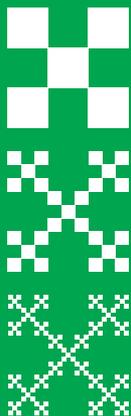


Stage de fin de master : immersion en laboratoire de recherche



**Marc
BOURGEOIS**

Tutrice professionnelle :
**Marie-Noëlle
DE OLIVEIRA (AudaB)**

Tutrice universitaire :
**Cécile TANNIER
(laboratoire ThéMA)**

**Master 2
Intelligence territoriale,
Information spatiale
et aménagement
2010-2011**

Scénarios fractals d'urbanisation résidentielle

Favoriser l'accessibilité aux aménités vertes lors de la conception d'un document d'urbanisme

**Utilisation de la version interactive de l'outil d'aide
à la décision MUP-City 0.8**

*Communes d'Auxon-Dessus, Auxon-Dessous, Geneuille et
Cussey-sur-l'Ognon*



**Laboratoire
ThéMA**
(géographie théorique
et quantitative)

Besançon

**Stage de
janvier à
juin 2011**

Avant-propos

A travers ces quelques lignes, je tenais à remercier toutes les personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce travail.

Marie-Noëlle DE OLIVEIRA, tutrice professionnelle, de l'Agence d'urbanisme de l'agglomération bisontine (AudaB), qui m'a permis de découvrir le domaine de l'urbanisme réglementaire (PLU, SCoT) et leur application concrète dans les communes. Les réunions de travail durant le semestre ainsi que ses conseils et nombreuses relectures m'ont été très précieuses. Je tenais également à la remercier pour l'intérêt porté à mon travail d'une manière générale, avec une implication remarquable et très agréable (relectures et corrections week-end et jours fériés !).

Cécile TANNIER, tutrice universitaire, chargée de recherche au CNRS au sein du laboratoire ThéMA, qui m'a fait confiance pour engager un stage de recherche en partenariat avec l'AudaB. Les nombreuses réunions de travail, conseils de rédaction et de méthodologie, et d'une manière générale l'initiation au travail en laboratoire de recherche m'ont été indispensables dans la réalisation du mémoire et me seront sans nul doute très utiles à l'avenir. Merci également pour sa disponibilité et sa forte implication dans ce travail.

Gilles VUIDEL, informaticien au laboratoire ThéMA pour tous ses conseils et explications concernant l'utilisation du logiciel MUP-City. La création de nouvelles versions du logiciel en fonction de mes demandes et de mon utilisation m'ont permis de mener à bien la réalisation de mon travail. Merci aussi pour ses aides précieuses concernant certains aspects des traitements SIG, notamment pour les calculs d'accessibilité, qui m'ont été d'une aide précieuse.

Jean-Philippe ANTONI, maître de conférences au laboratoire ThéMA qui a pris en charge toutes les formalités administratives relatives à mon stage et m'a permis de découvrir la vie de laboratoire à travers la participation à l'organisation du colloque ThéoQuant.

François-Pierre TOURNEUX et **Jean-Christophe FOLTETE**, maîtres de conférences au laboratoire ThéMA qui participent également à mon jury de soutenance orale. Merci aussi à mes collègues doctorants du pôle paysage pour leur aide ponctuelle et bonne humeur quotidienne ainsi qu'aux membres du laboratoire ThéMA en général, toujours disponibles pour des conseils ou des corrections.

Sommaire

Introduction	7
Partie 1 : Contexte général de l'étude	11
1.1) Le secteur Nord du SCoT de l'agglomération bisontine : un territoire face à de nombreuses mutations.....	11
1.1.1) Cussey-sur-l'Ognon, Geneuille, Auxon-Dessous et Auxon-Dessous : un espace stratégique et d'importants enjeux	11
1.1.2) PLU multi-communal des quatre communes de la zone d'étude	13
1.2) Principes d'urbanisation fractale	17
1.2.1) Quelle forme de ville favoriser ?	17
1.2.2) Eléments de géométrie fractale.....	17
1.2.3) Appliquer la géométrie fractale pour aménager les villes	19
Partie 2 : Méthodologie mise en œuvre pour la création de scénarios de développement résidentiel favorisant l'accessibilité aux aménités vertes ...	21
2.1) Définition des contraintes d'urbanisation.....	21
2.1.1) Contraintes liées à l'occupation du sol	22
2.1.2) Contraintes liées aux risques	24
2.1.3) Contraintes écologiques et environnementales.....	26
2.1.4) Contraintes agricoles	30
2.1.5) Contraintes liées aux coûts de construction et au confort des résidents	31
2.2) Définition des zones de bonne accessibilité aux aménités vertes.....	35
2.2.1) Recensement des aménités vertes sur la zone d'étude.....	35
2.2.2) Typologie des aménités vertes en fonction de leur attrait pour la population	37
2.2.3) Evaluation du frein de la distance pour l'accès aux aménités vertes.....	39
2.2.4) Détermination de la qualité de l'accessibilité aux aménités vertes	41

2.3) Utilisation de MUP-City pour la création de scénarios de développement résidentiel	44
2.3.1) Présentation de MUP-City	44
2.3.2) Utilisation interactive de MUP-City pour l'aménagement urbain.....	46
2.3.3) Méthodologie de l'utilisation de la version interactive de MUP-City pour la création de scénarios d'urbanisation respectant une bonne accessibilité aux aménités vertes	50
Partie 3 : présentation et analyse des scénarios de développement résidentiel générés avec MUP-City	54
3.1) Scénarios d'urbanisation résidentielle proposant la meilleure accessibilité aux aménités vertes	55
3.1.1) Scénario « aménités vertes » : position de grille 1	55
3.1.2) Scénario « aménités vertes » : position de grille 2	58
3.1.3) Scénario « aménités vertes » : position de grille 3	60
3.1.4) Comparaison des différents scénarios favorisant l'accessibilité aux aménités vertes	63
3.2) Scénarios d'urbanisation résidentielle favorisant l'accès aux commerces et services et aux espaces ouverts	66
3.2.1) Assurer une bonne accessibilité aux espaces ouverts tout en préservant leur connectivité.....	66
3.2.2) Assurer une bonne accessibilité aux commerces et services	70
3.3) Implémentation des résultats obtenus dans un document d'urbanisme	74
3.3.1) Définition d'un PLU	74
3.3.2) Traduction des scénarios proposés dans le PLU.....	76
3.3.3) Exemple sur un secteur de la commune d'Auxon-Dessus.....	76
Conclusion	78
Bibliographie.....	80
Table des illustrations	84
Annexes.....	87

Introduction

Depuis les années 1970, nous remarquons une augmentation du phénomène de périurbanisation dans la majeure partie des agglomérations. La demande forte de logements, combinée aux changements de modes de vie des individus impliquent un étalement urbain de plus en plus important. Les critères de choix résidentiels sont complexes et font actuellement l'objet de diverses études scientifiques afin de mieux les comprendre. La satisfaction résidentielle, en revanche, est un domaine mieux connu. Il s'agit globalement de l'évaluation par les habitants de la qualité du lieu où ils résident. La satisfaction résidentielle est composée de plusieurs aspects : l'accessibilité aux commerces et services, au cadre paysager et environnemental ainsi qu'à l'accessibilité aux espaces verts et de loisirs (aménités vertes). La satisfaction résidentielle optimale des individus combine ainsi ces trois facteurs. Diverses entrées peuvent alors être considérées pour définir la qualité de celle-ci.

Certaines s'attachent plus à mesurer l'importance de l'accessibilité aux aménités urbaines (commerces, services, réseaux de transports etc.) (Bramley et Power, 2009), (Witten, 2008), (Tannier, 2006).

Le Jeannic (1997) parle du goût pour la population française de « vivre dans un cadre naturel loin de l'agitation des villes, dans des maisons spacieuses et pourvues de jardins, tout en conservant la source de rémunération qu'est l'emploi en ville ». Choumert et Travers (2010), évoquent qu'une partie de la population urbaine ressent le besoin de disposer d'un lieu de nature à proximité de ses lieux de vie. L'objet de ce travail traitera ainsi particulièrement de l'accès à ces aménités vertes. De nombreuses études traitant de la qualité de l'environnement résidentiel s'attachent à mesurer l'accessibilité aux espaces ouverts. Cavailhès (2007), mentionne le fait que l'espace ouvert à la promenade, ainsi que les champs cultivés, « offre des paysages agréables et donne à voir une image de nature ou de ruralité qui plaît aux Français ». D'autres travaux portent sur la méthode des prix hédoniques qui vise à calculer de manière précise le prix de l'accessibilité aux espaces verts dans le montant global de l'achat ou du loyer d'un logement (Sander, 2010), (Cho et al., 2008) etc. Anderson et West (2006) s'attachent plutôt à démontrer que la perception et l'utilisation d'un espace vert par la

population environnante dépend grandement de l'environnement extérieur dans le sens où un petit espace vert aménagé au cœur d'une grande ville pourrait avoir une attractivité plus importante qu'un bois situé dans le rural périurbain. Des données peuvent être collectées par enquête auprès de la population, à partir desquelles les différents chercheurs dégagent un certain nombre de corrélations. Ainsi, Kweon (2010) insiste sur le fait que la satisfaction résidentielle est une des composantes les plus importantes de la qualité de vie d'une manière générale. Elle serait influencée par différents éléments. Il a notamment pu démontrer que les composantes paysagères, l'occupation du sol à proximité de la résidence ainsi que les espaces verts jouaient un rôle significatif. Kaplan (1985), montre également que les arbres les plus proches ainsi que les aires naturelles de proximité sont les facteurs les plus importants de la satisfaction résidentielle.

Dans ce cadre, les projets d'aménagements engagés par les communes ou les intercommunalités doivent ainsi réussir à concilier les différentes aspirations de la population, en limitant au maximum les conséquences néfastes de l'étalement urbain. Différentes directives sont alors mises en place comme le renouvellement urbain, la densification des centres. La qualité de vie urbaine devient alors au cœur des projets d'aménagement et de développement (CERTU, 2006). Se pose alors la question de la forme urbaine optimale en termes de satisfaction résidentielle. En effet, le modèle de la ville compacte, privilégié actuellement par les agences d'urbanisme et appuyé par des textes officiels tels que la loi SRU de 2000 (Solidarité et Renouvellement Urbain), semble être celui qui favorise le mieux l'accessibilité aux commerces et services. Bramley et Power (2009) confirment ce constat mais démontrent également que, bien que l'accès aux aménités urbaines soit le meilleur dans une ville dense, l'accessibilité aux aménités vertes et l'interaction sociale sont plus mauvaises dans ce type de forme urbaine. Les limites du modèle de la ville compacte ont également été démontrées par ailleurs (Banister, 1992 ; Breheny, 1997 ; Burton, 2000 ; Owens, 1992) dans le sens où, en plus d'une réduction de l'accès aux aménités vertes, d'autres problèmes se posent : congestion des axes routiers, hausse des prix des logements, réduction de l'espace de vie. Des modèles alternatifs sont alors proposés afin de tendre vers la « wisely compact city » (Camagni et al., 2002). La ville fractale décrite par Frankhauser (2004) fait partie de ce type de mouvement. Des recherches menées au laboratoire ThéMA de Besançon (Tannier et al., 2010) ont permis de développer des outils interactifs d'urbanisation fractale laissant le soin à l'utilisateur de choisir les paramètres sur lesquels il souhaite insister pour réaliser sa proposition d'aménagement.

Le postulat de base est que le rôle des aménités vertes locales est triple : leur proximité évite les déplacements en voiture pour y accéder, notamment le week-end ; leur fréquentation (marche à pied, course, vélo) est bonne pour la santé (prévention de l'obésité des maladies cardio-vasculaires dues à l'inactivité physique) ; toutes les enquêtes de satisfaction résidentielle montrent une corrélation statistique positive entre la présence d'espaces verts et naturels autour du lieu de résidence et la satisfaction vis-à-vis du lieu de résidence (ville agréable à vivre). Witten (2008) prouve ainsi que l'accessibilité aux destinations utiles (école, commerces...), ainsi qu'aux espaces récréatifs est un déterminant important de l'activité physique des personnes. L'intérêt de la ville fractale pour l'accessibilité aux aménités vertes ayant été démontré (Tannier et al., 2010), nous partons donc de l'hypothèse que cette forme de ville est la plus adaptée pour mieux répondre aux critères d'accessibilité aux espaces verts et de loisirs.

Comment alors favoriser l'accessibilité aux aménités vertes, en utilisant un modèle d'urbanisation fractale permettant d'éviter certains phénomènes tels que la fragmentation paysagère, la destruction des habitats écologiques ou encore les surcoûts dus à la construction de nouveaux réseaux ? Quelles zones sont les plus aptes à être urbanisées selon ces critères ?

Pour répondre à ces questions, nous utiliserons l'outil d'aide à la décision MUP-City (Tannier et al., 2010). Ce logiciel est fondé sur deux hypothèses de base selon lesquelles l'organisation fractale d'un tissu bâti permet une bonne accessibilité à des aménités variées (Frankhauser et Genre-Grandpierre, 1998 ; Cavailhès et al., 2004) tout en minimisant au maximum la fragmentation des espaces bâtis et non bâtis (Frankhauser, 2000). Outre la règle fractale, MUP-City permet d'introduire des contraintes d'accessibilité aux commerces et services, aux espaces ouverts, et de proximité au réseau existant. Concernant les espaces ouverts, la version interactive de MUP-City permet de construire selon une logique fractale (en respectant la non-fragmentation), tout en protégeant les coulées vertes. Nous développerons donc cette fonctionnalité en tentant de qualifier au mieux l'accessibilité aux espaces verts et de loisirs.

Notre objectif sera alors de proposer des zones urbanisables ayant le meilleur accès aux aménités vertes. Pour accomplir notre tâche, il faudra donc réaliser un compromis entre les modèles proposés par le logiciel et les contraintes d'urbanisme règlementaire définies par le SCoT de l'agglomération bisontine. Notre travail s'effectuera sur quatre communes riveraines

de la nouvelle gare TGV de Besançon Franche-Comté, qui sera mise en service fin 2011. Il s'agit d'Auxon-Dessus, Auxon-Dessous, Geneuille et Cussey-sur-l'Ognon. Une collaboration avec l'AudaB, l'Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Bisontine, a été engagée, afin de voir de quelle manière les modèles d'urbanisation fractals établis peuvent s'inscrire dans le cadre d'un PLU ou d'un SCoT.

Nous présenterons ainsi dans un premier temps le contexte général de notre étude, ainsi que les grands principes de l'urbanisation fractale. La méthodologie mise en place sera alors développée. Nous détaillerons la définition et caractérisation des contraintes puis nous expliquerons ainsi de quelle manière les zones d'accessibilité aux espaces verts ont été définies, mais également comment nous avons réussi à implémenter ces nouvelles données dans le logiciel. Par la suite, nous proposerons plusieurs scénarios de développement résidentiel qui feront l'objet de comparaisons et d'évaluations afin de tenter leur mise en adéquation avec des documents d'urbanisme réglementaire.

Partie 1 : Contexte général de l'étude

1.1) Le secteur Nord du SCoT de l'agglomération bisontine : un territoire face à de nombreuses mutations

1.1.1) Cussey-sur-l'Ognon, Geneuille, Auxon-Dessous et Auxon-Dessus : un espace stratégique et d'importants enjeux

La zone d'étude utilisée dans le cadre de ce travail est un territoire complexe présentant un nombre d'enjeux importants.

Les quatre communes étudiées sont riveraines de la gare TGV de Besançon – Franche-Comté. Ce sont de petits bourgs bénéficiant de la présence de commerces de proximité ainsi que des zones d'activités (à Geneuille notamment et à venir sur Auxon-Dessus avec un pôle tertiaire). La ligne LGV Rhin-Rhône sera mise en service le 11 décembre 2011, avec une gare TGV située sur la commune d'Auxon-Dessus. Cette infrastructure est un levier de développement majeur pour l'agglomération bisontine, que ce soit en termes résidentiel, économique ou touristique.

Le secteur d'étude est caractérisé par une diversité paysagère remarquable avec de nombreux espaces naturels tels que la vallée de l'Ognon, le massif de la Dame Blanche ou encore de grands espaces forestiers (Grand Bois, Bois de Cussey...). Le secteur est un maillon important dans le maintien des corridors écologiques pour la grande faune. Il permet les déplacements entre le massif de la Dame Blanche et la vallée de l'Ognon, ainsi que des passages en direction des plaines haut-saônoises. De plus, Cussey et Geneuille sont toutes les deux situées en bordure de l'Ognon, autour de laquelle une ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique et Faunistique) de type II est répertoriée. De nombreuses zones humides sont présentes sur la zone d'étude, traversée par quelques ruisseaux affluents de l'Ognon, intégrés dans la trame verte et bleue. Une ZNIEFF de type I occupe la position centrale du territoire (Bois de Cussey, Grand Bois). Bien que celle-ci a dû être fragmentée par la LGV, de nombreuses mesures compensatoires sont mises en place par Réseau Ferré de France (RFF), notamment pour le maintien et la préservation des zones humides. Enfin, la fragilité du site s'illustre clairement à travers de nombreux projets de protections : le projet de création d'un

Espace Naturel Sensible (ENS) autour de la rainette verte, la réalisation d'un plan de gestion des zones humides intégrant le futur ENS, la réalisation de plusieurs étangs et zones humides à Geneuille ou encore la réalisation de plusieurs projets communaux doivent entrer dans ce cadre...

Le secteur est caractérisé également, par la présence de nombreuses zones d'activités à proximité (centre commercial à Ecole-Valentin, zone logistique à Miserey-Salines...) et il est desservi, directement ou à proximité, par des axes de transports de grande importance (A36, N57, la voie ferrée de connexion entre Besançon et la gare TGV, des haltes ferroviaires...). De plus, l'arrivée de la gare sur la commune d'Auxon-Dessus va entraîner une réorganisation des infrastructures routières sur le site.

Cet espace stratégique connaît une dynamique de croissance résidentielle supérieure aux autres secteurs de l'agglomération bisontine (augmentation de 40 % du parc de logements entre 1990 et 2005). Les communes d'Auxon-Dessus, Geneuille et Cussey-sur-l'Ognon ont quant à elles vu leur nombre de logements augmenter respectivement de 66%, 63% et 63%.

Un Schéma de Cohérence territoriale (SCoT) est en cours de réalisation sur l'agglomération bisontine (Communauté d'agglomération du Grand Besançon, Communauté de communes des Rives de l'Ognon, Communauté de communes du Val de la Dame Blanche, Communauté de communes de Vaite Aigremont, Communauté de communes du Val Saint Vitois et Communauté de communes de la Bussière) (AudaB, 2007). Les quatre communes de l'étude, Auxon-Dessus, Auxon-Dessous, Geneuille et Cussey-sur-l'Ognon sont incluses dans le périmètre du futur SCoT, mais font partie de deux intercommunalités différentes (Communauté d'Agglomération du Grand Besançon pour Auxon-Dessus et Auxon-Dessous et Communauté de Communes du Val de la Dame Blanche pour Geneuille et Cussey-sur-l'Ognon). Ce document d'urbanisme réglementaire est directement issu de la loi SRU de 2000 (Solidarité et Renouvellement Urbain). Il s'agit d'un document de référence qui doit permettre aux communes et aux structures intercommunales d'harmoniser et coordonner les politiques menées en matière d'urbanisme, d'habitat, de développement économique, d'implantations commerciales etc., qui ont chacune des effets sur les territoires voisins et leurs habitants. Les communes considérées font partie du secteur Nord de l'agglomération bisontine. Elles connaissent depuis une trentaine d'années un développement urbain important, causé notamment par la proximité à Besançon, la ville-centre. La LGV ainsi que l'armature ferroviaire associée offrent au territoire de nouvelles potentialités de développement et

d'irrigation qu'il convient d'encadrer dans un objectif de développement durable, ce que prévoit le SCoT.

1.1.2) PLU multi-communal des quatre communes de la zone d'étude

	Cussey-sur-l'Ognon	Geneuille	Auxon-Dessus	Auxon-Dessous
Population 2006	814	1225	1039	1158
Evolution population 1999/2006	31,08%	37,64%	40,41%	5,66%
Superficie commune (en ha)	755	645	388	628
Document d'urbanisme en vigueur	POS du 21/01/99	POS du 03/11/93	POS du 11/07/97	POS du 09/07/92

Source : AudaB, INSEE

Tableau 1 : Caractéristiques générales des communes de la zone d'étude

Face aux enjeux du territoire et à la pression croissante de l'urbanisation (voir tableau 1), un projet de PLU multi-communal a été engagé (AudaB, 2008). Il ne s'agit pas d'un unique PLU, la compétence étant communale, mais chaque PLU sera fondé sur un Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) commun fixant les grandes orientations politiques du territoire. Ce choix s'explique par le fait que ces quatre communes constituent un territoire cohérent d'étude sur le plan de l'environnement, du paysage, mais aussi en ce qui concerne le développement économique et résidentiel lié à l'arrivée du TGV. Sur la base d'un projet environnemental et paysager, le PLU multi-communal aura pour objectif d'organiser, d'encadrer le développement des communes dans une approche d'excellence environnementale, mais également du maintien du cadre de vie et de la préservation de leur identité de communes périurbaines où la qualité de vie est agréable. L'objectif est pour ces communes de se réapproprier leur territoire, et non pas de subir les nombreuses mutations en cours et à venir. Actuellement, les documents d'urbanisme en vigueur dans ces communes, sont des Plan d'Occupation des Sols (POS) datant des années 90. Ils sont propres à chaque commune, sans chapeau commun, et ne permettent donc pas une vision d'ensemble et des orientations globales pour les quatre communes. Le Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) commun entrepris devra donc fixer les orientations politiques sur l'ensemble du secteur en mettant l'accent sur le volet environnemental au vu de la sensibilité du site, mais également résidentiel, économique,

déplacements et transports.... Tous les projets du territoire devront s'intégrer dans une cohérence environnementale multi-communale.

Au regard des évolutions du parc de logements ces dernières années (*voir tableau 1*), il semble que l'arrivée du TGV sur le territoire ne va pas diminuer les tendances observées, mais au contraire les accentuer. L'étalement urbain risque d'être de plus en plus important autour de ces villages et il convient de le maîtriser au mieux afin d'éviter toutes les conséquences néfastes inhérentes à celui-ci (fragmentation des espaces naturels, pollution, nuisances sonores et environnementales, dégradation du cadre de vie...) La réalisation de ce PLU multi-communal se doit ainsi d'être cohérente sur ces quatre communes aux enjeux similaires et identifiés (développement économique, environnement, développement résidentiel). Il doit permettre la mise en place de zones d'urbanisation résidentielle en cohérence avec les enjeux environnementaux et paysagers du territoire. La pression urbaine dans ce secteur est telle que la réalisation des documents d'urbanisme réglementaires est très délicate. Pour faciliter leur élaboration, des outils d'aide à la décision et des propositions d'aménagements sont nécessaires. Le laboratoire de géographie théorique et quantitative THÉMA (Théoriser et Modéliser pour Aménager) de l'Université de Franche-Comté est associé à la démarche PLU dans le cadre d'une expérimentation-recherche du PREDIT sur les modèles fractals d'urbanisation, qui sont appliqués à ce secteur (Frankhauser et al., 2010, Tannier, 2010). Un premier travail a été réalisé (Gruson, Rabut, Wang, 2010) sur ces quatre communes pour tester des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle sur le territoire.

1.1.3) Une démarche basée sur différents scénarios

Définir des zones d'urbanisation résidentielle ne peut se faire sans de nombreuses réflexions préalables tenant compte d'un cadre réglementaire clairement défini. Le SCoT n'est pas approuvé, mais seulement arrêté mais donne d'ores et déjà un certain nombre d'indications qu'il importe d'anticiper dès à présent et intégrer dans notre réflexion. En effet, l'ensemble des documents d'urbanisme communaux devront respecter, dans un rapport de compatibilité, les orientations définies dans le SCoT une fois approuvé. Il s'agit pour les projets définis dans les PLU ou autres documents d'urbanisme, de « tendre vers » ces orientations et surtout, n'y être pas contradictoires. C'est dans le Documents d'Orientation Générales (AudaB, SMSCoT, 2010) du SCoT que l'on retrouve l'ensemble de ces orientations.

Notre travail consiste à faire des propositions de zones urbanisables, à l'horizon 25 ans (horizon du SCoT) et intégrer les orientations générales du DOG en terme d'aménagement : continuité des extensions urbaines avec le bâti existant, éviter la création d'enclaves agricoles, favoriser le renouvellement urbain... La temporalité des PLU est assez variable : 10-15 ans, 20 ans ou 25 ans. Nos propositions prendront alors la forme de scénarios d'urbanisation « maximum ». Ainsi, sur la base des scénarios proposés, les communes identifieront les secteurs les plus propices à l'urbanisation pour l'horizon choisi dans leur PLU.

Nous travaillerons sur plusieurs scénarios. La création de plusieurs scénarios bien différents est essentielle pour servir réellement d'aide à la décision. La multiplicité des scénarios permet de développer des alternatives respectant différemment les grands principes d'aménagement et laissant ainsi la liberté de choix aux décideurs. L'introduction de différents aspects politiques est alors possible. Les décisions politiques sont en effet la dernière étape avant la définition de zones urbanisables. Les décideurs doivent ainsi avoir la possibilité de choisir entre plusieurs alternatives et ce sur la base de contraintes parfois méconnues et difficilement appréciables dans le cadre de l'étude (rétention foncière...). Les scénarios proposés doivent être cohérents les uns avec les autres. Il ne s'agit pas ici d'offrir une palette de toutes les possibilités d'urbanisation résidentielle sur le territoire étudié. L'objectif est de mettre en place des règles, et d'utiliser la variabilité de celles-ci pour permettre la présentation de différents scénarios d'aménagement.

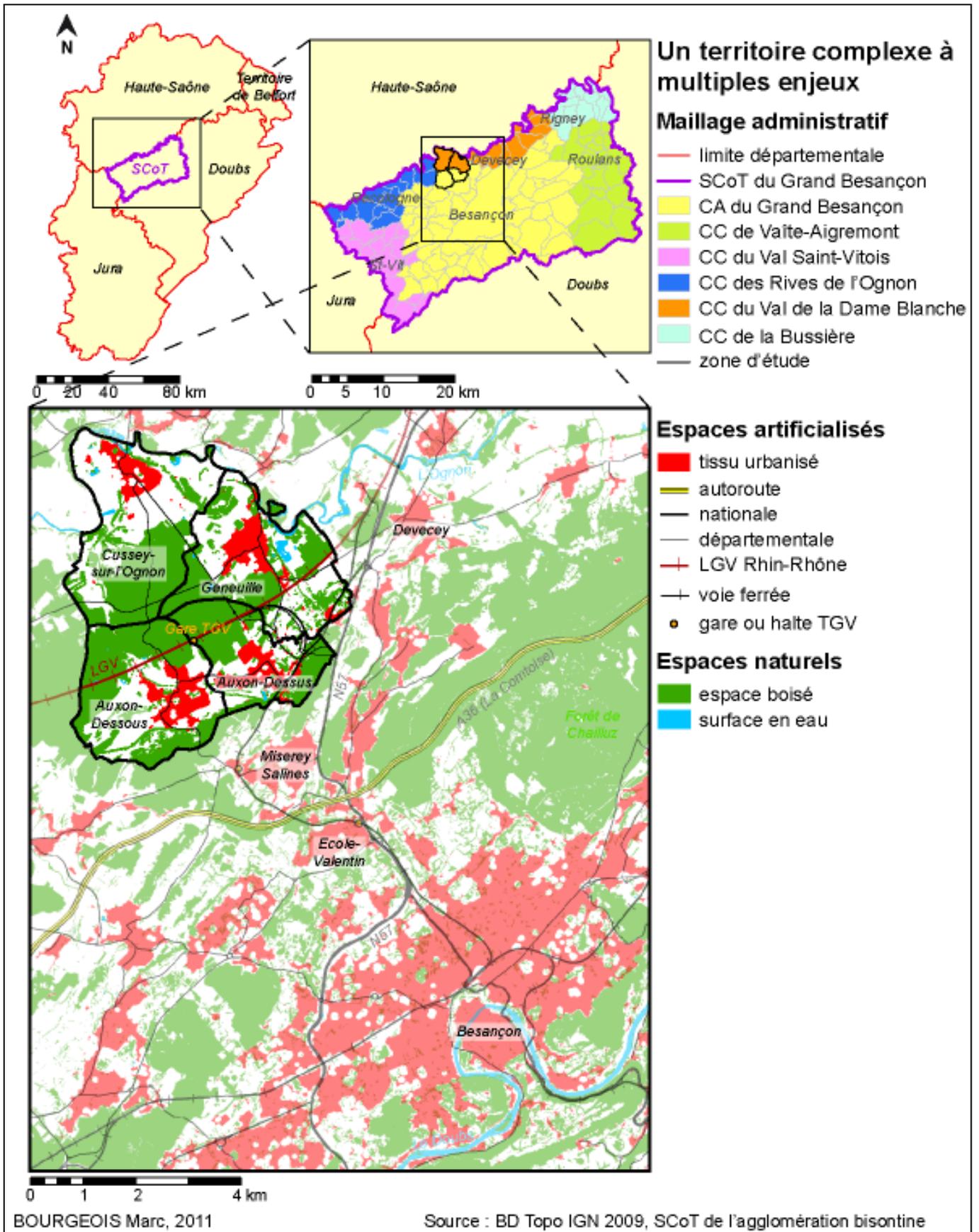


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

1.2) Principes d'urbanisation fractale

1.2.1) Quelle forme de ville favoriser ?

Pour déterminer de nouvelles zones urbanisables sur la zone d'étude, il faut se demander en premier lieu comment réduire au maximum les conséquences néfastes de l'étalement urbain. Il s'agit de canaliser la croissance des villes, plutôt que de l'endiguer. Pour répondre à cela, le modèle de la ville compacte est souvent mis en avant. La densification des villes, à travers le renouvellement urbain et la construction dans les lacunes internes du tissu bâti (dents creuses), permettent de proposer une forme de ville peu consommatrice d'espace. La réduction des distances au sein de la ville permet de favoriser l'accessibilité aux commerces et services et aux diverses aménités urbaines (Bramley et Power, 2009). Les risques de fragmentation urbaine, générateurs de déplacements et de fragmentation écologique, néfaste pour la survie de certains écosystèmes sont alors fortement réduits. Bien que le modèle de la ville compacte soit celui qui réduise au mieux l'étalement urbain, il pose un certain nombre de problèmes : hausse du prix des logements, réduction de l'espace de vie, congestion des axes routiers... (Banister, 1992 ; Breheny, 1997 ; Burton, 2000 ; Owens, 1992). De surcroît, il limite fortement l'accès aux aménités vertes, celles-ci n'étant bien accessibles qu'aux personnes résidant à la bordure extérieure de la ville. Le modèle urbain inverse de celui de la ville compacte est celui de la ville éclatée, diffuse. Si celle-ci offre un excellent accès à tous les espaces ouverts et aux diverses aménités vertes, elle n'en est pas moins extrêmement consommatrice d'espace : l'accès aux commerces et services y est mauvais et la fragmentation est trop importante (Bramley et Power, 2009). Aucun de ces deux modèles n'étant assez satisfaisant, un modèle alternatif doit être mis en place. Le modèle de la ville fractale (Frankhauser, 2004), permet de répondre à un certain nombre des enjeux évoqués précédemment. Ce type d'approche, encore peu étudié, ni appliqué dans les scénarios d'aménagements, semble permettre de concilier à la fois l'accessibilité aux aménités vertes et urbaines, tout en limitant la fragmentation du tissu bâti (Frankhauser, 2000).

1.2.2) Eléments de géométrie fractale

L'approche fractale est d'abord une approche géométrique et non une méthode de mesure. La géométrie fractale prend en compte les points, les lignes, les surfaces et les volumes. Un objet fractal se construit de manière itérative. Prenons l'exemple d'un objet surfacique. L'objet de départ est nommé « initiateur ». Les fractales surfaciques sont initiées

par des objets de dimension deux de la géométrie euclidienne. Un exemple bien connu est celui du « tapis de Sierpinski » (voir figure 2). Pour construire un tapis de Sierpinski, l'objet initiateur est un carré de côté L . On réduit ensuite ce carré d'un tiers. Les cinq carrés de côté $l_1 = \frac{1}{3}L$ sont disposés en forme de croix. Le générateur est ainsi défini. L'itération procède ensuite suivant la logique du générateur jusqu'à l'infini. La forme complexe ainsi créée est le tapis de Sierpinski.

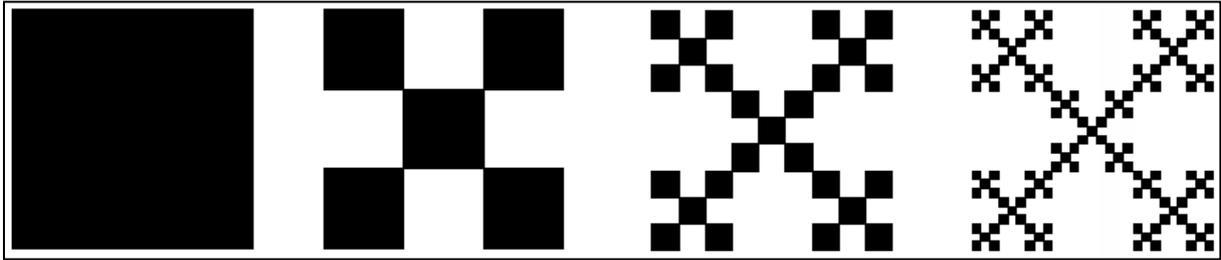


Figure 2 : Un tapis de Sierpinski

Les caractéristiques de ce tapis de Sierpinski sont les suivantes :

$N = 5$. Il s'agit du nombre d'objets bâtis à la première itération. A la deuxième itération il sera de N^2 , à la troisième, de N^3 etc.

$r = \frac{1}{3}$. Il s'agit du facteur de réduction de longueur du côté L .

Ainsi, on note $\varepsilon = r^n L$. A la deuxième itération, $\varepsilon = r^2 L$ puis $r^3 L$ etc.

Il est important de constater ici la hiérarchie des lacunes. La deuxième figure présente quatre lacunes. Celles-ci seront conservées jusqu'à la fin de l'itération. Il s'agit d'un des principes fondamentaux de l'approche fractale. Un élément non occupé à une certaine étape d'itération ne pourra jamais être occupé lors des itérations ultérieures. Dans ce cas, les carrés non représentés dès la génération de l'itération ne le seront plus par la suite. Les lacunes seront alors de plus en plus nombreuses (4 à la base, 16 plus petites, 64 encore plus petites etc.).

La loi fractale est caractérisée par la formule suivante : $N = \varepsilon^D$

La loi fractale introduit alors la variable D , appelée dimension fractale. Elle permet de caractériser la dimension d'une figure géométrique complexe, à l'image des première, deuxième et troisième dimensions, facilement définissables, des figures simples de la

géométrie euclidienne. La dimension fractale se définit comme suit pour une fractale constituée de N exemplaires d'elle-même, et réduite d'un facteur r :

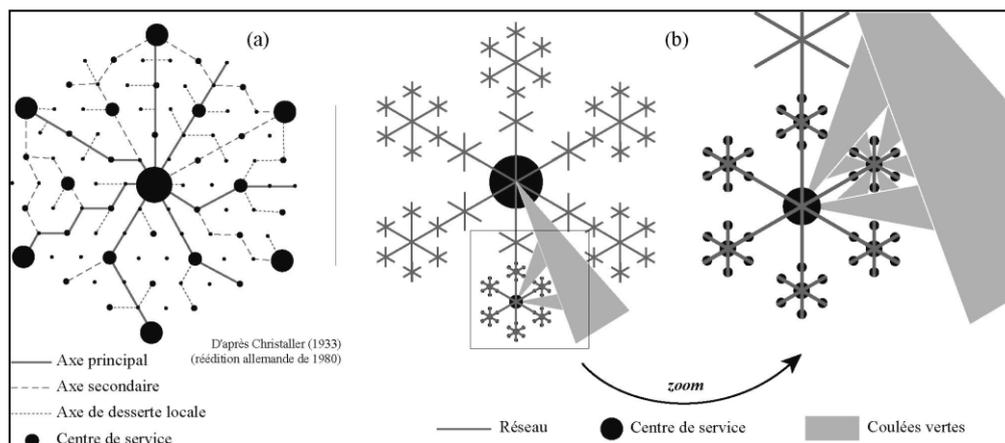
$$D = - \frac{\log N}{\log r}$$

Par exemple, la dimension fractale du tapis de Sierpinski présenté en *figure 2* vaut

$$\frac{\log 5}{\log 3} = 1,465$$

1.2.3) Appliquer la géométrie fractale pour aménager les villes

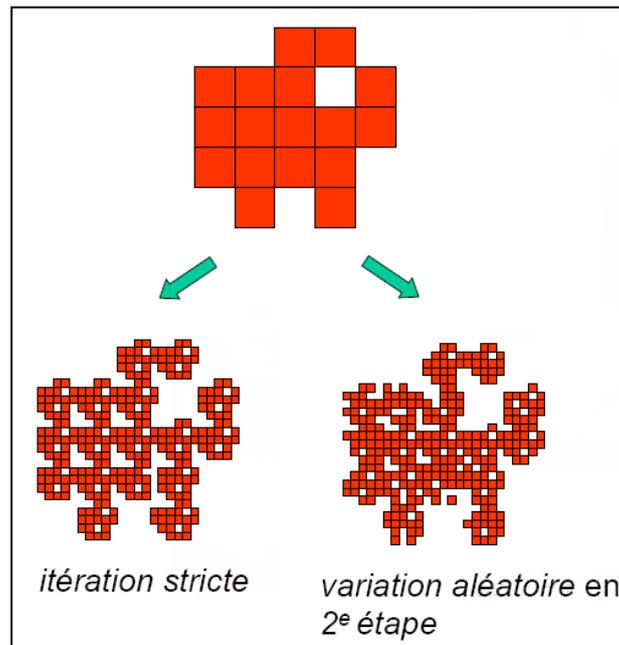
Contrairement au modèle de la ville compacte, le modèle fractal permet de favoriser l'accessibilité aux commerces et services et aux aménités vertes. Pour illustrer cela, nous nous basons sur la théorie des lieux centraux de Christaller (1933), qui permet de montrer l'organisation optimale des centres de service au sein d'une ville uniforme, en utilisant différents niveaux d'échelles. Tous les centres de service n'ont pas le même niveau de recours. Cependant cette organisation est trop consommatrice d'espace et laisse peu de place aux espaces verts. Le modèle de Christaller a alors été modifié en utilisant une modélisation multifractale. La *figure 3* reprend la logique hexagonale de Christaller mais introduit une configuration spatiale multi-échelle qui rapproche les lieux à urbaniser d'axes de transports destinés à accueillir des systèmes de transports en commun (Frankhauser, 2007a). Des coulées vertes peuvent alors s'introduire jusqu'au cœur de la ville, permettant de ventiler celle-ci et d'agréments la qualité de vie des individus avec un bon accès aux aménités vertes et urbaines.



Source : Frankhauser, 2007a

Figure 3: Le réseau des lieux centraux de Christaller (a) et un réseau hexagonal (multi)fractal (b)

Afin de plus se rapprocher de ce que l'on peut trouver dans le monde réel, on peut utiliser un générateur moins symétrique qui peut générer des fractales aléatoires. (voir figure 4). Il est important de remarquer que toutes les lacunes générées au premier niveau sont respectées dans la suite des itérations. On peut observer ici la présence de nombreuses coulées vertes permettant de ventiler et d'agrémenter la ville.



Source : Pierre Frankhauser (cours M2 IT-ISA 2010-2011)

Figure 4 : Exemple de fractales aléatoires

Le modèle fractal semble donc être une des formes d'urbanisation présentant le plus d'intérêt pour réaliser des scénarios d'aménagements combinant à la fois l'accessibilité aux commerces et services ainsi qu'aux aménités vertes. S'il peut sembler complexe dans les formes générées à la fin des itérations, les règles de base sont très simples à définir et permettent une multitude de possibilités. On peut alors construire une grande variété de scénarios à partir de ce modèle fractal.

Partie 2 : Méthodologie mise en œuvre pour la création de scénarios de développement résidentiel favorisant l'accessibilité aux aménités vertes

2.1) Définition des contraintes d'urbanisation

Le processus d'étalement urbain dans les zones périphériques des villes, mais aussi dans les campagnes, est inéluctable. S'il ne peut être totalement endigué en raison d'une pression urbaine trop forte, il peut être canalisé afin que les conséquences néfastes de celui-ci soient réduites au maximum. Avant de proposer des scénarios d'urbanisation dans la zone d'étude considérée, il faut dans un premier temps dresser un inventaire exhaustif de toutes les réglementations, contraintes et servitudes en vigueur ou prochainement applicables dans les quatre communes. Certaines contraintes font l'objet d'une réglementation stricte sur la construction alors que d'autres sont plutôt « floues », sans cadre juridique particulier, à titre d'information, pour une prise en compte. Le code de l'urbanisme énonce un ensemble de dispositions applicables aux documents d'urbanisme dont celui édicté dans le L. 121-1 « d'équilibre entre, le renouvellement urbain, le développement urbain maîtrisé, la restructuration des espaces urbanisés, la revitalisation des centres urbains et ruraux et l'utilisation économe des espaces naturels, la préservation des espaces affectés aux activités agricoles et forestières, et la protection des sites, des milieux et paysages naturels ». A côté de cela, de nombreuses servitudes existent générant des contraintes de constructibilité, des protections d'espaces naturels, des risques connus... dont il convient de prendre en compte dès à présent dans l'élaboration des scénarios. De plus, comme dit auparavant, afin d'anticiper la compatibilité des PLU vis à vis du futur SCoT, les orientations du DOG doivent être intégrées également à notre réflexion.

2.1.1) Contraintes liées à l'occupation du sol

Les zones urbanisables définies dans notre travail se doivent d'être réalistes. Une première approche sur le terrain a été engagée afin de percevoir visuellement quelles pourraient être les contraintes à l'urbanisation au sein des villages de la zone d'étude. La loi Solidarité Renouvellement Urbain (SRU) et la loi ENE (Engagement National pour l'Environnement) dit communément Grenelle 2 préconisent le renouvellement urbain à travers notamment l'urbanisation des « dents creuses » (espaces non bâtis à l'intérieur des espaces urbanisés). Si les questions de renouvellement urbain sont dans certains cas difficilement perceptibles sans données fiables (maisons ou appartement en vacance, démolition / reconstruction...), la caractérisation des dents creuses dans les villages peut être réalisée visuellement. Pour autant, nous avons bien conscience que leur constructibilité dépendra souvent de la volonté du propriétaire (phénomène de rétention foncière/propriétaires non vendeurs).

Nous disposons pour ce faire des parcelles cadastrales et de la BD Topo de l'IGN :

- Les parcelles bâties inférieures à 1 hectare sont directement considérées comme inconstructibles. Il s'agit le plus souvent des jardins privés, pelouses, potagers ou autres agréments privés situés aux abords de la maison considérée. Les parcelles bâties peuvent être optimisées, mais la quantification de ce potentiel reste difficile à appréhender. Pour ces raisons, seules les grandes parcelles bâties ont été intégrées à notre réflexion.
- Les grandes parcelles supérieures à 1 hectare comprenant une habitation ont été découpées. Nous partons du postulat que les propriétaires de parcelles de terrain de taille importante peuvent être susceptibles de vendre une partie de leur terrain pour permettre la construction de nouveaux logements.
- Les parcelles non bâties sont considérées comme disponibles.
- Et les espaces publics (places, voiries existantes, parkings) sont inconstructibles.

Une vérification sur le terrain a été nécessaire afin de caractériser précisément les dents creuses sur notre zone d'étude. Ceci a été réalisé de manière visuelle (*voir figure 5*). Une typologie des dents creuses a été établie directement sur le terrain selon cinq modalités (*voir annexe I*)

- Parcelles aptes à l'urbanisation
- Parcelles aptes à l'urbanisation malgré quelques contraintes supplémentaires (arbres, topographie accidentée etc.)
- Parcelles en cours de construction, qui ne sont pas encore mentionnées dans la version actuelle du cadastre (2010)
- Parcelles privées avec aménagements visibles marquant l'utilisation fréquente du terrain (jardins, potagers, piscines, pelouses, abris de jardins, parc de château, cimetière etc.)
- Parcelles non constructibles en raison de caractéristiques physiques (accès quasiment impossible, trop forte pente etc.)

Les catégories 1 et 2 sont considérées comme zones urbanisables, les catégories 3,4 et 5 font partie des zones non constructibles (*voir figure 6*). La superficie totale des dents creuses de la zone d'étude s'élève à 51,47 hectares. Parmi celles-ci, 48 % sont considérées comme constructibles (24,55 hectares). Pour des raisons de temps, les parcelles à l'extérieur des villages n'ont pas été caractérisées. Ce sont très fréquemment des terrains agricoles qui, en fonction des objectifs en logement des communes et du potentiel de renouvellement urbain disponible, pourront être utilisés pour l'urbanisation sous forme extensive.



Figure 5 : Dents creuses potentiellement constructibles à Cussey-sur-l'Ognon et Auxon-Dessus

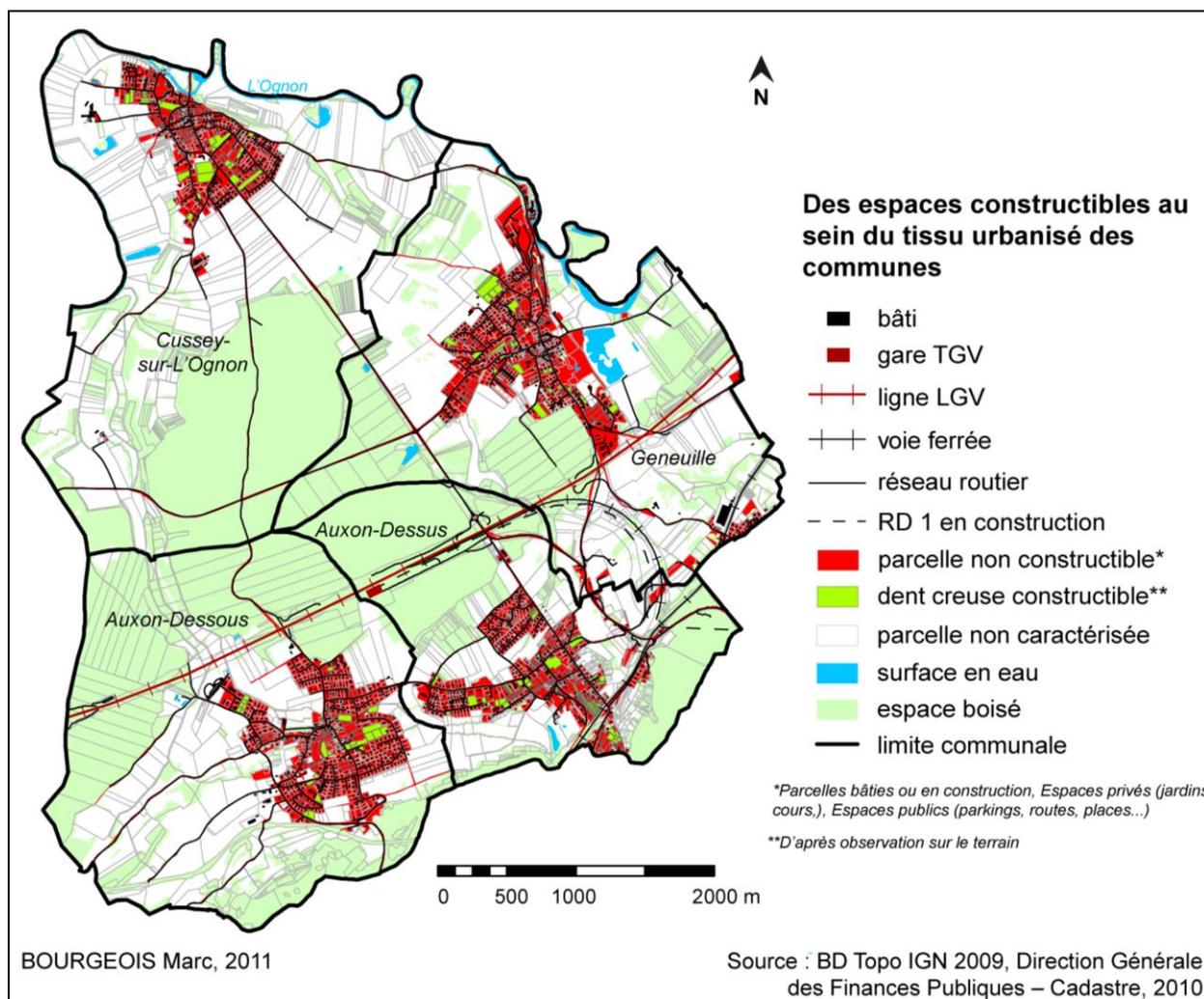


Figure 6 : Contraintes liées à l'occupation du sol (parcelles cadastrales)

2.1.2) Contraintes liées aux risques

Les risques principaux sur la zone d'étude sont les inondations, la pollution et les risques géologiques (voir figure 7) Les inondations concernent les espaces à proximité de l'Ognon, tandis que le risque de pollution de l'eau potable est important à proximité du point de captage d'eau situé sur la commune de Châtillon-le-Duc, à la limite de la commune de Geneuille. Les risques géologiques sont caractérisés par la présence de failles dans la zone d'étude.

Les **zones inondables** revues pour les quatre communes dans les années 90 sont clairement délimitées dans le Plan des Surfaces Submersibles. Les zones inondables sont situées à la proximité des berges de l'Ognon, dans le lit majeur de la rivière. Ceci concerne la commune de Cussey-sur-l'Ognon et plus particulièrement celle de Geneuille, où la limite des zones inondables vient directement au contact du bâti. Le terrain de football de la commune et

quelques entreprises sont notamment situés dans cet espace. L'urbanisation résidentielle, quant à elle, est strictement interdite dans les espaces submersibles. Bien évidemment, la rivière en elle-même et les étangs de la zone d'étude sont également inconstructibles.

Un point de **captage d'eau potable** est localisé au Nord-Est de la commune de Geneuille. Afin de prévenir les risques de pollution éventuelle de l'eau distribuée dans le réseau, un zonage réglementaire est mis en place¹ :

- Périmètre de protection immédiate : en prise directe avec le point de captage. Toute activité y est interdite.
- Périmètre de protection rapprochée : seules les activités susceptibles de ne pas polluer y sont autorisées. L'urbanisation résidentielle y est interdite. La superficie de cette zone est variable selon sa vulnérabilité (1 à 10 hectares)
- Périmètre de protection éloignée : non obligatoire en France mais cette zone est soumise la plupart du temps à de fortes contraintes. Les activités présentant des risques de pollutions doivent être fortement encadrées.

Nous choisissons d'interdire la construction dans ces trois zones, qui sont de surcroît, presque entièrement situées en zone inondable.

Les **risques géologiques** sur la zone d'étude sont relativement faibles. Aucun mouvement de terrain n'y est recensé et la géologie est plutôt homogène. Cependant, les risques potentiels peuvent provenir des quelques failles présentes dans la zone. La construction au-dessus de l'une d'elle peut aboutir à un effondrement. Les failles sur le territoire ont été recensées par la DREAL (ex-DIREN) dans le Porter à Connaissance de 2008² transmis aux communes dès le début de la procédure d'élaboration du PLU multi communal. Nous choisissons d'interdire la construction au-dessus d'une faille marquée ou supposée.

¹ EauFrance : www.eaufrance.fr

² DIREN, *Porter à Connaissance*, 2008

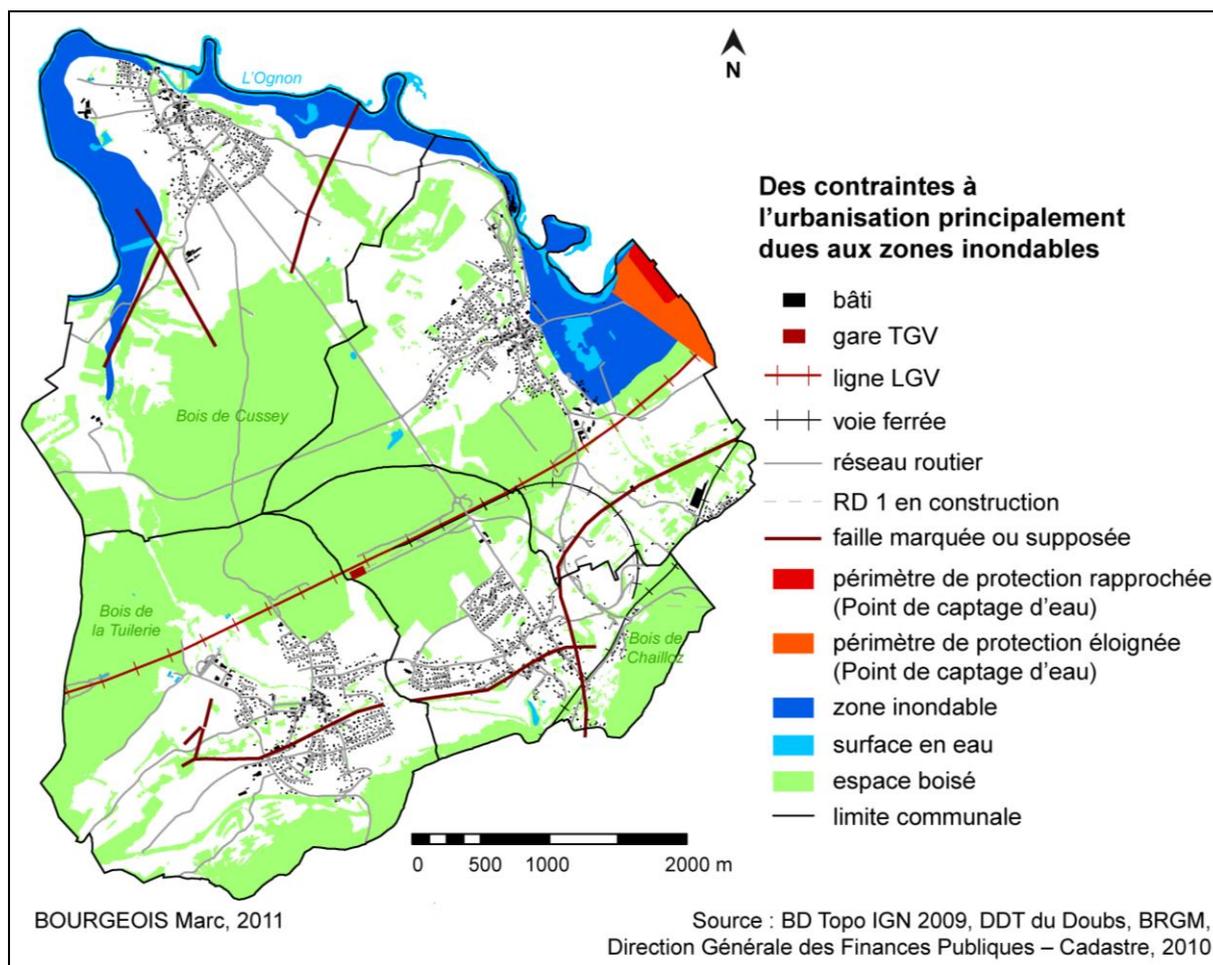


Figure 7 : Contraintes liées aux risques

2.1.3) Contraintes écologiques et environnementales

La définition de toutes les contraintes écologiques et environnementales sur une zone d'étude est complexe. La construction peut être interdite dans certains secteurs afin d'éviter la fragmentation des habitats écologiques. D'autres secteurs font l'objet d'une vigilance particulière, sans interdiction concrète de construire.

La zone d'étude comprend deux types de **ZNIEFF**³ : une ZNIEFF de type I (Bois de Cussey, Grand Bois, environs de la gare TGV) et une ZNIEFF de type II au Nord du territoire axée sur la vallée de l'Ognon, dans laquelle la commune de Cussey est quasiment entièrement incluse (voir figure 8). Une ZNIEFF est un recensement français d'espaces naturels terrestres remarquables. L'inventaire des ZNIEFF identifie, localise et décrit les sites d'intérêt

³ Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique et Faunistique

patrimonial pour les espèces vivantes et les habitats. Les ZNIEFF de type I ont une superficie réduite. Elles sont caractérisées par la présence d'espèces, d'associations d'espèces ou de milieux rares, remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel national ou régional. Les ZNIEFF de type II occupent des espaces plus importants. Elles sont constituées de grands ensembles naturels riches ou peu modifiés ou offrant des potentialités importantes⁴. L'existence d'une ZNIEFF ne peut pas interdire tout aménagement. C'est un révélateur d'un intérêt biologique particulier d'un espace sur lequel de fortes contraintes doivent être définies. Le DOG du SCoT propose d'interdire l'urbanisation dans les ZNIEFF de type I, excepté pour certains équipements d'utilité publique à très forts enjeux, sous couvert de compensations (LGV par exemple). Nous considérons donc les ZNIEFF de type I comme espaces non urbanisables. La ZNIEFF de type II quant à elle, présente des enjeux moindres et pourra donc être urbanisée. Le DOG du SCoT ne mentionne pas de précautions particulières concernant les ZNIEFF de type II qui sont plutôt d'intérêt régional que local.

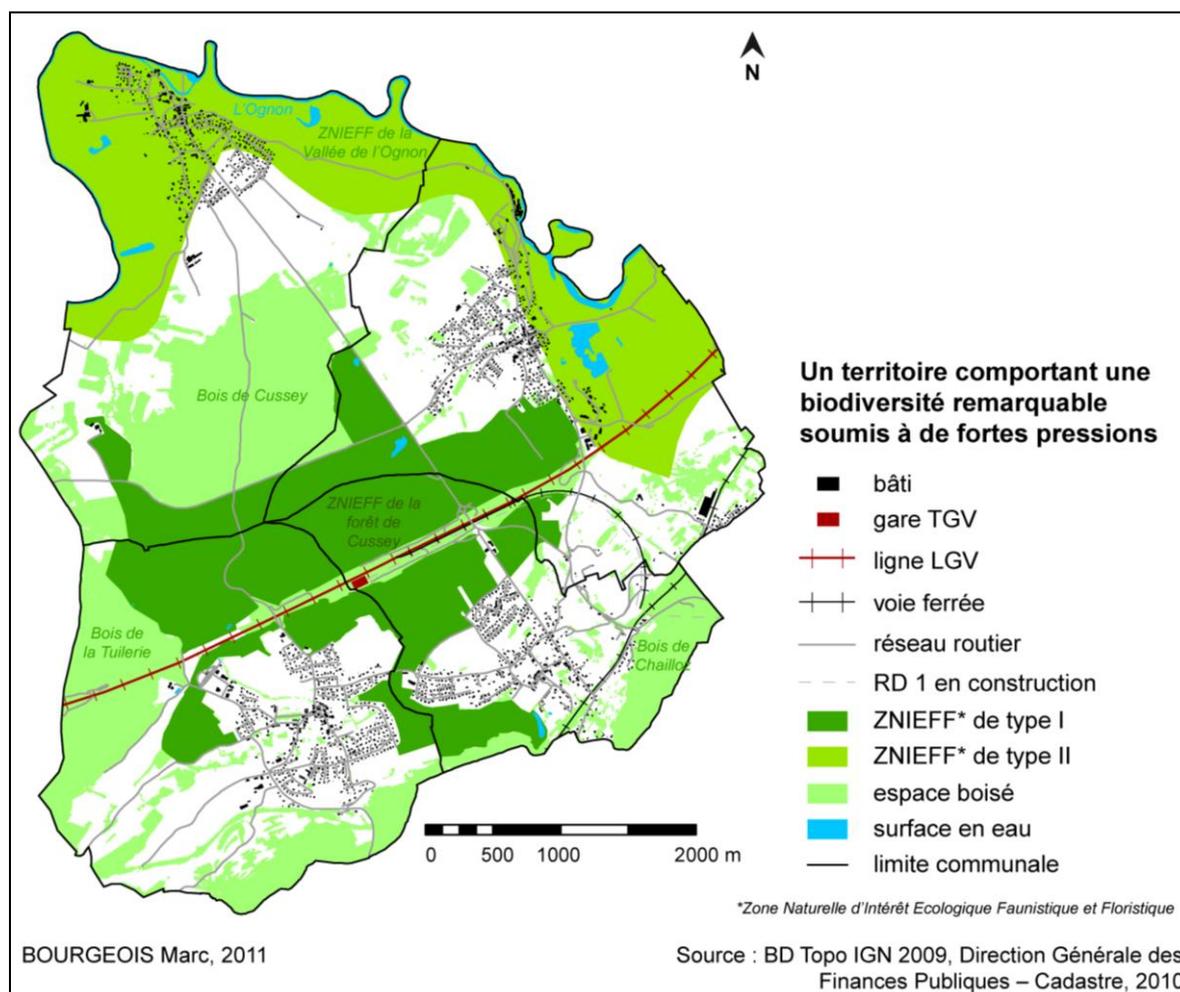


Figure 8 : Contraintes liées à la protection de la biodiversité

⁴ DREAL Franche-Comté

La trame verte du territoire a été établie par la DIREN Franche-Comté (DIREN, Cadrage méthodologique pour la cartographie des continuités écologiques, 2008). Des cartographies ont été établies pour définir le maillage écologique du territoire (DIREN, Porter à connaissance, 2008) (voir annexe 2). En accord avec le Grenelle de l'environnement, des corridors écologiques identifiés comme étant importants pour la biodiversité du territoire ont été tracés sur les communes de la zone d'étude. Une multitude de cartographies des corridors écologiques existe. Nous utiliserons pour cette étude les cartes établies par la DIREN Franche-Comté. Les corridors écologiques sont des couloirs potentiels de déplacement d'espèces entre des zones nodales (cœurs de forêts par exemple).

Pour que le corridor soit fonctionnel, il doit être large de 200 mètres minimum : une zone tampon de 100 m de part et d'autre du corridor vert a ainsi été établie (voir figure 9). Cette zone est considérée comme non constructible. S'il est plus étroit, une zone tampon de 200 m autour du corridor est souhaitable. Ces zones ne seront pas considérées comme inconstructibles mais comme présentant de fortes contraintes à l'urbanisation.

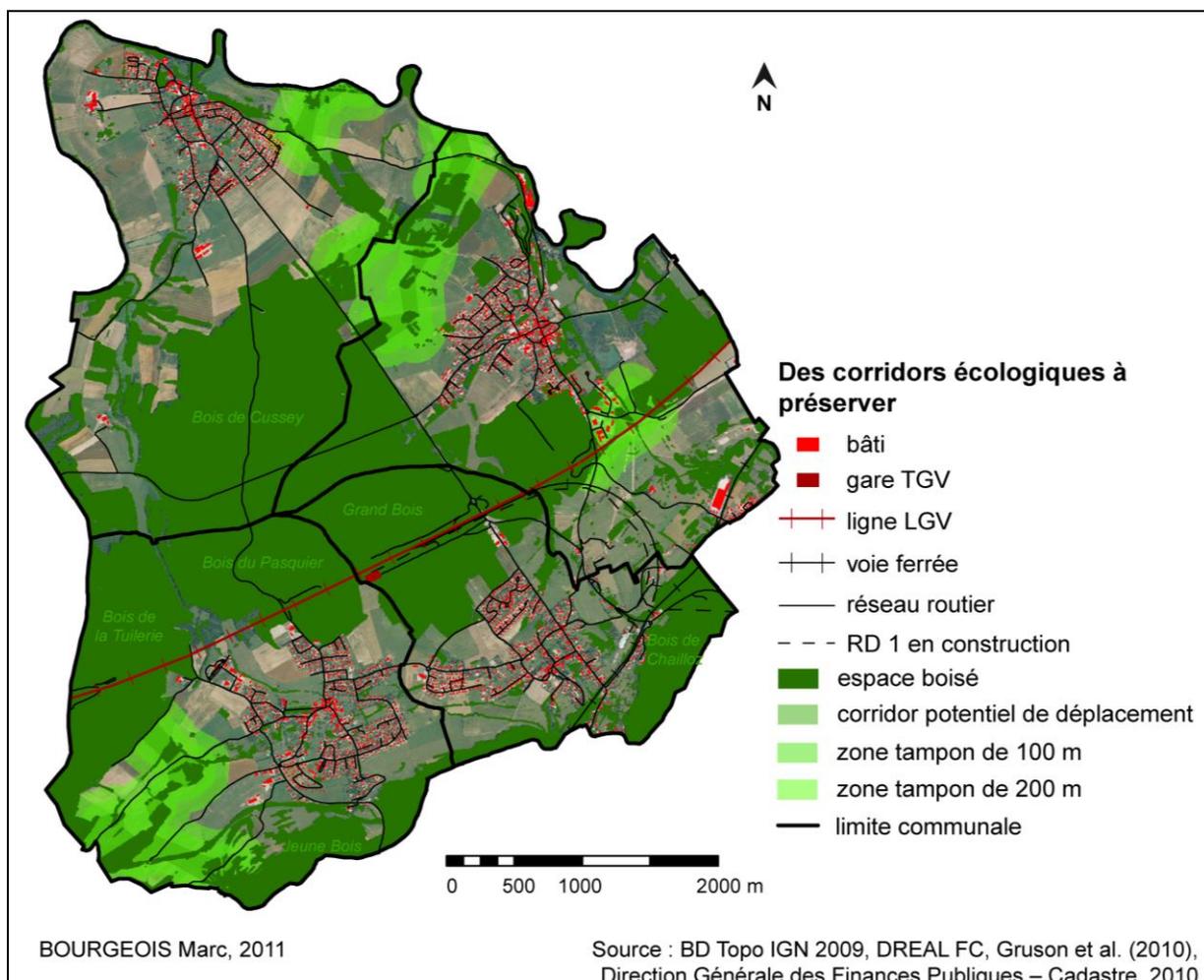


Figure 9 : Contraintes liées aux corridors verts

La DIREN Franche-Comté a également établi une cartographie de la trame bleue de la zone d'étude (voir annexe 3). La trame bleue est composée par des zones humides, ruisseaux et rivières, éventuellement reliés entre eux par des corridors bleus (voir figure 10). D'après les préconisations du Grenelle de l'environnement, ceux-ci doivent être associés à une bande enherbée de 5 mètres de large et d'une zone tampon de 50 mètres de part et d'autre du corridor. Cet espace est considéré comme inconstructible. La DIREN a également identifié des zones réservoirs de développement ou d'extension pour la faune et la flore. Ces espaces sont des zones de fortes contraintes.

La zone d'étude comporte un nombre important de zones humides (étangs, marais...). On y trouve un type d'habitat écologique particulièrement riche et vulnérable. Les zones humides présentes dans les quatre communes ne sont pas classées RAMSAR (intérêt national et européen) mais doivent être protégées. Le DOG réaffirme cette obligation de protection. Ces espaces naturels sont également inconstructibles.

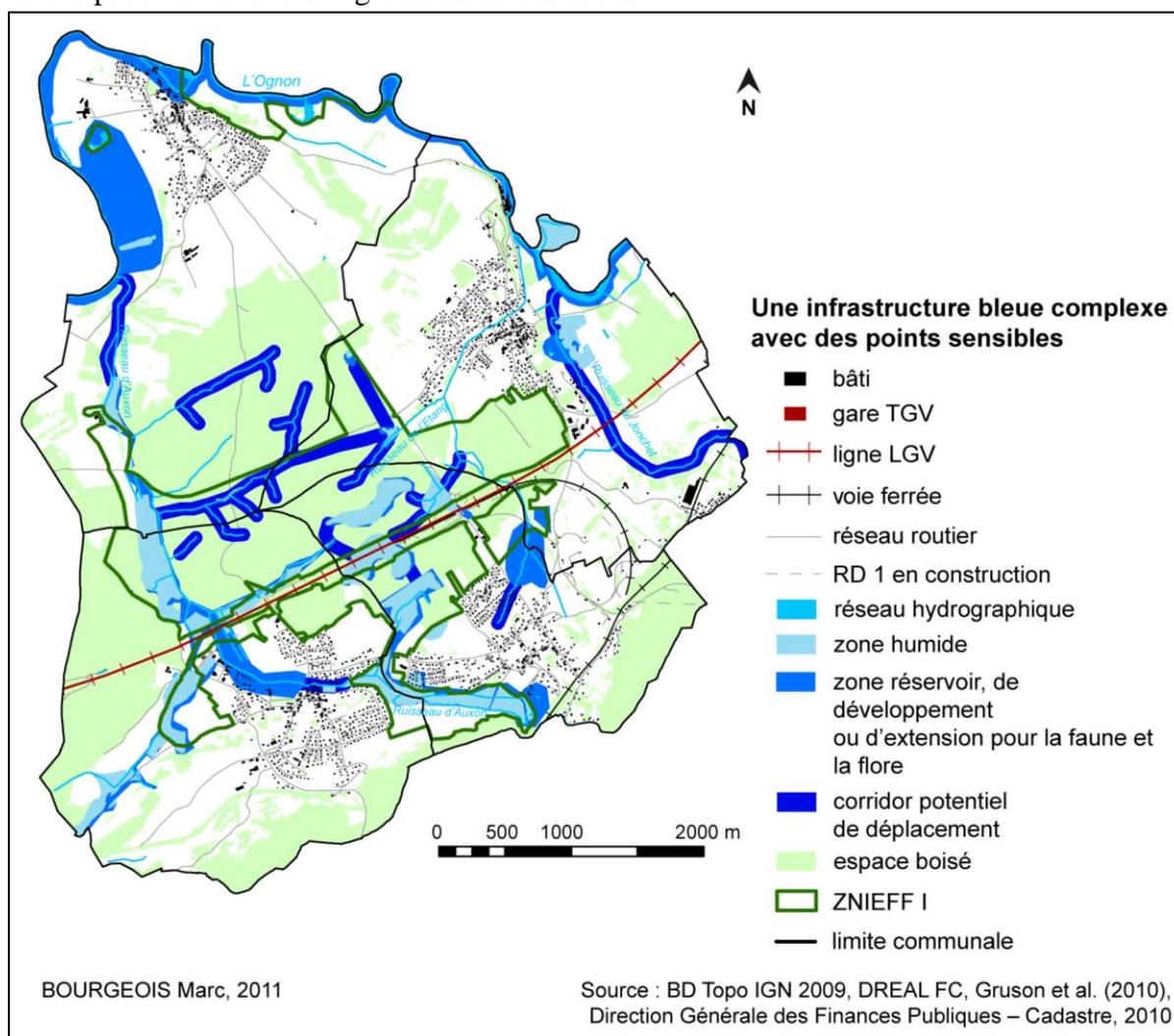


Figure 10 : Contraintes liées aux corridors bleus

2.1.4) Contraintes agricoles

La zone d'étude dispose d'une activité agricole représentée essentiellement par l'élevage (bovins, équins, ovins) et la culture de céréales et d'oléagineux. Elle repose sur l'utilisation et la valorisation de surfaces en herbe ou labourés, espaces qui sont directement menacés par l'extension de l'urbanisation. Le territoire agricole de la zone d'étude n'est pas homogène et différentes zones ont été identifiées. Aucune législation n'a été mise en place sur ces communes pour assurer la protection de certains espaces agricoles, notamment des plus menacés, ceux situés en périphérie des villages.

Toutefois, le SCoT a identifié ces espaces agricoles comme présentant de forts enjeux. Il ne s'agit pas d'interdire l'urbanisation, mais à travers cette disposition, le SCoT vise à amener les communes à réfléchir sur le montage de leur projet, en intégrant une démarche constructive avec la chambre d'agriculture et en fixant des mesures conservatoires pour l'agriculture et compensatoires si nécessaires. De plus dans les secteurs à très fort enjeu, le SCoT encourage les communes à créer des Zones Agricole Protégées (ZAP) qui constituent une mesure de protection stricte « servitude » pour la protection des espaces agricoles.

Nous ne prendrons pas en compte les caractéristiques des terrains agricoles de chaque commune. Cependant, nous intégrerons les dispositions relatives aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) : les bâtiments de plus de 50 vaches doivent respecter un recul de 100 mètres par rapport aux zones urbanisées. Ne disposant pas de données précises sur les caractéristiques de chaque exploitation agricole, nous avons tracé une zone tampon de 100 mètres autour de chacune de celles-ci (*voir figure 11*) L'urbanisation dans cette zone est donc interdite pour protéger le développement de l'activité agricole.

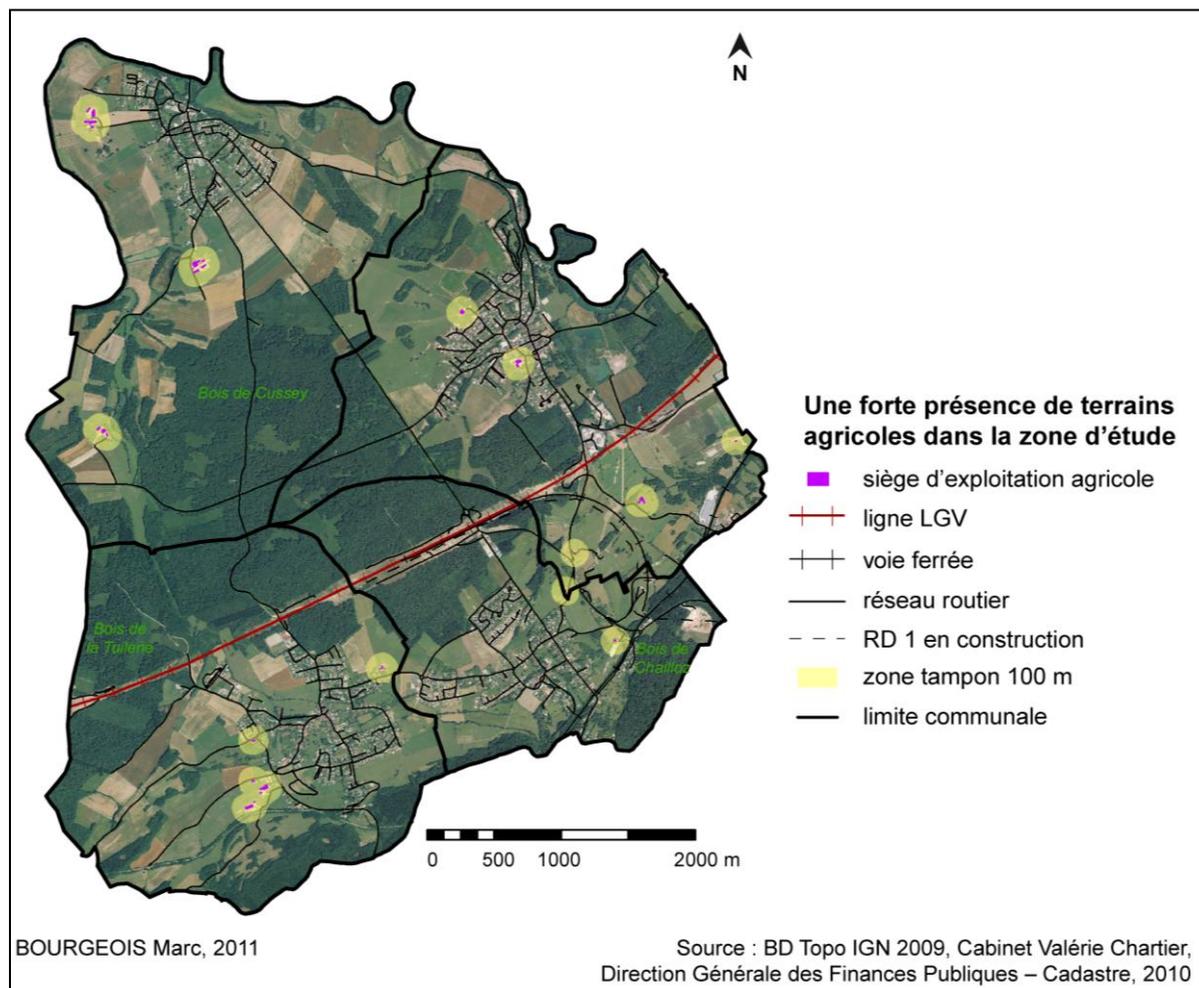


Figure 11 : Contraintes liées à l'agriculture

2.1.5) Contraintes liées aux coûts de construction et au confort des résidents

Les contraintes liées aux coûts de construction et au confort des résidents sont principalement causées par la pente du terrain et le bruit occasionné par les infrastructures de transport (voir figure 12).

La **pente du terrain** est un déterminant essentiel de l'augmentation des coûts de construction. Une zone de forte pente est difficile à urbaniser et nécessite de mobiliser plus de moyens. Il n'existe pas de réglementation juridique permettant de déterminer un seuil de pente maximal autorisé. Cependant, les documents d'urbanisme préconisent le plus souvent de ne pas bâtir à plus de 15 % de pente. En accord avec l'AudaB, nous interdisons donc la construction dans les zones où la pente est supérieure à 15 %. Ces espaces sont définis par des cellules de 20 mètres de côté, déterminées à l'aide du Modèle Numérique de Terrain de la BD Topo de l'IGN.

Les **nuisances sonores** occasionnées par les infrastructures de transports peuvent considérablement augmenter les coûts de construction (isolement acoustique nécessaire) et altérer la qualité de vie des résidents. La DDT du Doubs a déterminé les secteurs affectés par le bruit en déterminant des zones tampons autour de chaque infrastructure classée. Ainsi, les principales zones subissant des nuisances sonores sur le territoire sont la LGV (250 m de part et d'autre de la voie) et la RD1 (100 m de part et d'autre de la route). Afin de ne pas trop contraindre l'urbanisation, nous avons déterminé deux niveaux de nuisances sonores : contraignantes et très contraignantes. Les nuisances sonores très contraignantes sont de 100 m autour de la LGV et 50 m autour de la RD1. Ces zones sont considérées comme inconstructibles. Les nuisances sonores sont contraignantes dans une zone tampon de 100 m autour de la RD1 et 250 m autour de la LGV. Ce sont des zones de forte contrainte à l'urbanisation. Nous pouvons noter que le centre du village de Cussey-sur-l'Ognon est situé directement le long de la RD1, dans les zones que nous considérons comme inconstructibles. Cependant, les espaces encore urbanisables dans cette zone sont peu nombreux, les nouveaux logements de la communes se situent plutôt en périphérie du village. Cette zone tampon sera contraignante pour l'urbanisation essentiellement avant l'entrée dans la commune, là où des terrains seraient potentiellement disponibles le long de la départementale. Mais bien que contraignante pour l'habitat, d'autres formes d'occupation, tel que l'activité, trouveront plus aisément leur place à cet endroit.

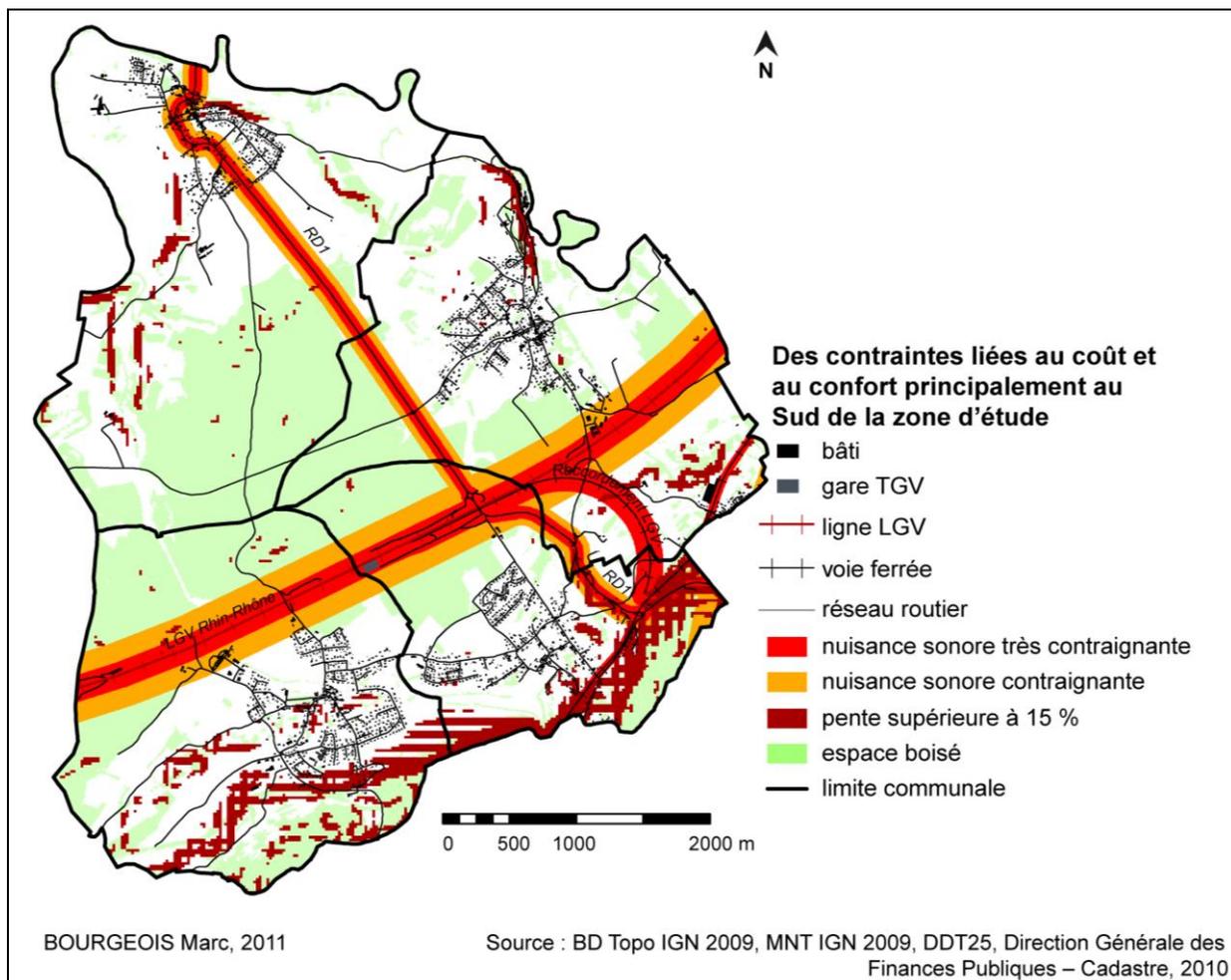


Figure 12 : Contraintes liées aux coûts de construction et au confort des résidents

Les orientations du SCoT reprennent en grande partie les contraintes d'aménagement citées ci-dessus. Elles y ajoutent d'autres principes devant guider l'urbanisation des communes : l'urbanisation en continuité de l'existant, une gestion économe par le renouvellement urbain, la limitation de l'urbanisation linéaire....

2.1.6) Bilan des contraintes à l'urbanisation

Nous présentons dans le tableau 2 l'ensemble des contraintes à l'urbanisation définies précédemment. A noter que nous avons ajouté les espaces verts et de loisirs comme zones inconstructibles. Ces aménités vertes doivent être préservées. Elles font partie intégrante de la qualité de l'environnement résidentiel des individus.

Zones non constructibles	Zones de fortes contraintes
Parcelles urbanisées ou en cours de construction	
Espaces publics (routes, parkings...)	
Espaces privés (jardins, potagers...)	
Parcelles non accessibles ou à topographie très contraignante	
Zones inondables	
Périmètre de protection rapproché et éloigné	
Surface en eau	
Failles	
ZNIEFF de type I	
Corridor vert	Corridor vert (Zone tampon 200 m)
Corridor vert (Zone tampon 100 m)	
Corridor bleu (Zone tampon 50 m)	
Zone humide	Zone réservoir, de développement et d'extension pour la faune et la flore
Zone tampon de 100 m autour des sièges d'exploitations agricoles	
Bruit rapproché	Bruit éloigné
Pente supérieure à 15%	
Espaces verts et de loisirs	

Tableau 2 : Bilan des contraintes à prendre en compte sur la zone d'étude

La carte synthétique (voir figure 13) nous permet de synthétiser toutes les zones non constructibles et de fortes contraintes dans la zone d'étude. Elles nous serviront de guide lors des scénarios d'urbanisation. Elle permet de voir que les quatre communes considérées sont soumises à de très fortes contraintes et que les espaces ouverts à l'urbanisation sont très restreints. Nous devons maintenant déterminer parmi ces zones urbanisables, lesquelles offrent la meilleure accessibilité aux aménités vertes.

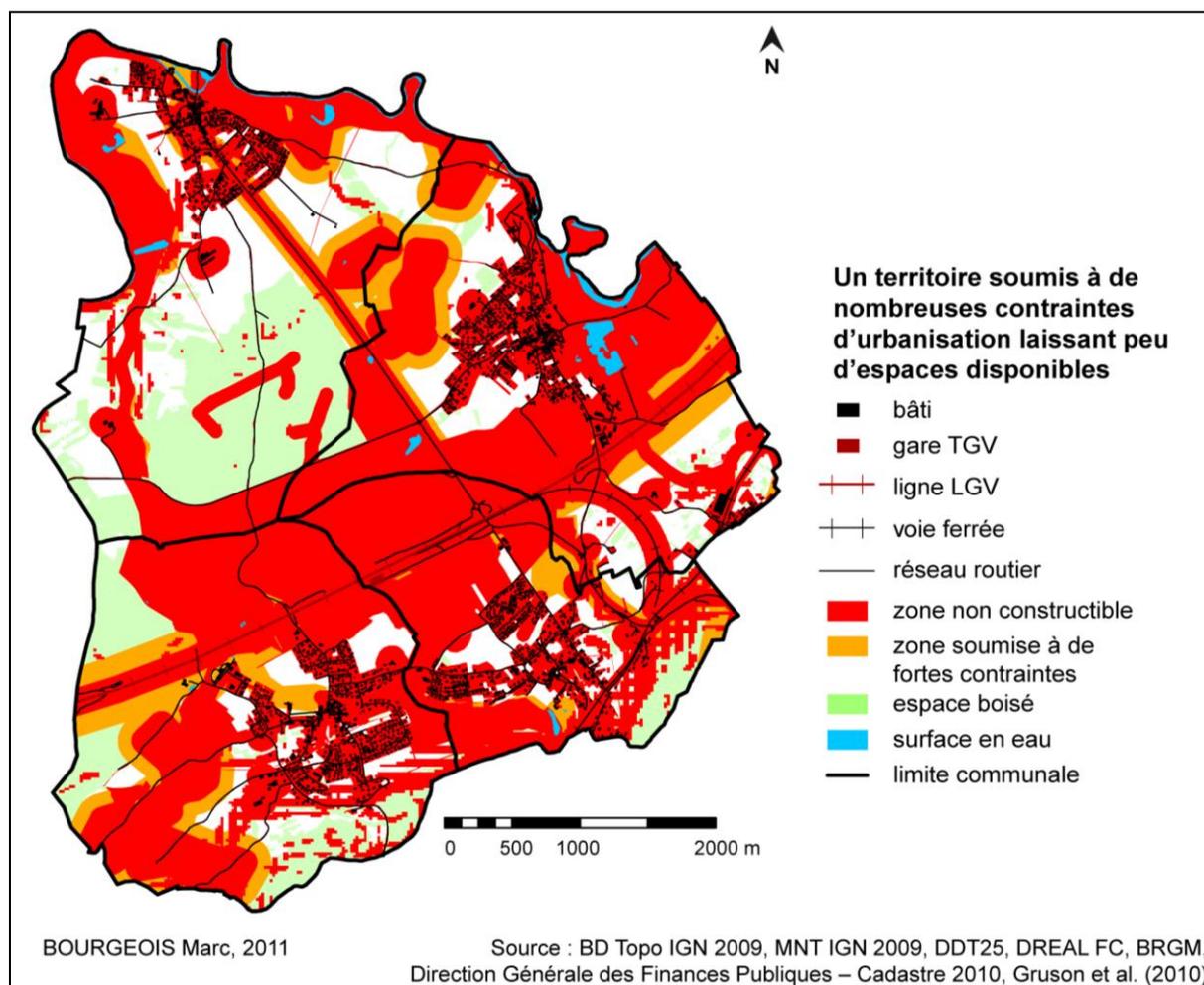


Figure 13 : Zones de contraintes et de fortes contraintes dans la zone d'étude

2.2) Définition des zones de bonne accessibilité aux aménités vertes

L'accessibilité aux espaces verts et de loisirs, autrement appelées « aménités vertes » est une des composantes majeures de la satisfaction résidentielle et se retrouve aujourd'hui à travers le Grenelle de l'environnement (Cavailhès, 2007 ; Kweon, 2010 ; Witten, 2008). Nous avons défini une méthodologie permettant de quantifier l'accessibilité locale aux aménités vertes en tout point de notre zone d'étude.

2.2.1) Recensement des aménités vertes sur la zone d'étude

Notre zone d'étude est composée exclusivement de communes situées dans la zone périurbaine de Besançon. Les espaces verts occupent une place prépondérante sur le territoire (44 % d'espaces boisés). Ces espaces ne sont cependant pas tous praticables et/ou aménagés pour proposer des activités récréatives à la population. Nous écartons de notre étude les

aspects paysagers et recensons uniquement les aménités vertes qui sont fonctionnelles sur le territoire. En sus des espaces verts et naturels, les aires de jeux ou terrains de sports sont des aménités vertes contribuant à la satisfaction résidentielle des individus.

Une reconnaissance effectuée sur le terrain nous a permis d'établir un inventaire exhaustif des différentes aménités vertes sur le territoire.

La commune de Cussey-sur-l'Ognon dispose d'un chemin de randonnée pédestre balisé, dans le bois de Cussey, qui a pu être identifié grâce à une version récente de la carte IGN du territoire (disponible sur Géoportail). Elle ne comporte pas d'autres aménités vertes à proprement parler tels que des parcs, ou aires de jeux. En revanche, le terrain de football situé à l'entrée d'Etuz qui jouxte la commune de Cussey est pris en compte.

La commune de Geneuille dispose du même chemin de randonnée, traversant Cussey-sur-l'Ognon. Un terrain de football et de basket est également présent, à l'Est du village à proximité de l'Ognon.

La commune d'Auxon-Dessous comprend une infrastructure similaire avec un complexe sportif plus important, au Nord du village, à proximité de la ligne LGV. On y trouve un terrain de football en herbe et en stabilisé, un terrain de basket ainsi que deux terrains de tennis.

Auxon-Dessus est la commune qui est la mieux pourvue en termes d'aménités vertes. Elle comporte un parc au cœur du village (Parc des Ch'nillons) avec des aires de jeux pour enfants, table de ping-pong ainsi que divers agréments tels que des bancs, des tables etc (*voir figure 14*). Un terrain de football en stabilisé est également intégré au parc. Un terrain de basket est situé dans le même secteur, à côté de l'église du village. Outre ces espaces de loisirs, le village est localisé à proximité d'un parcours de santé. Celui-ci est situé dans le Bois de Chailloz, sur le territoire de la commune de Miserey-Salines, mais plusieurs accès y sont possibles par le Sud d'Auxon-Dessus.



Figure 14 : Parc des Ch'nillons à Auxon-Dessus

La forêt et les espaces ouverts constituent des aménités vertes uniquement s'ils peuvent être pratiqués. C'est-à-dire s'il existe des chemins qui les traversent. Ces chemins existent sur toutes les communes de la zone d'étude. Ils ont pu être identifiés grâce à la couche « Chemin » et « Sentier » de la BD Topo de l'IGN. Un complément a été effectué avec la carte topographique du territoire disponible en visualisation sur Géoportail. Un inventaire plus complet pourrait être établi si les individus avaient la possibilité de se promener sur des quais, de se baigner dans un lac. Ce n'est pas le cas sur le territoire, les rives de l'Ognon n'étant pas aménagées sur les communes de Cussey-sur-l'Ognon et Geneuille. La baignade est en effet interdite dans cette zone.

Partant du postulat que les individus empruntent les rues des villages ou marchent le long des routes pour accéder aux aménités vertes (Forsyth, 2007), un point a été placé à l'intersection entre chaque aménité et le réseau routier. Ces points constituent les points d'entrées aux aménités vertes dans la zone d'étude.

2.2.2) Typologie des aménités vertes en fonction de leur attrait pour la population

Nous partons de l'hypothèse que les aménités vertes n'ont pas toutes le même attrait pour la population. Celui-ci dépend du type d'aménité verte et de ses caractéristiques. En raison d'un manque de données plus précises, nous considérons que les résidents ont la même fréquence de recours à tous les types d'aménités vertes.

Une typologie a été réalisée. Elle classe les aménités vertes en fonction de leur attrait respectif pour la population. Nous avons attribué un attrait différent selon chaque type, sur une échelle de 8 à 1, 8 étant l'attrait maximal (voir tableau 3).

Attrait de l'aménité verte	Type d'aménité verte	Communes concernées
8	Parcours de santé	Auxon-Dessus
7	Aire de jeux	Auxon-Dessus
6	Terrain de sport et de loisirs	Toutes
5	Chemin de randonnée pédestre	Cussey-sur-l'Ognon, Geneuille
4	Chemin permettant plus de 2 h de marche	Toutes
3	Chemin permettant entre 1 et 2 h de marche	Cussey-sur-l'Ognon, Auxon-Dessus
2	Chemin permettant entre 30 min et 1 h de marche	Geneuille, Auxon-Dessus, Auxon-Dessous
1	Chemin permettant entre 15 et 30 min de marche	Cussey-sur-l'Ognon, Geneuille, Auxon-Dessous

Tableau 3 : Typologie des aménités vertes présentes sur la zone d'étude

L'espace de loisirs présentant l'attrait le plus important semble être le parcours de santé. En effet, cet espace à la fois sportif et récréatif peut s'adresser à toutes les catégories de populations quelque soit leur âge. Il est intéressant pour les jeunes et les adultes sportifs, mais également pour les enfants qui peuvent y trouver des aires de jeux, pour les parents ou même les personnes âgées désirant se promener dans un cadre agréable.

L'aire de jeux multi-activités d'Auxon-Dessus est également un espace très attractif. Elle est en effet conçue pour les enfants, mais également pour les parents les accompagnant. Les différents bancs peuvent potentiellement permettre aux personnes âgées de se retrouver. Les terrains de foot et de basket, sont plutôt à destination des adolescents et jeunes adultes.

Les terrains de sports et de loisirs (terrains de foot, basket etc.), arrivent en troisième position dans la typologie car ils sont attractifs pour les adolescents et adultes sportifs.

Nous avons ensuite considéré que les chemins de randonnée étaient plus attractifs que les sentiers non balisés. Ils sont conçus pour la marche et présentent des caractéristiques justifiant leur balisage (paysage, particularités etc.). Ce type d'aménité est en général utilisé par les adultes (marche à pied, jogging) plutôt que par les enfants et adolescents.

Enfin, les chemins constituent le dernier type d'aménités vertes sur le territoire (la plupart offrant une diversité paysagère intéressante : vue sur l'Ognon, forêt, espaces ouverts...). Un chemin offrant une potentialité de promenade limitée sera moins attractif qu'un chemin offrant de plus grandes possibilités. Nous avons alors déterminé des réseaux de chemins (chemins connectés entre eux). Après mesure de la longueur totale des ces réseaux,

nous avons pu les ordonner. Sur la base d'une vitesse de 4 km/h (randonnée pédestre à allure modérée), quatre types de chemins ont été définis : ceux pouvant proposer plus de 2 heures de marche, ceux proposant entre 1 et 2 heures de marche, ceux proposant entre 30 minutes et 1 heure de marche, et enfin, ceux proposant entre 15 et 30 minutes de marche. Les chemins ne proposant pas plus de 15 minutes de marche sont écartés de l'analyse. Ils ne constituent pas pour nous une aménité verte.

Pratiquement, une valeur d'attrait a été attribuée à chaque point d'accès aux aménités vertes. Par exemple, le point d'intersection entre la route et l'entrée du terrain de foot de Geneuille a une valeur de 6.

2.2.3) Evaluation du frein de la distance pour l'accès aux aménités vertes

Il apparaît fréquemment dans la littérature que l'attrait d'un espace vert décroît avec la distance. En ce sens, plus un espace vert est situé loin d'une habitation, moins celui-ci est attractif pour le résident (CERTU, 2006). Dans nos calculs, la distance représente donc un frein à l'attrait des aménités vertes sur la population.

Nous avons choisi des seuils de distances, à partir desquels l'attrait de l'aménité verte diminue. La question des seuils de distance peut être traitée de différentes manières (par enquête sur une zone d'étude, par test sur un espace vert-type etc.). Un seuil revient néanmoins fréquemment pour ce qui est de l'accessibilité aux aménités vertes ou urbaines : celui de 400 m (Jago et al. 2005 ; Kweon et al., 2010 ; Handy et al., 2005 ; Cao et al., 2009). Il semble que cette distance soit la plus « acceptable » par les individus pour fréquenter une aménité. Forsyth (2007), propose davantage de seuils : 200, 400, 800 et 1600 m. Ainsi la valeur attribuée à l'attrait de l'aménité verte diminuera en fonction de la distance. A partir de 1600 m, distance maximum acceptable pour les déplacements à pied de la population, l'attrait décroît beaucoup plus rapidement jusqu'à devenir nul à 2000 m. Les seuils choisis sont donc 200, 400, 800, 1600, 1700, 1800, 1900 et 2000 m.

Pratiquement, nous avons créé des zones tampons (buffers) le long des réseaux routiers, correspondant aux différents seuils de distance. Chaque zone tampon est affectée d'une valeur différente selon le type d'aménité situé à proximité et la distance à celle-ci. Chaque type d'aménité est alors représenté par une carte de zone tampon (*voir figure 15*)

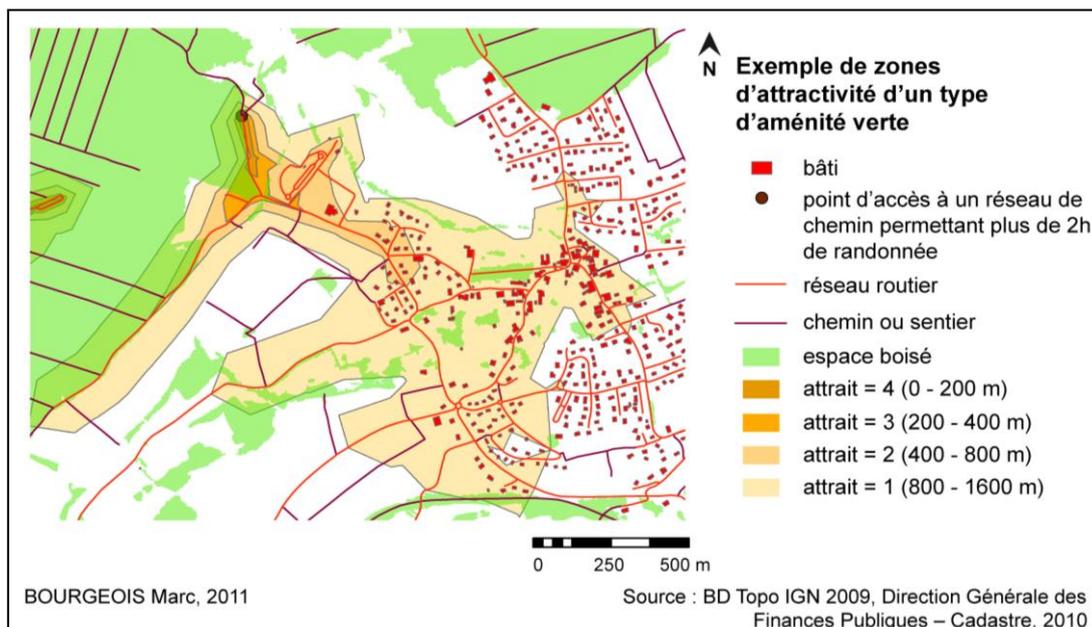


Figure 15 : Exemple de zones d'attractivité d'un type d'aménité verte

Prenons l'exemple des points d'entrées aux chemins permettant plus de 2 h de marche à pied : de 0 à 200 m, leur attrait est de 4 (voir tableau précédent). De 200 à 400 m, il est de 3. De 400 à 800 m il est de 2. Et enfin, il est de 1 de 800 à 1600 m.

Pour une cellule résidentielle, les valeurs d'attrait du *tableau 3* sont diminuées en fonction de la distance qui la sépare de l'aménité verte considérée. La diminution de l'attrait en fonction de la distance est non linéaire (voir *figure 16*).

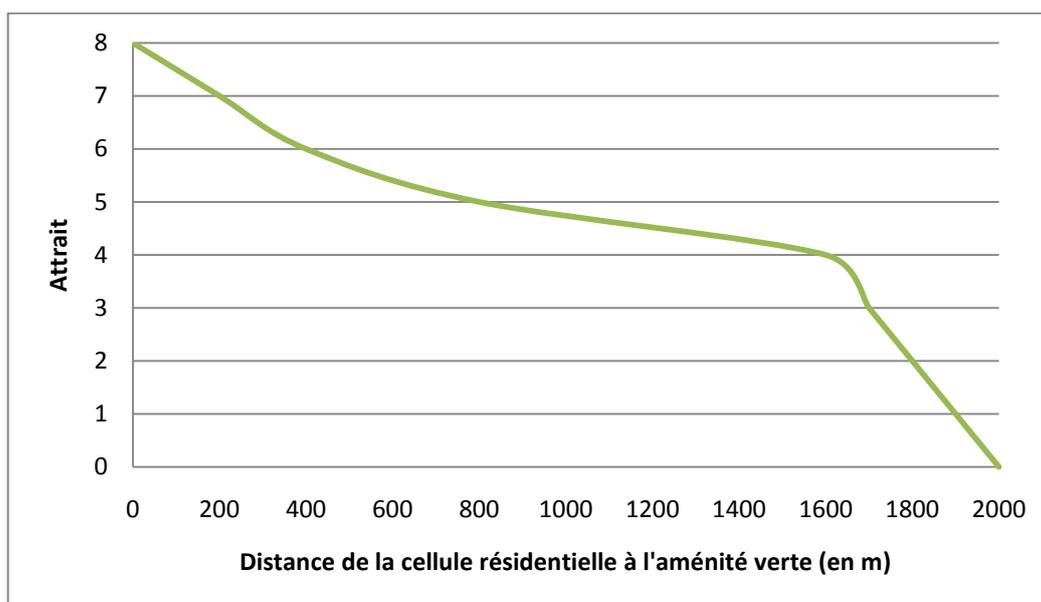


Figure 16 : Attrait de l'aménité verte "parcours de santé" en fonction de la distance à une cellule résidentielle

Deux cas sont possibles :

- Les chemins de 30 min à 1 h ont une valeur de 0 à partir du seuil de 400 m. Nous estimons qu'à partir de cette distance, ce type d'aménité verte ne justifie plus un déplacement des individus.
- Pour ce qui est du parcours de santé par exemple, la valeur de 800 à 1600 m est encore de 5. Afin de ne pas passer directement à un intérêt nul à partir de 1601 m, nous avons ajouté des seuils supplémentaires jusqu'à 2000 m (voir figure 16). Ces seuils sont plus rapprochés, l'intérêt décroît donc beaucoup plus rapidement. Nous estimons en effet que la distance devient trop éloignée à partir de 1600 m. Dans ce cas, l'intérêt sera de 4 de 1600 à 1700 m, 3 de 1700 à 1800 m, 2 de 1800 à 1900 m et enfin 1 de 1900 à 2000 m.

L'ensemble des valeurs attribuées est détaillé dans le *tableau 4*.

Distance (en mètres)	Parcours de santé	Aire de jeux	Terrain de sport	Chemin (randonnée)	Chemin (+ 2h de marche)	Chemin (1 à 2 h de marche)	Chemin (30 min à 1 h de marche)	Chemin (15 à 30 min de marche)
0 à 200	8	7	6	5	4	3	2	1
200 à 400	7	6	5	4	3	2	1	0
400 à 800	6	5	4	3	2	1	0	0
800 à 1600	5	4	3	2	1	0	0	0
1600 à 1700	4	3	2	1	0	0	0	0
1700 à 1800	3	2	1	0	0	0	0	0
1800 à 1900	2	1	0	0	0	0	0	0
1900 à 2000	1	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 4 : Valeurs d'attrait des aménités vertes en fonction de la distance

2.2.4) Détermination de la qualité de l'accessibilité aux aménités vertes

Les zones relatives à la même aménité verte ayant le même attrait ont été agrégées. Par exemple, si le parcours de santé comporte trois points d'accès distants de moins de 200 mètres, un seul polygone sera tracé, avec une valeur de 8 (agrégation des trois buffers).

La littérature scientifique évoque fréquemment le fait que la diversité des aménités vertes est autant importante que le nombre d'aménités vertes dans l'environnement résidentiel (CERTU, 2006)

Nous avons donc choisi d'additionner les valeurs dans les différentes cartes de zones tampons. Ainsi, les attractivités d'aménités de types différents se cumulent. Ce faisant, nous ne prenons pas en compte la compensation de l'absence d'une aménité verte par la présence d'une autre. Nous partons également du principe que les individus préfèrent effectuer une distance un peu élevée pour accéder à une aménité verte répondant mieux à leurs besoins. Par exemple, un chemin permettant plus de 2 h de marche à proximité du domicile, est considéré comme moins intéressant qu'un parcours de santé situé à 1600 m. La valeur d'attrait maximale possible est de 36 (addition des maximums). La valeur maximale observée dans la zone d'étude est de 22, sur la commune d'Auxon-Dessus, qui cumule en effet plusieurs types d'aménités vertes (parcours de santé, aire de jeux, terrain de sport et divers chemins).

Appliquer une multiplication des valeurs d'attrait à la place de l'addition a été envisagé. Celle-ci permettrait d'obtenir une meilleure différenciation entre les différentes zones. Cette méthode aurait cependant été trop discriminatoire dans le sens où l'étendue des valeurs aurait été beaucoup plus importante (jusqu'à 40 320 au maximum). Des zones ne disposant d'un accès qu'à un ou peu de types différents d'aménités seraient alors quasi-invisibles sur la carte finale.

Les valeurs d'attrait attribuées à chaque buffer de distance permettent donc de différencier des cellules résidentielles dont l'accès aux aménités vertes est plus ou moins satisfaisant.

2.2.5) Résultats et critiques

La carte réalisée (voir figure 17) permet de distinguer les zones où l'attractivité des aménités vertes est la plus forte en prenant en compte la qualité et la diversité de celles-ci. Les zones de plus forte attractivité sont situées dans le tissu urbanisé (espaces où le réseau routier est le plus dense). Le village d'Auxon-Dessus dispose de la meilleure accessibilité à des espaces verts de qualité. Cela s'explique par la diversité des équipements ou chemins présents à proximité de la commune. Nous pouvons cependant mettre en avant quelques limites à cette méthodologie. En effet, les seuils choisis jouent un rôle important dans la réalisation cartographique et leur modification influencerait beaucoup les résultats obtenus. Des seuils trop faibles restreindraient considérablement la superficie des agrégats de cellules ayant une bonne accessibilité aux aménités vertes alors que des seuils trop élevés ne permettraient pas de discerner les espaces plus ou moins accessibles. La typologie est elle-aussi critiquable.

L'attractivité des aménités vertes est fortement liée aux différentes valeurs attribuées à chaque type. Celles-ci pourraient être reconsidérées par exemple après une enquête auprès de la population qui renseignerait les espaces verts et de loisirs qu'ils fréquentent le plus fréquemment. D'autre part, nous nous basons sur une accessibilité à pied ou en vélo. Il est en effet difficile de considérer l'usage de la voiture pour l'accès aux aménités vertes sur une zone d'étude aussi restreinte. Nous pourrions alors difficilement trouver les zones constructibles les plus adaptées dans le sens où de courtes distances sont moins perceptibles en automobile qu'à pied ou en vélo. Enfin, la fréquence de recours aux aménités vertes n'est pas prise en compte, pour des questions de disponibilité des données.

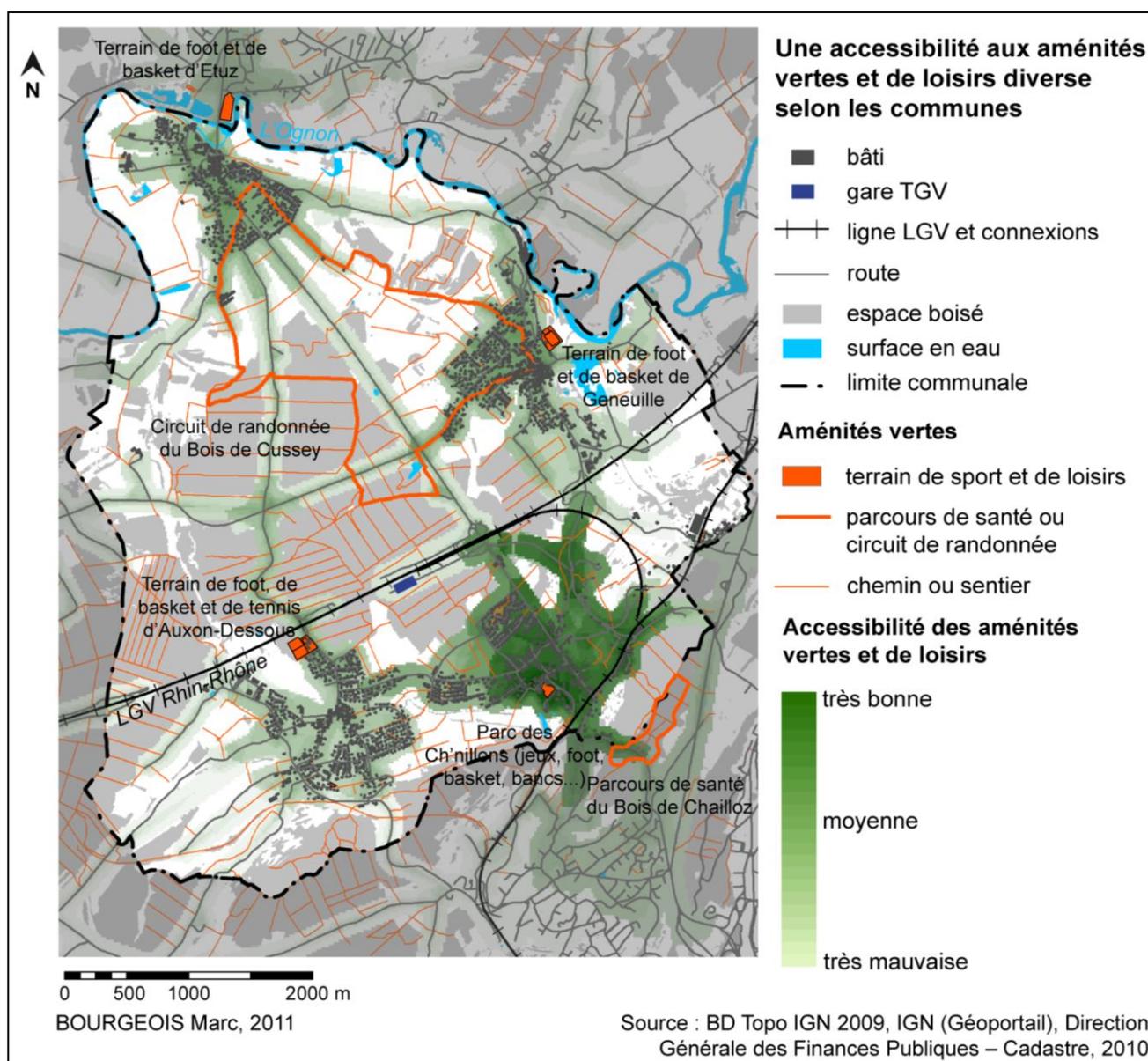


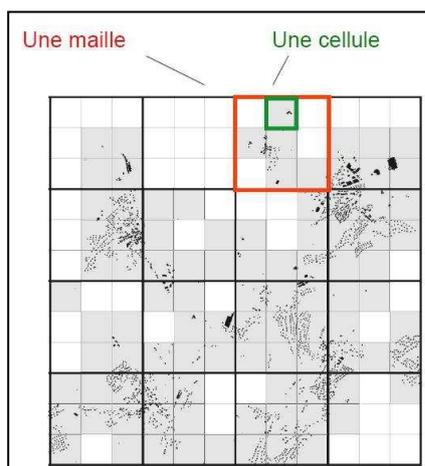
Figure 17 : Accessibilité aux aménités vertes dans la zone d'étude

2.3) Utilisation de MUP-City pour la création de scénarios de développement résidentiel

2.3.1) Présentation de MUP-City⁵

MUP-City (*multi-scale urban planning for a sustainable city*) est un prototype de système d'aide à la décision pour l'aménagement urbain. Il est basé sur une modélisation fractale multi-échelle pour créer des scénarios de développement résidentiel en zone périurbaine de villes comprises entre 100 000 et 1 000 000 d'habitants. Il est donc particulièrement adapté pour réaliser des tests sur la zone d'étude des quatre communes riveraines de la gare TGV de Besançon. Le principe de modélisation est fondé sur l'application d'une règle fractale d'urbanisation sur la base d'une représentation cellulaire multi-échelle. Quatre règles additionnelles sont intégrées au logiciel : accessibilité aux commerces et services, aux espaces ouverts et au réseau routier existant. Seule l'accessibilité aux aménités locales est considérée (commerces et services de proximité, proximité directe des espaces bâtis et non-bâtis). L'accessibilité aux aménités de la ville-centre est considérée comme équivalente pour tous les habitants de la zone périurbaine.

La zone d'étude est couverte par une grille régulière carrée. Chaque maille de la grille contient un nombre fixe de cellules. Les cellules comprenant des zones urbanisées seront « bâties » et les autres non « bâties » (voir *figure 18*).



Source : Cécile Tannier, 2006

Figure 18 : Décomposition de l'espace réel par MUP-City

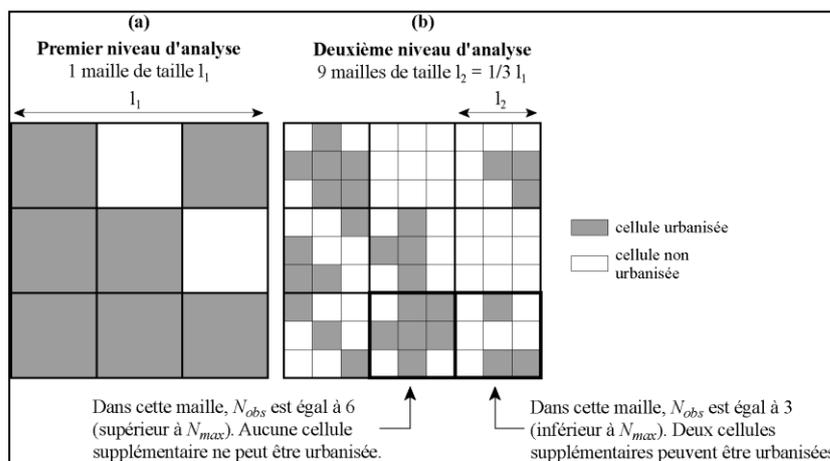
⁵ Tiré de Tannier et al., 2010

Le nombre de cellules par maille est déterminé par un facteur de réduction r . Lorsque $r = 1/3$, la maille contient neuf cellules. La modélisation multi-échelle consiste à réduire la taille de la maille d'un niveau d'analyse au suivant. La décomposition de maille en cellules est réitérée jusqu'à ce que la taille des cellules s'approche de celle des bâtiments. La taille de cellule minimale choisie pour notre étude est de 20x20m.

L'hypothèse à la base de l'introduction d'une règle d'urbanisation fractale est que l'organisation fractale d'un tissu bâti permet une bonne accessibilité à des aménités variées (Cavailhès et al., 2004 ; Frankhauser & Genre-Grandpierre, 1998) tout en minimisant la fragmentation des espaces bâtis et non bâtis (Frankhauser, 2000).

Dans MUP-City, le choix d'une règle fractale d'urbanisation correspond au choix d'une dimension fractale du tissu bâti à venir. Concrètement, nous choisissons un nombre maximal N_{max} de cellules actuellement urbanisées dans chaque maille. En pratique, le travail s'effectue essentiellement avec un r constant égal à $1/3$. Le N_{max} peut varier selon les scénarios d'aménagement mais il ne doit pas être supérieur à 7 afin de maintenir une certaine hiérarchie des espaces vides (Frankhauser, 2004).

La valeur de N_{obs} est une moyenne du nombre de cellules bâties par maille également bâties considérant successivement chaque niveau d'analyse. Il est donc possible que dans certaines mailles, N_{obs} soit supérieur à N_{max} tandis que, d'un point de vue général, N_{obs} est inférieur à N_{max} (voir figure 19)



Source : Pierre Frankhauser, 2010

Figure 19 : Exemple d'application de la règle fractale d'urbanisation avec un N_{max} égal à 5 sur la base de la modélisation spatiale multi-échelle

MUP-City fonctionne strictement sur la base d'un principe d'urbanisation fractale, c'est-à-dire guidée par l'emboîtement et la préservation des espaces libres (et non des espaces bâtis) d'une échelle globale à une échelle locale.

MUP-City permet d'introduire quatre règles additionnelles d'accessibilité :

- Assurer une bonne accessibilité aux espaces ouverts tout en préservant leur connectivité
- Assurer une bonne accessibilité aux centres de commerces et services de fréquentation quotidienne
- Assurer une bonne accessibilité aux centres de commerces et services de fréquentation hebdomadaire
- Proximité du réseau routier existant.

Chaque cellule est caractérisée par quatre valeurs d'évaluations comprises entre 0 et 1. 1 étant l'évaluation maximale. Ces quatre valeurs sont ensuite agrégées par une moyenne arithmétique permettant de donner une évaluation synthétique de l'intérêt de chaque cellule à être urbanisée. L'utilisateur a le choix d'activer une ou plusieurs règles en fonction du type de scénario qu'il veut réaliser.

2.3.2) Utilisation interactive de MUP-City pour l'aménagement urbain

Les configurations spatiales générées automatiquement par MUP-City ne sont pas toujours satisfaisantes pour les aménageurs. Les scénarios peuvent en effet paraître irréalistes dans certains cas (Tannier et al., 2010) et impossibles à appliquer dans le cadre d'un document d'urbanisme réglementaire. L'intérêt de la version interactive de MUP-City est de permettre à l'utilisateur de pouvoir générer des scénarios pas à pas en introduisant des contraintes supplémentaires tout en activant les règles de son choix. Il a la possibilité d'introduire de nouvelles couches : zones non constructibles, zones à préserver, zone à urbaniser en priorité etc.

L'objectif de l'utilisation interactive de MUP-City est de permettre à l'aménageur de construire ses propres scénarios en respectant un modèle fractal d'urbanisation qui se distingue fondamentalement des méthodes de zonages utilisées habituellement en aménagement du territoire. En effet, la version interactive de MUP-City n'a encore jamais été utilisée pour créer des scénarios d'urbanisation résidentielle.

L'utilisateur part d'un niveau d'analyse grossier pour progresser successivement vers un niveau d'analyse plus fin utilisable jusqu'à atteindre l'échelle de la parcelle. Suivant le principe de décomposition multi-échelle, chaque maille de la grille est décomposée en cellules plus petites (voir figure 20). Par exemple avec $r=1/3$, la maille de base sera décomposée en 9 cellules, puis en 81 cellules etc.

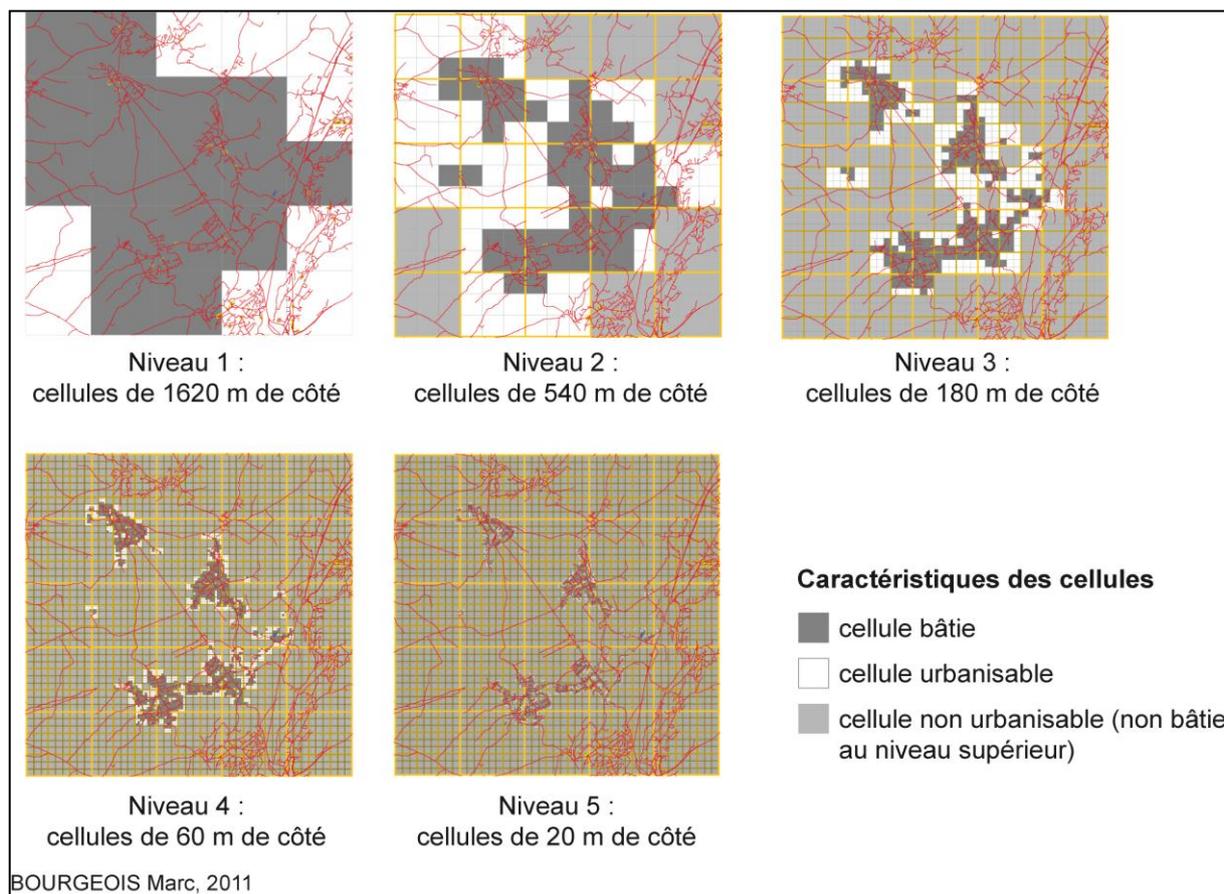


Figure 20 : Décomposition multi-échelle dans MUP-City

Lors de la création d'un scénario interactif, l'utilisateur doit choisir le nombre maximum de cellules qu'il souhaite construire par maille (N_{max}) ainsi que les règles optionnelles qu'il souhaite activer (voir figure 21). Le logiciel identifie dans un premier temps les cellules déjà bâties. En aucun cas, le nombre de cellules bâties ne pourra être supérieur au N_{max} établi au début du scénario. L'utilisateur peut alors choisir les cellules qu'il désire construire. Quand N_{max} est égal à 7, si une maille contient six cellules bâties, une seule pourra alors être construite. De même, une cellule non construite à l'échelle supérieure ne pourra être construite à l'échelle inférieure (voir figure 22). Ceci permet de maintenir la hiérarchie des lacunes et de respecter le modèle fractal d'urbanisation.

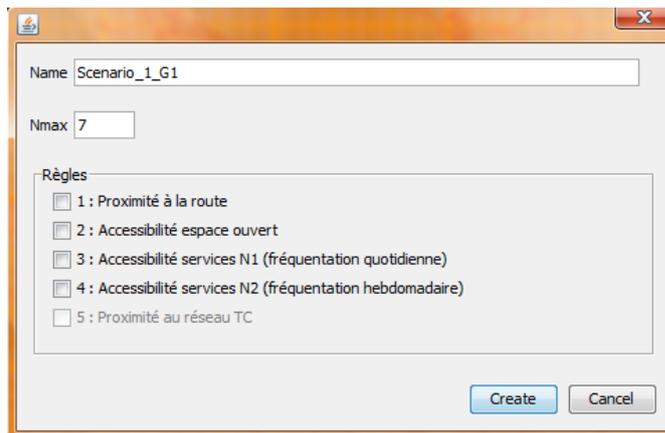


Figure 21: Choix du N_{max} et des règles optionnelles dans MUP-City

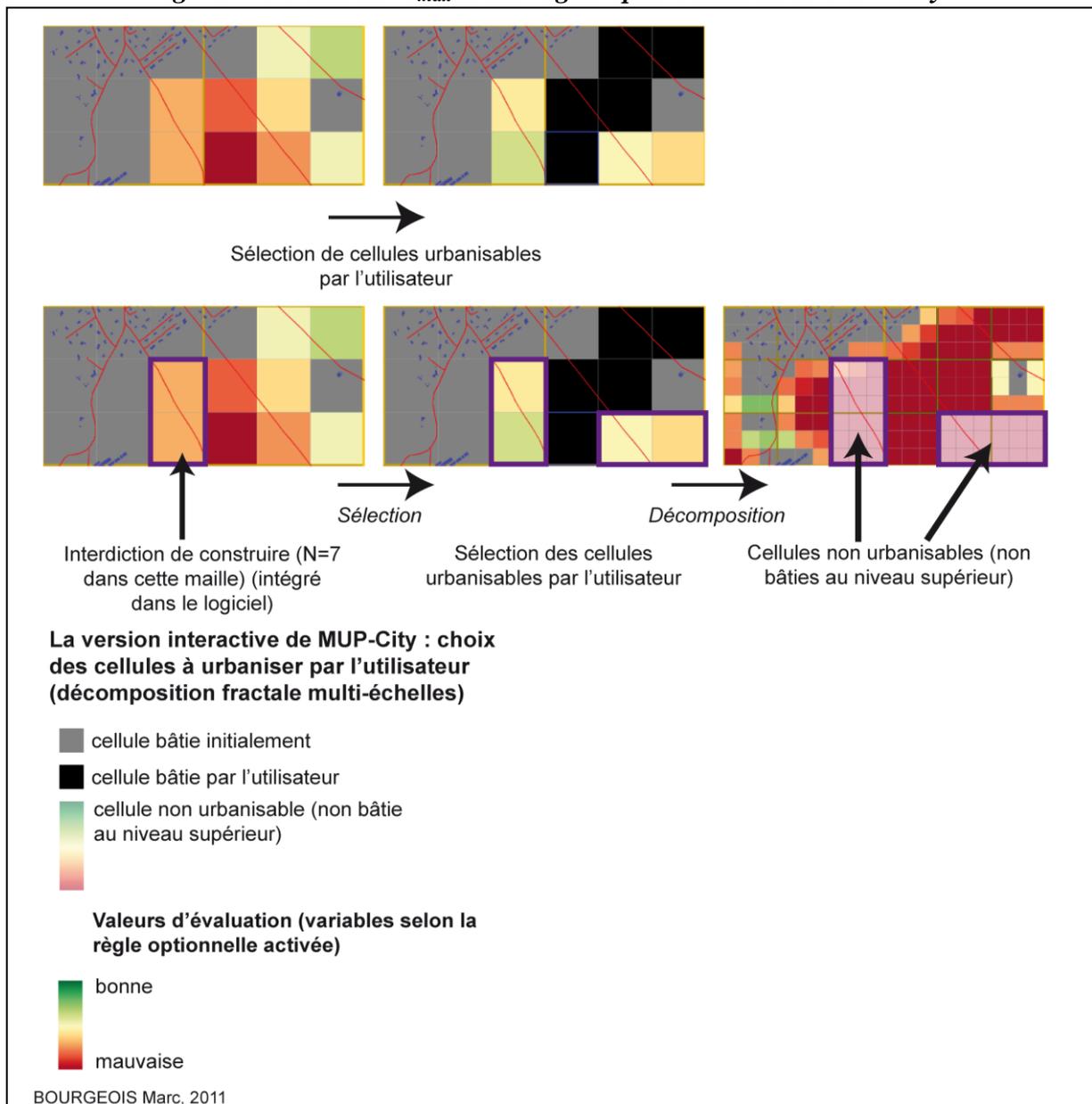


Figure 22 : Choix des cellules à urbaniser par l'utilisateur dans la version interactive de MUP-City

En plus du respect de l'urbanisation fractale, deux autres fonctionnalités sont incluses directement dans le logiciel :

- Une cellule bâtie doit être voisine d'au moins une cellule non bâtie (au moins une cellule sur les huit présentes dans le voisinage de celle-ci).
- Les coulées vertes doivent être préservées : une cellule non construite ne doit pas être isolée d'autres cellules non construites (voir figure 23).

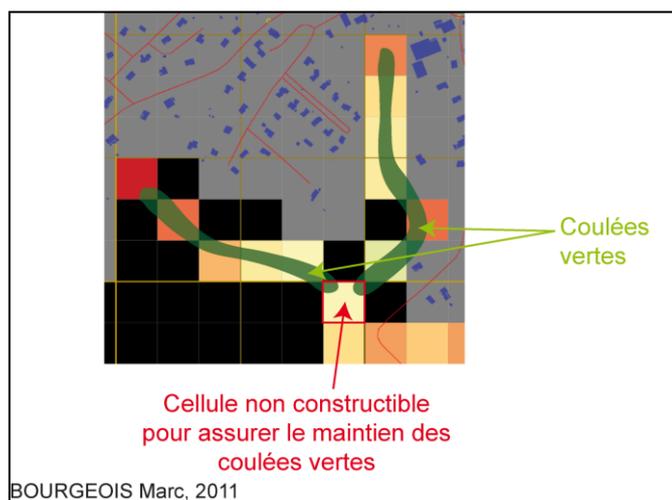


Figure 23 : Fonctionnalité de préservation des coulées vertes dans la version interactive de MUP-City

Outre ces fonctionnalités qui agissent automatiquement comme contraintes, l'utilisateur peut activer quatre règles optionnelles :

- Proximité à la route
- Accessibilité aux espaces ouverts
- Accessibilité services N1 (fréquentation quotidienne)
- Accessibilité services N2 (fréquentation hebdomadaire)

Dans le cas de l'activation d'une ou plusieurs règles, une valeur d'évaluation est attribuée à chaque cellule. Les valeurs sont comprises entre 0 et 1, 1 étant la meilleure évaluation. Par exemple, si la règle « proximité à la route » est activée, la cellule localisée sur un axe routier aura une évaluation de 1.

En choisissant des règles optionnelles, l'utilisateur peut par exemple choisir d'urbaniser toutes les cellules ayant une valeur d'évaluation supérieure à 0,5 qui seront

représentées dans un dégradé de vert. La construction de ces cellules sera automatiquement contrainte par le logiciel (respect de l'urbanisation fractale et des coulées vertes).

Lors de l'activation de certaines règles (accessibilité aux espaces ouverts par exemple), la valeur d'évaluation des cellules voisines de la cellule bâtie change automatiquement, à la volée, en fonction de la nouvelle configuration spatiale du bâti apportée par l'urbanisation d'une nouvelle cellule. Une cellule ayant une faible valeur d'évaluation peut obtenir ainsi une meilleure valeur.

2.3.3) Méthodologie de l'utilisation de la version interactive de MUP-City pour la création de scénarios d'urbanisation respectant une bonne accessibilité aux aménités vertes

La version interactive de MUP-City offre plusieurs possibilités pour réaliser des scénarios d'urbanisation favorisant l'accessibilité aux commerces et services, au réseau routier et aux espaces ouverts (voir figure 24) Afin de proposer des scénarios d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes, aucune règle optionnelle n'a été activée. Le N_{max} choisi est de 7, afin de pouvoir urbaniser un maximum de cellules (forte densité bâtie locale), les espaces constructibles étant relativement restreints. Les zones non constructibles (couplées avec les zones de fortes contraintes) servent de guide à l'utilisateur lors du choix des cellules à urbaniser. Il choisit lui-même d'interdire l'urbanisation dans ces espaces.

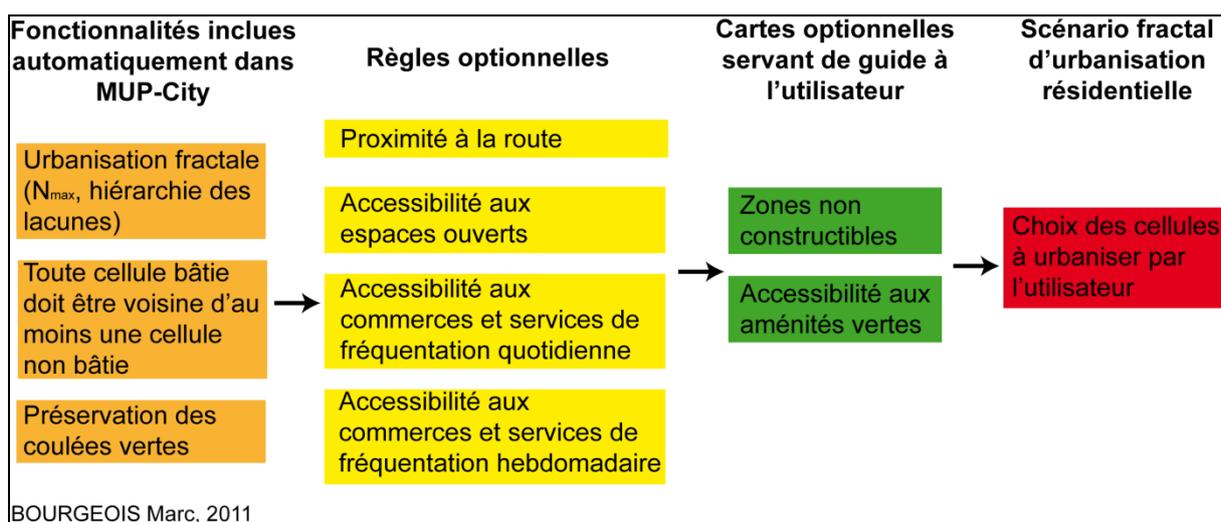


Figure 24 : Schématisation des différentes possibilités offertes par la version interactive de MUP-City lors de la réalisation d'un scénario d'urbanisation résidentielle

Les valeurs d'accessibilité aux aménités vertes créées à partir de la méthodologie décrite en 2.2 apparaissent dans des cellules de 20x20 m, chacune étant caractérisée par une valeur s'échelonnant de 0 à 22. 22 étant la plus forte attractivité aux aménités vertes recensée sur la zone d'étude. Afin de pouvoir utiliser ces données avec MUP-City, les cellules de 20x20m ont été agrégées en cellules de 60 m de côté puis de 180 m, 540 m et enfin 1620 m pour arriver au niveau d'échelle le plus grossier. Pour chaque agrégation, la valeur du pixel de la couche supérieure correspond à la valeur maximum du pixel de la couche plus fine (voir figure 25)

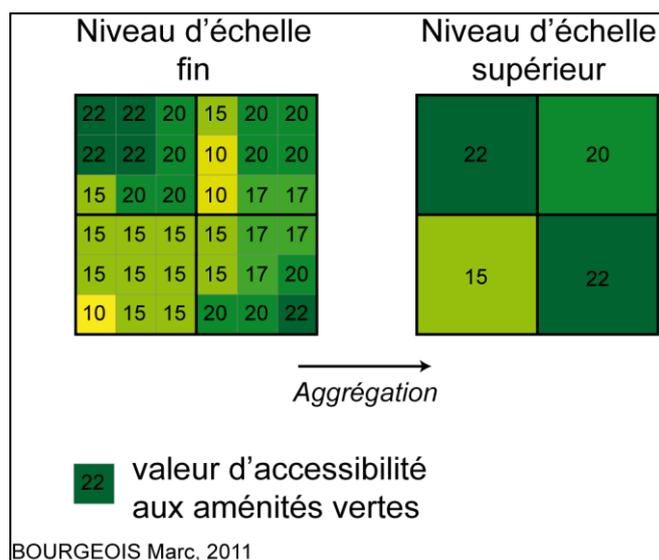


Figure 25 : Attribution des valeurs d'accessibilité aux aménités vertes d'un niveau d'échelle au niveau d'échelle supérieur

Nous disposons alors de cinq cartes, correspondantes aux cinq niveaux de décomposition dans MUP-City.

Pour commencer les scénarios d'urbanisation aux échelles les plus grossières (jusqu'à 60 m), nous avons défini les règles suivantes :

- Les cellules comprises entièrement dans une zone non constructible ne sont pas bâties.
- Les cellules urbanisées en priorité se font au contact du bâti existant, conformément aux règles énoncées par le SCoT.
- Si plusieurs cellules peuvent être construites au contact du bâti, nous choisissons celles dont la valeur d'attractivité aux aménités vertes est la plus forte.

Parallèlement, le logiciel interdit la construction dans les coulées vertes, dans les cellules non bâties à l'échelle supérieure et lorsque que le nombre de cellules bâties par maille est supérieur à 7.

A la maille 20x20m, les règles définies sont les suivantes :

- Les cellules dont plus de la moitié de la surface est située dans une zone non constructible ne sont pas bâties.
- Les cellules situées dans les dents creuses sont construites en priorité si leur valeur d'attractivité est égale ou supérieure à 1.
- Ensuite, les cellules au contact du bâti sont urbanisées. On choisit parmi celles-ci celles qui ont la meilleure valeur d'attractivité.

Nous procédons ainsi par itération. Dans une commune, les cellules possibles à urbaniser dont la valeur est de 22 sont toutes construites. Nous sélectionnons ensuite celles dont la valeur est égale à 21 et ainsi de suite. Nous stoppons la construction lorsque le nombre maximum de cellules par commune est atteint. Pour définir ce nombre, nous avons utilisé les objectifs de logements définis dans le Programme Local de l'Habitat (PLH) pour les communes de la CAGB et par proposition de la CCVDB pour les communes de Geneuille et Cussey-sur-l'Ognon. Cette répartition par commune a été définie en cohérence avec les orientations du SCoT, sur un horizon à long terme de 25 ans (voir tableau 5). La conversion du nombre de logements en cellules a été réalisée selon la méthode décrite par Frankhauser et al. (2011), à la suite de différents tests réalisés par un architecte urbaniste.

Commune	Nombre de logements préconisés à l'horizon 25 ans	Nombre de cellules de 20x20m correspondantes
Cussey-sur-l'Ognon	250	453
Geneuille	170	308
Auxon-Dessus	250	453
Auxon-Dessous	250	453
Total	920	1667

Tableau 5 : Nombre de logements préconisés par le SCoT à l'horizon 25 ans pour les communes de la zone d'étude

Dans le cas où le nombre de cellules atteint est supérieur à celui préconisé, nous déconstruisons les cellules qui forment des cordons linéaires le long des voies de

communication (contre-indication du DOG), afin de réussir à obtenir le nombre exact de cellules.

Dans le cas où le nombre de cellules requises ne peut être atteint, la construction est permise dans les zones de forte contrainte, en suivant le même raisonnement que précédemment jusqu'à ce que le nombre de cellules requises soit atteint.

L'exemple ci-dessous illustre la méthode de réalisation pour un scénario donné en périphérie d'Auxon-Dessous.

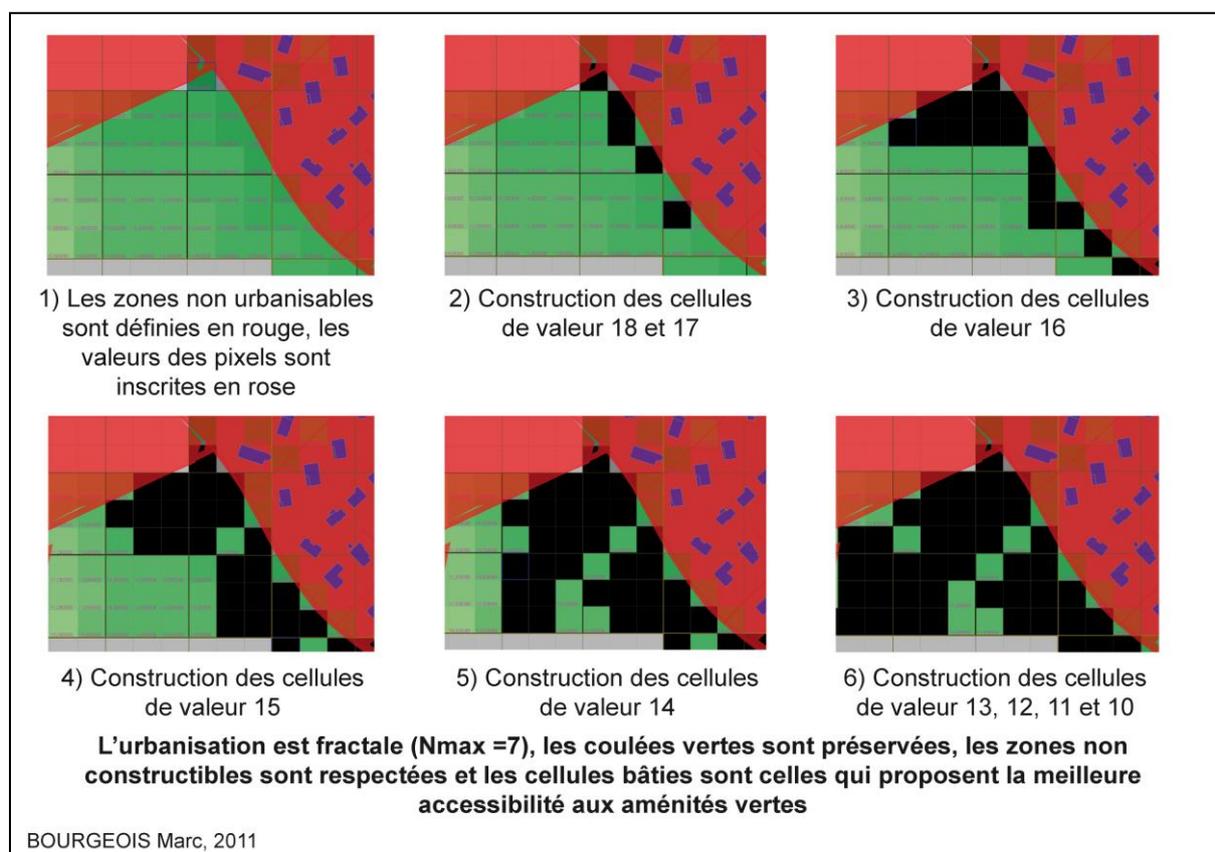


Figure 26 : Méthode utilisée dans la version interactive de MUP-City 0.8 pour la construction de cellules potentiellement urbanisables bénéficiant d'une bonne accessibilité aux aménités vertes

D'autres types de scénarios ont été créés, en utilisant les règles d'accessibilité aux commerces et services et d'accessibilité aux espaces ouverts. La démarche suivie est la même que précédemment. Nous utilisons comme guide les valeurs d'évaluations des cellules : 0,9 puis 0,8 puis 0,7 etc. jusqu'à ce que le nombre de cellules voulues soit atteint.

Partie 3 : présentation et analyse des scénarios de développement résidentiel générés avec MUP-City

Les scénarios décrits dans cette partie sont des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle, définis à l'horizon 25 ans. La méthodologie décrite en 2.2.3) est utilisée.

Le développement pavillonnaire est le seul type d'extension résidentielle pris en compte. MUP-City n'intègre pas de fonctionnalité relative à la densité bâtie de population par cellule. L'habitat collectif ne peut donc être pris en compte dans cette étude. Nous pouvons néanmoins signaler que des projets de logements collectifs sont en cours de réflexion sur la commune d'Auxon-Dessus et d'autres pourront être entrepris sur les autres communes. Sur la base de cette hypothèse haute, les scénarios présenteront les sites de développement préférentiels au vu de l'accessibilité aux aménités vertes. Les communes, en fonction de la temporalité de leur PLU, des objectifs de logements et des densités affectées détermineront les secteurs qu'elles souhaitent intégrer dans leur projet communal.

Toutes les propositions sont réalisées sur la base du tissu bâti existant. Nous n'avons pas simulé la création de nouveaux réseaux routiers ni l'implantation de nouveaux commerces. Pour autant, selon les opportunités foncières, certains secteurs dépourvus de voiries ou même de commerces peuvent être ouverts à l'urbanisation par les communes (les voies seront à créer). Le PLU n'étant qu'à sa phase de diagnostic et d'enjeux, l'absence de données nous conduit à s'en tenir aux structures existantes pour élaborer nos scénarios. A noter que ce choix permet finalement d'optimiser la structuration existante.

Les cellules ne peuvent pas être urbanisées au contact des zones d'activités. Les espaces disponibles aux alentours de celles-ci sont réservés au développement de nouvelles entreprises. Cependant, cela ne modifie en aucun cas la physionomie de nos scénarios.

3.1) Scénarios d'urbanisation résidentielle proposant la meilleure accessibilité aux aménités vertes

3.1.1) Scénario « aménités vertes » : position de grille 1

L'utilisation du logiciel MUP-City, associée au développement de la méthodologie aidant à caractériser l'attractivité des aménités vertes, a permis de construire un premier scénario d'urbanisation fractale (voir figure 27) selon la position de grille initialement définie par le logiciel dans la zone d'étude. Il s'agit d'une grille carrée de 8100 mètres de côté centrée sur les quatre communes (25 cellules de 1620 mètres de côté).

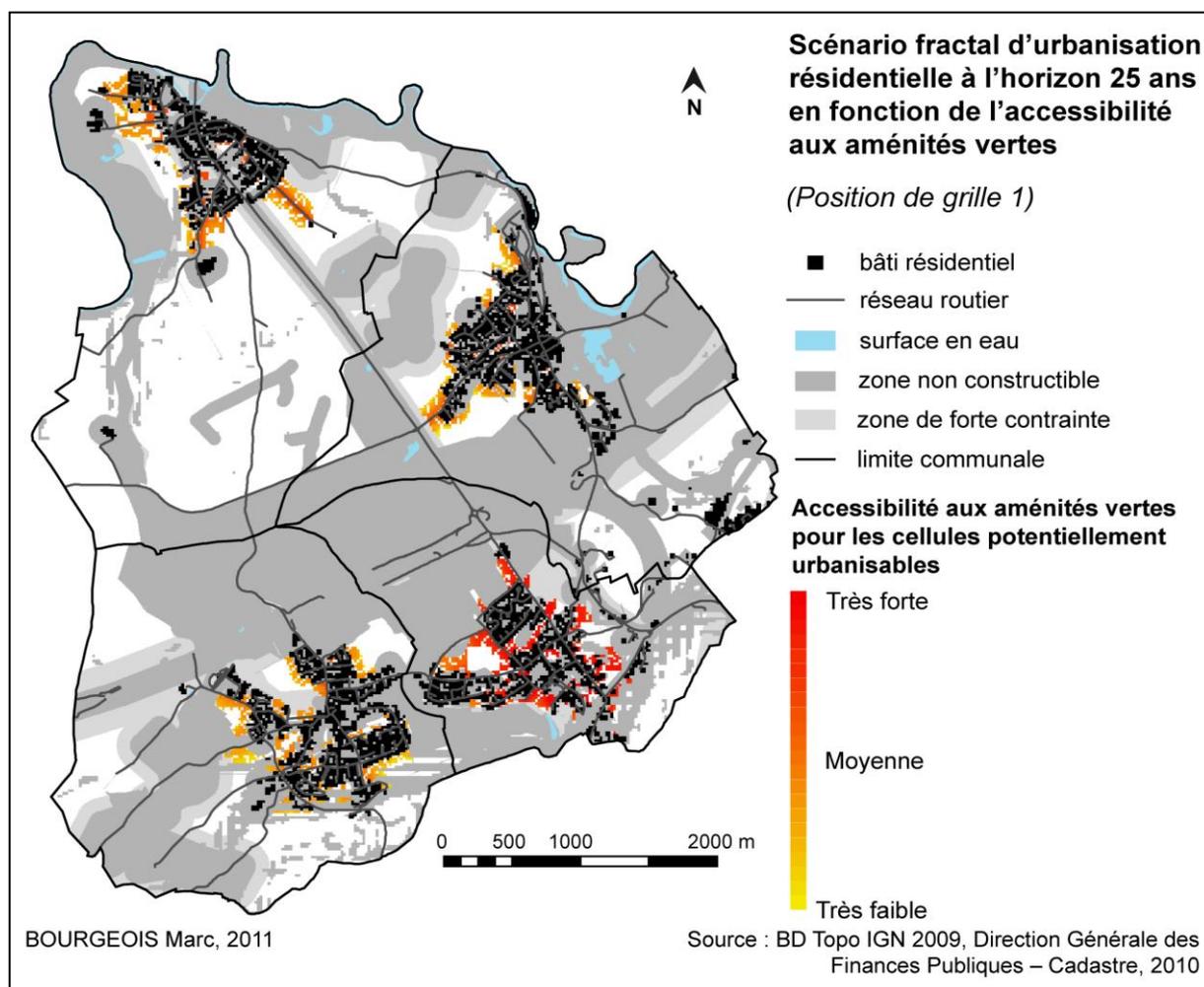


Figure 27 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 1)

Scénario "aménités vertes" (Grille 1)	Zone d'étude	Cussey-sur-l'Ognon	Geneuille	Auxon-Dessus	Auxon-Dessous
Nombre total de cellules bâties	1667	453	308	453	453
Nombre de cellules bâties en zone de forte contrainte	0	0	0	0	0
Valeur minimale d'accessibilité aux aménités vertes pour les cellules potentiellement urbanisables	1	3	1	8	1
Valeur moyenne d'accessibilité aux aménités vertes pour les cellules potentiellement urbanisables	8,654	7,086	6,107	15,097	5,512

Tableau 6: Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 1)

- Résultats

Le premier scénario réalisé avec la version interactive de MUP-City a permis d'atteindre le nombre total de cellules bâties sans aucune construction en zone de fortes contraintes. Cependant, la valeur minimale d'accessibilité des aménités vertes pour les cellules potentiellement urbanisables est très faible dans les communes de Cussey-sur-l'Ognon, Geneuille et Auxon-Dessous (3, 3 et 1) (voir tableau 6). Dans la zone d'étude, la valeur moyenne d'accessibilité des aménités vertes pour les cellules potentiellement urbanisables est de 8,654 ce qui est un résultat plutôt moyen. Rappelons que l'échelle de valeurs s'étend de 0 à 22. C'est la commune d'Auxon-Dessus qui présente le plus grand nombre de cellules ayant une bonne accessibilité aux aménités vertes (15,097 de moyenne). Les disparités sont importantes entre les communes.

Les formes d'urbanisation proposées sont plutôt compactes et restent relativement proches du bâti existant. Quelques exceptions sont à noter : au Nord de la commune d'Auxon-Dessus et au Sud-Est de Cussey-sur-Ognon où l'urbanisation se fait de manière linéaire le long des axes routiers. Des cellules potentiellement urbanisables s'éloignent quelque peu du village d'Auxon-Dessous, en direction des terrains agricoles de l'Ouest de la commune. Elles sont peu connectées au bâti existant.

Une lacune carrée de 180 m de côté apparaît nettement au Nord-Ouest de la commune d'Auxon-Dessus.

- Interprétations

Les valeurs minimales d'accessibilité aux aménités vertes sont très faibles dans trois des quatre communes. En effet, seule la commune d'Auxon-Dessus bénéficie d'un nombre conséquent d'aménités vertes de type différent. Les autres communes sont nettement moins bien pourvues. C'est notamment le cas d'Auxon-Dessous dont les valeurs maximales d'accessibilité aux aménités vertes ne dépassent pas 12. Avec 453 cellules à urbaniser, il est presque impossible de choisir les cellules les plus accessibles aux aménités vertes. Les cellules ayant les plus mauvaises valeurs doivent aussi être urbanisées. En conséquence, les zones de développement résidentiel proposées sur cette commune ne sont pas réellement les mieux où les aménités vertes sont les plus accessibles. Ce sont les zones où l'accessibilité aux aménités vertes n'est pas nulle. Il en est de même sur la commune de Geneuille.

Le cordon linéaire créé au Sud de Cussey-sur-l'Ognon est principalement dû à deux facteurs. Premièrement, les espaces ouverts à l'urbanisation sont plus nombreux au Sud de la commune qu'au Nord (zones inondables). Deuxièmement, la route parallèle à la RD1 le long de laquelle de nombreuses cellules sont aptes à l'urbanisation, constitue un des points d'entrées du chemin de randonnée traversant Geneuille et Cussey. Au moins un type d'aménité verte est donc très accessible, ce qui contribue à des propositions de zones urbanisables dans ce secteur. Le cordon linéaire situé au Nord d'Auxon-Dessus est dû à un espace laissé libre de contraintes, enclavé entre le bâti existant et la ZNIEFF de type I.

La lacune présente au Nord-Ouest d'Auxon-Dessus résulte de l'application de la règle d'urbanisation fractale qui laisse la place à une coulée verte de grande importance. La cellule ne peut pas être construite si elle n'est pas construite au niveau supérieur (dans le cas d'un nombre de cellules bâties égal ou supérieur à 7 ou d'un blocage d'une coulée verte par exemple)

- Conclusions

Le premier scénario d'urbanisation fractale est globalement satisfaisant au niveau des agrégats de cellules obtenus. Hormis les quelques cordons linéaires, la localisation des cellules potentiellement urbanisables est en adéquation avec les préconisations du DOG du SCoT : pas de constitution d'enclaves agricoles, construction dans la continuité du bâti existant...

Grâce à la méthode d'urbanisation pas à pas permise par la version interactive de MUP-City, les cellules urbanisées en priorité sont celles présentant la meilleure accessibilité aux aménités vertes. Cependant, le nombre de logements à créer étant conséquent sur un espace réduit, certaines zones sont définies comme aptes à l'urbanisation bien que leur accessibilité aux aménités vertes soit relativement mauvaise. Le gradient de couleur visible sur la *figure 27* permet de visualiser quelles sont les zones à urbaniser en priorité dans ces communes.

3.1.2) Scénario « aménités vertes » : position de grille 2

Des études précédentes (Tannier, 2009), ont pu montrer que la variabilité des scénarios d'urbanisation fractale dépend en partie du N_{max} choisi mais également de la position initiale de la grille sur la zone d'étude. Pour notre étude, nous avons choisi de garder un N_{max} fixe, égal à 7, mais de faire varier la position de la grille initiale. La position de grille 2 est ainsi décalée de 140 mètres vers l'Ouest. Le scénario correspondant (*figure 28*) est donc différent du premier scénario.

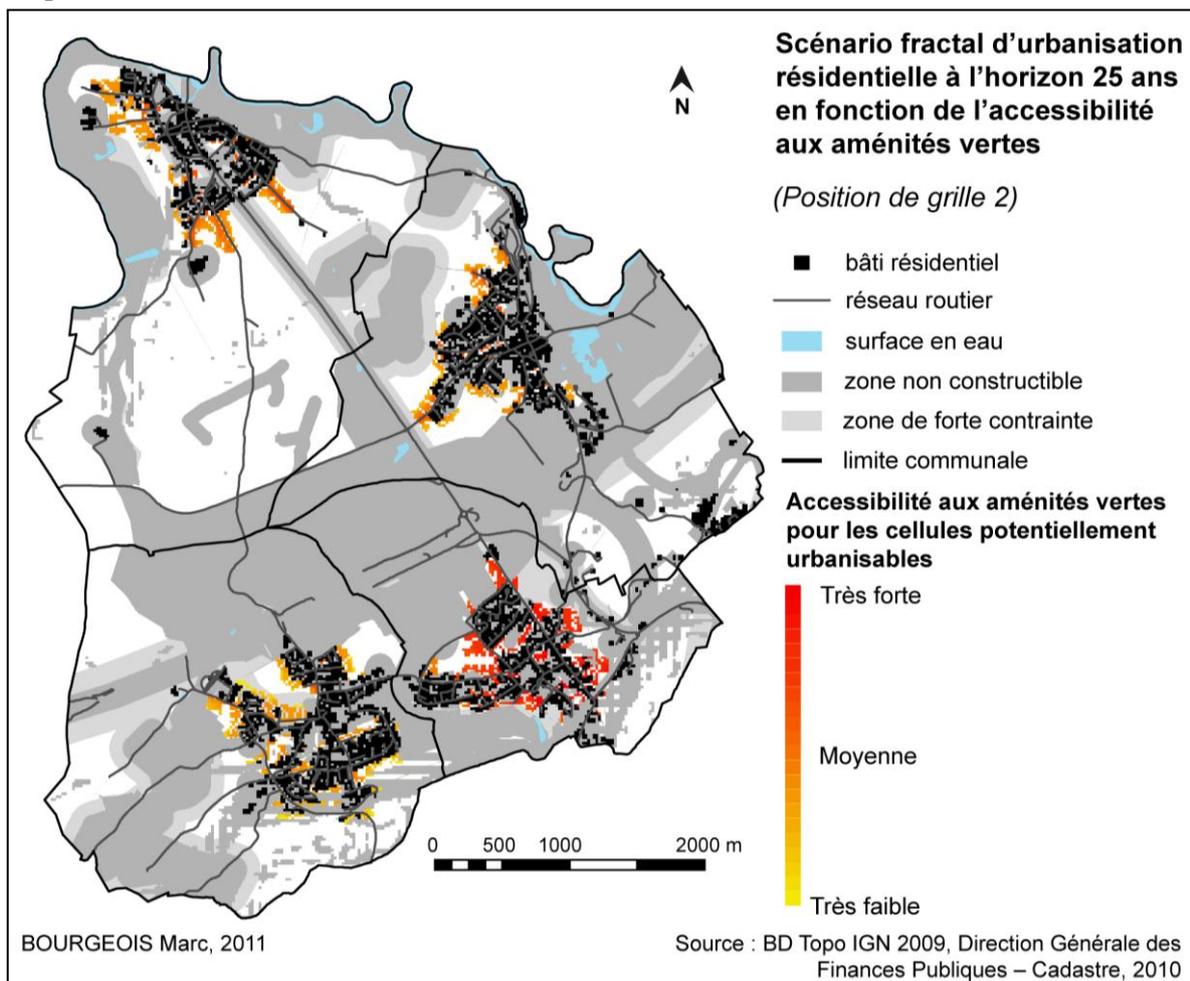


Figure 28 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 2)

Scénario "aménités vertes" (Grille 2)	Zone d'étude	Cussey-sur-l'Ognon	Geneuille	Auxon-Dessus	Auxon-Dessous
Nombre total de cellules bâties	1667	453	308	453	453
Nombre de cellules bâties en zone de forte contrainte	78	0	0	0	78
Valeur minimale d'accessibilité aux aménités vertes pour les cellules potentiellement urbanisables	1	5	4	8	1
Valeur moyenne d'accessibilité aux aménités vertes pour les cellules potentiellement urbanisables	8,974	7,466	6,942	15,468	5,369

Tableau 7 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 2)

- Résultats

En utilisant le même scénario mais avec une autre position de grille, les résultats sont relativement différents selon les zones. Par exemple, il n'est pas possible de construire les 453 cellules nécessaires sur la commune d'Auxon-Dessous dans des zones non contraintes. 78 cellules doivent ainsi être bâties en zones de forte contrainte pour arriver au nombre requis de logements à l'horizon 25 ans (Centre-Ouest du village). Les changements importants par rapport au scénario 1 concernent la valeur minimale d'accessibilité aux aménités vertes pour les cellules potentiellement urbanisables (voir tableau 7). Celles-ci sont en effet égales ou plus élevées, notamment pour Geneuille (4 contre 1). La valeur moyenne d'accessibilité aux aménités vertes sur l'ensemble de la zone est plus élevée que pour le scénario 1 (8,974 contre 8,654).

Globalement, les formes d'urbanisation restent plutôt compactes. Au regard du scénario 1, le cordon linéaire le long du chemin de randonnée existe toujours même s'il est moins important. Un autre se développe à l'Ouest de la RD1, également le long du chemin de randonnée. Celui situé au Nord d'Auxon-Dessus est toujours présent.

La lacune importante à l'Ouest d'Auxon-Dessus n'est plus présente en tant que telle. On peut remarquer une importante coulée verte, pénétrant jusqu'à l'intérieur du village.

- Interprétations

La position initiale de la grille joue clairement un rôle en terme de localisation des cellules urbanisées et d'accessibilité aux aménités vertes de ces cellules nouvellement urbanisées. En effet, avec cette position de grille, certaines cellules ont pu être sélectionnées à un niveau

d'analyse grossier et autoriser ainsi la construction dans des zones bien accessibles aux aménités vertes (à Geneuille et Cussey notamment).

Le deuxième cordon linéaire présent au Sud de Cussey est également causé par une bonne accessibilité aux aménités vertes le long de cette route (un des départs du chemin de randonnée pédestre).

- **Conclusions**

Le changement de position de grille a permis des configurations spatiales différentes. Bien que le nombre de cellules à urbaniser dans les espaces libres de contraintes n'ait pas pu être atteint à Auxon-Dessous, d'autres communes comme Geneuille et Cussey peuvent proposer des logements ayant une meilleure accessibilité aux aménités vertes.

Hormis quelques exceptions, les secteurs proposés sont globalement les mêmes. C'est la configuration spatiale des agrégats de cellules qui varie d'un scénario à l'autre.

3.1.3) Scénario « aménités vertes » : position de grille 3

Le troisième scénario (voir figure 29) est également fondé sur l'accessibilité aux aménités vertes mais avec une troisième position de grille (100 m vers le Nord, 40 m vers l'Est).

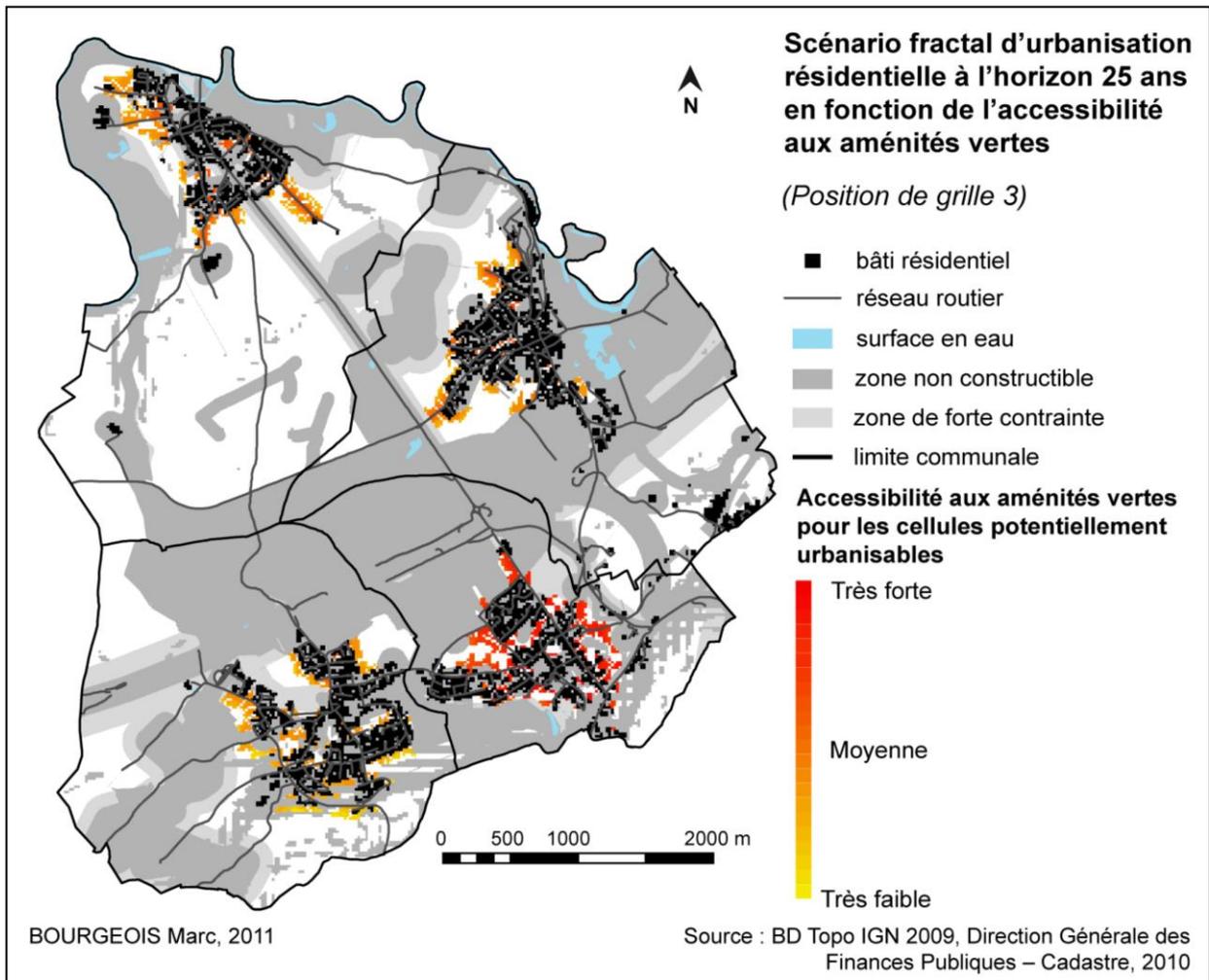


Figure 29 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 3)

Scénario "aménités vertes" (Grille 3)	Zone d'étude	Cussey-sur-l'Ognon	Geneuille	Auxon-Dessus	Auxon-Dessous
Nombre de cellules bâties	1667	453	308	453	453
Nombre de cellules bâties en zone de forte contrainte	0	0	0	0	0
Valeur minimale bâtie d'accessibilité aux aménités vertes	1	3	3	9	1
Valeur moyenne bâtie d'accessibilité aux aménités vertes	8,867	7,234	6,938	15,55	5,13

Tableau 8: Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 3)

- **Résultats**

Contrairement au scénario 2, toutes les cellules sont bâties sans qu'aucune ne se situe en zone de contrainte. La valeur minimale d'accessibilité aux aménités vertes n'est en revanche meilleure que pour la commune d'Auxon-Dessus. La valeur moyenne est moins bonne que le scénario 2, mais meilleure que le scénario 1. La configuration spatiale des cellules est relativement similaire au scénario 2. Globalement, les secteurs proposés pour une urbanisation future sont les mêmes.

- **Interprétations**

La troisième position de grille, bien que différente des deux précédentes, donne des résultats similaires à la position 2. Une multitude de positions de grille est possible. Cela permettrait d'observer les configurations spatiales qui sont le plus récurrentes. En raison de la longueur de réalisation d'un scénario, il n'a pas été possible de réaliser davantage de scénarios mais il semblerait cependant que l'on retrouve sensiblement les mêmes types de zonages à chaque fois ce qui n'apporterait donc pas d'informations supplémentaires utiles.

- **Conclusions**

Au regard des trois scénarios traitant de l'accessibilité aux espaces ouverts, nous n'observons qu'une faible variabilité entre ceux-ci, même si les configurations spatiales peuvent être sensiblement différentes. Les formes sont d'une manière générale beaucoup plus compactes que dans les scénarios fractals générés automatiquement sous MUP-City. Nous pouvons alors en déduire qu'il n'y a pas de réelle opposition entre compacité et fractalité. Des automates cellulaires seraient d'ailleurs susceptibles de générer les mêmes types de résultats en fonction des règles fixées. Les agrégats de cellules créés permettant un épaississement du tissu urbain sont conformes aux préconisations du SCoT. Seuls les éléments linéaires s'écartent des principes arrêtés à ce jour par le DOG.

Sur l'ensemble de la zone d'étude, la densité nette de logements est de 17,25 logements par hectare. Cela se rapproche des orientations inscrites au DOG du SCoT (13 logements/ha pour Cussey-sur-l'Ognon et Geneuille et 20 logements/ha pour Auxon-Dessus et Auxon-Dessous. Cependant, nous remarquons que la densification interne des tissus bâtis est difficile, car peu de dents creuses sont urbanisées dans ces trois scénarios.

Il semble possible de favoriser l'accès aux aménités vertes en respectant un principe d'urbanisation fractale et de respecter dans les grandes lignes les orientations politiques proposées actuellement en matière d'urbanisme.

3.1.4) Comparaison des différents scénarios favorisant l'accessibilité aux aménités vertes

Afin de comparer au mieux les différences entre chaque position de grille pour le scénario d'urbanisation fractale favorisant l'accessibilité aux aménités vertes, nous avons superposé les trois scénarios dans la *figure 30*.

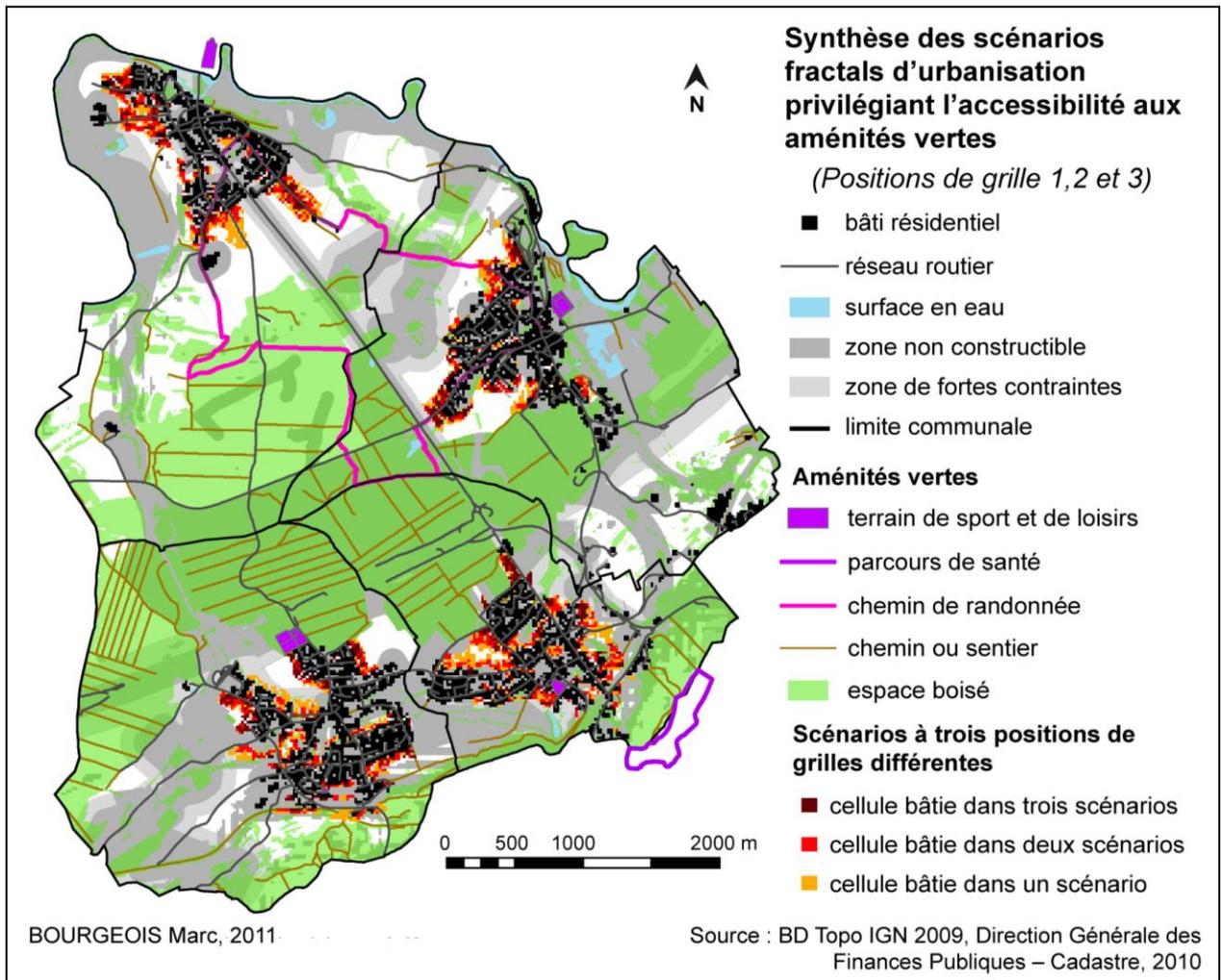


Figure 30 : Synthèse des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (superposition des positions de grille 1, 2 et 3)

Comparaison scénarios "aménités vertes" (3 positions de grille)	Zone d'étude	Cussey-sur-l'Ognon	Geneuille	Auxon-Dessus	Auxon-Dessous
Cellules bâties dans un seul scénario	985	271	175	268	271
Cellules bâties dans deux scénarios	982	265	172	277	268
Cellules bâties dans trois scénarios	684	186	135	179	184
Total cellules bâties	2651	722	482	724	723
Nombre de cellules préconisées	1667	453	308	453	453
Total cellules bâties dans deux et trois scénarios	1666	451	307	456	452

Tableau 9 : Synthèse des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (superposition des positions de grille 1, 2 et 3)

- Résultats

La comparaison entre les trois positions de grille montre que les zones urbanisables restent souvent les mêmes. Le nombre de cellules strictement identiques est à peu près le même dans un et dans deux scénarios. Certains secteurs à urbaniser se retrouvent dans les trois scénarios, par exemple au Sud Ouest de Geneuille.

Contrairement à ce qui est préconisé dans le SCoT, peu de dents creuses sont urbanisées dans chacun des scénarios.

Cette carte permet aussi de mettre en évidence les espaces qui ne sont urbanisés dans aucun scénario.

- Interprétations

La redondance de certains secteurs s'explique principalement par le fait que ce sont les cellules qui sont les mieux accessibles aux aménités vertes pour chaque commune. Ces secteurs sont urbanisés en priorité et apparaissent ainsi souvent dans les scénarios, même si la position de grille est différente.

Peu de dents creuses sont urbanisées dans les communes de la zone d'étude. Il faut cependant signaler, mais comme cela est précisé dans le SCoT, que la densification de toutes les dents creuses n'est pas la solution optimale en matière d'urbanisme. Les lacunes internes au tissu bâti peuvent avoir d'autres fonctionnalités : poumons verts, lieux de détente, places publiques etc. ce qui permet de conserver ou créer une trame verte en milieu urbain. En

Allemagne par exemple, on réfléchit beaucoup sur la qualité écologique de certaines dents creuses et leur qualité en matière de ventilation du tissu urbanisé. Certaines doivent donc être urbanisées pour limiter l'étalement urbain, mais d'autres doivent rester en l'état. Les scénarios proposés permettent de répondre à ces questions. De manière pratique, ces dents creuses sont souvent trop petites pour être urbanisées. Le N_{\max} dans les mailles les contenant est souvent égal ou supérieur à 7 et n'autorise ainsi pas la construction. Les dents creuses sont également régulièrement des coulées vertes dans les villages et le logiciel interdit la construction dans celles-ci.

Les cellules qui ne sont urbanisées dans aucun scénario sont pour la plupart du temps soit des zones non constructibles, soit des zones composées de cellules dont la valeur d'accessibilité à l'aménité verte est nulle.

- **Conclusions**

La position de la grille a donc une incidence sur la localisation précise des cellules. Pour utiliser cette méthodologie dans le cadre de la réalisation d'un document d'urbanisme, des zonages remplaceront les cellules, en ne tenant pas compte rigoureusement de la position des cellules entre elles. C'est pourquoi il nous a paru intéressant de sélectionner les cellules identifiées comme intéressantes à urbaniser dans deux ou trois scénarios. De plus, la somme de celles-ci permet de retrouver quasiment le nombre de cellules préconisées pour chaque commune (*voir tableau 9*). Nous présentons dans la *figure 31*, les secteurs apparaissant le plus fréquemment dans les trois scénarios réalisés. Cette carte ne suit pas un principe d'urbanisation fractale (certaines lacunes sont comblées), mais elle permet de représenter synthétiquement les secteurs à privilégier si l'on souhaite favoriser une bonne accessibilité aux aménités vertes pour les résidents.

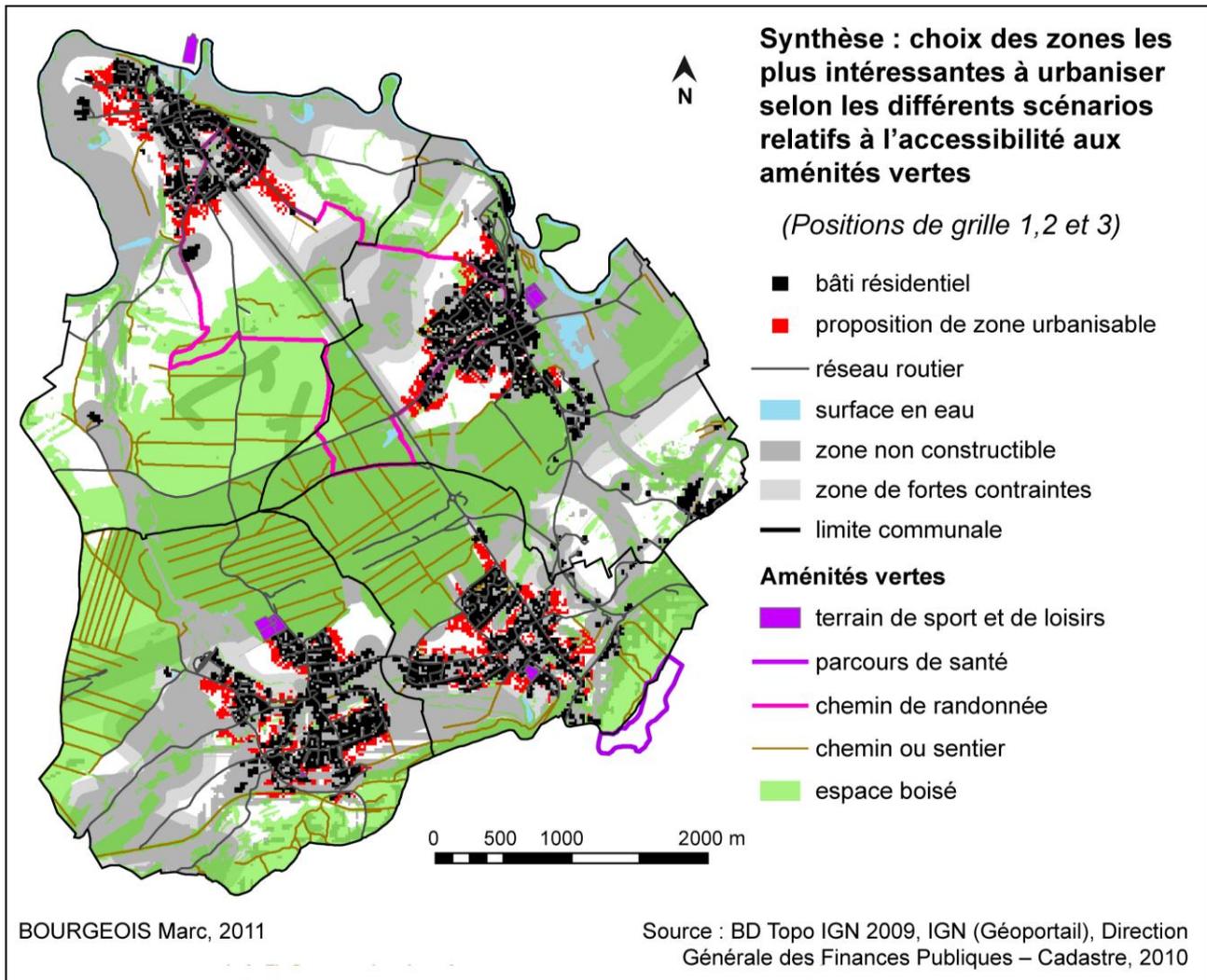


Figure 31: Sélection des zones les plus intéressantes à urbaniser dans les trois scénarios fractals favorisant l'accessibilité aux aménités vertes

3.2) Scénarios d'urbanisation résidentielle favorisant l'accès aux commerces et services et aux espaces ouverts

Afin d'établir une comparaison avec les résultats établis précédemment, nous avons testé la version interactive de MUP-City en activant les règles d'accessibilité aux commerces et services et aux espaces ouverts.

3.2.1) Assurer une bonne accessibilité aux espaces ouverts tout en préservant leur connectivité

Cette fonctionnalité intégrée dans MUP-City attribue une valeur d'évaluation à chaque cellule en fonction de son voisinage. La cellule évaluée doit être contiguë à une cellule

bâtie. L'urbanisation de la cellule évaluée ne doit pas amputer l'accès à l'espace ouvert des cellules évaluées environnantes. Les cellules bâties dans ce scénario (voir figure 32) sont celles qui possèdent la meilleure évaluation au regard de cette règle.

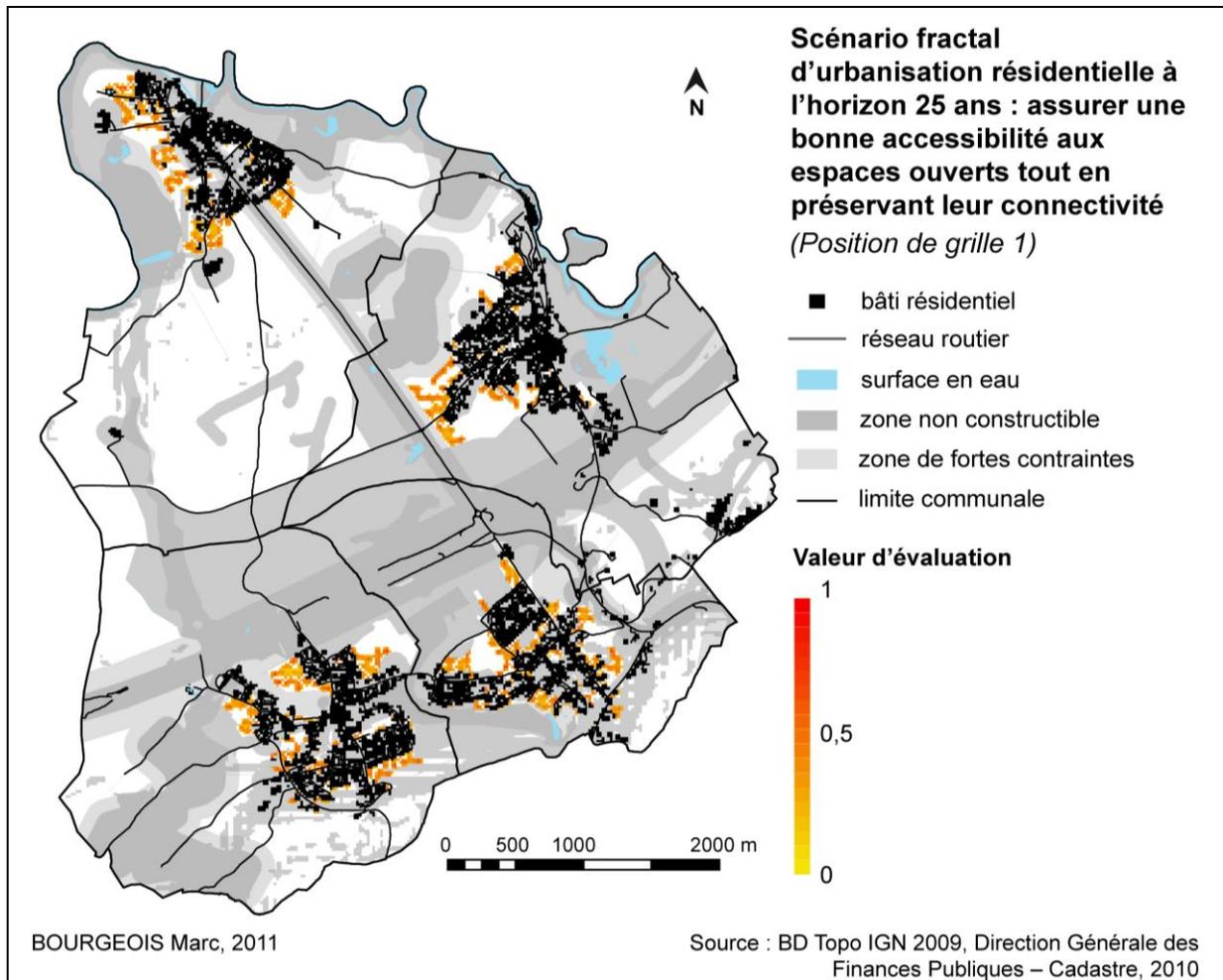


Figure 32 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux espaces ouverts (position de grille 1)

Scénario 2 (Grille 1)	Zone d'étude	Cussey-sur-l'Ognon	Geneuille	Auxon-Dessus	Auxon-Dessous
Nombre de cellules bâties	1667	453	308	453	453
Nombre de cellules bâties en zone de forte contrainte	21	0	0	21	0
Valeur d'évaluation minimale bâtie	0,1	0,15	0,15	0,1	0,15
Valeur d'évaluation moyenne bâtie	0,3516	0,349	0,362	0,346	0,353

Tableau 10 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux espaces ouverts (position de grille 1)

- Résultats

Les agrégats de cellules proposées ne semblent pas suivre la même logique que dans les trois scénarios précédents. Certains sont plus compacts mais d'autres semblent s'étaler au sein même des espaces ouverts. Les valeurs d'évaluation minimales sont très faibles. Pour l'ensemble des cellules construites dans le scénario, la valeur d'évaluation moyenne de celles-ci n'est que de 0.3516.

- Interprétations

Contrairement aux scénarios favorisant l'accessibilité aux aménités vertes, les valeurs d'évaluation des cellules varient au fur et à mesure de la sélection des cellules. Ceci a donc tendance à créer de plus grands agrégats de cellules à urbaniser car les valeurs d'évaluations augmentent au fur et à mesure. La conséquence directe de ces changements de valeurs est que de plus en plus de cellules proches peuvent être urbanisées (valeurs plus élevées, donc urbanisables). Le secteur urbanisé situé au Nord-Ouest d'Auxon-Dessous permet d'illustrer concrètement ce phénomène.

Les valeurs d'évaluations sont très faibles. Afin d'obtenir une meilleure pertinence des résultats, nous aurions pu fixer un seuil d'une valeur d'évaluation à partir de laquelle nous ne construisons plus. Ce seuil était cependant difficilement justifiable et le nombre de cellules n'aurait pas pu atteindre les objectifs de logements définis par chaque commune, à l'horizon 25 ans ce qui aurait altéré la comparaison avec les autres scénarios.

- Conclusions

L'activation de cette règle permet de montrer des résultats différents de ceux obtenus précédemment. L'utilisation de cette règle seule n'est cependant pas très pertinente au vu des faibles valeurs d'évaluations recensées. Nous avons ainsi établi une carte de comparaison avec le scénario précédent, en utilisant la première position de grille (voir figure 33). Globalement, nous remarquons certains secteurs en commun entre les deux scénarios. Le nombre de cellules bâties dans deux scénarios n'est important que dans la commune d'Auxon-Dessus, où l'espace urbanisable est fortement limité (voir tableau 11). Nous ne pouvons donc pas remarquer de corrélation évidente entre les deux scénarios.

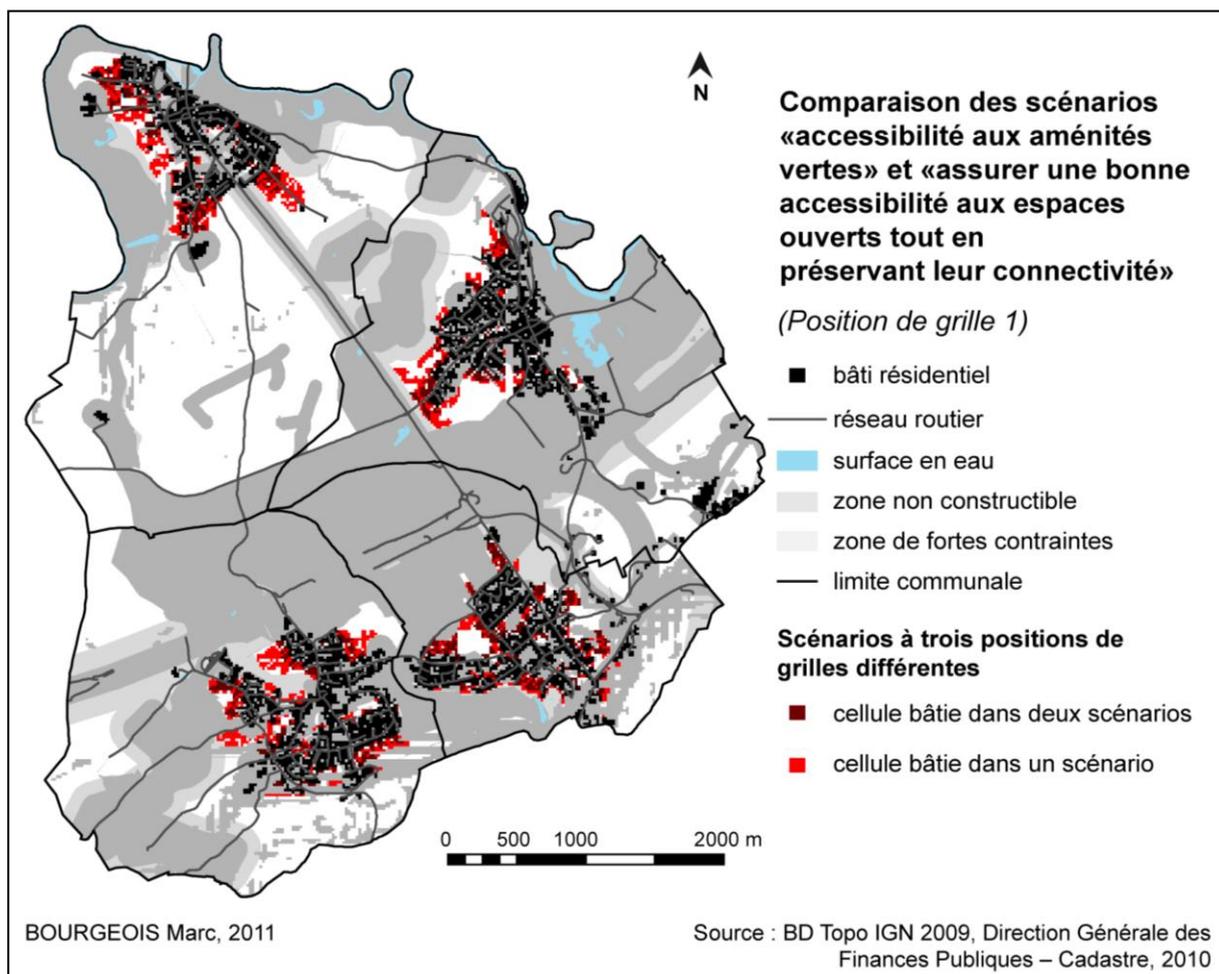


Figure 33: Comparaison des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes et aux espaces ouverts (position de grille 1)

Comparaison Scénarios 1 et 2	Zone d'étude	Cussey-sur-l'Ognon	Geneuille	Auxon-Dessus	Auxon-Dessous
Cellules bâties dans un seul scénario	1294	408	274	224	388
Cellules bâties dans deux scénarios	1020	249	171	341	259
Total cellules bâties	2314	657	445	565	647

Tableau 11 : Comparaison des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes et aux espaces ouverts (position de grille 1)

3.2.2) Assurer une bonne accessibilité aux commerces et services

Comme nous l'avons évoqué précédemment, la satisfaction résidentielle est constituée par l'accès aux aménités vertes et urbaines (commerces, services...). Il nous a donc paru intéressant de tester cette règle dans la version interactive de MUP-City afin de pouvoir déterminer s'il existe des zones favorisant à la fois l'accessibilité aux aménités vertes et urbaines. Nous avons réalisé une carte des zones de bonne accessibilité aux commerces et services en choisissant, comme précédemment, les meilleures valeurs d'évaluation pour chaque commune (voir figure 34)

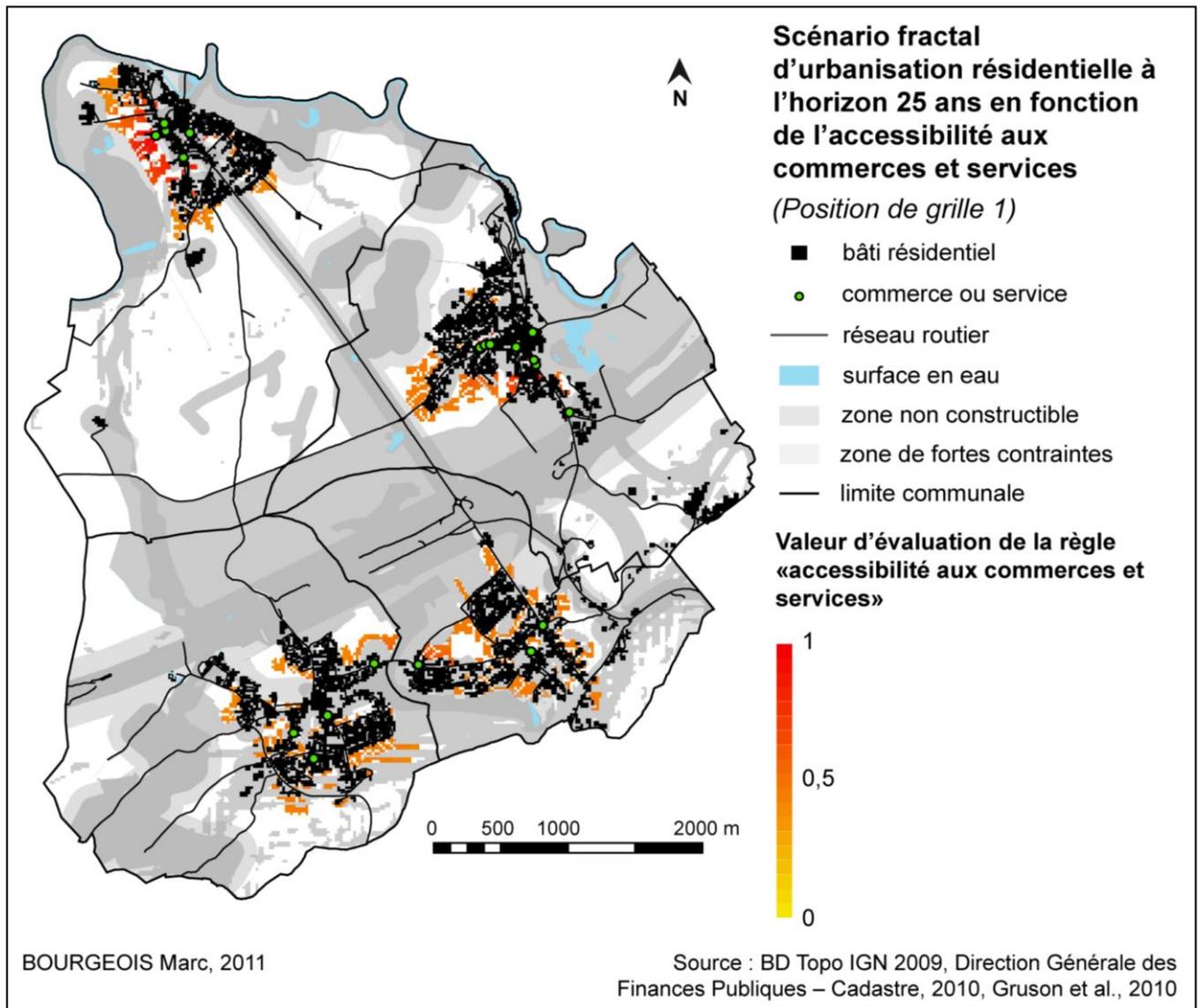


Figure 34 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux commerces et services

Accessibilité aux commerces et services (position de grille 1)	Zone d'étude	Cussey-sur-l'Ognon	Geneuille	Auxon-Dessus	Auxon-Dessous
Nombre de cellules bâties	1667	453	308	453	453
Nombre de cellules bâties en zone de forte contrainte	24	0	0	24	0
Valeur d'évaluation minimale bâtie de l'accessibilité aux commerces et services	0,413	0,413	0,46	0,45	0,44
Valeur d'évaluation moyenne bâtie de l'accessibilité aux commerces et services	0,521	0,594	0,526	0,497	0,469

Tableau 12 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux commerces et services

- Résultats

Contrairement à Auxon-Dessus et Auxon-Dessous, les communes de Cussey-sur-l'Ognon et Geneuille sont plutôt bien pourvues en commerces et services.

Les valeurs d'évaluations choisies pour les cellules à urbaniser sont satisfaisantes (0,521) en moyenne. Les communes présentant la meilleure évaluation moyenne sont Cussey et Geneuille. La commune de Cussey-sur-l'Ognon comporte les cellules les mieux évaluées.

Le nombre de cellules à urbaniser a pu être atteint mais 24 cellules ont dû être construites en zones de forte contrainte, sur le territoire de la commune d'Auxon-Dessus.

Les formes des zones potentiellement urbanisables sont variables. Elles sont très compactes pour Cussey et Geneuille alors qu'elles peuvent être linéaires à Auxon-Dessus et Auxon-Dessous. Des cordons linéaires peu réalistes apparaissent à l'Est d'Auxon-Dessous.

- Interprétations

La localisation des zones de bonne accessibilité aux commerces et services n'est pas complexe. Elles se situent dans les terrains constructibles les plus proches possibles des commerces et services. Ceci explique ainsi la bonne évaluation des cellules à Cussey-sur-l'Ognon, où les commerces sont proches des zones constructibles encore disponibles. En revanche, le phénomène inverse se retrouve à Auxon-Dessus et Auxon-Dessous où les espaces aptes à être urbanisés sont situés relativement loin des commerces et services des

villages. C'est la raison pour laquelle des zones urbanisables peu réalistes dans la pratique apparaissent sur la carte.

- **Conclusions**

L'accessibilité aux commerces et services est inégale pour les résidents des communes de la zone d'étude, ceux de Geneuille et Cussey étant privilégiés à ce niveau. Afin de pouvoir comparer l'accès aux commerces et services, aménités vertes et accessibilité aux espaces ouverts, nous avons produit une carte permettant de combiner les trois scénarios (voir figure 35). La carte établie peut sembler être une carte de synthèse finale présentant les lieux à urbaniser en priorité. Il faut cependant l'utiliser avec précaution car le résultat obtenu n'est pas fractal, il résulte simplement du cumul de plusieurs scénarios et présente certains types de secteurs à urbaniser. Finalement, les agrégats de cellules cumulant les trois scénarios sont peu nombreux, sauf à Auxon-Dessus. Ce résultat est en partie biaisé par le fait que les espaces ouverts à l'urbanisation sont extrêmement réduits sur la commune. Par conséquent, les propositions d'aménagements restent globalement toujours dans les mêmes secteurs à quelques nuances près.

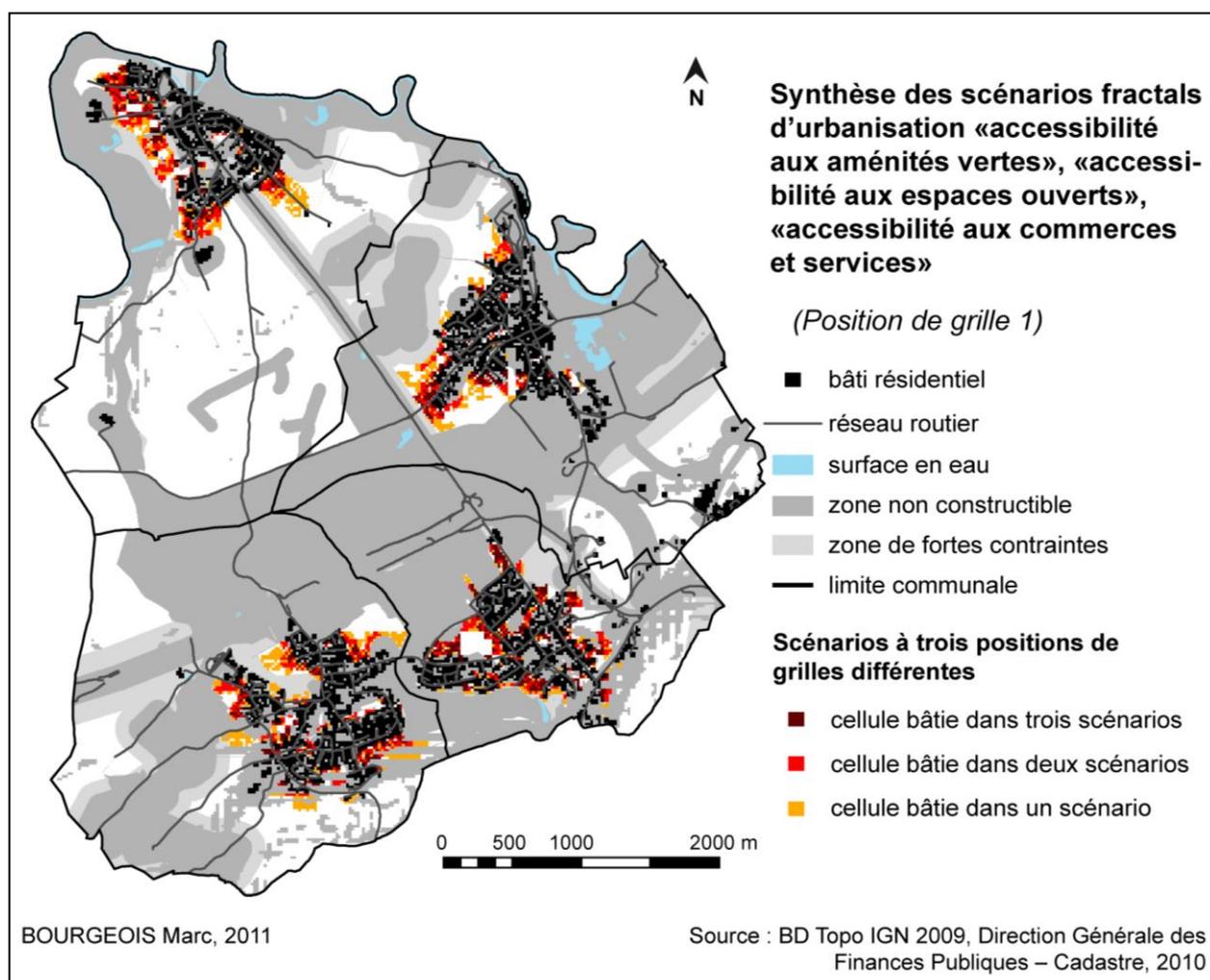


Figure 35 : Comparaison des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes, aux espaces ouverts et aux commerces et services (position de grille 1)

Comparaison des trois scénarios	Total ZE	Cussey-sur-l'Ognon	Geneuille	Auxon-Dessus	Auxon-Dessous
Cellules bâties dans un seul scénario	1064	291	249	147	377
Cellules bâties dans deux scénarios	884	264	175	210	245
Cellules bâties dans trois scénarios	723	180	115	264	164
Total cellules bâties	2671	735	539	621	786

Tableau 13 : Comparaison des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes, aux espaces ouverts et aux commerces et services (position de grille 1)

3.3) Implémentation des résultats obtenus dans un document d'urbanisme

MUP-City propose un modèle d'urbanisation selon une logique fractale et d'autres paramètres que l'utilisateur peut faire varier. L'intérêt de la version interactive du logiciel est son application possible dans le cadre de projets d'aménagement. Le passage de la simulation à la pratique peut néanmoins poser un certain nombre de problèmes. De manière concrète, nous allons donc tenter d'implémenter ces résultats dans un Plan Local d'Urbanisme (PLU).

3.3.1) Définition d'un PLU⁶

Le PLU est un document de planification règlementaire (L. 123-1 du code de l'urbanisme) qui expose le projet global d'urbanisme résumant les intentions générales de la collectivité quant à l'évolution de son territoire : il exprime un véritable projet, avec une réelle valeur règlementaire, puisqu'il est opposable aux tiers.

Le PLU vient préciser les règles d'aménagement et le droit des sols. Pour cela, il indique quels secteurs sont constructibles, quelles formes doivent prendre les constructions, quelles zones doivent rester naturelles, quelles parcelles sont réservées pour les constructions futures, quelles emprises sont destinées pour le transport en commun ou les voies à venir, quelles emprises à maintenir en espaces verts...etc.

Il se compose d'un rapport de présentation :

Le rapport de présentation est un document essentiel pour comprendre le contexte et le projet d'aménagement. Il comporte tout d'abord un diagnostic initial de la situation environnementale de la commune, établi au regard des prévisions économiques et démographiques. Il rend compte des spécificités du sol et du territoire (climat, relief, faune, flore...), afin de pouvoir évaluer les besoins en matière d'urbanisme. Le rapport de présentation justifie les choix pour établir le PADD, le choix du zonage et du règlement et évalue les incidences possibles du PLU sur l'environnement.

⁶ Rédaction par Marie-Noëlle De Oliveira (AudaB)

D'un projet d'aménagement et de développement durable :

Le PADD définit les orientations générales d'aménagement et d'urbanisme et exprime les objectifs et projets de la commune en matière de développement économique et social, dans un terme de 10 à 15 ans, le plus souvent et parfois au-delà.

D'un plan de zonage qui vient traduire le projet de la commune :

- les zones urbaines (U) sont des secteurs déjà urbanisés comportant déjà des équipements publics ou pouvant en accueillir immédiatement.
- les zones à urbaniser (AU) sont des secteurs dont le territoire est en cours d'aménagement urbain ou qui, par le biais du PLU, sera transformé pour devenir une zone urbaine.
- les zones agricoles (A) sont des territoires au fort potentiel agronomique où seules des installations de service public agricole sont autorisées.
- les zones naturelles (N) sont des secteurs protégés, en raison de la qualité et de l'originalité de leurs sols. Elles ne peuvent être détruites ou aménagées en profondeur.

D'un règlement :

Il décrit, pour chaque zone définie dans le document graphique, les dispositions réglementaires applicables (type d'occupation ou d'utilisation du sol interdites, emprise au sol, pourcentage d'espaces verts....)

D'orientations d'aménagement et de programmation (OAP) :

Les OAP sont des clauses à part du PLU qui mettent en avant des spécificités territoriales de la commune, comme par exemple : certaines parcelles doivent être protégées ou spécialement aménagées. Toutes les constructions ne sont pas possibles sur ce secteur...

Et d'annexes :

Il s'agit de toutes les informations utiles : servitudes, réseaux eau potable, pluviales et usées...

3.3.2) Traduction des scénarios proposés dans le PLU

Les scénarios proposés dans le cadre de l'étude pourront trouver leur traduction au PLU dans le plan de zonage, mais dans une forme plus conventionnelle, avec des lignes plus rectilignes, qui suivent le plus souvent le parcellaire et avec peu d'encoches. Les espaces de développement identifiés à l'intérieur des espaces urbanisés seront vraisemblablement traduits en zone U et ceux à l'extérieur en zone AU. Les coulées vertes en fonction de leur localisation, taille seront, soit traduits au zonage en zone N ou bien traduits sous forme d'un principe d'aménagement figurant dans une orientation d'aménagement et de programmation afin d'être pleinement intégrées dans l'aménagement des futurs quartiers d'habitat.

3.3.3) Exemple sur un secteur de la commune d'Auxon-Dessus

La commune d'Auxon-Dessus présente un scénario intéressant, favorisant l'accessibilité aux aménités vertes. C'est la commune la mieux pourvue dans ce domaine. De plus, l'accessibilité aux espaces ouverts et commerces et services est satisfaisante dans la majeure partie des zones déterminées dans le scénario « aménités vertes ». Nous choisissons le scénario d'urbanisation basé sur la deuxième position de grille (rendu le plus réaliste). Nous présentons dans la *figure 36* la superposition des cellules potentiellement urbanisables avec la maille cadastrale, utilisée lors de la création des PLU.

A l'aide des agrégats de cellules générés par MUP-City, nous pouvons réaliser un zonage tel qu'il apparaîtrait dans un PLU. Celui-ci doit respecter globalement le parcellaire et généraliser les agrégats de cellules. A l'intérieur de cette zone à urbaniser, la configuration spatiale des cellules permet d'introduire des coulées vertes à préserver lors de la construction sur les parcelles. Ce travail mené sur un secteur de la commune d'Auxon-Dessus montre de quelle manière les scénarios utilisés par MUP-City pourraient être appliqués concrètement dans le cadre d'un document d'urbanisme.

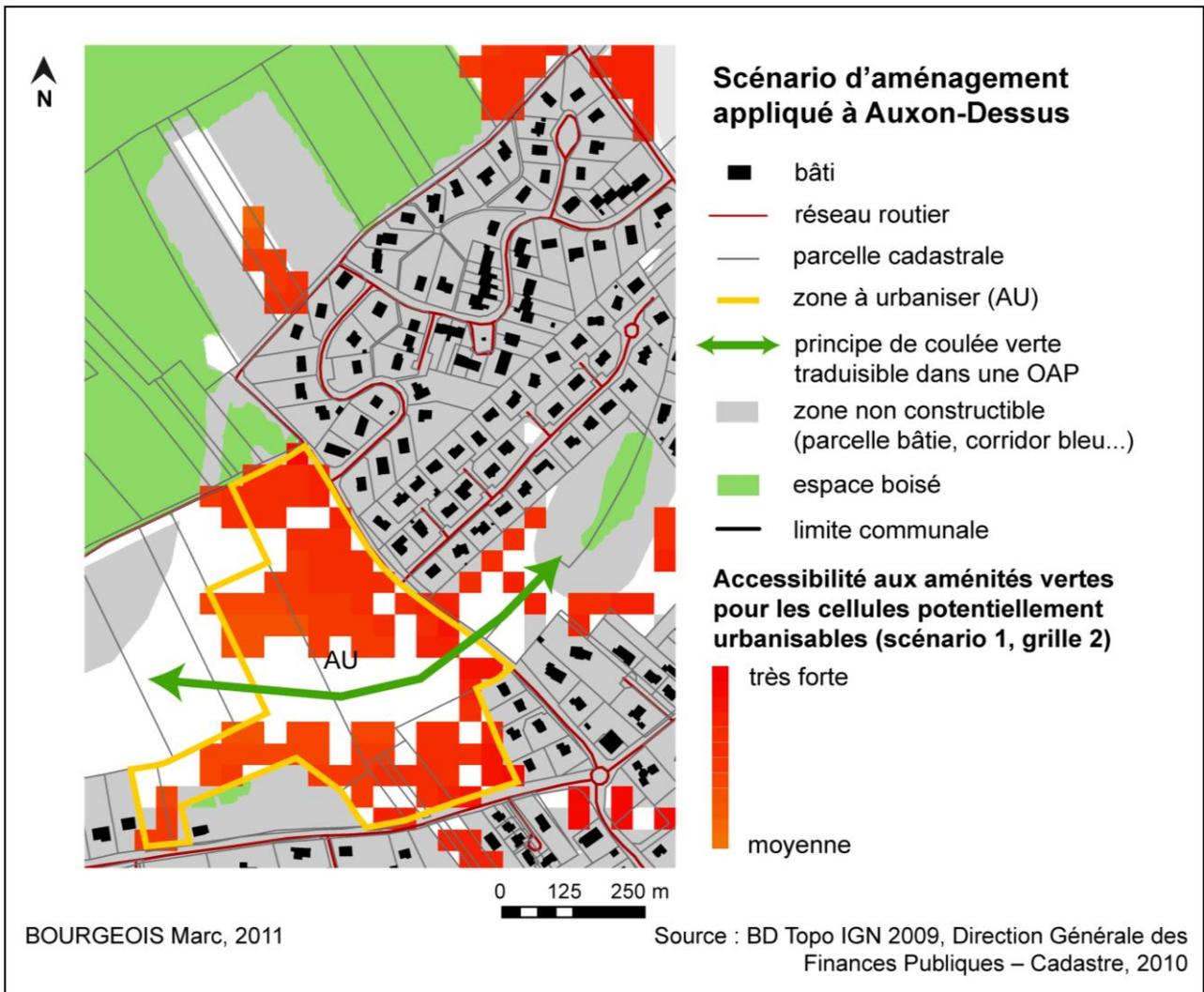


Figure 36: Exemple de traduction d'un scénario fractal d'urbanisation résidentielle généré avec MUP-City dans un PLU : zonage et Orientation d'Aménagement et de Programmation (OAP)

Conclusion

Les communes d'Auxon-Dessus, Auxon-Dessous, Geneuille et Cussey-sur-l'Ognon doivent faire face à des enjeux importants sur leur territoire. La poursuite du phénomène de périurbanisation et la mise en service de la gare TGV de Besançon – Franche-Comté en décembre 2011 induisent une pression urbaine de plus en plus forte. La révision des POS en PLU pour ces communes est donc devenu une nécessité. Face à ces enjeux communs, les communes ont décidé de mutualiser leurs moyens dans un PLU multi-communal s'inscrivant dans une démarche écologique et environnementale. Le SCoT, à ce jour arrêté, à travers le Document d'Orientations Générales permet de servir de guide pour la réalisation de ce PLU. Il introduit un grand nombre d'orientations et de recommandations qu'il convient de prendre en compte. L'étude et la définition de celles-ci nous a permis de montrer que les espaces ouverts à l'urbanisation sont extrêmement réduits dans ce secteur. La gestion du développement résidentiel doit donc faire l'objet d'une attention toute particulière.

Le modèle d'urbanisation fractale propose une forme urbaine alternative, qui peut permettre une bonne qualité de vie résidentielle (accessibilité aux aménités vertes, aux commerces et services...). L'aspect novateur de cette étude, avec l'usage de la version interactive de MUP-City, nous a permis d'intégrer un des facteurs de la satisfaction résidentielle : l'accessibilité aux aménités vertes. Après la caractérisation et la classification des aménités vertes de la zone d'étude, nous avons été à même de créer des scénarios de développement résidentiel selon un modèle d'urbanisation fractale.

Les résultats obtenus sont globalement satisfaisants. Ils permettent de proposer des secteurs urbanisables réalistes. Les agrégats de cellules créés permettent le passage de coulées vertes mais restent finalement assez compacts. La différence est alors notable avec les scénarios fractals automatiques de MUP-City testés dans le cadre d'autres études (Tannier, 2010, Gruson et al., 2010...). Le travail réalisé a ainsi permis de montrer que la compacité et la fractalité n'étaient pas incompatibles. Les secteurs proposés à l'urbanisation dans le cadre de cette étude sont pour la majorité compacts, mais bien ventilés. Ils offrent en outre un bon accès aux aménités vertes de la zone d'étude. Cela est également compatible avec une accessibilité aux commerces et services du territoire qui reste correcte.

A l'instar de ce qui a pu être évoqué dans d'autres études (Tannier, 2009...), l'approche fractale peut aboutir à la réalisation concrète de scénarios d'urbanisation dans les espaces périurbains. Le choix de tous les paramètres et une bonne définition de l'ensemble des contraintes est nécessaire. L'utilisation de la version interactive de MUP-City est bien adaptée pour ce genre de travail. La carte d'accessibilité aux aménités vertes peut être remplacée par des autres variables qui peuvent être susceptibles d'intéresser l'utilisateur en fonction des scénarios qu'il souhaite réaliser (par exemple localisation d'une station de transport collectif, gare, halte ferroviaire, mais aussi cheminement piéton, piste cyclable...) Des améliorations pourraient éventuellement être apportées au logiciel pour des questions pratiques. La durée de création d'un scénario étant extrêmement longue, la possibilité de couplage avec un automate cellulaire pourrait être envisagée. Les contraintes du logiciel et celles choisies par l'utilisateur lors des scénarios interactifs pourraient être programmées afin d'automatiser la construction des cellules. Le travail permettant le passage de MUP-City à un automate cellulaire semble long et fastidieux mais pourrait éventuellement permettre une utilisation plus rapide, plus pratique et donc plus facilement utilisable du logiciel. Ceci pourrait concerner par exemple des non-spécialistes des modèles d'urbanisation fractale (aménageurs, urbanistes...) qui souhaiteraient tester des scénarios alternatifs aux propositions faites habituellement dans le domaine de l'urbanisme et de l'aménagement du territoire.

L'implémentation des résultats obtenus dans le cadre de documents d'urbanisme type PLU est satisfaisante, pour quelques secteurs bien choisis. Des améliorations pourraient être apportées et un travail conséquent de zonage devrait être effectué pour permettre une meilleure lisibilité des scénarios ce qui augmenterait leur acceptabilité par les professionnels de l'aménagement du territoire et les élus.

Bibliographie

- Anderson S.T., West S.E. (2006), *Open space, residential property values, and spatial context*, *Regional Science and Urban Economics*, 36, p. 773-789.
- AudaB. (2007) *Schéma d'aménagement et de développement du secteur nord, rapport de présentation*, 52p.
- AudaB. (2008). *Réalisation d'une étude pour la définition d'un projet environnemental et paysager et pour l'élaboration d'un PLU multicommunal sur les 4 communes riveraines de la future gare TGV de Besançon Franche-Comté, Cahier des Clauses Techniques Particulières*, 31p.
- AudaB, SMSCoT (2010). *Schéma de Cohérence Territoriale de l'Agglomération Bisontine. Document d'Orientations Générales. Arrêté du projet*. 46p.
- Banister, D. (1992) *Energy use, transportation and settlement patterns*. in *Sustainable Development and Urban Form*, Edition (M. J. Breheny ed.), pp 160-181. .
- Bramley, G. Power, S (2009) *Urban form and social sustainability: the role of density and housing type*. *Environment and Planning B: Planning and Design* 36:30-48.
- Breheny, M.J. (1997) *Urban compaction: feasible and acceptable?* *Cities* 14:209-217.
- Burton, E. (2000) *The compact city: just or just compact?* *Urban Studies* 37:1969-2001.
- Camagni, R., Gibelli, M Rigamonti, P (2002) *Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion*. *Ecological Economics* 40:199-216.
- Cao, X., Mokhtarian, P Handy, S (2009) *The relationship between the built environment and nonwork travel: A case study of Northern California*. *Transportation Research Part A* 43:548-559.
- Cavailhès, J., Frankhauser, P, Peeters, D, Thomas, I (2004) *Where Alonso meets Sierpinski: an urban economic model of fractal metropolitan area*. *Environment and Planning A* 36:1471-1498.
- Cavailhès J., Brossard T., Hilal M., Joly D., Tourneux F.P., Tritz C. et Wavresky P. (2007) *Le prix des paysages périurbains*, *Économie rurale* [En ligne], 297-298 | janvier-avril 2007, mis en ligne le 01 mars 2009. URL : <http://economierurale.revues.org/index2003.html>
- CERTU, 2006, *De la qualité de vie au diagnostic urbain : vers une nouvelle méthode d'évaluation – Le cas de la ville de Lyon* [en ligne], CERTU, Lyon, pp 98-108. Disponible sur : http://lara.inist.fr/bitstream/handle/2332/990/CERTU_QualiteVie.pdf?sequence=2 (28/03/2011)

- Cho S., Poudyal N.C., Roberts R.K. (2008), *Spatial analysis of the amenity value of green open space*, Ecological Economics, 66, p. 403-416.
- Choumert J., Travers M., (2010). *La capitalisation immobilière des espaces verts dans la ville d'Angers. Une approche hédoniste*, Revue économique, Presses de Sciences-Po, vol. 0(5), pages 821-836
- Christaller, W. (1933) *Die zentralen Orte in Süddeutschland*, G. Fischer.
Reproduction par la Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1980.
- DIREN (2008). *Cadrage méthodologique pour la cartographie des continuités écologiques*. 70p.
- DIREN Franche-Comté. (2008) *Porter à connaissance complémentaire pour le secteur Nord du SCOT de l'agglomération bisontine*, 74p.
- DIREN Franche-Comté (2008) *Proposition de cadrage méthodologique et sémantique pour la cartographie de continuités écologiques*, 15p.
- Forsyth, A., Oakes, M, Schmitz, K Hearst, M (2007) *Does residential density increase walking and other physical activity?*. Urban studies 44:679-697.
- Frankhauser, P. Genre-Grandpierre, C (1998) *La géométrie fractale: un nouvel outil pour évaluer le rôle de la morphologie des réseaux de transport public dans l'organisation spatiale des agglomérations*. Les cahiers scientifiques du transport :41-78.
- Frankhauser, P. (2000) *La fragmentation des espaces urbains et périurbains : une approche fractale*. in *Structure des villes, entreprises et marchés urbains*, Edition (P.H. Derycke ed.), pp 25-50. Harmattan.
- Frankhauser, P. (2004) *Comparing the morphology of urban patterns in Europe: a fractal approach*. in *European Cities - Insights on outskirts*, Edition (A. Borsdorf and P. Zembri ed.), pp 79-105. .
- Frankhauser P., Tannier C., Vuidel G., Houot H. (2007b). *Approche fractale de l'urbanisation - Méthodes d'analyse d'accessibilité et simulations multi-échelles*. In 11th World Conference on Transportation Research. Berkeley, USA.
- Frankhauser P. (Dir.), Houot H., Tannier C., Vuidel G. (2010). *Développement urbain fractal sous contraintes d'accessibilités. Modèles et outils d'aide à la décision pour l'aménagement urbain*. Rapport final, PREDIT (Programme français de recherche et d'innovation dans les transports terrestres).
- Frankhauser P., Tannier C., Vuidel G., Houot H. (2010), *Une approche multi-échelle pour le développement résidentiel des nouveaux espaces urbains*, in J.-P. Antoni (Ed) *Modéliser la ville. Forme urbaine et politiques de transport*, Economica, Coll. Méthodes et approches, pp. 306-332.

Gruson T, Rabut P., Wang Y., (2010). *Mup-City : outil d'aide à l'élaboration de PLU. Projet Méthodologique*. Master 2 IT-ISA. Besançon : Université de Franche-Comté, 46 p.

Handy S., Cao X, Mokhtarian P (2005). *Correlation or causality between the built environment and travel behavior? Evidence from Northern California*. Transportation Research Part D 10:427–444.

Jago, R., Anderson, C., Baranowski, T., Watson, K., (2005). *Adolescent patterns of physical activity: differences by gender, day and time of day*. Am. J. Prev. Med. 28 (5), 447–452.

Kaplan R, (1985), *Nature at the door step: residential satisfaction and the nearby environment*. Journal of Architectural and Planning Research 2 115-127

Kweon, B., Ellis, C, Leiva, P Rogers, G (2010) *Landscape components, land use, and neighborhood satisfaction*. Environment and Planning B: Planning and Design advance online publication

Le Jeannic T. (1997). *Trente ans de périurbanisation : extension et dilution des villes*. Économie et statistique, 307, 7, p.21-41.

Owens, S. (1992) *Land-use planning for energy efficiency*. Applied Energy 43:81-114.

Sander, H., Ghosh, D, van Riper, D Manson, S (2010) *How do you measure distance in spatial models? An example using open-space valuation*. Environment and Planning B: Planning and Design 37:874-894.

Tannier, C. (2009) *Formes de villes optimales, formes de villes durables. Quelques réflexions à partir de l'étude de la ville fractale*. Espaces et sociétés 3:153-171.

Tannier, C., Frankhauser, P, Houot, H, Vuidel, G (2006) *Optimisation de l'accessibilité aux aménités urbaines et rurales à travers le développement de modèles fractals d'urbanisation*. In: LIIème Colloque de l'ASRDLF – XIIème Colloque du GRERBAM, Sfax, 4-6 Septembre 2006, 29 p.

Tannier, C., Vuidel, G, Frankhauser, P Houot, H (2010) *Simulation fractale d'urbanisation - MUP-city, un modèle multi-échelle pour localiser de nouvelles implantations résidentielles*. Revue internationale de géomatique 20:303-329.

Witten, K., Hiscock, R, Pearce, J, Blakely, T (2008) *Neighbourhood access to open spaces and the physical activity of residents: A national study*. Preventive Medicine

Sites Web

Eau France. *Le portail de l'eau en France*. Disponible sur : www.eaufrance.fr (07 juin 2011)

DREAL Franche-Comté. *Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement*. Disponible sur : <http://www.franche-comte.developpement-durable.gouv.fr/> (07 juin 2011)

Géoportail. *Le portail des territoires et des citoyens*. Disponible sur : www.geoportail.fr (10 avril 2011)

Table des illustrations

Liste des figures

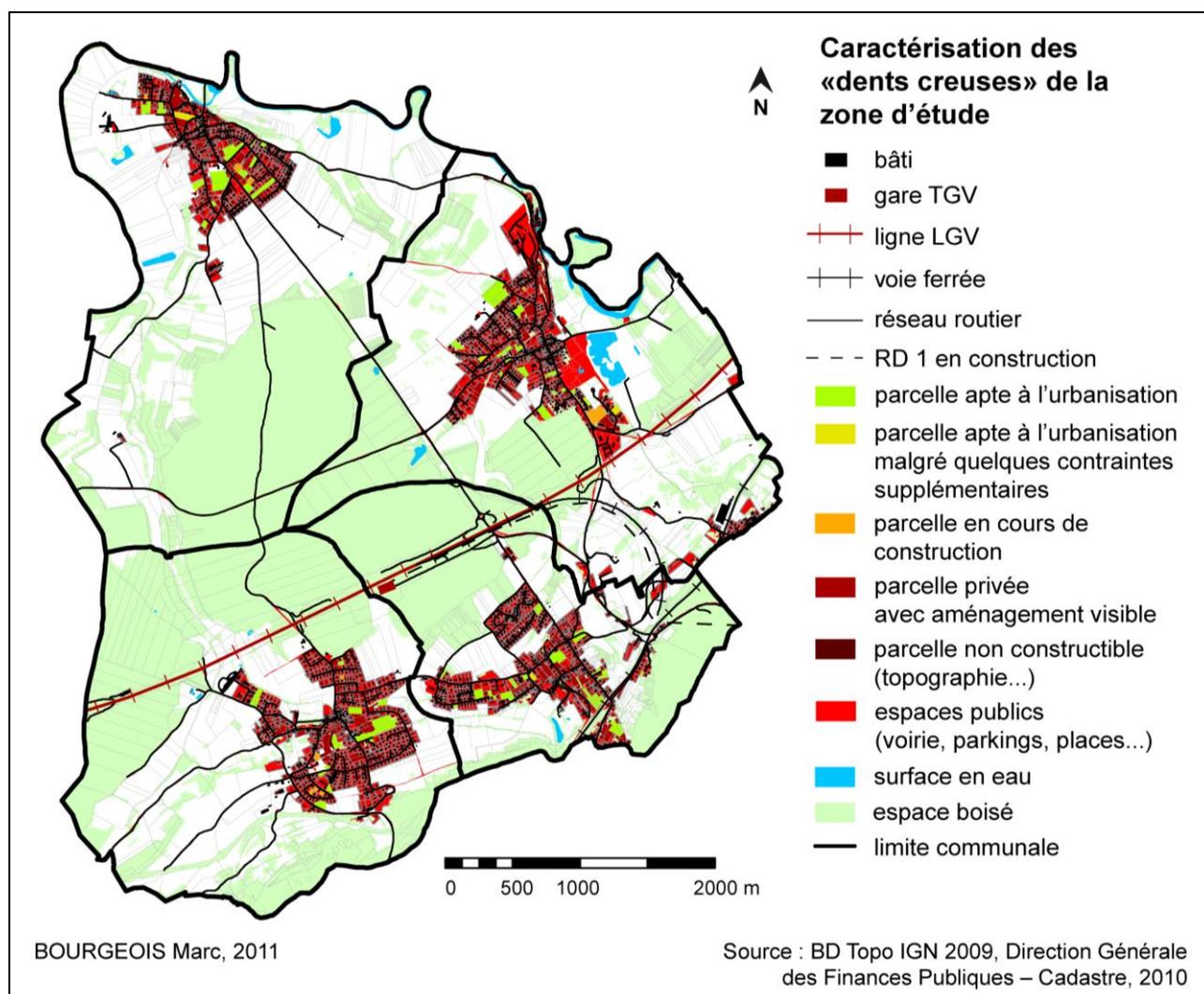
Figure 1: Localisation de la zone d'étude	16
Figure 2 : Un tapis de Sierpinski	18
Figure 3: Le réseau des lieux centraux de Christaller (a) et un réseau hexagonal (multi)fractal (b)	19
Figure 4 : Exemple de fractales aléatoires.....	20
Figure 5 : Dents creuses potentiellement constructibles à Cussey-sur-l'Ognon et Auxon-Dessus.....	23
Figure 6 : Contraintes liées à l'occupation du sol (parcelles cadastrales).....	24
Figure 7 : Contraintes liées aux risques	26
Figure 8 : Contraintes liées à la protection de la biodiversité	27
Figure 9 : Contraintes liées aux corridors verts.....	28
Figure 10 : Contraintes liées aux corridors bleus	29
Figure 11 : Contraintes liées à l'agriculture.....	31
Figure 12 : Contraintes liées aux coûts de construction et au confort des résidents	33
Figure 13 : Zones de contraintes et de fortes contraintes dans la zone d'étude.....	35
Figure 14 : Parc des Ch'nillons à Auxon-Dessus	37
Figure 15 : Exemple de zones d'attractivité d'un type d'aménité verte	40
Figure 16 : Attrait de l'aménité verte "parcours de santé" en fonction de la distance à une cellule résidentielle.....	40
Figure 17 : Accessibilité aux aménités vertes dans la zone d'étude	43
Figure 18 : Décomposition de l'espace réel par MUP-City.....	44
Figure 19 : Exemple d'application de la règle fractale d'urbanisation avec un N_{\max} égal à 5 sur la base de la modélisation spatiale multi-échelle	45
Figure 20 : Décomposition multi-échelle dans MUP-City.....	47
Figure 21: Choix du N_{\max} et des règles optionnelles dans MUP-City.....	48
Figure 22 : Choix des cellules à urbaniser par l'utilisateur dans la version interactive de MUP-City	48
Figure 23 : Fonctionnalité de préservation des coulées vertes dans la version interactive de MUP-City	49

Figure 24 : Schématisation des différentes possibilités offertes par la version interactive de MUP-City lors de la réalisation d'un scénario d'urbanisation résidentielle.....	50
Figure 25 : Attribution des valeurs d'accessibilité aux aménités vertes d'un niveau d'échelle au niveau d'échelle supérieur.....	51
Figure 26 : Méthode utilisée dans la version interactive de MUP-City 0.8 pour la construction de cellules potentiellement urbanisables bénéficiant d'une bonne accessibilité aux aménités vertes	53
Figure 27 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 1).....	55
Figure 28 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 2).....	58
Figure 29 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 3).....	61
Figure 30 : Synthèse des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (superposition des positions de grille 1, 2 et 3).....	63
Figure 31: Sélection des zones les plus intéressantes à urbaniser dans les trois scénarios fractals favorisant l'accessibilité aux aménités vertes	66
Figure 32 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux espaces ouverts (position de grille 1)	67
Figure 33: Comparaison des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes et aux espaces ouverts (position de grille 1).....	69
Figure 34 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux commerces et services	70
Figure 35 : Comparaison des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes, aux espaces ouverts et aux commerces et services (position de grille 1)	73
Figure 36: Exemple de traduction d'un scénario fractal d'urbanisation résidentielle généré avec MUP-City dans un PLU : zonage et Orientation d'Aménagement et de Programmation (OAP)	77

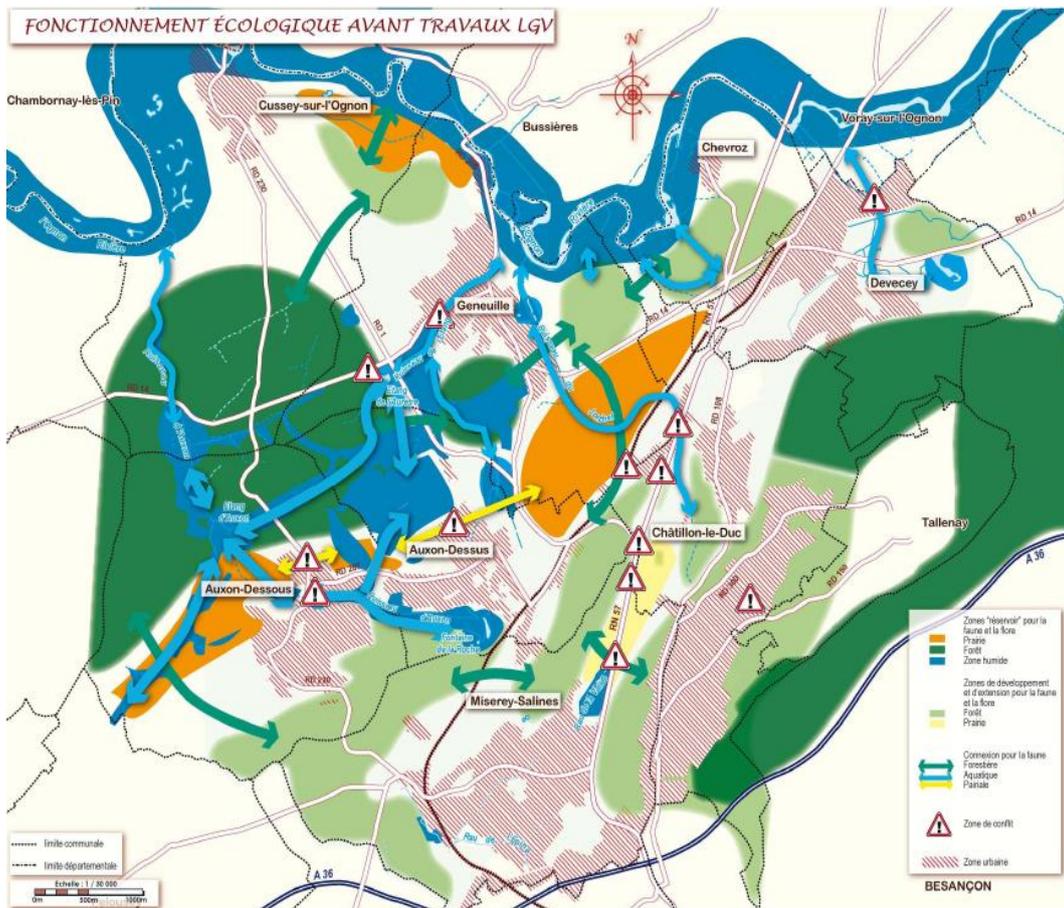
Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques générales des communes de la zone d'étude	13
Tableau 2 : Bilan des contraintes à prendre en compte sur la zone d'étude	34
Tableau 3 : Typologie des aménités vertes présentes sur la zone d'étude	38
Tableau 4 : Valeurs d'attrait des aménités vertes en fonction de la distance	41
Tableau 5 : Nombre de logements préconisés par le SCoT à l'horizon 25 ans pour les communes de la zone d'étude	52
Tableau 6: Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 1).....	56
Tableau 7 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 2).....	59
Tableau 8: Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (position de grille 3).....	61
Tableau 9 : Synthèse des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes (superposition des positions de grille 1, 2 et 3).....	64
Tableau 10 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux espaces ouverts (position de grille 1)	67
Tableau 11 : Comparaison des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes et aux espaces ouverts (position de grille 1).....	69
Tableau 12 : Scénario fractal d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux commerces et services	71
Tableau 13 : Comparaison des scénarios fractals d'urbanisation résidentielle favorisant l'accessibilité aux aménités vertes, aux espaces ouverts et aux commerces et services (position de grille 1)	73

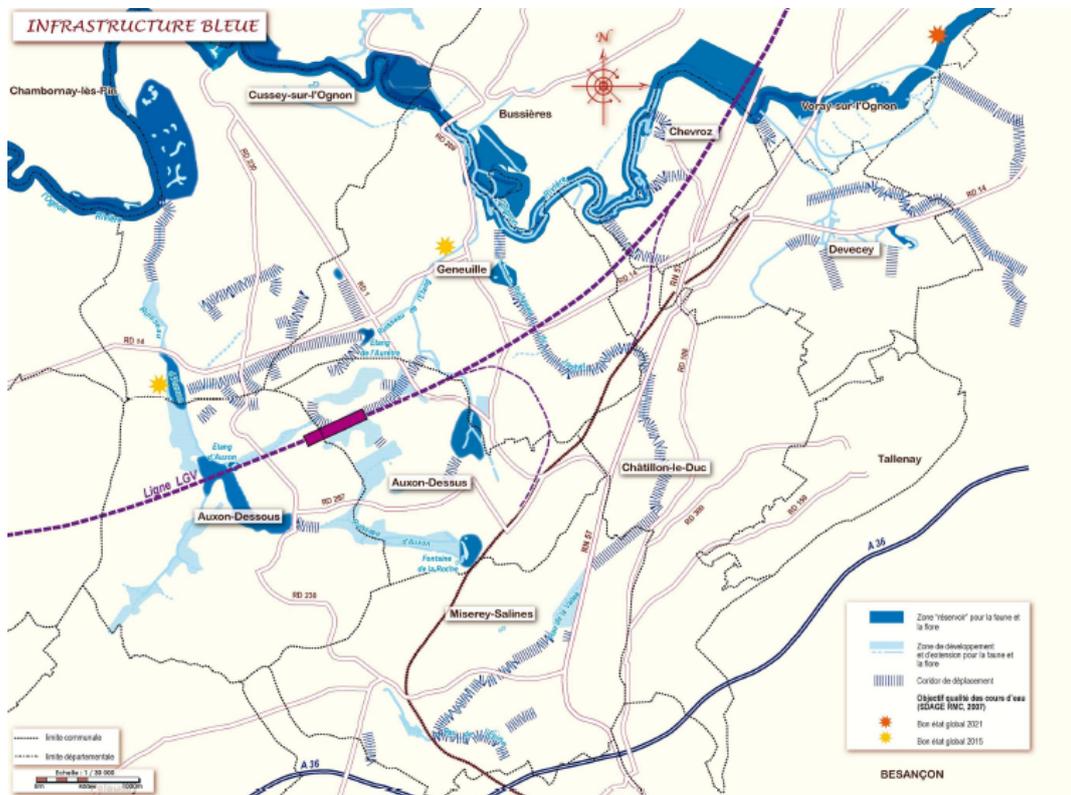
Annexes



Annexe 1 : Caractérisation des dents creuses des villages de la zone d'étude (d'après travail sur le terrain)



Annexe 2 : Fonctionnement écologique, Porter à connaissances, DIREN 2008



Annexe 3 : Fonctionnement écologique, Porter à connaissances, DIREN 2008