

odit

Chantier « Construction de l'espace urbain et périurbain » (CEUP)

Rapport final d'activité

Coordination : Cécile TANNIER,
ChronoEnvironnement UMR 6249, CNRS -
Université Bourgogne Franche-Comté

Table des matières

Axe 1 Mieux connaître les déterminants des mobilités quotidiennes et résidentielles des individus	Page 7
1.1 Analyse de données d'enquête conciliant l'observation quantitative et qualitative	Page 7
1.2 Innovations en matière de représentation spatio-temporelle des mobilités individuelles	Page 13
Axe 2 Simuler des scénarios prospectifs d'évolution urbaine	Page 22
2.1 Explorations théoriques du processus d'urbanisation avec le modèle S-Ghost City	Page 22
2.2 La plateforme de simulation MobiSim : nouveaux développements, tests et mise en œuvre	Page 23
2.3 Intégration d'un développement résidentiel fractal dans les scénarios prospectifs simulés	Page 27
2.4 Co-conception de scénarios prospectifs d'urbanisation avec les acteurs publics de l'aménagement	Page 31
Axe 3 Évaluer les impacts environnementaux de scénarios prospectifs d'urbanisation	Page 41
3.1 Impact de l'urbanisation sur la connectivité des habitats écologiques de mammifères forestiers	Page 41
3.2 Impact de différentes formes d'urbanisation sur l'exposition des populations au bruit de circulation	Page 44
3.3 Impact de différentes formes de développement résidentiel sur le climat urbain et les dépenses énergétiques des bâtiments	Page 46
Références bibliographiques	Page 50
Liste des participants au projet	Page 51

Rapport d'activité du chantier CEUP

Novembre 2015

L'objectif des recherches menées au sein du chantier « Construction des espaces urbains et périurbains » était de proposer des orientations d'aménagement urbain qui permettent d'accroître le rayonnement et l'attractivité des villes de Franche-Comté. Concrètement, les recherches visaient à : 1) améliorer la satisfaction résidentielle des ménages ; 2) minimiser les coûts (économiques, sociaux et environnementaux) des mobilités individuelles quotidiennes ; 3) imaginer des formes de développement résidentiel originales et innovantes.

Pour répondre à ces objectifs, les orientations méthodologiques ont été les suivantes (Figure 1) :

1. Concilier l'observation qualitative et quantitative pour mieux comprendre les déterminants des comportements des ménages.
2. Originalité des formes du développement urbain : application de modèles d'aménagement urbain mobilisant des concepts de la géométrie fractale.
3. Anticipation des effets possibles des aménagements envisagés : utilisation de la simulation informatique pour créer et tester des scénarios prospectifs de développement urbain (*Planning Support Systems*).

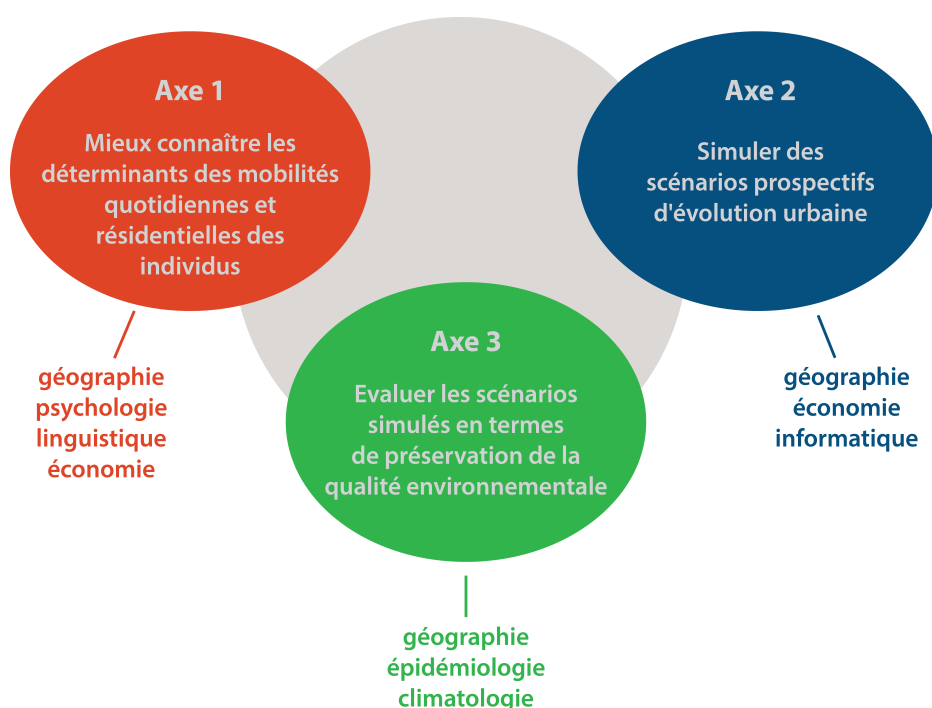


Figure 1. Les trois axes de recherche du chantier « Construction de l'espace urbain et périurbain », projet ODIT.

Pour mener à bien ces recherches, outre les financements FEDER obtenus pour le projet ODIT, le chantier CEUP a reçu des financements complémentaires de la Région Franche-Comté :

- aide au fonctionnement du chantier (financement de rencontres entre les participants) ;
- financement d'une prestation de service effectuée par le CHRU de Besançon pour le traitement de la carte de bruit de Besançon et la réalisation de simulations de l'exposition des individus au bruit de circulation ;
- achat de la base de données INSEE SIRENE pour la Franche-Comté.

Cette dernière a été utilisée pour mesurer l'accessibilité des résidents des agglomérations urbaines à leurs différents lieux d'activité (emplois, commerces...). Ces mesures d'accessibilité sont à la base des modèles de simulation des mobilités quotidiennes et résidentielles, et de la croissance urbaine.

Publications

Articles dans des revues scientifiques

COUILLET A. (2013). Cartographie et analyse visuelle des émotions associées à des déplacements quotidiens, *Bulletin du Comité Français de Cartographie*, 217, pp.37-47.

CARUSO G., CAVAILHES J., PEETERS D., THOMAS I., FRANKHAUSER P., VUIDEL G., (2015). Greener ad larger neighbourhoods make cities more sustainable! A 2D urban economics perspective, *Computers, Environnement and Urban Systems* vol.54, pp.82-94.

PEETERS D., CARUSO G., CAVAILHES J., THOMAS I., FRANKHAUSER P., VUIDEL G., (2015). Emergence of leapfrogging from residential choice with endogenous green space: analytical results, *Journal of Regional Science*, vol.55(3), pp. 491-512.

TANNIER C., BOURGEOIS M., HOUOT H., FOLTÊTE J-C. (2016), Impact of urban developments on the functional connectivity of forested habitats: a joint contribution of advanced urban models and landscape graphs, *Land Use Policy*, vol. 52, pp.76-91.

TANNIER C., HIRTZEL J., STEPHENSON R., COUILLET A., VUIDEL G., YOUSOUFI S. (2015). Conception and use of an individual-based model of residential choice in a planning decision process. Feedback from an experimental trial in the city of Besançon, France, *Progress in Planning*, DOI: 10.1016/j.progress.2015.04.001.

Thèses de doctorat

BOURGEOIS M. (2015). *Impacts écologiques des formes d'urbanisation. Modélisations urbaines et paysagères*. Thèse de doctorat en géographie, Université de Franche-Comté.

FRÉMOND M. (2015). *Une approche normative de l'aménagement au Luxembourg. Évaluation par la simulation*. Thèse de doctorat en géographie, Université de Franche-Comté.

HIRTZEL J. (2015). *Exploration prospective des mobilités résidentielles dans une agglomération urbaine au moyen d'un modèle de simulation multi-agents (MobiSim)*. Thèse de doctorat en géographie. Université de Franche-Comté.

KOHLER M. (2015). *Assessment of the building energy requirements: added value of the use of the urban climate modeling*. Thèse de doctorat en géographie, Université de Strasbourg.

Communications en colloque

Communications avec actes

COUILLET A. (2013). Applying visual analysis methods for mapping emotions felt along daily trips, *26th International Cartographic Conference*, Dresden, Germany, August 25-30.

FRÉMOND M., GERBER P. (2013), Comparing residential scenarios regarding the accessibility to amenities, *World Conference on Transportation Research*, Rio de Janeiro, July 15th 2013.

HIRTZEL J. (2013). Calibrage d'un modèle de simulation individu-centré des mobilités résidentielles (Mobisim). Application à l'agglomération de Besançon (France), *GdR 3359 MoDyS – Rencontre jeunes chercheurs*, 21-22 novembre 2013, Université de Franche-Comté (Frasne, 25).

Communications orales sans actes

BOURGEOIS M., TANNIER C., FOLTETE J.-C. (2015). Simulation de scénarios d'urbanisation pour estimer l'impact écologique du développement résidentiel et des évolutions de trafic associées, *Douzièmes Rencontres de Théo Quant*, Besançon, France, 20-22 mai 2015.

FRÉMOND M., 2015, A normative planning approach for the Luxembourg. Assessment based on spatial simulation, *XIXe European Colloquium of Theoretical and Quantitative Geography*, Bari (Italia), September 4-7th 2015.

FRÉMOND M., TANNIER C., GERBER P. (2015). Pour une approche normative de l'aménagement. Simulation de scénarios de développement résidentiel au Luxembourg, *Douzièmes Rencontres de Théo Quant*, Besançon, France, 20-22 mai 2015.

KOHLER M., TANNIER C., BLOND N., AGUEJDAD R., CLAPPIER A. (2015). Could urban sprawl countermeasures create energy-efficient urban form? A case study of Strasbourg (France), *Annual Meeting of the International Geographical Union "Urban challenges in a complex world"*, 9-16 August 2015, Dublin, Ireland.

KOHLER M., TANNIER C., BLOND N., AGUEJDAD R., CLAPPIER A. (2015). Could urban climate modelling systems provide urban planning guidelines in the context of building energy performance issues? *9th International Conference on Urban Climate jointly with 12th Symposium on the Urban Environment*, Toulouse, France, 20-24 juillet 2015.

BOURGEOIS M. (2013). A multispecies approach for modeling the ecological impact of urban development using landscape graphs, *1st Congress of the Society for Urban Ecology – Progress in urban ecology and ecological challenges in urban development*, Berlin, 25-27 juillet 2013.

BOURGEOIS M., FOLTÊTE J.-C., TANNIER C. (2013), Une approche multi-espèces pour estimer l'impact de la croissance urbaine, *Onzièmes Rencontres de Théo Quant*, Besançon, 20-22 février 2013.

CARUSO G., CAVAILHÈS J., FRANKHAUSER P., PEETERS D., THOMAS I., VUIDEL G. (2013), Emergence of scattered and leapfrog urban development: from analytical proof to complex simulation outputs with realistic calibration, *18th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*, Dourdan, France, 5-9 sept 2013.

FRÉMOND M. (2013), Comparaison de scénarios de croissance urbaine au Luxembourg : mesurer l'accessibilité aux aménités, *Onzièmes Rencontres de Théo Quant*, Besançon, 20-22 février 2013.

FRÉMOND M. (2013), Residential development scenarios in Luxembourg to improve the accessibility to amenities, *BIVÉC-GIBET Transport Research Group*, Luxembourg, 26 mai 2013.

GRIFFOND-BOITIER A., FRANKHAUSER P., ANSEL D., RAMADIER T., CHAUVIN-VILENO A. (2013). Explorer les décisions liées aux choix résidentiels – une approche méthodologique, *50^{ème} colloque de l'ASRDLF (Association des sciences régionales de langue française)*, Mons, Belgique, 8-11 juillet 2013.

GRIFFOND-BOITIER A., VALENTIN J., (2014). Mobilité résidentielle et sentiment d'appartenance : influence des lieux et des trajectoires résidentielles, *Colloque de l'APERAU (Association pour la promotion de l'enseignement et de la recherche en aménagement et urbanisme)*, Montréal, 27-28 mai 2014.

HIRTZEL J., TANNIER C. (2013), Simulation individu-centrée des mobilités résidentielles à l'aide d'un modèle dynamique prospectif (MobiSim) – Application à l'agglomération de Besançon (France), *Onzièmes Rencontres de Théo Quant*, Besançon, 20-22 février 2013.

RAMADIER T., DIAS P. (2013), Représentation socio-spatiale de la ville et mobilité sociale, *International conference on Environmental Psychology 2013* “Hybrid spaces, human spaces, for a “viable future”: revisiting Environmental Psychology”, Barcelona (Spain), 22-25 octobre 2013.

TANNIER C., NICOT B., HIRTZEL J. (2013), Simulating intra-urban residential migrations – An individual-based geo-economic modeling, *18th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*, Dourdan, France, 5-9 sept 2013.

THEVENIN T., VUIDEL G. (2013). Exploring mobilities in time and space. The Geographer prototype, *18th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography*, Dourdan, France, 5-9 sept 2013.

Présentations en séminaire

HIRTZEL J., TANNIER C. (2012). Simulation individu-centrée des mobilités résidentielles dans une agglomération urbaine. Modèle MobiSim – Inputs et outputs, *Séminaire du GIS MU “De la ville mesurée au modèle urbain”*, Paris (IGN, Saint-Mandé), 10 décembre 2012.

TANNIER C., FOLTÊTE J-C., GIRARDET, X. (2013). Assessing the capacity of different urban forms to preserve the connectivity of ecological habitats, *Journée thématique du CESAER (INRA) “Ville et environnement”*, 14 janvier 2013, Maison des sciences de l’homme, Dijon.

TANNIER C., HIRTZEL J. (2013). Simulation individu-centrée des migrations résidentielles intraurbaines avec la plateforme MobiSim : difficultés rencontrées pour le calibrage du modèle et l’exploration des résultats de simulation, *Séminaire SimTools*, Réseau national des systèmes complexes, Paris (IGN, Saint-Mandé), 15 mars 2013.

TANNIER C. (2014). Simulation prospective des dynamiques urbaines avec la plateforme MobiSim, *Communauté d’agglomération du Grand Besançon, Direction générale des services techniques – Séminaire interne*, Besançon, 18 novembre 2014.

TANNIER C., ANTONI J.-P. (2015). Le recours aux fractales dans les modèles transport-urbanisme, *13^{ème} séminaire Méthodes et Approches « Fractales et recherche en transport - De l’outil conceptuel à l’outil d’aide à la décision*, Direction de la recherche et de l’innovation (CGDD/DRI/SR) du Ministère de l’écologie, du développement durable et de l’énergie (MEDDE), Paris-La Défense, 12 octobre 2015.

TANNIER C. (2015). Exploration prospective des dynamiques résidentielles avec la plateforme MobiSim, *Ville de Besançon, Service Urbanisme – Séminaire interne*, Besançon, 16 février 2015.

TANNIER C. (2015). Simulation prospective des dynamiques résidentielles avec la plateforme MobiSim, *Séminaire de l’UMR IDEES*, Rouen, 26 mars 2015.

TANNIER C. (2015). Simulation prospective des dynamiques résidentielles avec la plateforme MobiSim, *Séminaire du laboratoire COGIT*, IGN, Saint-Mandé, 24 septembre 2015.

Axe 1

Mieux connaître les déterminants des mobilités quotidiennes et résidentielles des individus

Deux voies ont été explorées dans le cadre du chantier CEUP afin de mieux connaître les déterminants des mobilités quotidiennes et résidentielles : d'une part, analyser des données d'enquête quantitatives et qualitatives et d'autre part, représenter les mobilités quotidiennes et résidentielles individuelles dans leurs dimensions à la fois spatiales et temporelles.

1.1 Analyse de données d'enquête conciliant l'observation quantitative et qualitative

Coordination : Anne Griffond-Boitier

Concernant la mobilité résidentielle, la prise de décision de résider dans un lieu est conditionnée par des facteurs socio-psychologiques tels que l'influence d'expériences antérieures, le sentiment d'attachement au lieu ou à des réseaux sociaux, ou encore les arbitrages entre les membres d'une famille lorsque le changement intervient dans un contexte familial. Pour étudier ces facteurs complexes à saisir, une enquête par questionnaire a été réalisée dans le cadre du projet ANR ECDESUP (Évaluation, choix et décision dans l'usage des espaces urbains et périurbains) conduit entre 2007 et 2012. Cette enquête se sert de jeux successifs pour reproduire les conditions d'arbitrage dans lesquelles les individus se trouvent lors de leurs prises de décision résidentielles. Des éléments complémentaires ont été recueillis sur les lieux résidentiels de l'enfance, les émotions attachées au lieu de vie et sur le contexte social de l'individu, suivant l'hypothèse que ces facteurs influencent l'appréciation des lieux. Au total 350 individus ont été interrogés à la fois en milieu urbain et périurbain.

Dans le cadre du chantier CEUP « Construction de l'espace urbain et périurbain », un premier travail a consisté en la constitution et la mise en forme d'une base de données pour l'exploitation des données d'enquête ECDESUP. Pour ce faire, deux personnes titulaires d'un master en géographie et aménagement ont été embauchées sur les crédits FEDER. Les analyses de cette base de données ont porté sur l'influence du contexte à la fois socio-psychologique et spatial sur la prise de décision résidentielle et les trajectoires de mobilité résidentielles. Des traitements géomatiques de ces données ont visé à analyser les liens entre l'attachement aux lieux des individus et leur mobilité résidentielle. Cette analyse a consisté en un calcul de distances à vol d'oiseau entre les lieux de résidence successifs des individus pour établir une typologie de trajectoires résidentielles.

Le graphique de la figure 2, qui croise les trajectoires résidentielles préalablement identifiées avec l'importance accordée au lieu où l'on réside, met surtout en évidence l'attachement des périurbains (24% de l'échantillon) à leur lieu de vie. De même, les individus qui ont effectué un déménagement pour s'installer loin de leur lieu d'origine (18%) sont très sensibles à un ancrage local. A l'inverse, ceux qui déménagent vers une région voisine (12%) ou bien au sein de la même ville déclarent être assez indifférents au fait de vivre là et pas ailleurs.

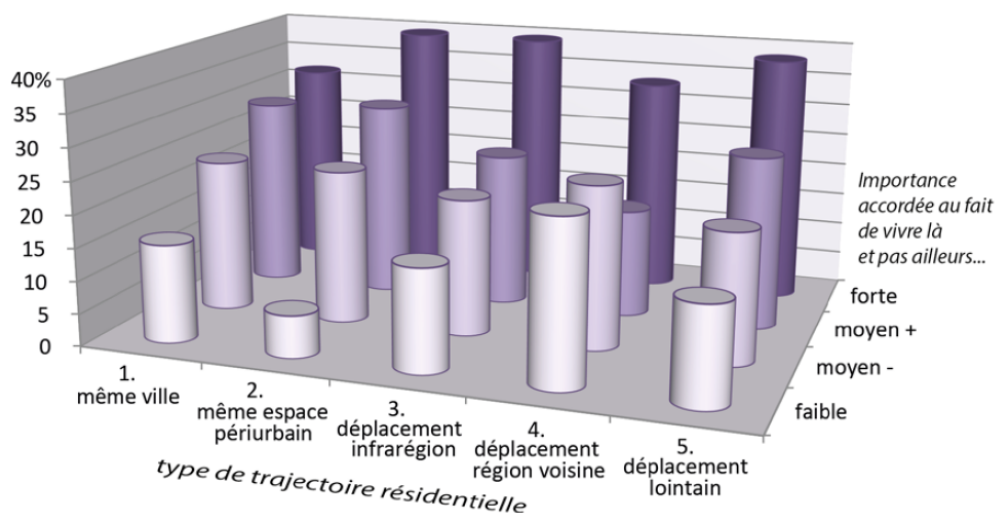


Figure 2. Relation entre la trajectoire résidentielle des individus enquêtés et l'importance accordée au lieu de vie.
Source des données : enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01.

Quand l'attachement au lieu est envisagé comme un frein éventuel à la mobilité résidentielle, les analyses de l'enquête montrent que l'attachement à l'environnement local (paysage naturel, caractéristiques architecturales) et au voisinage social est bien plus souvent évoqué que l'attachement au logement, à ses fonctionnalités ou à son charme, indépendamment des espaces de résidence (urbain ou périurbain). Le logement est vu comme plus facilement remplaçable que le voisinage social. A l'inverse, quand on pose la question de façon positive : « qu'est-ce qui convient dans votre logement, votre voisinage ou votre ville de résidence ? », les réponses données mettent en avant la qualité du logement en périurbain, tandis que ce dernier apparaît secondaire pour les résidents des espaces urbains. Le voisinage social est quant à lui toujours un élément important, alors que la ville dans laquelle on réside n'est vraiment importante que pour les urbains. Les périurbains présentent le plus faible attachement à la ville à proximité de laquelle ils résident. Cette mise à distance marquée de la ville caractérise leur représentation de l'espace.

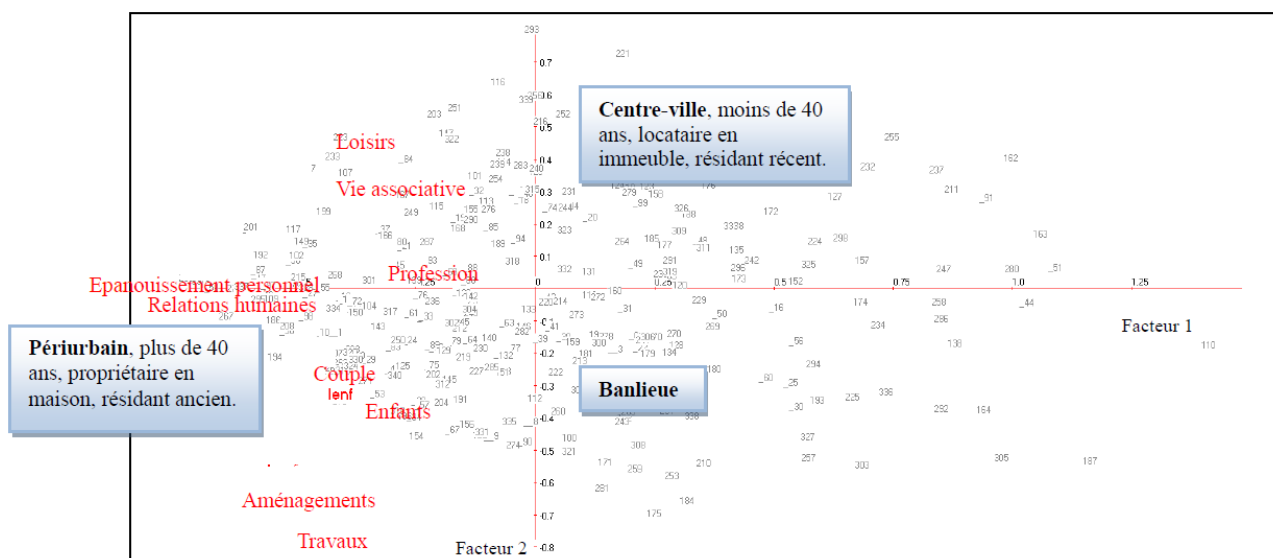


Figure 3. Analyse factorielle en composantes principales des facteurs d'investissement dans le logement. Axes 1 et 2. Source des données : enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01.

Une question complémentaire permet d'identifier les facteurs d'investissement concrets ou symboliques relatifs au logement. Les items unanimement plébiscités par les enquêtés sont *l'épanouissement personnel* et les *relations humaines* quasiment confondus sur le graphe factoriel présenté en Figure 3. Le lien entre ces deux facteurs est clair et on retrouve ici sous une autre forme (celle des relations humaines), l'importance du voisinage souligné précédemment. *Loisir* et *vie associative* sont les investissements caractéristiques du centre-ville alors que *aménagement* et *travaux* sont typiques du périurbain. Cette position bien distincte des points qui oppose périurbain et centre-ville se retrouve sur l'axe 2. On y observe un rapprochement entre périurbain et banlieue qui se rassemblent des individus en moyenne plus âgés qu'en centre-ville et plus souvent des familles qui déclarent de fait associer leur logement aux items *enfants* et *couple*. Le plan factoriel 2-3 (Figure 4) met en évidence des oppositions entre variables socio-démographiques : les hommes sont associés à un investissement dans la *vie professionnelle*, *vie associative* et *loisirs* sur l'axe 2, mais aussi *enfants* et *couple* sur l'axe 3. Les femmes sont associées aux variables *aménagements* et *travaux*, ainsi que *enfants* et *couple* sur l'axe 2, mais aussi *loisirs* et *vie associative* sur l'axe 3. Ces tendances sont intimement liées aux âges de la vie et au statut familial : globalement, les personnes âgées et en couple sont plus attentives à l'aménagement et aux travaux, avec de fait une qualité de logement supérieure, tandis que les personnes seules mettent en avant les loisirs et la vie associative, et semblent rechercher une qualité de vie à l'extérieur du logement. A travers cette rapide présentation de ce qui crée l'attachement au lieu et du rôle qu'on attribue à son lieu d'habitat, on perçoit la complémentarité des espaces urbains et périurbains qui sont au final le théâtre d'expériences résidentielles différentes, plus ou moins en phase avec les individus selon les âges de la vie et les événements familiaux.

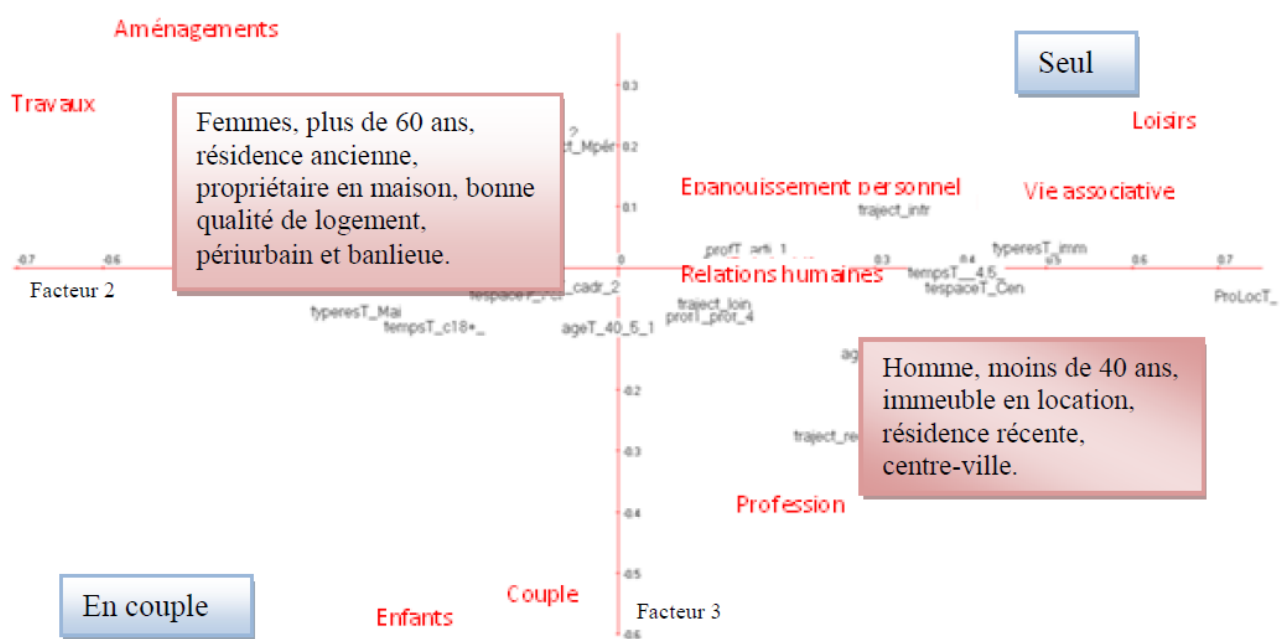


Figure 4. Analyse factorielle en composantes principales des facteurs d'investissement dans le logement. Axes 2 et 3. Source des données : enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01.

Un autre travail a consisté en une réflexion approfondie sur la manière d'analyser les données d'enquête relatives aux émotions exprimées par les enquêtés : comment catégoriser ces émotions en ne retenant que leur valence ou en analysant au contraire leur sens et leurs associations ? Comment et en quoi ces émotions sont-elles complémentaires de l'échelle de notation numérique utilisée dans les jeux d'arbitrage ? Dans l'immédiat, c'est la valence des émotions qui a retenu notre attention, car elle offre une échelle d'évaluation moins rationnelle que l'échelle numérique et, finalement, très

complémentaire. Elle permet de raisonner sur des émotions non seulement positives ou négatives (comme le permet l'échelle de notations), mais aussi sur des émotions ambivalentes. L'introduction de l'idée de « contexte émotionnel », positif ou négatif, introduit une autre nuance : le contexte émotionnel correspond à l'expression par l'individu d'émotions surtout positives ou négatives, une ou deux seulement étant contradictoires avec les autres. Sur des échelles catégorielles d'émotions qui utilisent très peu les valeurs négatives (comme d'ailleurs les échelles numériques), on constate que très souvent là où les émotions positives ne sont pas statistiquement significatives, les émotions classées en « contexte émotionnel positif » le sont.

	Catégorisation en 4 modalités % d'individus concernés		Catégorisation en 3 modalités % d'individus concernés		Quantification à partir d'une échelle numérique % d'individus concernés	
	Localisation résidentielle actuelle (t)	Localisation résidentielle antérieure (t-1)	Localisation résidentielle actuelle (t)	Localisation résidentielle antérieure (t-1)	Localisation résidentielle actuelle (t)	Localisation résidentielle antérieure (t-1)
Concernant le logement						
Émotion positive	48	45	80	62	77.5	59.5
Contexte émotionnel positif	32	17				
Émotion ambivalente	18	25	18	25	9	12
Émotion négative	2	12	2	12	13	29
Concernant le voisinage						
Émotion positive	57	48	73	54	80	73
Contexte émotionnel positif	16	6				
Émotion ambivalente	24	32	24	32	7	7
Émotion négative	4	14	4	14	13	20
Concernant la ville						
Émotion positive	56	63	67	72	78	81
Contexte émotionnel positif	11	9				
Émotion ambivalente	24	22	24	22	7	7
Émotion négative	10	6	10	6	14	12

Tableau 1. Trois vues synthétiques des émotions exprimées par les individus vis-à-vis de leur logement, de leur voisinage et de leur ville de résidence. Source des données : enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01.

Les deux premières colonnes du Tableau 1 correspondent à deux catégorisations (synthèses qualitatives) des émotions exprimées par les individus au sujet de leur logement, de leur voisinage et de leur ville de résidence. La troisième colonne correspond à une synthèse quantitative

(agrégation par moyenne arithmétique) des émotions exprimées au moyen d'une échelle de notation numérique comportant des valeurs de 1 à 4 en négatif et en positif. Ce tableau permet de comparer un ensemble d'émotions exprimées par les individus puis synthétisées *a posteriori* selon le niveau géographique envisagé (logement, voisinage, ville), selon que l'on considère le lieu de résidence actuel (t) ou précédent (t-1), ou encore selon la vue synthétique adoptée (catégorisation en trois ou quatre modalités ou synthèse quantitative). Dans l'ensemble, l'émotion négative concerne peu d'individus, et diminue nettement entre t-1 et t excepté quand les individus considèrent leur ville de résidence. Concernant les émotions associées au logement catégorisées en quatre modalités, on atteint 80% de sentiments positifs en t ce qui correspond classiquement aux seuils de satisfaction résidentielle observés en France. Il est intéressant de noter que la part de sentiments complètement positifs évolue peu entre t et t-1 (45% contre 48%). En t, les sentiments négatifs sont quasi inexistantes, en revanche ceux ambivalents représentent 18%. En t-1, les sentiments négatifs s'élèvent à 12% et ceux ambivalents représentent 25%. On observe donc une amélioration de la satisfaction entre t et t-1, mais c'est surtout le « contexte positif » qui gagne des parts au détriment de « ambivalent » et « négatif ». En comparaison, la synthèse quantitative des émotions exprimées donne des résultats plus tranchés, moins ambivalents et plus négatifs. On retrouve à chaque niveau géographique les mêmes différences entre les synthèses qualitatives par catégorisation et les synthèses quantitatives : les premières fournissent une appréciation globale qui accorde davantage de place à l'ambivalence, très élevée à t-1 (entre 1/4 et 1/3 des réponses) mais restant forte à t ($\approx 20\%$) ; les secondes, sont plus radicales, soit positives, soit négatives. Travailler sur la valence des émotions apporte donc une coloration émotionnelle aux statistiques fondées sur les valeurs numériques.

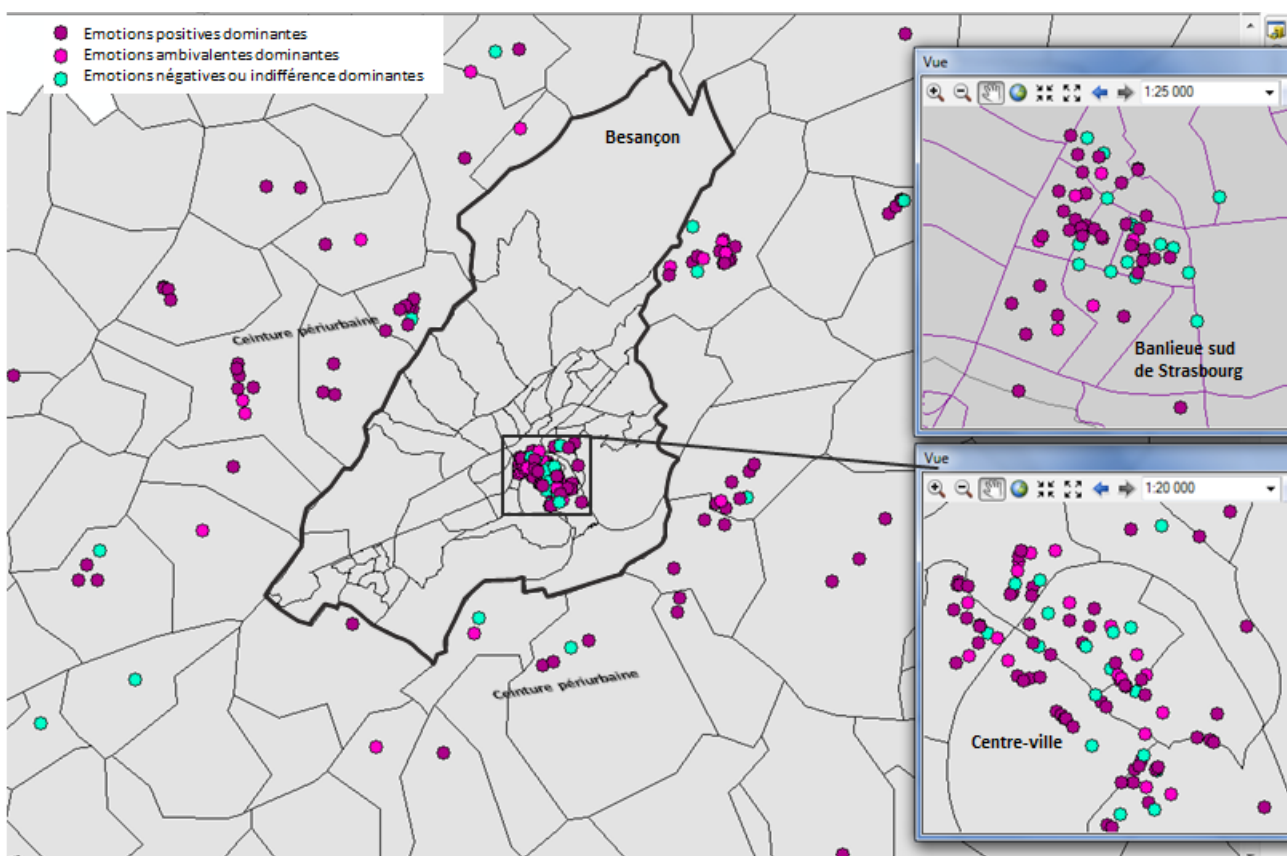


Figure 5. Typologie en trois classes des lieux de résidence des personnes enquêtées, en fonction des émotions exprimées au sujet de leur logement, de leur voisinage et de leur ville de résidence. Source des données : enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01.

La cartographie d'une typologie lieux de résidence en fonction des émotions exprimées à leur propos (Figure 5) montre une répartition très homogène des trois classes d'émotions dans les différents espaces géographiques considérés : centre-ville bisontin, quartier de la Meinau à Strasbourg et ceinture périurbaine de Besançon. La localisation résidentielle ne semble donc pas influencer les émotions associées au logement, au voisinage ou à la ville de résidence. Toutefois, l'ajout de variables supplémentaires dans l'analyse permet de mieux caractériser les individus : les plus positifs sont les propriétaires, résidant en maison, avec des durées de résidence longues, plutôt âgés, employés ou professions intermédiaires ; ils sont plutôt en banlieue et annoncent des émotions associées à l'enfance également positives. A l'opposé, les ambivalents sont en centre-ville, locataires en immeuble, plutôt jeunes et résidant récents, cadres ou autres professions et déclarant des émotions associées à l'enfance également ambivalentes. Ainsi, la représentation cartographique n'est pas tout à fait suffisante pour fournir des éléments de différenciation spatiale qu'une analyse par critère permet d'enrichir.

D'autres analyses textuelles des données acquises dans le cadre du projet ECDESUP ont été menées. Ces analyses portent sur des entretiens effectués à Besançon, dans le secteur de Planoise (zone urbaine sensible), sur des personnes vivant en logement social. Ces entretiens avaient été menés afin de compléter l'échantillon de l'enquête par questionnaire et jeux d'arbitrage à laquelle très peu de personnes réellement en difficulté face au logement avaient accepté de répondre. Au terme de chaque entretien, la personne interviewée était soumise au même jeu d'évaluation quantitative des critères de satisfaction face au logement/voisinage/ville que celui proposé dans l'enquête ECDESUP. Disposer à la fois du discours des individus et de leurs échelles de notation a permis de mettre en évidence des différences de jugement entre les individus et de mieux mesurer la variabilité de la notation numérique. Notamment, parmi les individus enquêtés, les individus A et B ont, à l'inverse des individus C et D, une notation numérique très équilibrée, qui utilise tout le spectre compris entre -4 et +4 et qui traduit de manière assez fidèle ce qui est dit dans leur entretien. Les individus C et D ont eux des appréciations numériques assez surprenantes, mais fortement calquées sur leurs discours et attitude : l'individu D, très excessif et instable, a été confronté à de vraies difficultés d'agression et de harcèlement dans son ancien logement d'une zone urbaine bisontine ; il utilise une notation extrême, soit +4 soit -4 pour tous les items. A l'inverse l'individu C, demandeur d'asile politique, a été d'abord accueilli à Pontarlier en situation de réfugié, puis a vécu dans un foyer à Besançon en attendant l'asile politique. Il est très en retrait, presque en position de survie dont il sort progressivement depuis qu'il a accédé à un logement social à Planoise. Les notes qu'il attribue aux items sont presque uniquement des -1 et +1 comme s'il ne s'autorisait pas encore à avoir un jugement de valeur plus important. L'individu E, lui, sort tout juste d'un logement social très agréable, lumineux et vaste, mais très mal situé dans Planoise car extrêmement bruyant, voire dangereux, à tel point que cela le rendait fou. Sa fille vient de lui trouver un autre logement toujours à Planoise, beaucoup plus petit mais dans un lieu beaucoup plus calme : le sommeil revient, une vie normale peut reprendre... Mais le bruit du logement actuel reste assez mal noté (-2) ce qui est plutôt contradictoire avec le discours. On sent encore la peur que le bruit revienne (l'installation dans le nouveau logement est très récente, trois mois). On peut s'interroger ici sur le temps de résilience d'un vécu traumatisant, sans doute assez variable d'un individu à l'autre.

Au final, les analyses confirment que le système de notation est éminemment variable d'un individu à l'autre, dépendant de son vécu, de son humeur... Différents paramètres difficilement contrôlables. Compléter une synthèse numérique des émotions par une catégorisation en trois ou quatre modalités peut aider à pallier cette difficulté. Une autre possibilité serait d'enquêter un vaste échantillon de plusieurs milliers d'individus.

1.2 Innovations en matière de représentation spatio-temporelle des mobilités individuelles

Coordination : Armelle Couillet

Les mobilités individuelles, qu'elles soient quotidiennes ou résidentielles, sont très difficiles à analyser dans le détail car elles présentent des configurations spatio-temporelles très complexes, qui masquent les éventuelles structures sous-jacentes (Figure 6). Un enjeu de la recherche dans le domaine est de proposer des représentations cartographiques synthétiques qui demeurent cependant suffisamment détaillées, tant spatialement que temporellement, pour être informatives. Trois réalisations ont été faites dans le cadre du chantier CEUP : la cartographie temporelle des émotions exprimées par un échantillon d'individus concernant leurs trajets de mobilité quotidienne, la cartographie de flux de mobilités résidentielles simulés sur l'agglomération de Besançon, et l'analyse des programmes d'activité quotidiens des individus.

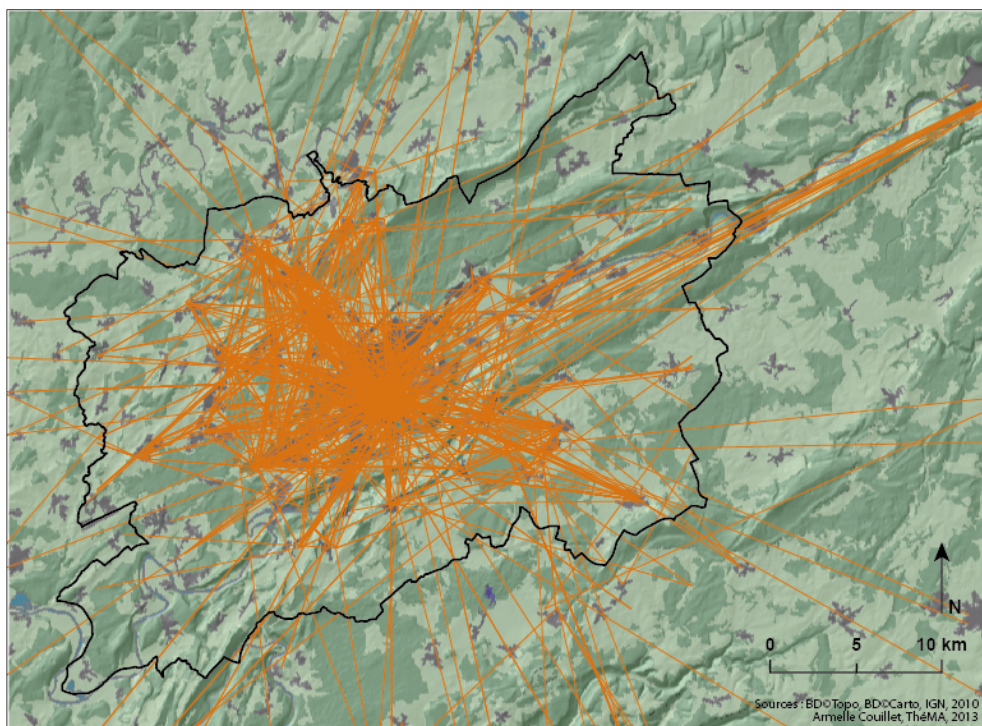


Figure 6. Cartographie de tous les trajets de mobilité quotidienne effectués un jour donné par 80 individus – Agglomération de Besançon. Sources des données : enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01.

1.2.1 Explorations cartographiques spatio-temporelles des émotions exprimées le long de trajets de mobilité quotidienne

Pour l'agglomération de Besançon, l'enquête menée en 2010 dans le cadre du projet ECDESUP a concerné, outre les mobilités résidentielles, les déplacements quotidiens de 250 personnes sur une période de sept jours. Chaque individu ayant accepté de participer à l'enquête était équipé d'un carnet de bord à remplir : tout déplacement devait être noté et renseigné selon une origine et une destination, suivant le jour de la semaine, l'heure de départ, l'heure d'arrivée, le motif du déplacement, le mode de déplacement. Toute destination devait être localisée avec plus ou moins de précision selon le choix de la personne (à l'adresse, à la rue, au bien dans une zone dont le code correspondait à l'une des mailles d'un quadrillage superposé à la carte du secteur d'étude). L'heure de départ d'un endroit et l'heure d'arrivée dans le suivant étaient renseignées à la minute. Une

partie de l'enquête consistait à recueillir les émotions des individus associées à chacun de leurs déplacements. Les émotions exprimées ont été ventilées a posteriori en deux catégories : émotions positives et émotions négatives.

Afin de rendre exploitable ces informations, un travail de vérification et de structuration des données de l'enquête a été nécessaire. En premier lieu, un identifiant unique, composé du numéro de l'individu, du jour de la semaine et du numéro d'ordre que le trajet a pris dans la journée, a été octroyé à chaque déplacement. Cet identifiant a permis par la suite de classer les déplacements par individu et selon un ordre chronologique. Cette étape s'est avérée fastidieuse en raison du grand nombre d'incohérences existant dans les données de l'enquête. Pour exemple, des retours de soirées après minuit étaient souvent datés du même jour que le début de l'événement. Le long travail de recensement et de correction des imprécisions justifie le fait qu'à ce jour, cette présentation ne concerne que 80 personnes sur les 250 individus enquêtés à Besançon. L'adresse de résidence des personnes enquêtées ainsi que tous les lieux fréquentés ont fait l'objet d'un géoréférencement pour obtenir un fichier de forme (shapefile), point de départ de toute analyse visuelle spatialisée.

Sur cette base, s'inspirant de la méthode d'agrégation développée par Andrienko et al. (2008) et des travaux réalisés par Orhan (1998), une grille régulière en forme de nid d'abeille (hexagonale) a été plaquée sur l'ensemble des trajets spatialisés. Ceci a permis de réaliser deux cartes de localisation des émotions. L'une correspond à la spatialisation des émotions plutôt positives (Figure 7), la seconde correspond à la spatialisation des émotions plutôt négatives (Figure 8).

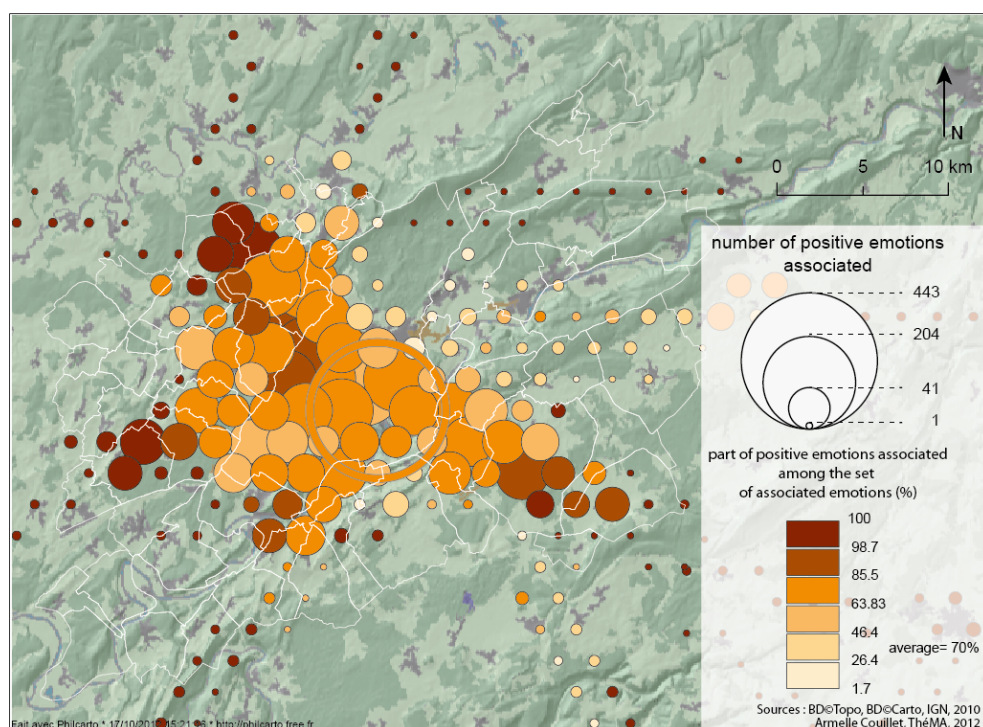


Figure 7. Localisation des émotions positives associées aux déplacements quotidiens durant une semaine.
Sources : données de l'enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01

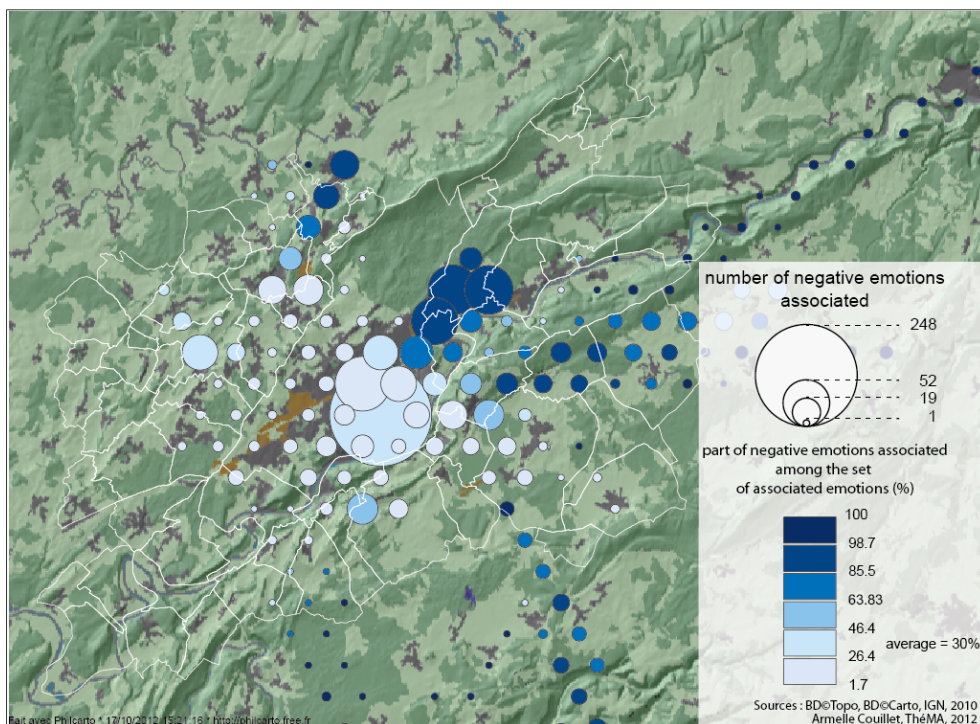


Figure 8. Localisation des émotions négatives associées aux déplacements quotidiens durant une semaine.
Sources : données de l'enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01

La comparaison des deux cartes montre d'abord que le nombre d'émotions positives exprimées est supérieur au nombre d'émotions négatives. Plus important, on observe que la répartition spatiale des deux groupes d'émotions est très différente : les espaces situés à l'ouest d'une ligne orientée NO/SE se révèlent davantage sujets à des émotions positives, contrairement à ceux positionnés à l'est de cette ligne. On constate également que les plus forts taux d'émotions positives ou négatives se localisent plutôt sur la périphérie de la ville ; le centre ville et les zones proches du centre ville sont quant à elles caractérisées par des valeurs proches de la moyenne. Cette cartographie met clairement en évidence l'organisation spatiale des émotions associées aux déplacements quotidiens, caractérisée par une dichotomie Ouest/Est d'une part, et l'existence d'une structure centre-périphérie (concentration des émotions positives et négatives qui augmente à mesure de l'éloignement au centre ville) d'autre part.

Ensuite, pour visualiser la répartition spatiale des émotions ressentie tout au long d'une journée, nous avons analysé les émotions associées à chaque trajet en fonction de l'intervalle de temps pendant lequel le trajet débute. L'agrégation temporelle a été réalisée selon un pas de temps deux heures (Figure 9), ce qui permet d'isoler les moments forts de la journée, à savoir le départ du domicile, les déplacements lors de la pause déjeuner et enfin le retour au domicile en fin de journée. Les cartes obtenues montrent que le plus grand nombre de déplacements s'effectuent le matin avant 9 heures, entre 11h et 13h, enfin, entre 17 et 19h. Toutefois, le créneau 13h-15h est également chargé. Une majorité d'émotions positives sont associées aux déplacement à partir de 9h le matin et ce, jusqu'à la fin de la journée. Ceci n'est pas le cas lors du premier pas de temps (7h-9h). Pour ce qui est de la répartition spatio-temporelle des émotions, on observe que la distribution spatiale des émotions plutôt positives est similaire à celle observée sur la Figure 7. En revanche, la distribution spatiale des émotions négatives est différente pour chaque créneau horaire.

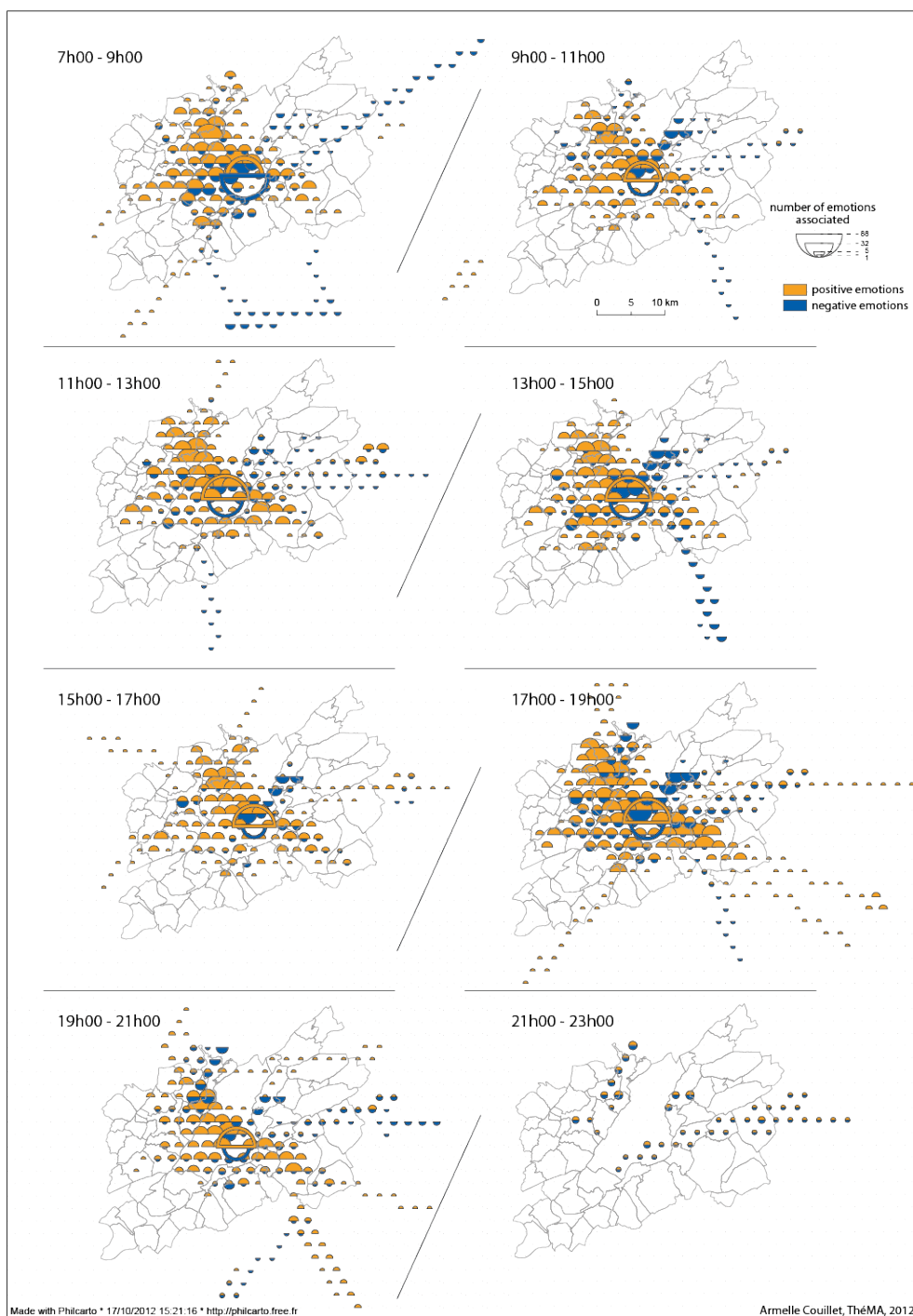


Figure 9. Représentation des émotions associées aux trajets de mobilité quotidienne pour un jour donné. Intervalles temporels : 2 heures. Sources : données de l'enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01

1.2.2 Visualisation spatio-temporelle des mobilités résidentielles

Deux réalisations notables ont été faites en la matière. Dans un premier temps, nous avons représenté des flux de mobilité résidentielle entre de nombreuses entités spatiales grâce à l'application JflowMap. Ceci nous a permis de différencier clairement les configurations spatiales des flux de mobilité résidentielle des ménages de types différents. Sur la Figure 10, on voit par exemple que les jeunes ménages de moins de 30 ans soit, quittent les communes périurbaines pour

venir s'installer à Besançon soit, déménagent au sein de la commune de Besançon, tandis que les ménages de 30 à 45 ans ont pour destination autant la commune de Besançon que les communes périurbaines, notamment celles situées à l'ouest de l'agglomération.

Dans un deuxième temps, pour visualiser de données relatives à l'attractivité des logements vacants pour différents types de ménages (données de simulation issues de MobiSim ; cf. section 2.4.1), nous avons appliqué un traitement matriciel visuel en utilisant le logiciel TableView conçu par J.-H. Chauchat (laboratoire d'économie statistique appliquées, université Lumière, Lyon 2) à partir de l'application AMADO. Un tel traitement graphique des données, selon le principe des « matrices de Bertin », permet de faire émerger une information d'un ensemble de données multi-thématiques. Sur la figure 11, des données issues d'un scénario de prolongement de tendances à l'horizon 2030 sur l'ensemble de la Communauté d'agglomération du Grand Besançon sont mises en relation. La matrice visuelle montre les unités spatiales (IRIS à Besançon et communes hors Besançon) de la zone étudiée (en colonnes) caractérisées par trois variables (en lignes) : le nombre de logements vacants, l'attractivité résidentielle pour les couples avec enfant(s) et l'attractivité résidentielle pour les familles monoparentales. Visuellement, il est possible de regrouper les unités spatiales qui se ressemblent selon les valeurs prises par les variables. La cartographie de cette typologie permet de voir que la commune de Besançon et les communes périurbaines contiguës situées au nord-ouest de l'agglomération se caractérisent par une attractivité résidentielle tant pour les familles monoparentales que les couples avec enfant(s). Au contraire, les communes périurbaines de l'est de l'agglomération ont souvent une attractivité résidentielle faible à la fois pour les familles monoparentales et les couples avec enfant(s). Ailleurs en périurbain, l'attractivité résidentielle est forte pour les couples avec enfants et faible pour les familles monoparentales.

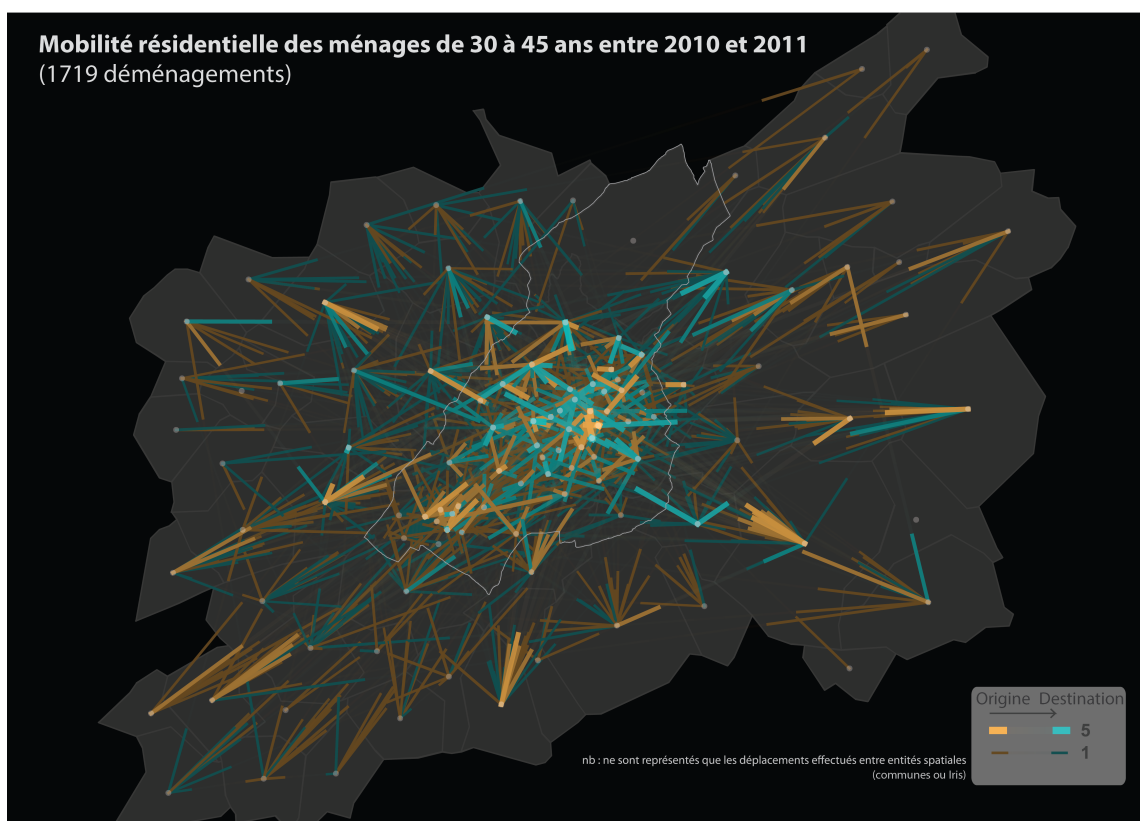
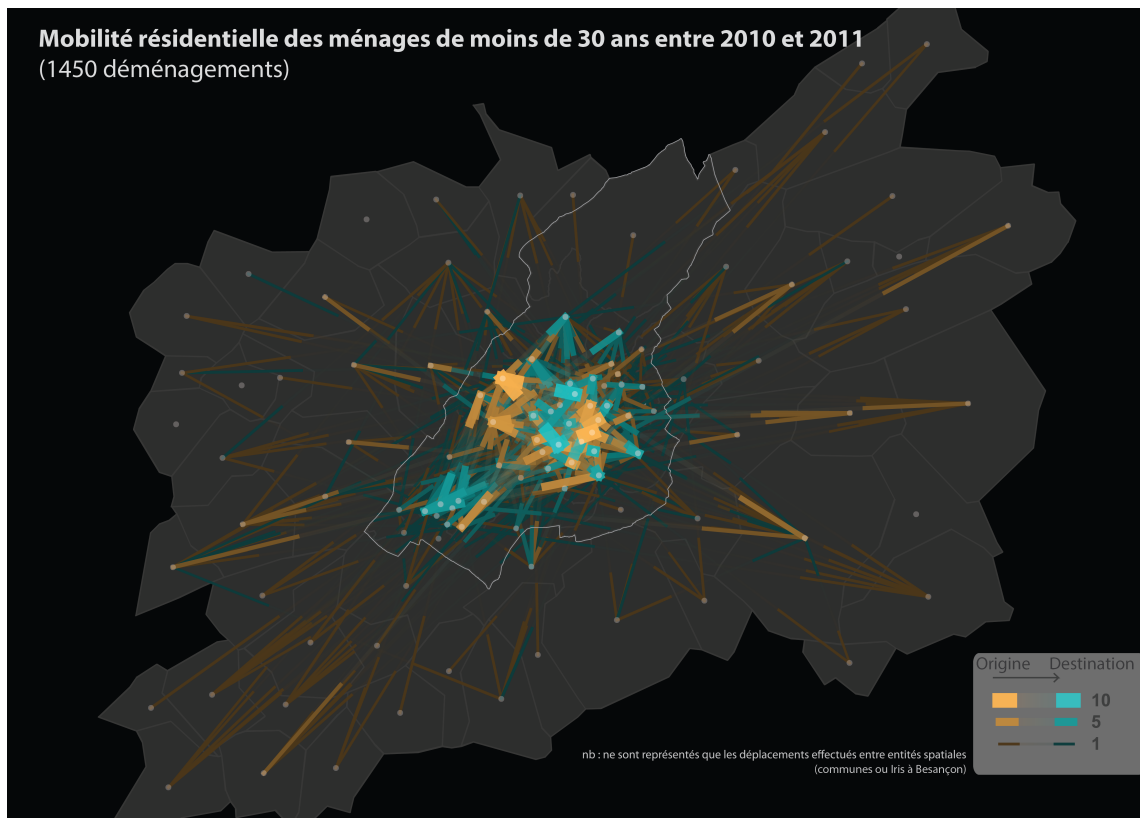


Figure 10. Cartographie de flux de migrations résidentielles simulées avec la plateforme MobiSim - Géovisualisation réalisée avec JFlowMap : Boyandin, I., E. Bertini, and D. Lalanne, 2010. Using Flow Maps to Explore Migrations Over Time, Proceedings of Geospatial Visual Analytics Workshop in conjunction with The 13th AGILE International Conference on Geographic Information Science (GeoVA) – Réalisation : Armelle Couillet 2013.

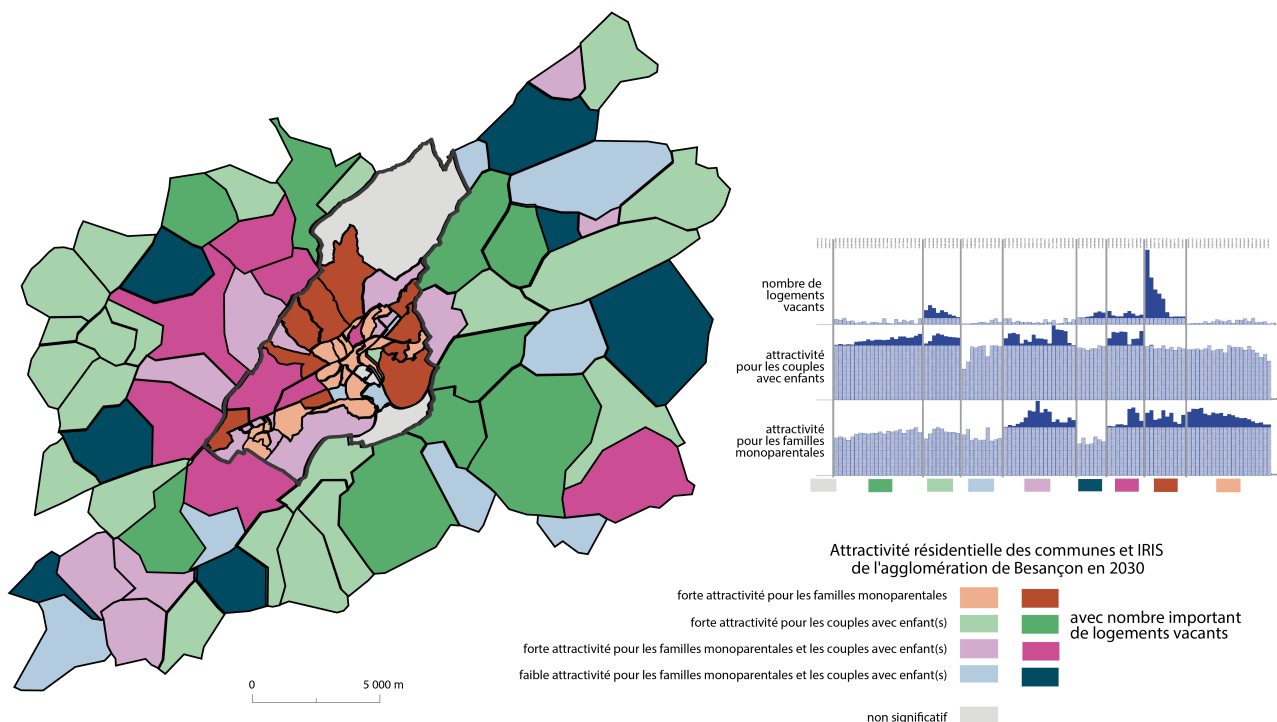


Figure 11. Attractivité résidentielle des communes et IRIS de l'agglomération de Besançon en 2030. Exploration de données de mobilités résidentielles avec le logiciel TableView. Source : données simulées avec la plateforme MobiSim pour un scénario de prolongement de tendances à l'horizon 2030 – Réalisation : Armelle Couillet, 2014.

1.2.3 Analyse exploratoire de données spatio-temporelles avec le logiciel *Geographer* : nouveaux développements et application

Le logiciel d'analyse exploratoire et de visualisation des données *Geographer* (<http://thema.univ-fcomte.fr/publications-productions/logiciels>) associe dans une même interface des méthodes cartographiques et statistiques classiques et des outils de visualisation dédiés à l'étude des données spatio-temporelles. Nous l'avons utilisé pour analyser des données de mobilité quotidienne contenues dans la base de données ECDESUP dans leurs dimensions spatiale, temporelle et spatio-temporelle à partir de la mise en place d'une agrégation temporelle (par jour et par tranche d'horaire) et par l'utilisation d'outils de sélection (Figure 12). La visualisation des données de mobilité en deux ou en trois dimensions (Figure 13) permet de mieux observer les répartitions spatiales des trajets et des activités des individus, ainsi que leurs comportements de mobilité sur une période de temps donnée.

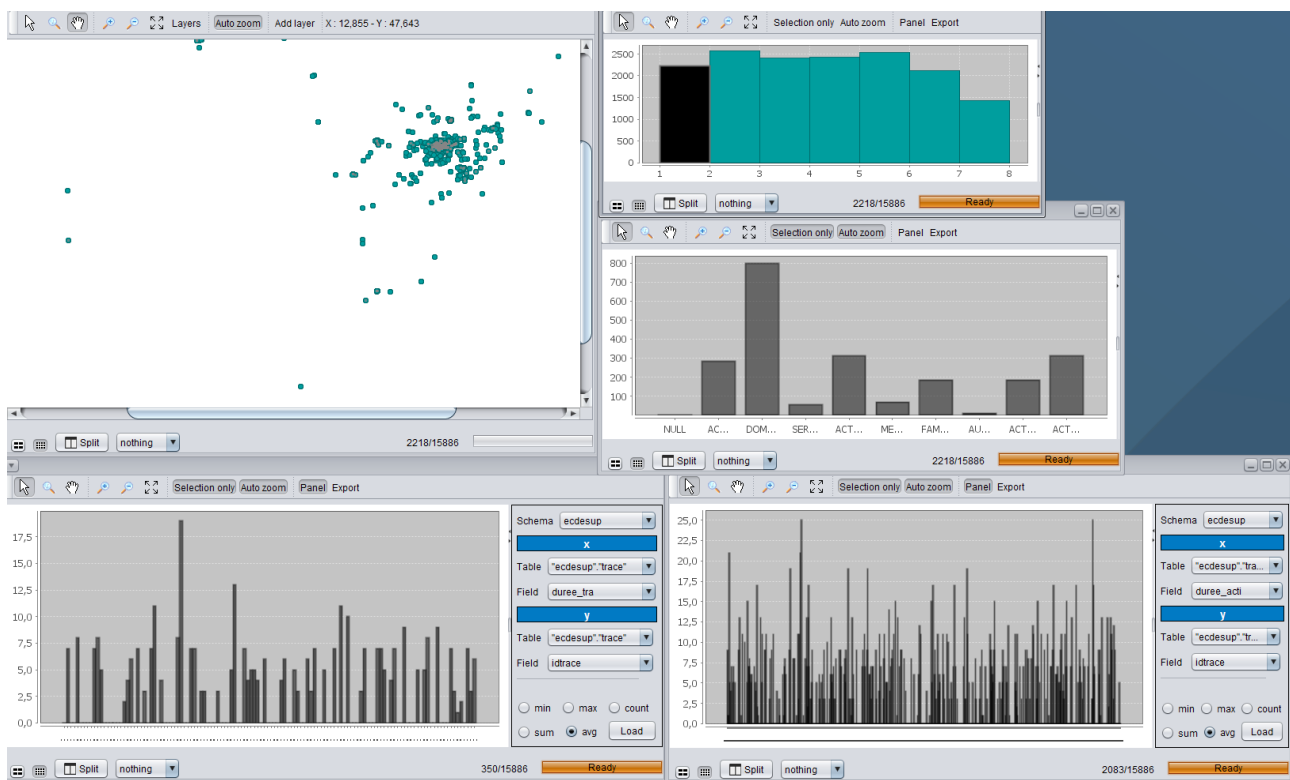


Figure 12. Exemple de visualisation de données de mobilité quotidienne avec Geographier. De haut en bas et de gauche à droite : distribution spatiale des postions de départ des déplacements, histogramme de l'agrégation temporelle (sélection du jour 1), histogramme des motifs de déplacement, histogramme des durées moyennes des déplacements, histogramme des durées moyennes des activités. Sources : données de l'enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01

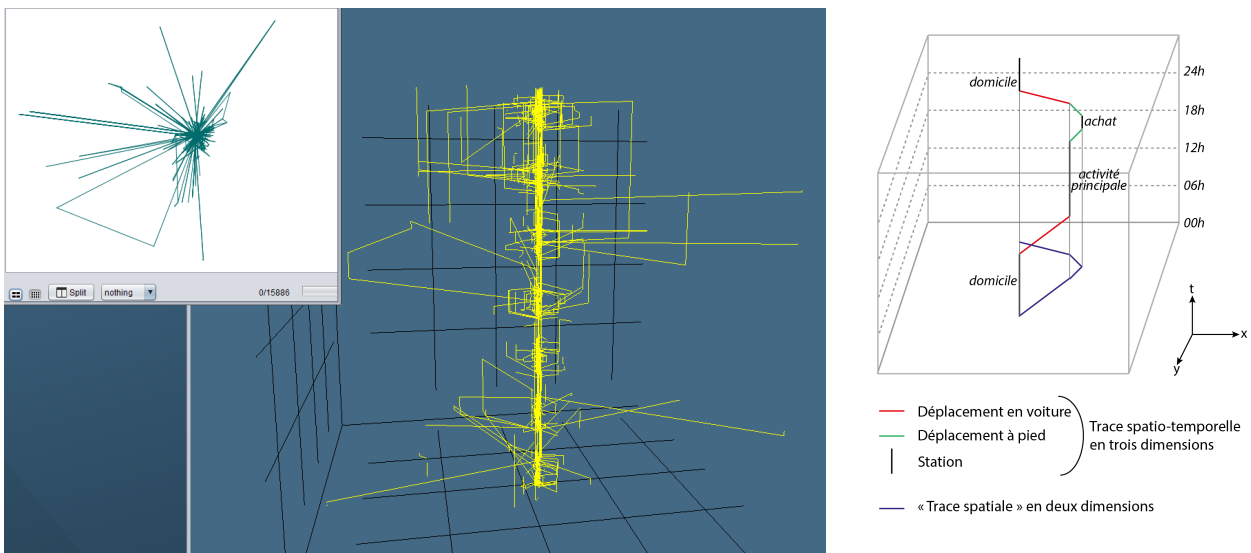


Figure 13. Cube spatio-temporel des déplacements d'un individu visualisé grâce au logiciel Geographier. Sources : données de l'enquête ECDESUP 2007-2011, projet ANR 07-BLAN-0029-01

Dans le cadre du chantier CEUP, le logiciel *Geographer* a également fait l'objet de nouveaux développements. A la visualisation des trajectoires individuelles a été ajoutée la visualisation et l'analyse exploratoire des activités successives réalisées lors des déplacements quotidiens des individus : les actogrammes (Figure 14). Les données de mobilité quotidienne de l'enquête ECDESUP sur le territoire de la Communauté d'agglomération du Grand Besançon ont servi de support au développement de l'application. Un code couleur correspondant à chaque type d'activités permet de visualiser le rythme de vie de chaque individu (une ligne correspond à un individu).

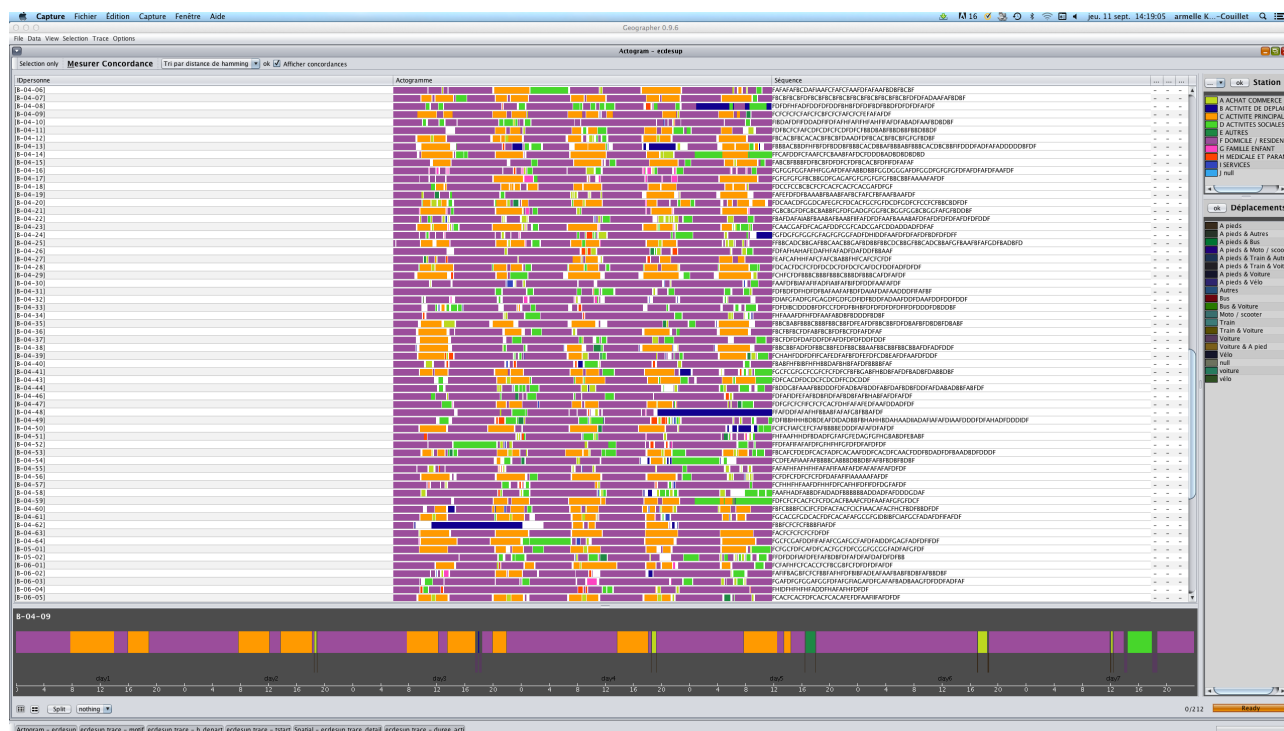


Figure 14. Visualisation des actogrammes au moyen du logiciel *Geographer*

Cette visualisation offre la possibilité d'identifier des groupes d'individus dont le rythme de vie est similaire. Elle permet également de mettre en évidence les moments pendant lesquels les personnes ont le plus tendance à se déplacer. Ces observations peuvent être utiles pour la planification de l'offre de transport en commun par les collectivités territoriales.

Axe 2

Simuler des scénarios prospectifs d'évolution urbaine

Une grande partie du travail a concerné le développement et l'application de la plateforme *MobiSim*, dédiée à la simulation des mobilités quotidiennes et résidentielles individuelles à l'échelle d'une agglomération urbaine. Ce volet applicatif a été complété par des recherches théoriques réalisées avec le modèle de simulation micro-économique *S-Ghost City*.

2.1 Explorations théoriques du processus d'urbanisation avec le modèle S-Ghost city

Coordination : Geoffrey Caruso

S-Ghost city est un modèle de simulation de l'urbanisation qui intègre, dans un modèle d'automates cellulaires, une modélisation micro-économique du choix résidentiel des ménages. Le modèle représente le trade-off qui existe dans les préférences des ménages, entre leur goût pour les aménités urbaines et leur goût pour les aménités vertes et naturelles. L'espace est représenté sous la forme de cellules dont l'occupation du sol peut être résidentielle, naturelle ou agricole, ou encore routière.

Dans le cadre du chantier CEUP, un acteur public en charge de la construction de routes a été ajouté au modèle existant initialement. Le modèle *S-Ghost city* ainsi modifié a été utilisé pour simuler le passage d'une urbanisation continue (expansion en tache d'huile) à une urbanisation discontinue (*leapfrogging* : émergence de noyaux de développement résidentiel déconnectés de la tache urbaine existante). Les conditions d'apparition d'une telle urbanisation discontinue ont été étudiées via l'exploration analytique du modèle. Cette analyse a notamment montré que l'intensité du *leapfrogging* dépend de l'étendue de la zone autour du lieu de résidence dans laquelle les ménages ont accès aux aménités naturelles et agricoles (accès visuel et accès par le réseau de routes et chemins). L'urbanisation est d'autant plus discontinue que cette zone d'accès aux aménités naturelles et agricoles est de taille réduite. En conclusion, favoriser l'accès des ménages aux aménités vertes et naturelles à proximité de leur lieu de résidence, via la préservation d'espaces naturels et agricoles au sein du tissu bâti résidentiel et le développement d'un réseau de routes et chemins permettant l'accès à ces espaces, permet d'éviter l'apparition d'une urbanisation discontinue.

2.2 La plateforme de simulation MobiSim : nouveaux développements, tests et mise en œuvre

Coordination : Cécile Tannier

La plateforme MobiSim (<http://thema.univ-fcomte.fr/mobisim/>), conçue et développée au sein du laboratoire ThéMA, permet la simulation des mobilités quotidiennes et résidentielles dans une agglomération urbaine (Figure 15). La simulation est désagrégée au niveau des individus, des ménages et des logements.

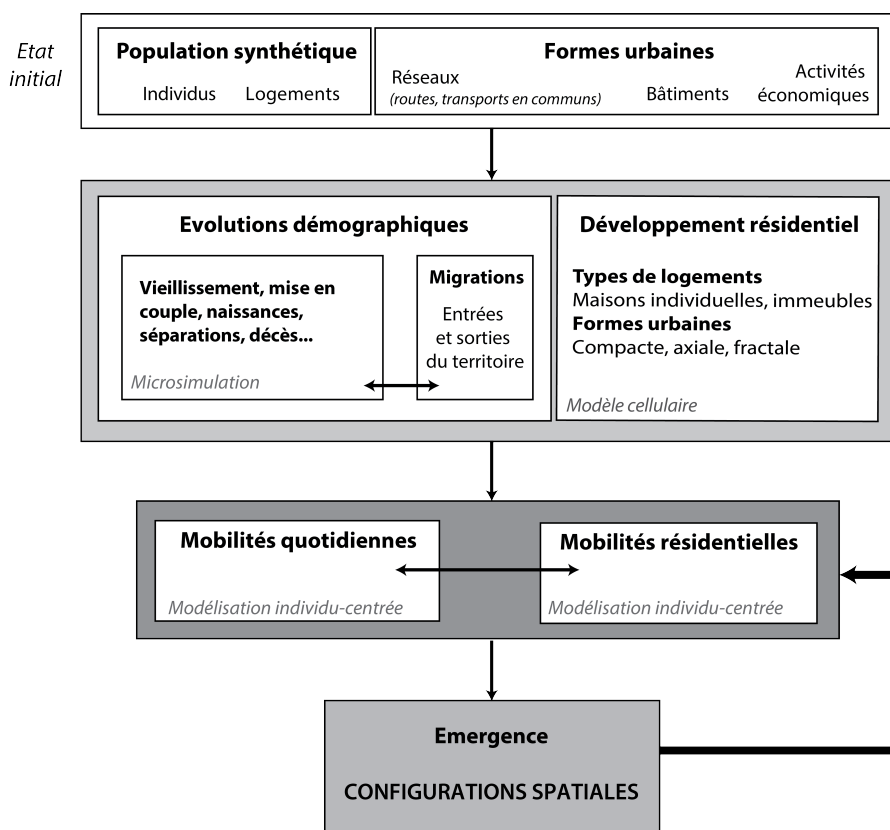


Figure 15. Architecture de la plateforme MobiSim

2.2.1 Conception d'un module de simulation du développement résidentiel

Dans le cadre du chantier CEUP, un nouveau module de simulation du développement résidentiel a été conçu. Ce module permet de simuler la création de nouveaux bâtiments résidentiels dans l'agglomération considérée, et d'affecter des logements dans les bâtiments construits par simulation. Quatre statuts d'occupation des logements sont représentés : propriétaire-occupant, locataire privé, locataire social et propriétaire-occupant en logement en coût maîtrisé. En entrée du module, une carte donne la localisation précise des zones potentiellement urbanisables. Dans ces zones, la localisation de nouveaux bâtiments est déterminée selon deux niveaux d'analyse.

A l'échelle de l'ensemble de l'agglomération urbaine (macro-géographique), on applique un modèle de croissance soit, aux tâches urbaines (agrégats bâtis) existants, soit aux communes ou quartiers de l'agglomération. Différents modèles de croissance peuvent être appliqués, de manière à simuler différents scénarios de développement résidentiel, par exemple :

- croissance de chaque tache urbaine ou de chaque commune proportionnelle à leur surface actuelle ;
- développement résidentiel privilégié dans les taches urbaines ou les communes les plus importantes ;
- développement résidentiel différencié en vue d'accentuer le caractère polycentrique hiérarchisé de l'agglomération.

A l'échelle locale, une règle statistique détermine la proportion d'habitat individuel et collectif dans chaque tache urbaine ou commune en fonction de leur taille. Le paramétrage de cette règle permet la simulation de différents scénarios. La création de logements dans les bâtiments nouvellement créés suit également une logique de distribution statistique, fixée au départ à partir de l'observé et pouvant être modifiée ensuite pour la création de scénarios.

Ce nouveau module de simulation du développement résidentiel permet, outre la simulation d'un développement résidentiel auto-organisé (constructions diffuses), la simulation d'un développement résidentiel contrôlé (constructions en opérations de maîtrise publique).

2.2.2 Module de simulation des mobilités résidentielles : paramétrage et tests de sensibilité

Ce module de la plateforme MobiSim permet de déterminer, pour chaque année de simulation, les ménages qui déménagent et leur nouvelle localisation résidentielle (i.e. un logement localisé dans un environnement résidentiel). Au cours du temps, les caractéristiques des ménages évoluent (âge des individus composant le ménage, composition du ménage, revenus du ménage). Ceci entraîne l'évolution de leurs préférences et de leurs appréciations. Conjointement, leur environnement résidentiel évolue. D'où l'évolution de leur satisfaction résidentielle et de l'attrait d'autres localisations résidentielles possibles.

Le paramétrage du modèle a consisté en :

- la quantification de la préférence des ménages concernant les caractéristiques du logement (coût, taille, type, statut d'occupation) et de l'environnement résidentiel (part de revenus élevés dans le voisinage, nombre de commerces et services, présence d'un parc ou square à proximité, qualité paysagère, distance à la station de transport en commun la plus proche...). Cette quantification est valable pour toutes les agglomérations françaises de 100 000 à 1 000 000 d'habitants.
- le calibrage des fonctions déterminant les évolutions démographiques (évolution des taux de naissance, de décès, de la composition des familles, de l'âge des femmes à la naissance de chacun de leurs enfants, des migrations entrant et sortant de l'agglomération...), pour l'agglomération de Besançon spécifiquement. Ce calibrage a nécessité plusieurs mois de travail approfondi sur le modèle, qu'il ne sera pas nécessaire de reproduire ultérieurement pour l'application du modèle sur d'autres agglomérations.

Ensuite, une analyse de stabilité des résultats de simulation a été réalisée pour 100 répliquations d'une même simulation d'un scénario de prolongement des tendances actuelles sur la période 2010-2030 pour l'agglomération de Besançon. Cette analyse a nécessité des développements informatiques spécifiques pour obtenir de nouvelles variables de sorties. Les calculs ont été effectués sur le mésocentre de calcul de Franche-Comté. Les résultats obtenus ont mis en évidence la très grande stabilité des résultats de simulation. Au final, l'obtention d'un résultat stable de simulation des mobilités résidentielles nécessite de calculer la moyenne de dix répliquations seulement de la simulation concernée.

Une analyse approfondie du calcul de l'attractivité des logements vacants pour les ménages a également été réalisée. Celle-ci a montré que la médiane d'attractivité d'un tirage aléatoire de 30 logements vacants attractifs parmi l'ensemble des logements vacants attractifs de chaque ménage (de nombre en général supérieur à 1500) permet d'obtenir une représentation correcte de l'attractivité de l'ensemble des logements vacants attractifs pour le ménage. La comparaison de cette attractivité moyenne des logements vacants du ménage avec la médiane de l'attractivité de tous les logements (vacants et non vacants) pour tous les ménages de l'agglomération en 2011 permet d'estimer correctement l'intérêt global du ménage à déménager dans l'agglomération.

En dernier lieu, l'analyse de sensibilité des résultats de simulation des mobilités résidentielles a été réalisée. Cette analyse a consisté à faire varier dans une certaine amplitude les valeurs des paramètres du modèle, puis à étudier l'impact de ces variations sur les résultats de simulation à un niveau agrégé (part des migrations entre zones urbaines et périurbaines ; distribution des valeurs de satisfaction des ménages ; évolution de l'intérêt global à migrer dans l'agglomération...). L'objectif était d'identifier les variables pour lesquelles une petite modification des valeurs modifie nettement les résultats de simulation. L'analyse de sensibilité a nécessité environ 700 simulations sur le mésocentre de calcul de Franche-Comté pour un temps de calcul de 15 jours. En résultat, selon les valeurs de paramètres testées, la satisfaction moyenne des ménages varie entre 0,506 et 0,527. Comme le montre la figure 16, seules certaines modifications de valeurs des paramètres ont un effet sur les valeurs de la satisfaction résidentielle moyenne. Notamment, simuler la présence de davantage de logements à coût faible et augmenter le nombre de logements connus des ménages (i.e. le nombre de logements visités) influencent tous deux positivement la satisfaction moyenne des ménages. Les ménages de MobiSim sont donc sensibles à une baisse des coûts du logement, ainsi qu'à un plus grand panel de logements connus. Concernant le taux de migration (Figure 17), les tests de sensibilité ont montré qu'il est possible de diminuer le taux de migration moyen des ménages en augmentant la taille de l'échantillon sur lequel les ménages basent leur connaissance du marché du logement et augmentant leur niveau d'exigence quand ils évaluent leurs opportunités de déménagement. Par contre, les paramètres qui influencent le plus la satisfaction résidentielle des ménages influencent peu le taux de migration en fin de simulation.

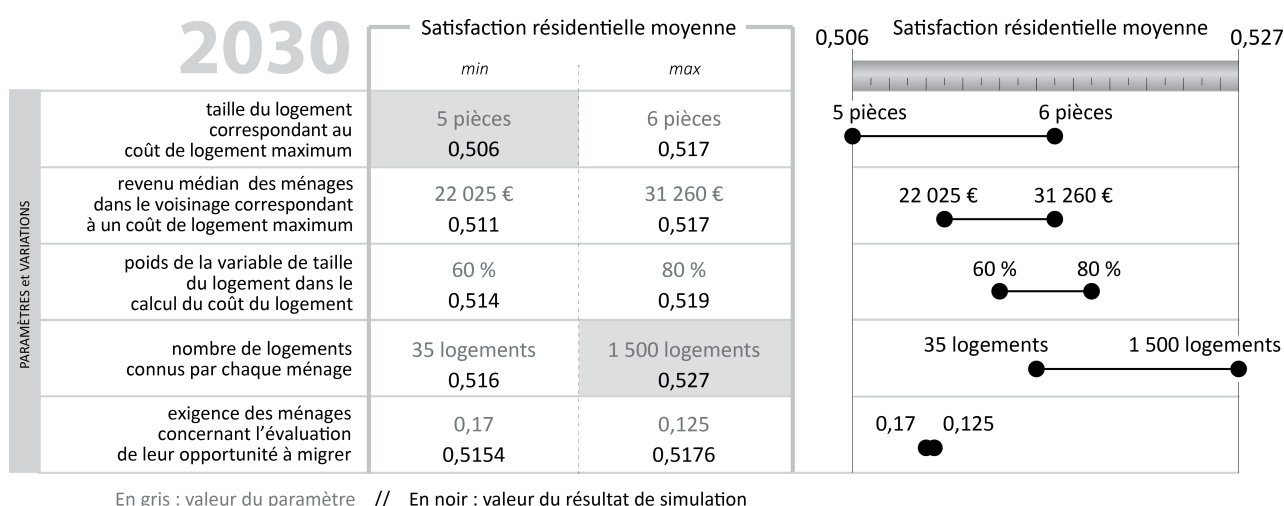


Figure 16. Variation de la satisfaction résidentielle moyenne des ménages résultant de la modification de quelques paramètres. Résultats obtenus pour un scénario de prolongement de tendances simulé avec MobiSim. D'après : HIRTZEL J. (2015). *Exploration prospective des mobilités résidentielles dans une agglomération urbaine au moyen d'un modèle de simulation multi-agents (MobiSim)*. Thèse de doctorat en géographie. Université de Franche-Comté.

		Taux de migration			
		2015		2030	
		min	max	min	max
PARAMÈTRES et VARIATIONS	taille du logement correspondant au coût de logement maximum	6 pièces 16,4	5 pièces 17,1	6 pièces 15,1	5 pièces 15,2
	revenu médian des ménages dans le voisinage correspondant à un coût de logement maximum	31 260 € 16,4	22 025 € 16,8	31 260 € 15,1	22 025 € 15,4
	poids de la variable de taille du logement dans le calcul du coût du logement	80 % 16,4	60 % 16,7	80 % 15	60 % 15,4
	nombre de logements connus par chaque ménage	1 500 logements 15,2	40 logements 16,5	1 500 logements 11,4	35 logements 15,2
	exigence des ménages concernant l'évaluation de leur opportunité à migrer	0,19 14,7	0,11 16,8	0,19 13,3	0,11 15,4

En gris : valeur du paramètre

//

En noir : valeur du résultat de simulation

En gris : valeur du paramètre // En noir : valeur du résultat de simulation

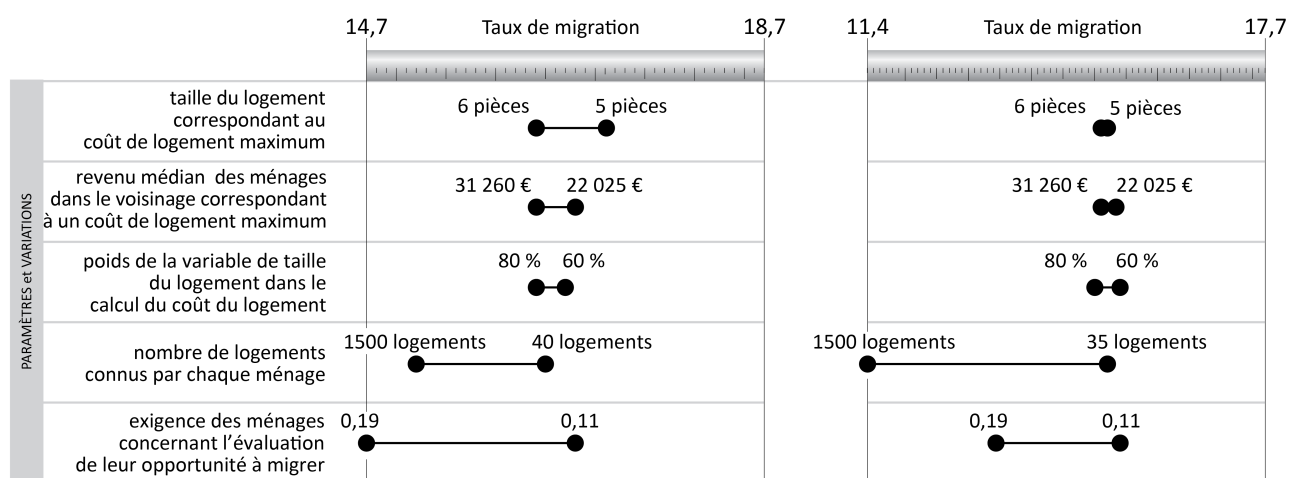


Figure 17. Variation du taux de migration des ménages résultant de la modification de quelques paramètres. Résultats obtenus pour un scénario de prolongement de tendances simulé avec MobiSim. D'après : HIRTZEL J. (2015). *Exploration prospective des mobilités résidentielles dans une agglomération urbaine au moyen d'un modèle de simulation multi-agents (MobiSim)*. Thèse de doctorat en géographie. Université de Franche-Comté.

2.2.3 Mise en œuvre d'une application de MobiSim sur l'agglomération de Dijon

Pour cette application de MobiSim sur l'agglomération de Dijon, la période de simulation considérée est 2006-2030, avec une première période de simulation 2006-2011 avant la mise en service du tramway, puis une deuxième période de simulation 2012-2030 intégrant la mise en service du tramway et les modifications afférentes du réseau de bus et du réseau routier.

Le premier semestre de 2014 a été consacré à la préparation des données en vue de cette application : les réseaux routiers en 2006 et 2012 avec les capacités des routes, les vitesses réglementaires, les sens de circulation et les pentes ; le réseau de transports en commun avec les stations et les tables horaires en 2006 et 2012 ; l'étude des documents d'aménagement et de planification en vue de la définition d'un scénario tendanciel de développement résidentiel à l'horizon 2030 ; la cartographie des zones non urbanisables (zones naturelles protégées, zones de fortes pentes...) ; l'identification des plannings d'activités individuels à partir de l'Enquête Ménages-Déplacements 2009 ; la géolocalisation des établissements économiques à l'adresse

postale à partir du fichier SIRENE de l'INSEE (2014). Ces dernières données avaient fait l'objet d'une demande de financement auprès de la Région Franche-Comté, qui n'a pas aboutie. Cependant, nous avons pu les obtenir via une convention avec le Grand Dijon dans le cadre de l'étude des relations entre formes urbaines et îlot de chaleur urbain. Notons que nous disposons d'une cartographie détaillée des établissements économiques en 2002, qui nous servira de point de départ à la simulation en 2006.

Le paramétrage du module de simulation des évolutions démographiques est terminé depuis le printemps 2015. Le paramétrage des autres modules (développement résidentiel, mobilités quotidiennes et mobilités résidentielles) est encore en cours. Une fois opérationnelle, l'application de MobiSim sur l'agglomération de Dijon permettra la comparaison des dynamiques urbaines de Besançon et de Dijon et aidera ainsi à distinguer les règles de fonctionnement urbain générales de celles qui sont spécifiques à chaque agglomération.

2.3 Intégration d'un développement résidentiel fractal dans les scénarios prospectifs simulés

Coordination : Cécile Tannier

Simuler un développement résidentiel fractal à un niveau local permet d'obtenir des formes réalistes de développement résidentiel (Thomas, Frankhauser, Badariotti, 2012). L'intérêt ensuite, pour la simulation de scénarios prospectifs, est de combiner les règles d'un développement résidentiel fractal au niveau local avec d'autres règles d'aménagement à l'échelle globale (SCoT : schéma de cohérence territoriale, PLH : programme local de l'habitat...). Dans cette optique, nous avons commencé par identifier les variables susceptibles d'influencer le plus la forme du développement résidentiel d'une agglomération. Elles sont :

- à l'échelle locale : la dimension fractale du tissu bâti, l'accessibilité aux aménités (commerces et services, espaces de récréation et de loisir) de fréquentation quotidienne et hebdomadaire, les types de bâtiments construits (maisons individuelles, petits immeubles collectifs) ;
- à l'échelle globale : la répartition de la croissance urbaine dans les différents agrégats bâtis ou les différentes communes en fonction de leur taille, l'accessibilité aux aménités (commerces et services, espaces de récréation et de loisir) de fréquentation mensuelle ou plus rare.

Sur cette base, nous avons simulé différents scénarios de développement résidentiel en mobilisant d'une part, l'application MUP-City et des traitements statistiques et géomatiques complémentaires et d'autre part, la plateforme de simulation MobiSim. Les nouveaux bâtiments construits par simulation se présentent sous la forme de cellules carrées de 20 mètres de côté, ce qui correspond approximativement à la taille d'une maison individuelle et de son jardin dans la zone d'étude.

2.3.1 Simulations au moyen de MUP-City et de traitements géomatiques et statistiques complémentaires

L'application MUP-City permet d'identifier les développements résidentiels potentiels dans les villes européennes de 100 000 à 1 000 000 d'habitants environ, partant d'un tissu urbain existant. La localisation des cellules intéressantes à urbaniser est déterminée par un principe fractal d'urbanisation, sur la base d'une décomposition multi-échelle du tissu bâti existant, et de neuf règles additionnelles d'aménagement :

- 1) Préservation du contact entre bâti et non bâti tout en minimisant la fragmentation des espaces non bâtis (règle morphologique)
- 2) Proximité au réseau routier existant
- 3) Bonne accessibilité aux commerces et services de fréquentation quotidienne
- 4) Bonne accessibilité aux commerces et services de fréquentation hebdomadaire
- 5) Bonne accessibilité aux commerces et services de fréquentation mensuelle ou plus rare
- 6) Bonne accessibilité au réseau de transport en commun
- 7) Bonne accessibilité aux espaces naturels et de loisir de fréquentation potentielle quotidienne
- 8) Bonne accessibilité aux espaces naturels et de loisir de fréquentation potentielle hebdomadaire
- 9) Bonne accessibilité aux espaces naturels et de loisir de fréquentation potentielle mensuelle ou plus rare

La conception et le développement de l'application MUP-City dans sa version initiale ont reçu le soutien financier du Commissariat général au développement durable (CGDD) du Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE), dans le cadre du programme PREDIT. Pour les besoins du chantier CEUP, une nouvelle version de MUP-City a été développée, qui consiste en l'ajout de nouvelles règles d'aménagement (règles 5 à 9) et en la modification des règles 3 et 4 existant dans la version initiale de l'application.

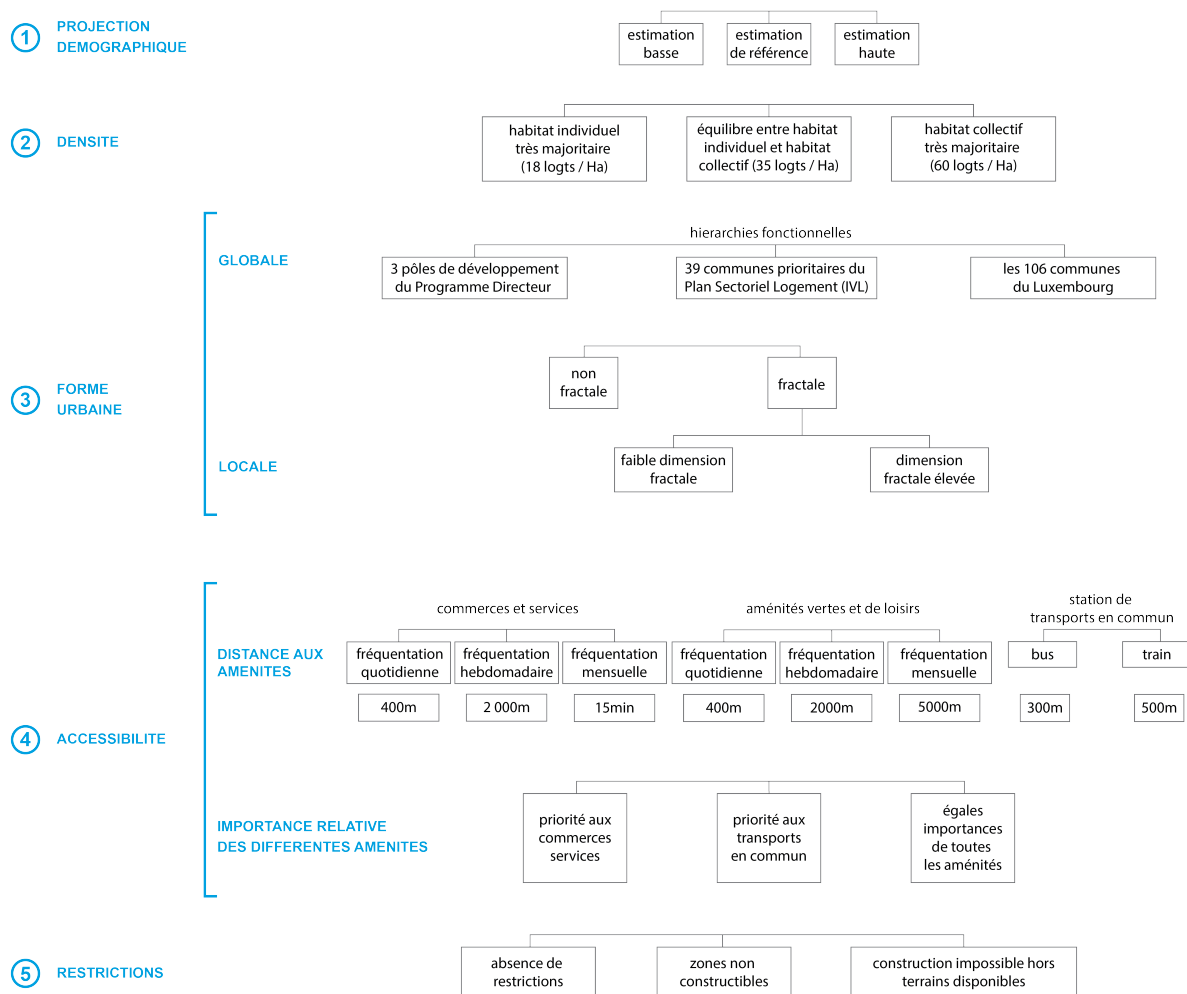


Figure 18. Démarche de construction de scénarios prospectifs pour le Grand-Duché du Luxembourg à l'horizon 2030. Tiré de : FRÉMOND M. (2015). *Une approche normative de l'aménagement au Luxembourg. Évaluation par la simulation*. Thèse de doctorat en géographie, Université de Franche-Comté.

Nous avons utilisé cette nouvelle version de MUP-City pour la simulation de scénarios prospectifs d'aménagement du Grand-Duché du Luxembourg à l'horizon temporel 2030, suivant la démarche décrite en Figure 18. Celle-ci intègre des projections démographiques, le choix d'une densité de logements à l'hectare, une modélisation spatialement explicite du développement résidentiel, la prise en compte de l'accessibilité aux différentes aménités (commerces et services, infrastructures vertes et de loisirs, réseau de transports en commun) et la prise en compte des restrictions de constructions. Les scénarios ainsi conçus ont vocation à être réalistes, c'est-à-dire qu'ils représentent des futurs plausibles, sinon possibles, de la croissance résidentielle.

L'application MUP-City intervient dans la démarche à partir de l'étape 3, pour la simulation de formes de développement résidentiel fractales à l'échelle locale. A cette étape, le choix de la dimension fractale des extensions résidentielles simulées se fait dans MUP-City. Ensuite pour l'étape 4, la sélection des règles d'accessibilité considérées, leur paramétrage et la détermination de leur importance respective pour le scénario considéré se fait également dans MUP-City. Enfin, les restrictions de construction choisies (étape 5) sont intégrées dans MUP-City sous la forme d'une carte utilisée selon une logique multi-échelle pour la simulation du développement résidentiel.

2.3.2 Simulations au moyen de MobiSim

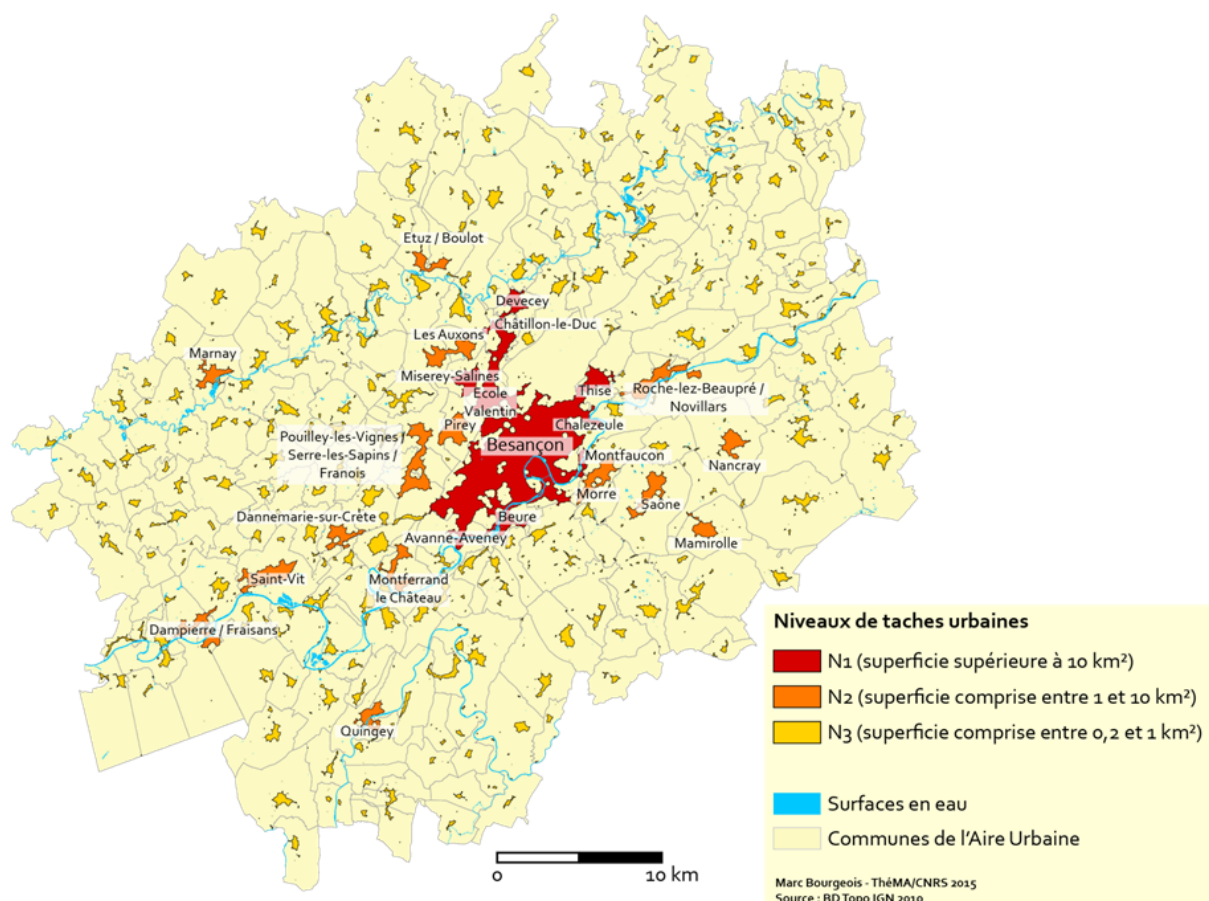


Figure 19. Aire urbaine de Besançon – Agrégats bâtis identifiés avec Morpholim, par classe de taille. Tiré de : BOURGEOIS M. (2015). *Impacts écologiques des formes d'urbanisation. Modélisations urbaines et paysagères*. Thèse de doctorat en géographie, Université de Franche-Comté.

La simulation du développement résidentiel avec MobiSim se déroule en trois temps. En premier lieu, à l'échelle de l'ensemble de la région urbaine (échelle macro-géographique), on définit le nombre total de logements qui seront créés par année de simulation. On définit également leur répartition en fonction de leur type (maison individuelle ou appartement dans un immeuble collectif) et de leur taille exprimée en nombre de pièces.

Ensuite, à une échelle méso-géographique, on fixe un principe de répartition spatiale des logements créés. On considère alors les différents agrégats bâtis composant la région urbaine. Ceux-ci sont identifiés au moyen de l'application Morpholim (Tannier et al., 2011), qui sert à la délimitation morphologique d'aggrégats bâtis selon une approche fractale. L'application Morpholim a été intégrée à cet effet dans MobiSim. Les agrégats bâtis ainsi identifiés sont ensuite classés en fonction de leur taille (Figure 19) et, pour chaque classe de taille, on définit la proportion de logements à construire et leur répartition par type (maison individuelle ou appartement dans un immeuble collectif).

A une échelle locale (micro-géographique), de nouveaux bâtiments sont construits par MobiSim de manière à accueillir tous les logements précédemment créés. Les bâtiments sont localisés dans les cellules les plus intéressantes à urbaniser définies au moyen de l'application MUP-City (Figure 20).

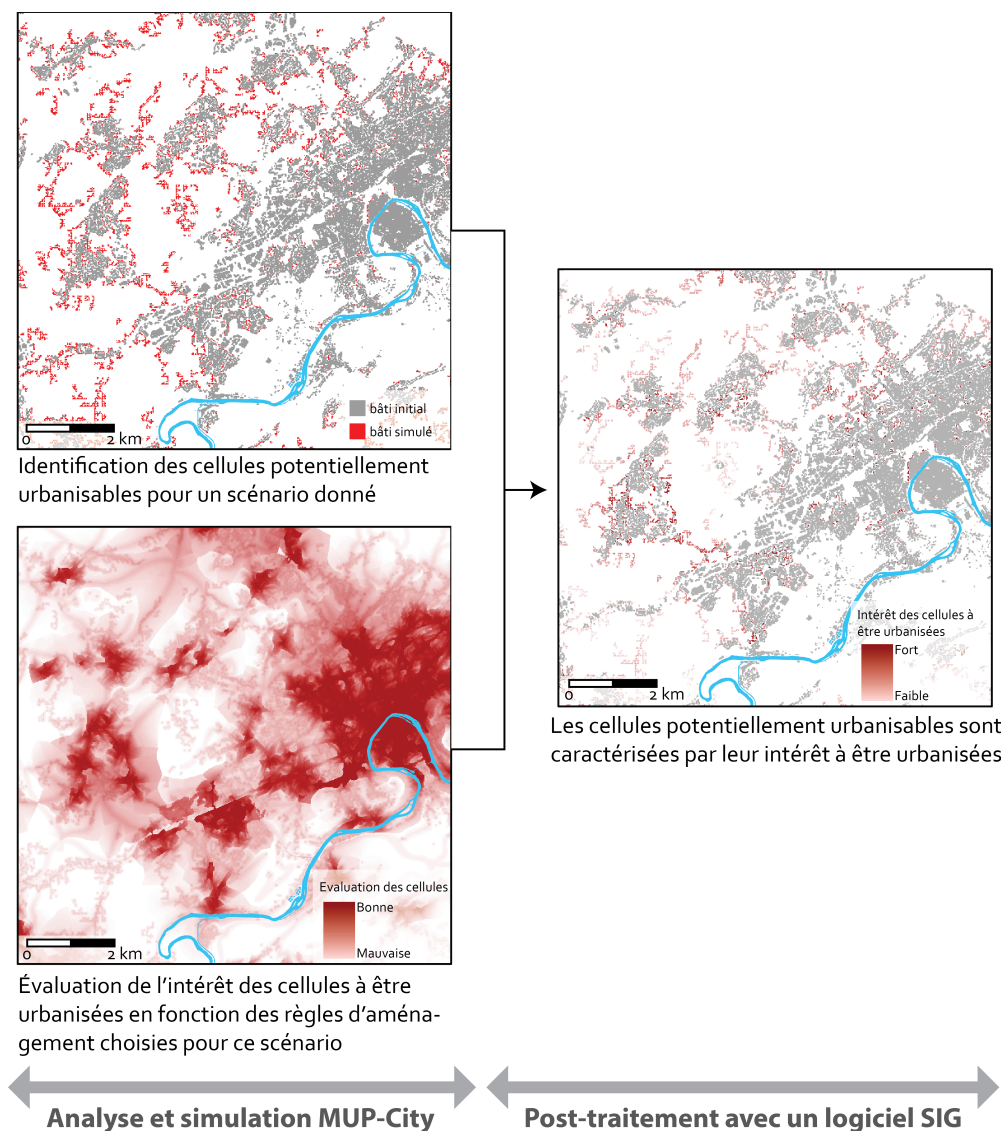


Figure 20. Préparation des données de simulation issues de MUP-City pour leur intégration dans MobiSim. D'après : BOURGEOIS M. (2015). *Impacts écologiques des formes d'urbanisation. Modélisations urbaines et paysagères*. Thèse de doctorat en géographie, Université de Franche-Comté.

La simulation d'un développement résidentiel fractal à une échelle locale avec la plateforme MobiSim passe donc par l'intégration, en entrée de simulation, de configurations fractales de développement résidentiel créées avec MUP-City. MobiSim crée d'abord des bâtiments au sein même des agrégats bâtis puis, quand il ne reste plus de cellules urbanisables en leur sein, à des distances croissantes de ceux-ci jusqu'à ce que tous les logements générés au départ soient abrités dans un bâtiment. On obtient ainsi, pour chaque scénario, une carte des bâtiments nouvellement créés (Figure 21). Chaque bâtiment est caractérisé par son année de construction, son type (maison individuelle ou immeuble collectif) et le nombre de logements (différenciés en fonction de leur taille) qu'il contient.

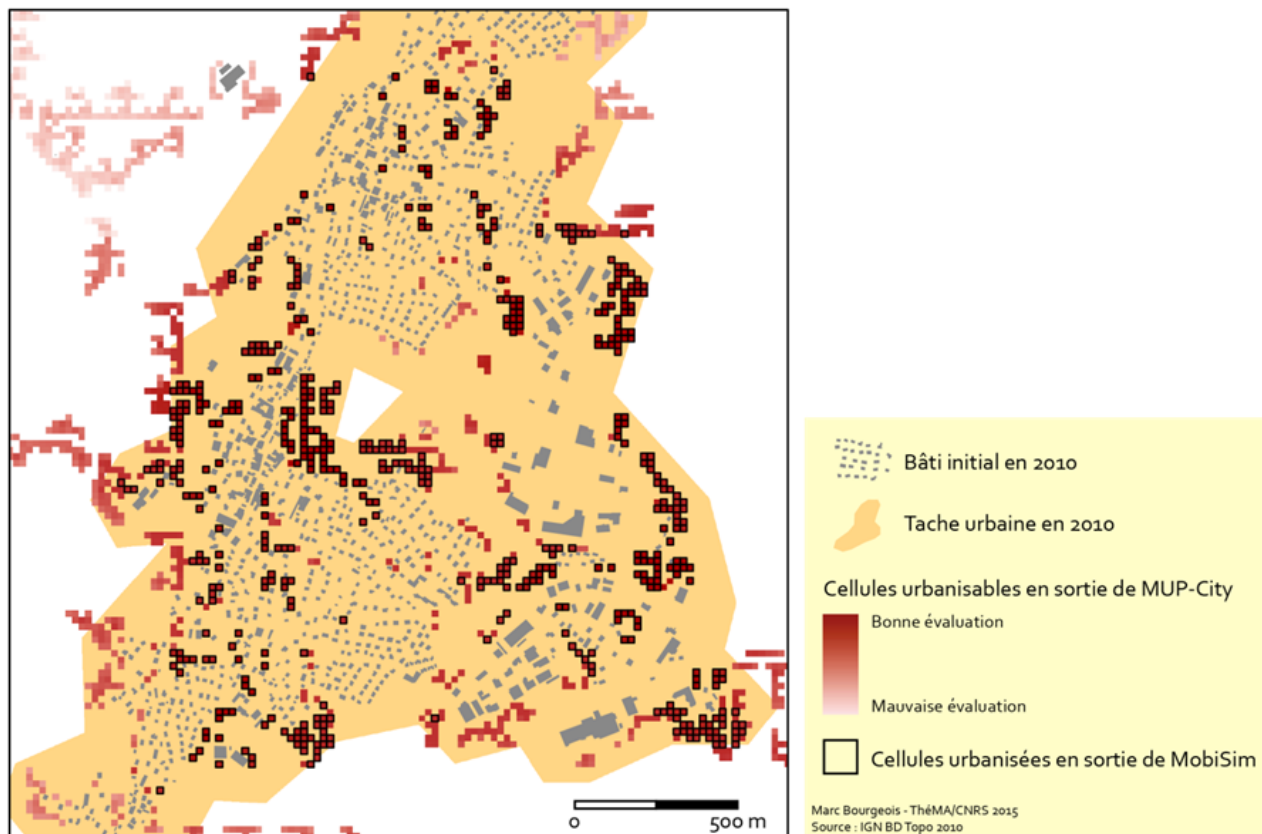


Figure 21. Comparaison des sorties de simulation de MUP-City et de MobiSim. Exemple pour les communes de Serres-Sapins et Franois (département du Doubs). Tiré de : BOURGEOIS M. (2015). *Impacts écologiques des formes d'urbanisation. Modélisations urbaines et paysagères*. Thèse de doctorat en géographie, Université de Franche-Comté.

2.4 Co-conception de scénarios prospectifs d'urbanisation avec les acteurs publics de l'aménagement

Coordination : Cécile Tannier

Deux expérimentations ont été menées dans le cadre du chantier CEUP, l'une avec le service Urbanisme de la Ville de Besançon, l'autre avec le service Prospective de la Communauté d'agglomération du Grand Besançon. Les scénarios prospectifs qui ont été conçus visaient à mettre à l'épreuve de la simulation différentes options d'aménagement définies conjointement par les chercheurs et les acteurs de l'aménagement (ingénieurs des services techniques, élus politiques) impliqués dans chacune des expérimentations. La plateforme de simulation utilisée était MobiSim, intégrant en entrée des résultats de simulation issus de MUP-City.

2.4.1 Expérimentation avec le service Urbanisme de la Ville de Besançon (2012-2014)

Cette première expérimentation a concerné l'ensemble des communes de la Communauté d'agglomération du Grand Besançon. Les dynamiques considérées dans l'expérimentation étaient les suivantes.

- Les ménages solvables avec enfants quittent la commune de Besançon pour s'installer en périurbain.
- La commune de Besançon perd des habitants mais le nombre d'habitants et de ménages augmente dans l'ensemble de l'agglomération.
- Les emplois sont majoritairement localisés dans la commune de Besançon, ce qui implique une augmentation du nombre et de la longueur des déplacements quotidiens domicile-travail en voiture particulière, ainsi qu'un accroissement de la congestion routière dans la commune de Besançon.
- La commune de Besançon concentre la plupart des ménages à faibles revenus de l'agglomération.

Au vu de ces constats, le SCoT (Schéma de cohérence territoriale) (2011) préconise que, parmi les logements construits chaque année, 60% doivent être localisés à Besançon contre 40% dans les communes périurbaines de l'agglomération. Ce même SCoT et le PLH (Programme local de l'habitat) (2010) préconisent que chaque commune doit construire des logements sociaux en proportion de sa croissance résidentielle. En parallèle, la construction d'une ligne de tramway à Besançon et de parking-relais en bordure de ville devraient favoriser l'utilisation des transports en commun dans l'agglomération.

L'expérimentation menée avec le service Urbanisme de la Ville de Besançon s'inscrivait dans ce contexte. Elle s'est appuyée sur des simulations faites avec MobiSim pour étudier les migrations résidentielles des familles avec enfants entre la commune de Besançon et les communes périurbaines. L'expérimentation a consisté en la simulation, à l'horizon 2030, d'un scénario de prolongement des tendances actuelles et sa comparaison avec un scénario représentant l'application d'une politique volontariste de construction de logements par la Ville de Besançon.

Les paramètres généraux des scénarios simulés étaient les suivants :

1. Situation initiale en 2010, sans le tramway mais avec la voie de contournement des Mercureaux (ouverte en réalité à la circulation en 2011).
2. Simulation entre 2010 et 2015 des développements résidentiels, des évolutions démographiques, des migrations résidentielles et des mobilités quotidiennes, tenant compte de l'évolution du prix du pétrole.
3. En 2015, introduction du tramway, modification du réseau de bus et introduction de deux nouvelles haltes ferroviaires.

Les paramètres de simulation du développement résidentiel sont présentés dans le Tableau 2. La simulation d'une politique volontariste de construction de logements par la commune de Besançon a consisté en l'ajout d'un développement résidentiel contrôlé dans le cadre d'opérations de maîtrise publique (Figure 22 et Tableau 3), en sus d'un développement résidentiel diffus.

		Scénario tendanciel	Politique de logement volontariste dans la commune de Besançon
Paramètres globaux	Nombre de logements construits chaque année	850	1120
	Types de logements construits	35% de maisons et 65% d'appartements	
	Taille des logements	Maisons : 5 pièces et plus Appartements : 10% de 1 pièces, 20% de 2 pièces, 25% de 3 pièces, 25% de 4 pièces, 20% de 5 pièces et plus	
	Statuts d'occupation des logements (hors opérations de maîtrise publique)	Maisons : propriétaire-occupants : 35% ; locataire privé : 8% ; locataire social : 0% Appartements : propriétaire-occupants : 20% ; locataire privé : 21% ; locataire social : 16%	
Paramètres locaux	Nombre de logements construits à Besançon	500 Uniquement de la construction diffuse	770 450 logements en construction diffuse 320 logements en opérations de maîtrise publique (surtout des logements de 4 pièces et de 5 pièces et plus. 15 % de logements à coût maîtrisé)
	Nombre de logements construits hors Besançon	350 Dans chaque commune, nombre de logements construits proportionnel à la population des communes	
	Part de la construction de logements en maisons individuelles et immeubles collectifs	Besançon : 14% individuel et 86% collectif Hors Besançon Très petites communes : 100% individuel Petites communes : 90% individuel Communes moyennes : 86% individuel Communes moyennes « pro-HLM » : 80% individuel	

Tableau 2. Paramètres du développement résidentiel simulé dans le cadre de l'expérimentation menée avec la Ville de Besançon.

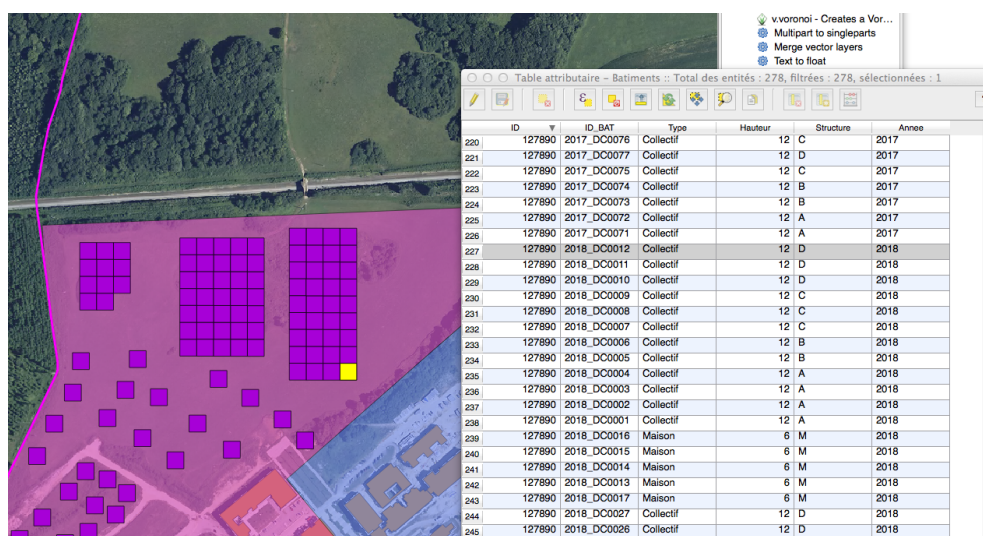


Figure 22. Exemple de développement résidentiel simulé en opérations de maîtrise publique : zone des Hauts-du-Chazal, Besançon. En violet : bâtiments construits par simulation ; en jaune : bâtiment n°227 étant un immeuble collectif, construit en 2018 et dont la composition en logements est de type D.

Composition en logements des bâtiments	Taille des logements en nombre de pièces	Nombre de logements correspondant
Bâtiments de type A	5	3
	4	2
	3	2
Bâtiments de type B	5	4
	4	2
	3	1
Bâtiments de type C	5	4
	4	1
	3	2
Bâtiments de type D	5	2
	4	1
	3	5

Tableau 3. Quatre possibilités de composition en logements des immeubles collectifs construits par simulation en opérations de maîtrise publique

Dans les conditions représentées par le modèle, le scénario de politique volontariste de construction de logements sur la commune de Besançon permet une réduction globale du nombre de migrants en direction des communes périurbaines depuis Besançon (Figure 23). Davantage de familles monoparentales choisissent de vivre à Besançon pendant l'ensemble de la simulation (2011-2030) (Figure 24). Les couples avec enfant(s) préfèrent, eux, vivre à Besançon jusqu'à l'année 2022 simulée seulement. À partir de cette date, la politique volontariste de construction de logements est moins active, ce qui peut expliquer cette moindre préférence. En 2030, le nombre de couples avec enfant(s) est légèrement plus élevé dans le périurbain comparé à la ville de Besançon, ce qui est l'inverse de ce que l'on pouvait observer dans le scénario tendanciel. Ainsi, en résultat des mécanismes complexes façonnant les processus de localisations résidentielles simulées, le scénario de politique volontariste de construction de logements dans la commune de Besançon donne des résultats plus satisfaisants pour les acteurs opérationnels de l'urbanisme en milieu de simulation (année 2022) mais moins satisfaisants à la fin (2030).

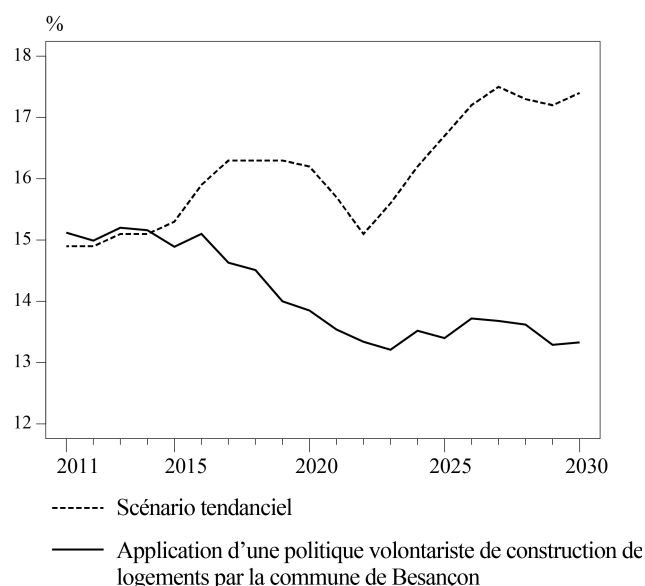


Figure 23. Part des ménages quittant Besançon pour aller en périurbain parmi le total des ménages migrants dans l'agglomération. D'après : TANNIER C., HIRTZEL J., STEPHENSON R., COUILLET A., VUIDEL G., YOUSSEFI S. (2015). Conception and use of an individual-based model of residential choice in a planning decision process. Feedback from an experimental trial in the city of Besançon, France, *Progress in Planning*.

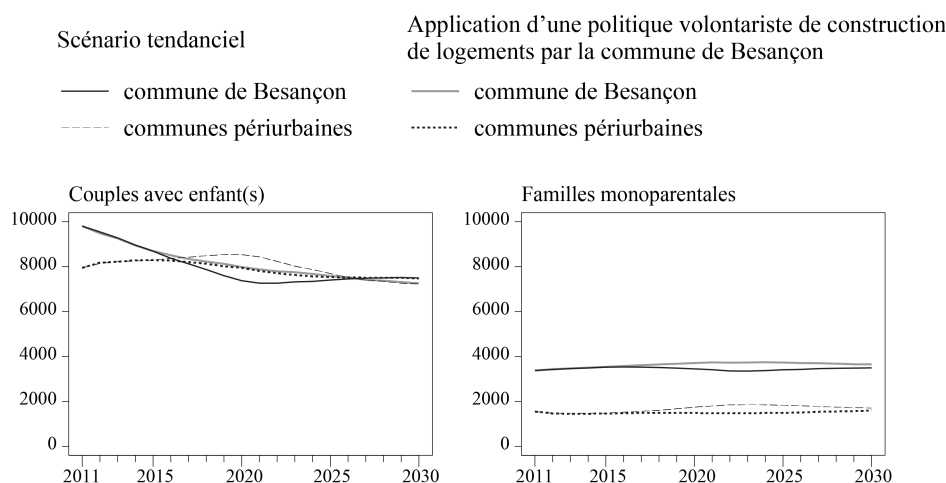


Figure 24. Evolution du nombre de ménages cibles. D'après : TANNIER C., HIRTZEL J., STEPHENSON R., COUILLET A., VUIDEL G., YOUSSEFI S. (2015). Conception and use of an individual-based model of residential choice in a planning decision process. Feedback from an experimental trial in the city of Besançon, France, *Progress in Planning*.

2.4.2 Ateliers de prospective avec les techniciens et les élus de la Communauté d'agglomération du Grand Besançon

L'objectif de ces ateliers était de mener une exploration prospective de l'attractivité résidentielle des communes de la Communauté d'agglomération du Grand Besançon (CAGB) vis-à-vis des communes environnantes les plus attractives. La zone d'étude considérée est donc plus étendue que la seule CAGB (Figure 25) ; elle comporte 142 communes, toutes faisant partie de l'aire urbaine de Besançon et seulement certaines faisant partie du SCoT.

La démarche adoptée a consisté en la tenue de deux ateliers de prospective rassemblant les élus politiques et les techniciens de la commission « Prospective » de la CAGB (une vingtaine de personnes). Avant et après chaque atelier, des réunions intermédiaires avec les techniciens (CAGB, Agence d'urbanisme de l'agglomération de Besançon, Ville de Besançon) et un groupe restreint d'élus responsables de la commission « Prospective » ont permis de faire avancer les réflexions.

Le premier atelier, qui s'est tenu le 8 avril 2015, a été consacré à la discussion de deux scénarios prospectifs 2010-2030, simulés au moyen de la plateforme MobiSim. Les discussions ont porté sur l'évolution comparée de l'attractivité résidentielle des communes de la CAGB pour chacun des scénarios. Les participants à l'atelier ont ensuite conçu deux autres scénarios intégrant des modifications des deux premiers scénarios. Le deuxième atelier (dont la date n'est pas encore fixée) sera consacré à la discussion des changements en termes d'attractivité résidentielle des communes de la CAGB résultant de la simulation de ces deux nouveaux scénarios.

		Scénario ICONE-bau	Scénario ICONE-docs
Paramètres globaux	Nombre de logements construits chaque année	1310	1445
	Types de logements construits	38% de maisons et 62% d'appartements	46% de maisons et 54% d'appartements
	Taille des logements	Maisons : 5 pièces et plus Appartements : 1% de 1 pièce, 20% de 2 pièces, 56% de 3 pièces, 16% de 4 pièces, 7% de 5 pièces	
	Statuts d'occupation (hors opérations de maîtrise publique)	Maisons : <i>propriétaire-occupants</i> : 51% ; <i>locataire privé</i> : 19% ; <i>locataire social</i> : 3% Appartements : <i>propriétaire-occupants</i> : 14% ; <i>locataire privé</i> : 11% ; <i>locataire social</i> : 2%	Maisons : <i>propriétaire-occupants</i> : 30% ; <i>locataire privé</i> : 9% ; <i>locataire social</i> : 7% Appartements : <i>propriétaire-occupants</i> : 22% ; <i>locataire privé</i> : 22% ; <i>locataire social</i> : 10%
Paramètres locaux	Nombre de logements construits annuellement à Besançon	560 Uniquement de la construction diffuse Maisons : <i>propriétaire-occupants</i> : 1% ; <i>locataire privé</i> : 0% ; <i>locataire social</i> : 0% Appartements : <i>propriétaire-occupants</i> : 35% ; <i>locataire privé</i> : 64% ; <i>locataire social</i> : 0%	745 Uniquement de la construction diffuse Maisons : <i>propriétaire-occupants</i> : 6% ; <i>locataire privé</i> : 8% ; <i>locataire social</i> : 0% Appartements : <i>propriétaire-occupants</i> : 35% ; <i>locataire privé</i> : 34% ; <i>locataire social</i> : 17%
	Nombre de logements construits annuellement dans la CAGB hors Besançon	405 Dans chaque commune, le nombre de nouveaux logements construits est égal au nombre annuel de logements construits entre 2007 et 2011.	355 Application stricte des préconisations de construction du PLH
	Nombre de logements construits annuellement hors CAGB	345 Dans chaque commune, le nombre de nouveaux logements construits est égal au nombre annuel de logements construits entre 2007 et 2011.	
	Part de la construction de logements en maisons individuelles et immeubles collectifs	Besançon : 14% <i>individuel</i> et 86% <i>collectif</i> CAGB hors Besançon Très petites communes : 100% <i>individuel</i> . Tous les logements HLM sont des maisons. Petites communes : 90% <i>individuel</i> . 90% des logements HLM sont des maisons. Communes moyennes : 86% <i>individuel</i> . 86% des logements HLM sont des maisons. Communes moyennes « pro-HLM » : 80% <i>individuel</i> . 80% des logements HLM sont des maisons Hors CAGB Répartition suivant celle observée pour la période 2007-2011	

Tableau 5. Paramètres du développement résidentiel simulé dans le cadre du premier atelier de prospective avec la Communauté d'agglomération du Grand Besançon

Les paramètres généraux des scénarios ne varient pas non plus :

1. Situation initiale en 2010, sans le tramway mais avec la voie de contournement des Mercureaux (ouverte en réalité à la circulation en 2011) et la halte ferroviaire d'Ecole-Valentin.
2. Simulation entre 2010 et 2015 des développements résidentiels, des évolutions démographiques, des migrations résidentielles et des mobilités quotidiennes, tenant compte de l'évolution du prix du pétrole. En 2013, on simule le déplacement vers le quartier des Hauts-du-Chazal du centre hospitalier de Saint-Jacques (2300 emplois) et de la faculté de médecine (5200 étudiants), initialement localisés au centre-ville de Besançon.
3. En 2015, introduction du tramway et modification afférente du réseau de bus.
4. Simulation entre 2015 et 2030 des développements résidentiels, des évolutions démographiques, des migrations résidentielles et des mobilités quotidiennes, tenant compte de l'évolution du prix du pétrole.

Faute de temps, il n'a pas été possible d'intégrer dans les simulations la mise en œuvre du TCSP (transport en commun en site propre) Viotte-Bouloie-Temis actuellement en construction. Cependant, nous pouvons raisonnablement (sur la base de nos connaissances des déterminants des choix résidentiels des ménages) poser l'hypothèse que l'arrivée de cette nouvelle infrastructure n'aura pas d'effet majeur sur l'attractivité résidentielle globale de la CAGB vis-à-vis des communes environnantes. Par ailleurs, les scénarios n'intègrent pas l'élargissement en cours de la route nationale entre Besançon et la commune d'Auxon, qui pourrait cependant amener à une réduction de la part d'utilisateurs des transports en commun dans cette zone.

Les deux scénarios simulés pour le premier atelier de prospective sont intitulés respectivement *ICONE-bau* et *ICONE-docs*. Les paramètres de simulation du développement résidentiel sont présentés dans le Tableau 5.

Le scénario *ICONE-bau* représente une application partielle des politiques et aménagements prévus dans les documents de planification. On imagine, pour ce scénario, une diminution des capacités à investir des collectivités, qui les empêche de réaliser certains aménagements prévus dans les documents de planification, à savoir les haltes ferroviaires de Miserey-Salines, de Portes de Vesoul et la halte de Besançon Ouest (Hauts-du-Chazal). Le développement résidentiel simulé correspond au prolongement des tendances passées (2007-2011). Il représente une construction assez importante de nouveaux logements sur la commune de Besançon (560 logements par an), ce qui correspond aux données INSEE et à celles de la Ville de Besançon (fichier des permis de construire) mais n'est pas représentatif de la tendance actuelle de la construction de logements sur la Ville de Besançon, qui se situe plutôt autour de 350-400 logements par an. Ainsi, la politique de logement simulée à Besançon est davantage active qu'elle ne l'a été dans le passé, tout en étant moins active que celle prévue dans le PLH (Programme local de l'habitat). Le scénario *ICONE-bau* minimise en outre, au regard des tendances de construction actuelles, la part de petits logements nouvellement construits au profit des logements de taille moyenne et grande.

Le scénario *ICONE-docs* simule, lui, la mise en œuvre de la totalité des politiques et aménagements prévus dans les documents de planification. Les trois haltes ferroviaires de Miserey-Salines, Portes de Vesoul et Hauts-du-Chazal sont donc ajoutées en 2015. L'urbanisation est favorisée à proximité des commerces et services et arrêts de tramway et de TER. Les communes de la CAGB hors Besançon voient se construire moins de maisons en location que hors CAGB mais davantage de logements HLM, parmi lesquels une part assez importante de maisons qu'on imagine n'ayant pas forcément une entrée indépendante, mais bénéficiant d'un accès à une cour ou un jardin.

Dans le scénario *ICONE-docs*, les ménages sont globalement davantage satisfaits et déménagent moins que dans le scénario *ICONE-bau*. Si on distingue les ménages migrants selon leur sens de

migration (Figure 26), on observe, pour le scénario *ICONE-docs* comparé au scénario *ICONE-bau*, que :

- moins de ménages quittent les communes périurbaines de la CAGB pour aller à Besançon ou hors CAGB ;
- davantage de ménages quittent Besançon pour aller dans les communes périurbaines de la CAGB ou hors CAGB ;
- nettement moins de ménages quittent les communes hors CAGB pour aller à Besançon ;
- moins de ménages quittent les communes hors CAGB pour s'installer dans une commune périurbaine de la CAGB.

Au final, la commune de Besançon compte en 2025 environ 2 000 ménages de plus avec le scénario *ICONE-docs* tandis que les communes périurbaines de la CAGB en comptent environ 1 000 de moins.

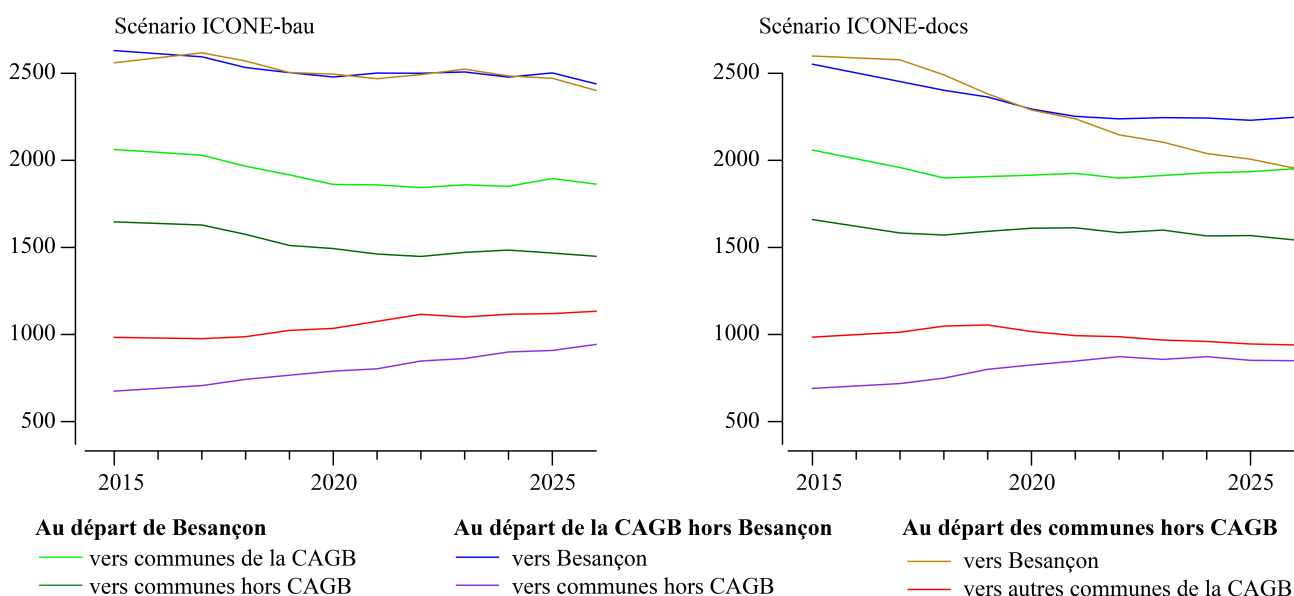


Figure 26. Nombre de migrants par année de simulation. Résultats de simulation présentés lors du premier atelier de prospective avec la Communauté d'agglomération du Grand Besançon

A l'issue des discussions menées pendant l'atelier, le groupe a retenu deux scénarios alternatifs au scénario *ICONE-docs* (Tableau 6), dont les résultats de simulation seront présentés lors du prochain atelier. Dans l'un des scénarios, intitulé *ICONE-docs2*, les logements HLM construits en périurbain sont essentiellement des appartements et non des maisons comme dans le scénario *ICONE-docs*. L'autre scénario, intitulé *ICONE-indi*, est identique au scénario *ICONE-docs2* à une différence près : 33% de maisons individuelles sont construites à Besançon contre 14% dans le scénario *ICONE-docs2*. Deux autres possibilités de scénarios ont été discutées mais non retenues :

- simuler une augmentation de l'offre de nouveaux logements dans les communes périurbaines de la CAGB (355 logements construits chaque année dans le scénario *ICONE-docs* contre 405 dans le scénario *ICONE-bau*) pour étudier si cette augmentation de l'offre en logements permettrait d'attirer davantage de ménages dans les communes périurbaines de la CAGB au détriment des communes hors CAGB et non de la commune de Besançon.
- simuler une modification de la fiscalité communale.

		Scénario ICONE-docs2	Scénario ICONE-indi
Paramètres globaux	Nombre de logements construits chaque année	1445	1445
	Types de logements construits	40% de maisons et 60% d'appartements	50% de maisons et 50% d'appartements
	Taille des logements	Maisons : 5 pièces et plus Appartements : 1% de 1 pièce, 20% de 2 pièces, 56% de 3 pièces, 16% de 4 pièces, 7% de 5 pièces	
	Statuts d'occupation	Maisons : <i>propriétaire-occupants</i> : 31% ; <i>locataire privé</i> : 9% ; locataire social : 1% Appartements : <i>propriétaire-occupants</i> : 22% ; <i>locataire privé</i> : 22% ; locataire social : 16%	Maisons : <i>propriétaire-occupants</i> : 35% ; <i>locataire privé</i> : 15% ; <i>locataire social</i> : 1% Appartements : <i>propriétaire-occupants</i> : 17% ; <i>locataire privé</i> : 17% ; <i>locataire social</i> : 16%
Paramètres locaux	Nombre de logements construits annuellement à Besançon	745 Uniquement de la construction diffuse Maisons : <i>propriétaire-occupants</i> : 6% ; <i>locataire privé</i> : 8% ; <i>locataire social</i> : 0% Appartements : <i>propriétaire-occupants</i> : 35% ; <i>locataire privé</i> : 35% ; <i>locataire social</i> : 17%	745 Uniquement de la construction diffuse Maisons : <i>propriétaire-occupants</i> : 14% ; <i>locataire privé</i> : 19% ; <i>locataire social</i> : 0% Appartements : <i>propriétaire-occupants</i> : 25% ; <i>locataire privé</i> : 25% ; <i>locataire social</i> : 17%
	Nombre de logements construits annuellement dans la CAGB hors Besançon	355 Application stricte des préconisations de construction du PLH	355 Application stricte des préconisations de construction du PLH
	Nombre de logements construits annuellement hors CAGB	345 Dans chaque commune, le nombre de nouveaux logements construits est égal au nombre annuel de logements construits entre 2007 et 2011.	
	Part de la construction de logements en maisons individuelles et immeubles collectifs	Besançon : 14% <i>individuel</i> et 86% <i>collectif</i> CAGB hors Besançon Très petites communes : 100% <i>individuel</i> Petites communes : 90% <i>individuel</i> Communes moyennes : 86% <i>individuel</i> Communes moyennes « pro-HLM » : 80% <i>individuel</i> Tous les logements HLM sont des appartements. Hors CAGB Répartition suivant celle observée pour la période 2007-2011	Besançon : 33% <i>individuel</i> et 67% <i>collectif</i> CAGB hors Besançon Très petites communes : 100% <i>individuel</i> Petites communes : 90% <i>individuel</i> Communes moyennes : 86% <i>individuel</i> Communes moyennes « pro-HLM » : 80% <i>individuel</i> Tous les logements HLM sont des appartements. Hors CAGB Répartition suivant celle observée pour la période 2007-2011

Tableau 6. Paramètres du développement résidentiel simulé pour le deuxième atelier de prospective avec la Communauté d'agglomération du Grand Besançon. En gras, différences de paramétrage entre le scénario *ICONE-docs* et le scénario *ICONE-docs2*.

Les simulations de ces deux scénarios ont été effectuées mais l'analyse des résultats est encore en cours. La figure 27 présente un exemple de résultats obtenus. Avec les deux scénarios simulés comparés au scénario *ICONE-bau*, on dénombre davantage de jeunes ménages avec enfants à Besançon en fin de simulation tandis qu'il y en a moins dans les communes périurbaines de la CAGB et hors CAGB. Cette tendance est plus nette dans le cas du scénario *ICONE-indi* que du scénario *ICONE-docs2*.

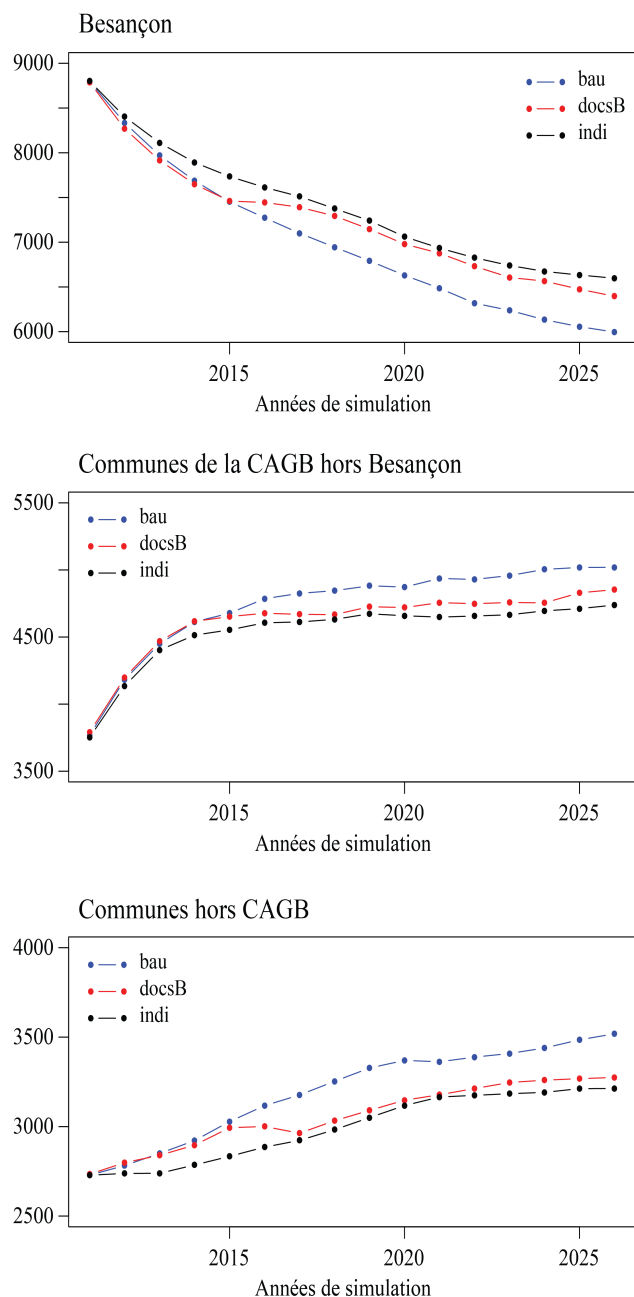


Figure 27. Evolution du nombre de ménages jeunes avec enfant(s). Résultats de simulation qui pourraient être présentés lors du deuxième atelier de prospective avec la Communauté d'agglomération du Grand Besançon.

Axe 3

Évaluer les impacts environnementaux de scénarios prospectifs d'urbanisation

Trois entrées thématiques ont été étudiées dans le cadre de ce troisième axe de recherche du chantier CEUP : la biodiversité, l'exposition des populations au bruit de circulation et les dépenses énergétiques des bâtiments en relation avec le climat urbain. Pour chacune de ces thématiques, des simulations spécifiques d'évolutions urbaines ont été réalisées à l'horizon temporel 2030. Les calculs ex-post des impacts environnementaux concernés ont mobilisé des modèles qui représentent le fonctionnement des systèmes (connectivité écologique des paysages, acoustique urbaine, interaction entre le climat urbain et les dépenses énergétiques des bâtiments) à un niveau de détail très fin. De tels modèles sont complexes, difficiles à manipuler, requièrent énormément de calculs par ordinateur, mais en retour, ils permettent d'effectuer des évaluations d'impacts plus précises et fiables que des modèles plus simples.

3.1 Impact de l'urbanisation sur la connectivité des habitats écologiques de mammifères forestiers

Coordination : Cécile Tannier

Pour étudier l'impact de l'urbanisation sur la connectivité des habitats écologiques de mammifères forestiers, cinq scénarios théoriques 2010-2030 ont été simulés : urbanisation compacte (S1), urbanisation modérément compacte (S2), périurbanisation contrôlée (S3), étalement urbain (S4), et urbanisation à proximité des haltes ferroviaires et des stations de tramway (*Transit-oriented development*) (S5) (Tableau 7). Les simulations ont concerné le développement résidentiel et les évolutions de trafic internes à l'agglomération. Elles ont été réalisées avec la plateforme MobiSim. Les évolutions trafic de transit (traversant l'agglomération) ont été ajoutées de manière exogène, par extrapolation à partir de données de comptages routiers.

	Distribution de la croissance résidentielle (% du nombre total de logements construits chaque année)			Dimension fractale du développement résidentiel	Proportion de logements en maisons individuelles et en appartement (%)					
	Besançon	Communes périurbaines moyennes	Petits villages périurbains		Appart.	Maison individuelle	Appart.	Maison individuelle	Appart.	Maison individuelle
					Besançon		Communes périurbaines moyennes		Petits villages périurbains	
Compact	80	15	5	1.8	70	30	30	70	0	100
Modérément compact	80	15	5	1.5	70	30	30	70	0	100
Périurbain régulé	40	30	30	1.8	70	30	50	50	0	100
Etalement urbain	40	30	30	1.8 Besançon 1.5 communes périurbaines	70	30	30	70	0	100
Transit-Oriented Development	Stations de tram (buffer 500m)	Stations de TER principales (buffer 1000m)	Stations de TER secondaires (buffer 500m)		Stations de tram (buffer 500m)		Stations de TER principales (buffer 1000m)		Stations de TER secondaires (buffer 500m)	
					Appart.	Maison individuelle	Appart.	Maison individuelle	Appart.	Maison individuelle
		40	30	30	1.8 Besançon 1.5 communes périurbaines	70	30	50	50	0

Tableau 7. Paramètres du développement résidentiel des cinq scénarios simulés. Tiré de : TANNIER C., BOURGEOIS M., HOUOT H., FOLTÊTE J-C. (Soumis), Impact of urban developments on the functional connectivity of forested habitats: a joint contribution of advanced urban models and landscape graphs, *Land Use Policy*.

Le tableau 8 présente les évolutions de trafic routier simulées pour chaque scénario. D'un point de vue global, le scénario S3 engendre la plus faible augmentation de trafic tandis que le scénario S2 engendre la plus forte augmentation. Pour tous les scénarios, le cumul du nombre de véhicules par jour sur l'ensemble des tronçons routiers est plus élevé sur les tronçons périurbains (56% du trafic en 2010 et 55 % en 2030) que les tronçons intra-urbains (44% du trafic en 2010 et 45% en 2030).

	S1	S2	S3	S4	S5
Total des tronçons routiers	8,4	9,8	7,6	8,4	7,8
Tronçons routiers intra-urbains	11,1	12,5	9,7	10,2	10,7
Tronçons routiers périurbains	6,3	7,8	5,9	6,9	7

Tableau 8. Taux d'évolution 2010-2030 du cumul du trafic (nombre de véhicules/jour) sur les tronçons routiers en fonction des scénarios de développement urbain. Tiré de : TANNIER C., BOURGEOIS M., HOUOT H., FOLTÊTE J-C. (Soumis), Impact of urban developments on the functional connectivity of forested habitats: a joint contribution of advanced urban models and landscape graphs, *Land Use Policy*.

Localement, les évolutions de trafic diffèrent selon les axes routiers. Pour un scénario donné, certains axes enregistrent une hausse importante de trafic et d'autres pas. Le trafic simulé est même localement parfois en baisse en raison d'un report modal de la voiture vers les transports en commun.

Les cinq scénarios théoriques simulés ont fait l'objet d'une évaluation de leur impact sur la connectivité des habitats écologiques des mammifères forestiers au moyen de l'application Graphab, développée au sein du laboratoire ThéMA (Foltête et al., 2012). Selon cette méthode, chaque classe d'occupation du sol est caractérisée par sa capacité à faciliter ou à gêner les déplacements de trois espèces animales sélectionnées (l'écureuil roux, le chat sauvage et le lynx), sous la forme de coûts de déplacement. Ces coûts permettent de distinguer différentes zones au sein de l'aire d'étude : favorables, neutres, défavorables ou très défavorables aux déplacements. Sur cette base, la connectivité écologique est quantifiée à partir d'un graphe paysager construit pour une espèce donnée. Un graphe paysager est un ensemble de nœuds et de liens servant à modéliser le réseau écologique d'une espèce. Les nœuds du graphe représentent ici les taches boisées et les liens représentent les déplacements possibles entre ces taches. Pour chacune des trois espèces-cibles, six graphes paysagers ont donc été construits, un pour l'état initial et un pour chaque scénario, ce qui totalise 18 graphes paysagers.

Les résultats obtenus montrent que l'impact de l'urbanisation sur la connectivité fonctionnelle des habitats des mammifères forestiers est variable en fonction des scénarios. Le scénario d'urbanisation compacte (S1) est le moins impactant, suivi du scénario de développement périurbain contrôlé (S3), puis du scénario d'urbanisation modérément compacte (S2), ces deux derniers étant peu différenciés. Précisons ici que les scénarios S1 et S2 consistent en une augmentation de la dimension fractale du développement résidentiel simulé. Ils n'imposent donc pas une densification brutale du tissu bâti existant et préservent des espaces non bâtis intra-urbains. Le scénario d'étalement urbain (S4) aboutit à des impacts encore plus importants, surtout pour le lynx et le chat. Enfin le scénario TOD (S5) conduit à des valeurs d'impact particulières, moins fortes pour l'écureuil mais nettement plus fortes pour le lynx. En général, l'augmentation du trafic contribue davantage à la perte de connectivité fonctionnelle que le développement résidentiel. Seul le scénario TOD (S5) entraîne un impact plus important du développement résidentiel que des évolutions de trafic sur la perte de connectivité des habitats de l'écureuil et du lynx.

3.2 Impact de différentes formes d'urbanisation sur l'exposition des populations au bruit de circulation

Coordination : Frédéric Mauny

Cette étude concerne la seule commune de Besançon. Une première phase de l'étude a consisté à mettre à jour le modèle de prévision du bruit dans l'environnement afin d'intégrer les scénarios d'aménagement prospectifs issus de l'application MobiSim, puis quantifier, à l'échelle de la ville, par une approche surfacique, l'impact acoustique de ces différents scénarios. La deuxième phase de l'étude a été centrée sur la population humaine bisontine. Elle visait à évaluer l'impact acoustique des différents scénarios sur les niveaux d'expositions de la population bisontine aux nuisances sonores environnementales (bruit de circulation essentiellement). Le logiciel MITHRA-SIGv3.2 (Géomod, CSTB) a été utilisé pour la construction du modèle de prévision du bruit environnemental et le calcul des niveaux sonores pour chaque scénario d'urbanisation.

Trois scénarios prospectifs 2010-2030 ont été simulés avec MobiSim : un scénario de prolongement des tendances actuelles, un scénario d'urbanisation autour des haltes ferroviaires et arrêts de tramway, et un scénario d'intensification du développement résidentiel. L'étude de l'impact de l'urbanisation sur l'exposition des populations au bruit de circulation nécessite davantage de précision dans la simulation des mobilités quotidiennes individuelles que l'étude de la connectivité des habitats écologiques. Les trois scénarios ont donc été définis de manière beaucoup plus réaliste que les cinq scénarios précédents (section 3.1) pour les aspects concernant les mobilités quotidiennes individuelles.

Le calcul des niveaux sonores dans l'environnement fait intervenir uniquement le trafic et le développement résidentiel simulés avec MobiSim. L'évaluation du risque sanitaire lié aux nuisances sonores environnementales requiert en outre des données de simulation permettant de connaître le nombre et le type d'individus localisés dans chaque bâtiment, sachant que le bâtiment est l'unité spatiale élémentaire pour laquelle le niveau sonore d'exposition de la population est évalué.

Avec MobiSim, la localisation des individus dans leur bâtiment de résidence est assez incertaine concernant les variables décrivant leur profil socio-démographique. A titre d'exemple, le statut d'occupation du logement des ménages est connu à l'échelle du quartier puis ventilé dans des logements dont le nombre et la taille est déterminé pour chaque bâtiment. MobiSim est seulement capable de discriminer le type de construction (maison individuelle *versus* immeuble collectif) dans lequel se trouvent ces logements, de même que la taille du logement qui lui est associé mais leur statut d'occupation (locatif social *versus* locatif privé, propriétaire *versus* locataire) est mal estimé à l'échelle du bâtiment car un même type de construction (immeuble collectif par exemple) est considéré de manière indifférenciée comme étant un immeuble d'habitat social ou privé. Au sein d'un même quartier, il peut donc arriver qu'un ménage composé d'un cadre réside dans un immeuble HLM tandis qu'un ménage d'ouvrier et/ou chômeur pourra habiter une maison. Par conséquent, seuls le nombre d'individus par bâtiment et le nombre d'individus présents au domicile selon les périodes jour, soir et nuit peuvent être considérés comme des variables pertinentes pour la construction des indicateurs d'exposition.

D'autres variables issues de MobiSim et intervenant dans le calcul de l'exposition des populations au bruit de circulation ont fait l'objet d'une analyse de stabilité pour la simulation du même scénario de croissance urbaine (scénario "prolongement de tendance") répliqué 30 fois. Ces variables sont : la charge de véhicules écoulés sur chaque tronçon routier, le nombre de nouveaux bâtiments construits, le nombre de résidents exposés et le temps de présence cumulé (en heures-personnes) dans les secteurs résidentiels actuellement les plus exposés au bruit.

Les tests de stabilité des charges de véhicules/tronçon ont été effectués pour différents intervalles de temps (période jour : 6h-18h, soir : 18h-22h, nuit : 22h-6h). La dispersion moyenne est très forte sur les tronçons à très faible charge (moins de 15 véhicules par période). Elle descend sous le seuil des 20% à partir de 16 véhicules/période. Elle est relativement élevée pour les tronçons écoulant entre 16 et 47 véhicules/période (coefficient de variation inférieur proche ou égal à 20 %). Elle devient très faible (coefficient de variation inférieur à 5 %) sur les tronçons écoulant plus de 250 véhicules/période. Une diminution par 2 de l'écart-type a été jugée nécessaire pour les tronçons à faible charge, afin de ramener environ 95 % des valeurs simulées sur ces tronçons dans une fourchette de plus ou moins 20 % autour de la moyenne. Cette diminution de la variabilité des données simulées est estimée comme étant suffisante compte tenu du comportement acoustique du niveau sonore en fonction du nombre de sources (nombre de véhicules/période). Une telle diminution de l'écart-type est obtenue en effectuant la moyenne des charges par tronçon de cinq simulations de trafic.

Les résultats de simulation obtenus pour les trois autres variables (nombre de nouveaux bâtiments construits, nombre de résidents exposés et temps de présence cumulé au lieu de résidence) sont très stables. Concernant le nombre de bâtiments nouvellement construits, les coefficients de variation sont en effet de 1,14 % pour les secteurs définis par le Code l'Environnement et de 1,07 % pour les secteurs dits "de très forte exposition au bruit". Pour le nombre de résidents exposés au bruit de circulation, les coefficients de variation sont de 0,6 % pour les secteurs définis par le Code l'Environnement et de 0,7 % pour les secteurs dits "de très forte exposition au bruit". Concernant le temps de présence cumulé (en heures-personnes), les tests de stabilité ont été réalisés successivement pour les trois périodes jour, soir et nuit. Quelle que soit la période et le secteur d'exposition considérés, les coefficients de variation sont toujours inférieurs à 1 %.

La littérature dans le domaine préconise que soient calculés différents niveaux sonores équivalents (L_{Aeq}) : $L_{Aeq,jour}$, $L_{Aeq,soir}$, $L_{Aeq,nuit}$ et $L_{Aeq,24h}$. La directive européenne 2002/49/CE sur le bruit environnemental préconise que l'indice pondéré L_{den} (moyenne pondérée des niveaux sonores pendant les périodes jour, soir et nuit) soit également calculé. L'unité de production des indicateurs retenue étant le bâtiment, les niveaux sonores ont été calculés selon une approche par façade pour chaque bâtiment de la ville. Cette approche permet de connaître l'exposition sonore de la façade la plus exposée, mais également de calculer un niveau sonore moyen des façades.

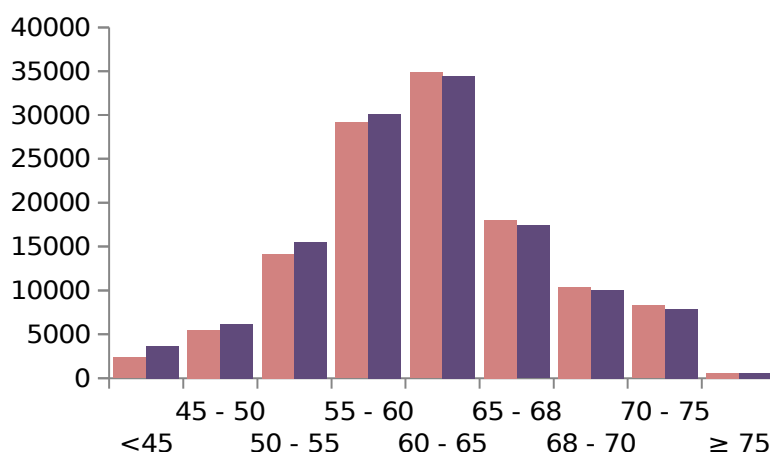


Figure 28. Évaluation de l'exposition de la population au bruit au niveau de la façade la plus exposée du bâtiment (indicateur L_{den}). Nombre d'individus exposés, par classes de 5 dB(A). En rose : scénario tendanciel. En violet : scénario d'intensification du développement résidentiel.

Les résultats présentés maintenant ne concernent que deux des trois scénarios simulés : le scénario de prolongement des tendances actuelles et le scénario d'intensification du développement résidentiel. Pour le premier, 123 000 individus habitent à Besançon en 2030 dans 14 156 bâtiments. Pour le second, 126 000 individus habitent à Besançon en 2030 dans 14 659 bâtiments. La figure 28 montre que, bien que la ville compte moins d'habitants dans le premier scénario, davantage d'individus sont exposés à des niveaux sonores élevés (supérieurs à 60 dB(A)) et moins d'individus sont exposés à des niveaux sonores plus faibles.

Un zoom sur le quartier des Vaîtes situé dans la partie est de Besançon confirme et précise ces résultats. Le scénario d'intensification du développement résidentiel amène ce quartier à se développer nettement plus qu'avec le scénario tendanciel (Tableau 9). En nombre absolu, le nombre d'individus et de bâtiments exposés à des niveaux sonores supérieurs à 55 dB(A) est légèrement plus élevé dans le cas du scénarios d'intensification du développement résidentiel. Néanmoins, en pourcentages, les impacts de ce scénario en termes d'exposition des populations au bruit de circulation sont bien plus faibles que ceux du scénario tendanciel. Une explication peut être trouvée dans le fait que, dans ce quartier et avec le scénario d'intensification, les nouveaux bâtiments sont préférentiellement construits à proximité des arrêts de tramway.

L _{den}	Scénario de prolongement des tendances actuelles				Scénario d'intensification du développement résidentiel			
	Bâtiments		Individus		Bâtiments		Individus	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
< 45	15	3	32	1	45	8	117	3
< 55	213	46	879	35	307	53	1806	48
>=55	250	54	1647	65	274	47	1997	52
>= 68	11	2	93	3	13	2	85	2
Total	463	100	2526	100	581	100	3803	100

Tableau 9. Nombre de bâtiments et d'individus exposés à différentes classes de niveaux sonores dans le quartier des Vaîtes à Besançon : L_{den} (indice combiné jour soir nuit), en dB(A).

3.3 Impact de différentes formes de développement résidentiel sur le climat urbain et les dépenses énergétiques des bâtiments

Coordination : Cécile Tannier

Les inventaires de dépenses énergétiques des bâtiments à l'échelle de la ville sont souvent construits à partir de campagnes thermographiques aériennes des toitures (APUR, 2011) ou d'analyses statistiques multi-variées. Ces dernières s'appuient sur la connaissance de la consommation énergétique de bâtiments prototypes et des caractéristiques du parc immobilier. Le plus souvent les méthodes utilisées ne considèrent pas l'influence du climat local sur les dépenses énergétiques des bâtiments. Il existe des outils numériques prenant en compte l'influence du climat urbain et permettant de tester des scénarios d'adaptation des bâtiments et de leur environnement au réchauffement climatique, en travaillant sur l'albédo et les effets d'ombrage. Parmi eux figurent les modèles physiques micro-échelles (à une résolution métrique) d'énergie du bâtiment. Ils calculent les demandes énergétiques d'un bâtiment prototype dont la géométrie et les propriétés radiatives et

thermiques sont très proches de la réalité. Ils considèrent les échanges thermiques et dynamiques à l'intérieur d'un bâtiment soumis à des variations météorologiques et à l'influence de son environnement proche (ex. effets d'ombrage), ainsi que la dynamique d'activation des systèmes climatisés (air conditionné, pompes à chaleur). Toutefois, les conditions météorologiques en entrée de ces modèles sont des données climatiques standards établies à l'aide de moyennes statistiques (sur 30 ans en général) à partir d'observations météorologiques faites bien souvent à l'extérieur de l'agglomération urbaine. De ce fait, l'influence du climat sur les demandes énergétiques des bâtiments est surévaluée.

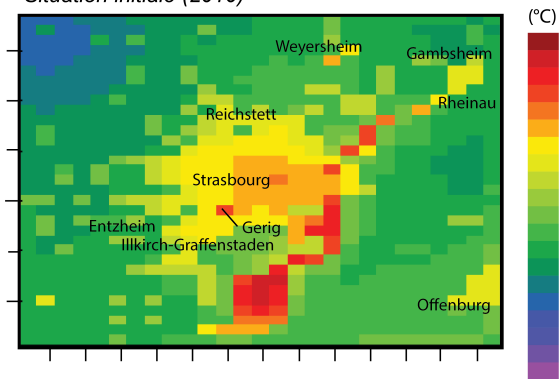
Dans le cadre du chantier CEUP, l'objectif était de proposer une nouvelle méthodologie d'évaluation des dépenses énergétiques des bâtiments à l'échelle d'une aire urbaine qui prenne en compte le climat urbain à différentes échelles, ainsi que les dynamiques de croissance urbaine qui, en modifiant les propriétés de surfaces, altèrent également les conditions météorologiques locales. Nous avons appliqué le système de modèles climatiques WRF/ARW-BEP+BEM de Skamarock et al. (2008) pour la simulation du climat urbain et des dépenses énergétiques de bâtiments sur le territoire de la communauté urbaine de Strasbourg (France) en 2010 et en 2030, en intégrant des scénarios de développement résidentiel archétypaux. Ce faisant, nous avons mis à l'épreuve la capacité des systèmes de modèles climatiques à estimer les dépenses énergétiques d'un territoire sur une période donnée et à prendre en compte la dynamique de l'urbanisation.

Une version modifiée du modèle d'automates cellulaires SLEUTH* de Doukari et al. (à paraître), a été utilisée pour simuler la croissance urbaine. Comme dans tout modèle d'automates cellulaires, les changements d'occupation du sol d'une cellule sont déterminés par son état actuel et l'état de ses cellules voisines. Un algorithme de Monte Carlo et trois règles simples développement résidentiel (développement résidentiel contigu au bâti existant, développement résidentiel linéaire le long des réseaux routiers et développement résidentiel diffus) orientent le développement urbain simulé. Afin d'obtenir des résultats de simulation davantage réalistes, le Plan local d'urbanisme de la communauté urbaine de Strasbourg ainsi que les modèles MorphoLim (Tannier et al., 2011) et Graphab (Foltête et al., 2012) ont été utilisés pour cartographier précisément les zones non urbanisables. MorphoLim a permis de délimiter des agrégats bâtis cohérents à travers les échelles, tandis que Graphab a servi à identifier les habitats écologiques à protéger pour le maintien de la connectivité écologique du paysage. Une seule espèce-cible a été considérée : l'écureuil roux, espèce commune des aires boisées. Celle-ci a été choisie en raison de sa présence importante dans la zone d'étude et de sa faible distance de dispersion qui en font une espèce particulièrement sensible à la fragmentation du paysage. Cette chaîne de modèles a été appliquée à une résolution spatiale de 20 m. et sur une durée de 20 ans (2010-2030) correspondant à l'horizon temporel de la définition des grandes orientations d'aménagement d'une agglomération urbaine. Trois scénarios de croissance urbaine archétypaux ont été simulés : développement urbain diffus, développement urbain compact et développement urbain modérément compact, chacun décliné en deux variantes : avec ou sans protection des habitats écologiques de l'écureuil roux.

La carte d'occupation du sol initiale ainsi que les six cartes d'occupation du sol obtenues par simulation ont ensuite été intégrées dans le système de modèles WRF/ARW-BEP+BEM afin de simuler le climat urbain et les dépenses énergétiques des bâtiments pour la période hivernale. La figure 29 présente deux exemples de résultats obtenus en sortie de simulation pour les scénarios compacts et modérément compacts.

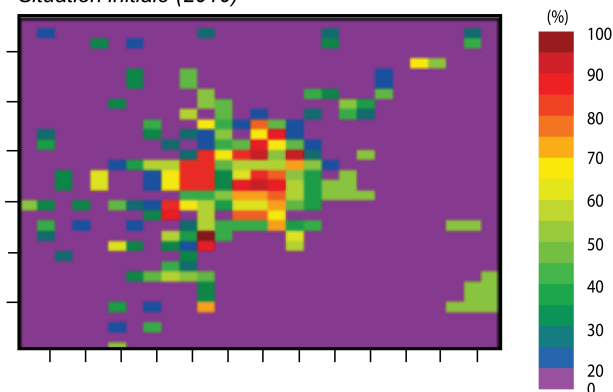
Températures moyennes près du sol

Situation initiale (2010)



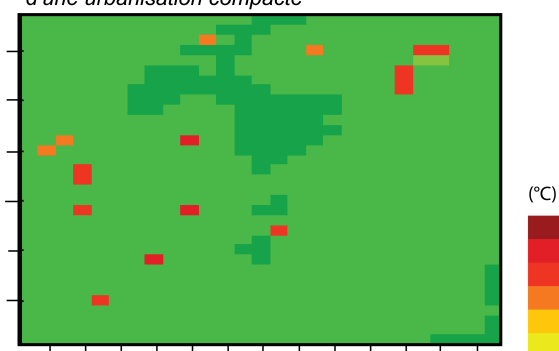
Fractions urbanisées dans chaque maille de la grille

Situation initiale (2010)



Différences de température

Entre la situation initiale et la simulation 2030
d'une urbanisation compacte

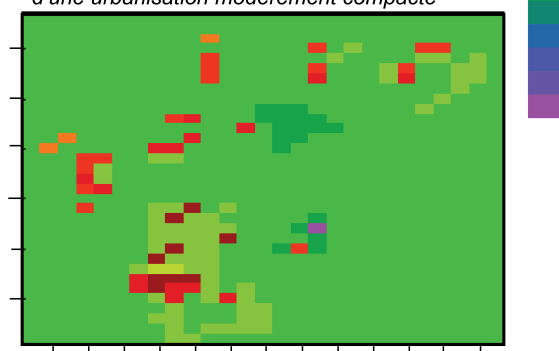


Différences de fraction urbanisée

Entre la situation initiale et la simulation 2030
d'une urbanisation compacte



Entre la situation initiale et la simulation 2030
d'une urbanisation modérément compacte



Entre la situation initiale et la simulation 2030
d'une urbanisation modérément compacte

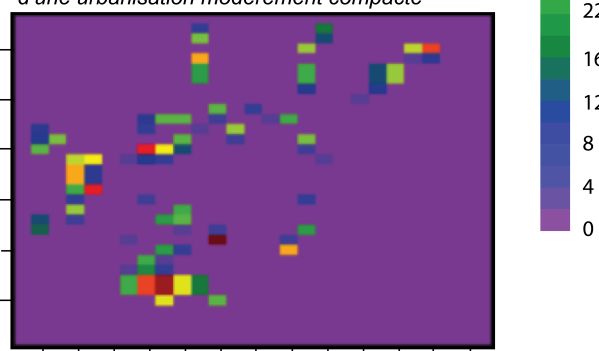


Figure 29. Température près du sol et part de surface urbanisée dans chaque maille de la zone d'étude. Exemple de résultats obtenus avec le système de modèles WRF/ARW. Tiré de : KOHLER M. (2015). *Assessment of the building energy requirements: added value of the use of the urban climate modeling*. Thèse de doctorat en géographie, Université de Strasbourg.

Au final, la méthodologie adoptée permet d'obtenir des résultats encourageants lorsque l'on compare les demandes énergétiques simulées avec les estimations de consommations énergétiques issues d'autres méthodes de type inventaire. Cependant, ils questionnent la capacité des modèles météorologiques à aider la décision en matière d'aménagement urbain. Le système de modèles WRF/ARW-BEP+BEM est en effet peu sensible aux changements d'occupation du sol car l'hétérogénéité de l'occupation du sol en milieu urbain y est reproduite de manière trop simplifiée. Le peu de différences observées entre la situation initiale et les scénarios simulés concernant les dépenses énergétiques des bâtiments peut s'expliquer par la faible intensité des développements

résidentiels simulés. Quoi qu'il en soit, notre étude montre aussi que le système WRF/ARW-BEP+BEM ne parvient pas à prendre en compte des développements résidentiels diffus. Il apparaît en outre que le volume de chauffe et le rapport enveloppe sur volume des bâtiments ont des rôles prépondérants dans le calcul de la sensibilité au froid des bâtiments sur l'aire d'étude. De ce fait, il semblerait que la densité bâtie locale et la forme des bâtiments eux-mêmes soient des critères prépondérants pour la détermination des besoins énergétiques dans l'aire d'étude. Si tel est le cas, les stratégies d'aménagement visant à influencer la forme du développement urbain à une échelle globale auront moins de poids que des actions envisagées à l'échelle du quartier ou de l'îlot urbain.

Références bibliographiques

- APUR. Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits avant 1800. Technical report, 2011.
- Andrienko G., Andrienko N., Kopanakis I., Ligtenberg A., and Wrobel S.. (2008). Visual Analytics Methods for Movement Data. In: *Mobility, Data Mining and Privacy: Geographic Knowledge Discovery*, Giannoni F., Pedreski D. (Eds), New York: Springer-Verlag.
- Thomas I., Frankhauser P., Badariotti D. (2012). Comparing the fractality of European urban neighbourhoods: do national contexts matter? *Journal of Geographical Systems*, 14:189–208
- Orhan J.-M. (1998). Les déplacements quotidiens dans 50 villes, in *Données urbaines 2*, Pumain D., Mattei M.-F. (Eds), Anthropos, Paris.
- Doukari O., Aguejdad R., Houet T. (à paraître). SLEUTH* : un modèle d'expansion urbaine pour une approche scénario-dépendante. *Revue Internationale de Géomatique*.
- J.-C. Foltête, C. Clauzel, and G. Vuidel (2012). A software tool dedicated to the modelling of landscape networks. *Environmental Modelling & Software*, 38:316–327.
- W. C. Skamarock, J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, M. Duda, X.Y. Huang, W. Wang, and J. G. Powers (2008). *A description of the advanced research wrf version 3. Technical report, NCAR Technical Note, NCAR/TN-475+STR*.
- C. Tannier, I. Thomas, G. Vuidel, and P. Frankhauser (2011). A fractal approach to identifying urban boundaries. *Geographical Analysis*, 43:211–227.

Liste des participants au projet ODIT, chantier "Construction de l'espace urbain et périurbain". Les affiliations mentionnées sont celles en vigueur au moment de la contribution des participants au projet

Nom	Prénom	Affiliation	Statut	Discipline principale	Discipline secondaire
Ansel	Dominique	Laboratoire de psychologie, Besançon	MCF (UFC)	Psychologie	
Antoni	Jean-Philippe	ThéMA, Besançon	MCF (UFC)	Géographie	Urbanisme
Bigey	Magali	Elliadd, Besançon	MCF (UFC – IUT info-com)	Linguistique	
Bourgeois	Marc	ThéMA, Besançon	Doctorant (UFC)	Géographie	
Bronner	Anne-Christine	LIVE, Strasbourg	IR (CNRS)	Cartographie	Géographie
Caruso	Geoffrey	Université du Luxembourg	PR (U. Luxembourg)	Géographie	Economie
Chauvin-Vleno	Andrée	Elliadd, Besançon	PR (UFC)	Linguistique	
Couillet	Armelle	ThéMA, Besançon	IE (UFC)	Cartographie	Géographie
Detang-Dessendre	Cécile	CESAER, Dijon	DR (INRA)	Economie	
Emery	Justin	ThéMA, Dijon	Doctorant (U. Bourgogne)	Géographie	Climatologie
Epstein	David	ThéMA, Besançon	Post-doctorant (réseau franco-suisse)	Géographie	
Frankhauser	Pierre	ThéMA, Besançon	PR (UFC)	Géographie	Physique
Frémond	Maxime	CEPS, Luxembourg – ThéMA, Besançon	Doctorant (UFC)	Géographie	
Griffond-Boitier	Anne	ThéMA, Besançon	MCF (UFC)	Géographie	
Hilal	Mohamed	CESAER, Dijon	IR (INRA)	Géographie	
Hirtzel	Joanne	ThéMA, Besançon	Doctorant (UFC)	Géographie	
Houot	Hélène	ThéMA, Besançon	MCF (UFC)	Géographie	
Iraqi	Mehdi	ThéMA, Besançon	Doctorant (UFC)	Géographie	Mathématique
Kaiser	Hélène	ThéMA, Besançon	IE (embauche ODIT)	Géographie	
Kohler	Manon	ThéMA, Besançon	IR (embauche ODIT)	Géographie	Physique
Litot	Florian	ThéMA, Besançon	IE (UFC)	Informatique	
Lunardi	Nicolas	ThéMA, Besançon	Doctorant (UFC)	Géographie	
Mariani-Rousset	Sophie	Elliadd, Besançon	MCF (IUT Belfort)	Psychologie	
Mauny	Frédéric	Laboratoire Chono-Environnement – CHRU Besançon	PR (UFC)	Epidémiologie	
Nicot	Bernadette	ThéMA, Besançon	MCF (UFC)	Economie	
Peeters	Dominique	CORE, UCL, Louvain-la-Neuve (B)	PR (UCL, Belgique)	Géographie	Economie
Piombini	Arnaud	LIVE, Strasbourg	MCF (U. Strasbourg)	Géographie	
Pujol	Sophie	Laboratoire Chono-Environnement – CHRU Besançon	IR (CHRU Besançon)	Epidémiologie	
Ramadier	Thierry	SAGE, Strasbourg	DR (CNRS)	Psychologie	Sociologie
Tannier	Cécile	ThéMA, Besançon	CR (CNRS)	Géographie	
Tatu-Olivier	Lola	ThéMA, Besançon	IE (embauche ODIT)	Géographie	
Thévenin	Thomas	ThéMA, Dijon	PR (U. Bourgogne)	Géographie	
Thomas	Isabelle	CORE, UCL, Louvain-la-Neuve (B)	DR (FNRS, Belgique)	Géographie	
Vuidel	Gilles	ThéMA, Besançon	IE (CNRS)	Informatique	
Yousseoufi	Samy	ThéMA, Besançon	MCF (IUT Vesoul)	Géographie	