accessibilité aux aménités vertes et de loisirs de fréquentation mensuelle ou plus rare sur l'évaluation des cellules potentiellement urbanisables	255
5.13 Synthèse de l'évaluation de la situation initiale avec la modification des seuils des règles d'accessibilité	257
5.14 Seuils stricts et moins stricts des règles d'accessibilité qui ont fait l'objet d'une modification pour la simulation de scénarios prospectifs au Luxembourg	259
5.15 Valeurs utilisées dans la comparaison par paires des différentes règles de MUP-City, en faveur de l'accessibilité aux commerces et services	261
5.16 Valeurs utilisées dans la comparaison par paires des différentes règles de MUP-City, en faveur de la proximité aux transports en commun	262
5.17 Synthèse de l'analyse des deux séries de pondérations de la comparaison par paires	263

Chapitre 6. Le Grand-Duché de Luxembourg à horizon 2030 : différents scénarios de croissance résidentielle

6.1 Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario IVL . . .	272
6.2 Récapitulatif des caractéristiques du scénario de référence, dit IVL	272
6.3 Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario FOD . .	274
6.4 Récapitulatif des caractéristiques du scénario Fractal-Oriented Development (FOD)	275
6.5 Récapitulatif des caractéristiques des scénarios de modification des projections démographiques	278
6.6 Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre des scénarios de variations des projections démographiques	279
6.7 Récapitulatif des caractéristiques du scénario d'augmentation de la densité	282
6.8 Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario d'augmentation de la densité	283
6.9 Récapitulatif des caractéristiques des scénarios de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle	286
6.10 Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle (116 communes)	286

6.11 Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario de modification de la répartition par commune de la croissance résidentielle (23 communes)	286
6.12 Récapitulatif des caractéristiques des scénarios dit de la disponibilité foncière	290
6.13 Nombre de cellules potentiellement urbanisables dans le cadre du scénario de la disponibilité foncière	291
6.14 Principales caractéristiques des scénarios simulés	301

Chapitre 7. Comparaison des scénarios à l'aide d'indicateurs d'accessibilité spatiale

7.1 Classement des scénarios en fonction des résultats obtenus pour chaque indicateur de distance minimale entre chaque cellule potentiellement urbanisable et l'aménité la plus proche	321
7.2 Classement des scénarios en fonction des résultats obtenus pour chaque indicateur du nombre moyen d'aménités de chaque type dans le voisinage de chaque cellule potentiellement urbanisable	327
7.3 Classement des scénarios en fonction des résultats obtenus pour chaque indicateur de la distance moyenne minimale pour accéder à chaque type d'aménité d'une même fréquence de recours depuis les cellules potentiellement urbanisables	334
7.4 Classement des scénarios en fonction des résultats obtenus pour chaque type d'indicateur d'accessibilité spatiale : distance minimale au plus proche, nombre d'aménités dans un voisinage, distance moyenne minimale pour accéder à chaque type d'aménités	335

Chapitre 8. Comparaison des scénarios à l'aide d'indicateurs de mobilité quotidienne

8.1 Les variables susceptibles d'influencer le choix modal d'un agent	376
8.2 Calibrage du modèle de simulation MobiSim en 2010 à l'aide de données observées	377
8.3 Comparaison des parts modales (marche à pied, transports en commun et voiture) entre la situation initiale en 2010 et les scénarios IVL, FOD et des 23 communes en 2030, en fonction de plusieurs motifs de déplacements	385