

**11^{ème} séminaire francophone est-ouest
de socio-économie des transports**

Karlsruhe, 23 au 27 mai 2012

Transport, énergie, localisation
Analyses, outils et perspectives d'avenir

PROSPEG : modèle de **PR**évision de l'**O**ccupation du **S**ol pour la **P**rospective **E**nergétique et les émissions des **GES** à l'échelle de l'agglomération

Jean Laterrasse¹, Seghir Zerguini¹, Florent Le Néchet¹,
Simon Aulagnier², Monika Heider³, Markus Peter³

¹ : *Laboratoire Ville Mobilité Transport (Université Paris-Est)*

² : *BURGEAP*

³ : *EIFER (EDF/KIT)*

Abstract

L'objectif du projet ASPECT 2050, financé par l'ANR, est de proposer une méthodologie qui permette d'élaborer des Plans Climat-Energie Territoriaux (PCET) selon une approche systémique. Celle-ci est centrée sur le « noyau dur » des politiques territoriales constitué par l'ensemble « transport - bâtiment - occupation des sols » qui constitue un levier d'action essentiel pour les politiques publiques relevant des compétences des collectivités territoriales. Cette méthodologie s'appuie sur la mise au point de l'outil PROSPEG qui a pour ambition de permettre aux collectivités territoriales l'évaluation prospective des impacts attendus sur les plans des consommations d'énergie et des émissions de GES selon les scénarios d'aménagement retenus.

Pour répondre à cette fonction, l'outil PROSPEG doit prendre en compte non seulement les effets liés aux infrastructures de transport, mais à leurs multiples interactions avec les marchés fonciers et immobiliers, et avec les problématiques de localisation des résidences et des activités. Cela nous a amenés à développer un modèle d'usage des sols visant à reconstituer les choix résidentiels des ménages dans une agglomération, traités ici de manière endogène. Dans ce modèle, pour les résidences privées, l'affectation des ménages est assurée par une fonction d'utilité qui tient compte à la fois de leurs caractéristiques et de leurs attentes propres, via un mécanisme d'enchère, en faisant l'hypothèse, à notre sens plus réaliste que l'utilisation de lois de prix plus ou moins arbitraires (du type de la loi monocentrique) qu'il est possible de définir sur le territoire étudié des zones homogènes du point de vue du marché immobilier. Ce parti pris est notamment motivé par la nécessité d'intégrer dans les éléments d'arbitrage des ménages les consommations d'énergie, en particulier la facture énergétique liée au transport et au logement (chauffage, ECS, électricité spécifique,...). PROSPEG se distingue aussi d'autres outils existants par le fait qu'il prend en compte le parc de logements aidés (HLM,...) dans les choix résidentiels des ménages. Ce modèle en cours de développement sur une plateforme informatique multi-paradigmes (système dynamique et simulation orientée agent) est conçu pour l'évaluation de scénarios prospectifs à l'horizon 2050.

Le présent article s'articule en trois parties. La première situe l'apport et l'originalité de l'outil PROSPEG par rapport aux modèles LUTI (Land Use and Transport Interaction) existants. La seconde est consacrée à la présentation des principes de modélisation retenus dans le modèle PROSPEG. Enfin, la dernière phase est l'occasion de présenter les premiers résultats obtenus sur l'agglomération de Mulhouse.

Mots clés

Modèles LUTI, Consommation d'énergie, Emissions de GES, Prospective territoriale, Localisation résidentielle, Politiques publiques, Mécanisme d'enchères, Modèle multi-paradigmes, Modèle d'équilibre général, Utilité des ménages.

Abstrakt

Der vorliegende Beitrag beschreibt Ansätze und Ergebnisse, die im Rahmen des französisch-nationalen Forschungsprogramms der *Agence national de la recherche* (ANR) erarbeitet worden. Zu den gegenwärtigen Herausforderungen französischer Kommunen gehört neben der Erstellung konsistenter Klimaschutzkonzepte die strukturierte Anfertigung eines integrativen *Plans Climat-Energie Territoriaux* (PCET), der die prospektive Erfassung kommunaler und territorialer Treibhausgas-Emissionen als Grundlage einer vorausschauenden Stadtentwicklung erlaubt. Gegenstand ist dabei die Analyse und Abbildung von Wechselwirkungen von Verkehr, Gebäude und Bodennutzung im städtischen Umfeld, die mit mehr als 60 % zu den kommunalen Emissionen beiträgt. Zielsetzung der hier vorgestellten Methodologie sind, ausgehend von der vorhandenen Simulationsmethode PROSPEG, sowohl der Anspruch der Abbildung und Verfolgbarkeit des gegenwärtigen Standes der Emissionseinflussfaktoren von Kommunen und Gebietskörperschaften, als auch die Abschätzbarkeit von Auswirkungen der Implementierung spezifischer Maßnahmen in der Zukunft. Im vorliegenden Forschungsrahmen sollen insbesondere Abschätzungen bis in das Jahr 2050 vorgenommen werden können.

Auf der Basis der Definition städtisch-räumlicher Zonen zur Abbildung und Lokalisierung von Emissionen und auf Basis des vorgestellten Modells der Klassifizierung und Verteilung von Gebäudetypologien können die klassischen LUTI-Modelle (Land Use and Transport Interaction) mit hier vorgestellten Funktionen, und hier insbesondere die spezifischen räumlichen Energieverbrauchsmuster, als Grundlage der Emissionsberechnungen dargestellt werden. Die Modellansätze (basierend auf System Dynamics Ansätzen und agentenbasierter Modellierung) sind damit in der Lage, unter Berücksichtigung der politischen Zielsetzung und Entscheidungen, Ansätze für die Abschätzungen des Emissionsverlaufs in Agglomerationen vorzunehmen.

Mit vorliegendem Papier beschreiben die Autoren in drei Phasen die Positionierung innerhalb vorhandener LUTI-Modelle, die Prinzipien der erweiterten Modellierung sektorieller Interaktion und geben abschließend Einblicke in erste Resultate. Zudem werden Ausblicke über die methodische Bewertbarkeit, die über die spezifischen französisch-nationalen Rahmenbedingungen der Erstellung eines PCET hinausgehen, dargestellt.

Stichwörter

LUTI Modelle, Energieverbrauchsmuster, Treibhausgasemissionen, Kommunale Energiepolitik, Verbrauchslokalisierung, Kommunale Gebäudebestandsmuster

I. Pertinence d'un modèle usage du sol

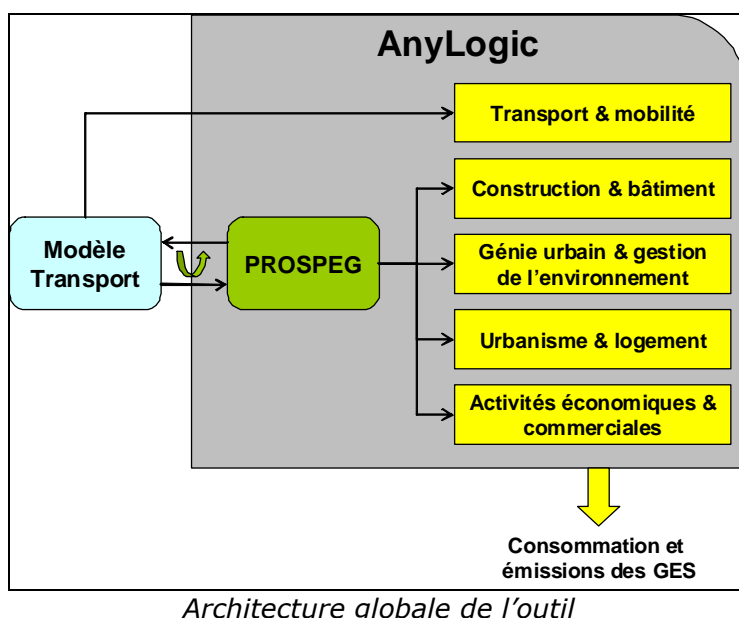
L'objectif du projet ASPECT 2050 est de proposer une méthodologie qui permette d'élaborer des Plans Climat-Energie Territoriaux (PCET) selon une approche systémique.

Dans le cadre de ce projet, nous avons fait le choix de développer un modèle LUTI (Land Use and Transport Interaction) afin d'effectuer des prévisions sur l'occupation du sol et d'en déduire la consommation énergétique et les émissions de GES du territoire considéré. En effet, à notre connaissance (IAU-IdF, 2011) les modèles LUTI existants n'intègrent pas des éléments de choix de localisation résidentielle des ménages comme la facture la facture énergétique liée au logement (chauffage, ECS, électricité spécifique,...). Ce modèle, nommé PROSPEG (PRévision de l'Occupation du Sol pour la Prospective Energétique et les émissions des GES à l'échelle de l'agglomération) en cours de développement sur la plate-forme informatique multi-paradigmes AnyLogic (système dynamique et simulation orientée agent), a pour but l'évaluation prospective (à l'horizon 2050) de la consommation d'énergie et les émissions GES en fonction des scénarios et des politiques publiques mises en œuvre dans les agglomérations.

II. Architecture globale de l'outil

PROSPEG vise pour un horizon donné à prévoir l'occupation du sol pour chaque zone et d'en déduire les consommations d'énergie et émissions GES relatives à cinq secteurs : transport et mobilité, construction et bâtiment, génie urbain et gestion de l'environnement, urbanisme et logement, activités économiques.

La figure ci-dessous montre l'architecture globale de l'outil. Il convient de noter que le modèle transport est extérieur aux développements à effectuer sous AnyLogic.



L'évaluation de la consommation d'énergie et des émissions GES pour l'horizon considéré se fait à partir des outputs du modèle Transport pour le secteur « Transport et Mobilité » et basée sur les outputs du modèle PROSPEG pour les quatre autres secteurs.

III. Principes de modélisation de PROSPEG

PROSPEG est un modèle d'équilibre orienté-ménage qui est basé sur une fonction d'utilité et un mécanisme d'enchère. Les ménages sont considérés individuellement dans la simulation et sont décrits selon leurs catégories socioprofessionnelles et tailles.

III.1. La fonction d'utilité

La fonction d'utilité traduit le bien-être que peut tirer le ménage d'une localisation et d'un type de logement donnés. L'expression de la fonction d'utilité utilisée dans le modèle PROSPEG est :

$$U = \alpha_1 AC + \alpha_2 NO + \alpha_3 SL - EA - FE - P_x SL$$

Avec :

- Accessibilité (AC) de la zone considérée vers les autres zones
- Notoriété (NO) de la zone considérée. Cette composante de l'utilité intègre tous les avantages qui ne sont pas dans les autres composantes comme l'accessibilité par exemple. Il traduit par exemples les aspects de qualité de l'habitat (standing,...) et l'environnement immédiat (espaces verts, présence de monuments architecturaux,...)
- Surface du logement (SL) désirée
- Equipement automobile (EA) de la zone considérée
- Facture énergétique (FE) de la zone considérée (énergie liée au logement comme le chauffage, ECS, électricité spécifique,...)
- Prix du logement (Px) au m²
- α_i : paramètres à calibrer en fonction des classes de revenu des ménages

III.2. Le mécanisme d'affectation spatiale des ménages

L'affectation des ménages sur les différentes zones que constitue l'agglomération est basée sur un mécanisme d'enchères pour l'acquisition des logements par les ménages. Le principe est que chaque ménage va se localiser dans une zone de l'agglomération en cherchant à maximiser son utilité.

Les ménages sont décrits et classés selon leur taille et leur catégorie socioprofessionnelle. Pour cette dernière, on considère les CSP+ et CSP- couplées avec le fait que le chef de famille est occupé ou non-occupé.

Le mécanisme d'enchère est basé sur le fait que le ménage candidat à déménager d'une zone à une autre fait une enchère tenant compte du prix immobilier dans sa zone initiale et du gain d'utilité procuré par son déménagement de sa zone initiale vers sa zone de destination. Ce mécanisme s'inspire des travaux de (Lemoy et al., 2010) avec quelques différences comme le fait de considérer l'enchère que fait le ménage est proportionnelle au gain d'utilité absolue.

Au départ, les ménages sont affectés arbitrairement sur les zones de l'agglomération. Le principe général du modèle est le suivant : tant qu'un ménage a intérêt à changer de localisation, l'équilibre n'est pas atteint, et un tirage supplémentaire permet de se rapprocher de l'équilibre. Nous allons maintenant détailler le fonctionnement d'une itération.

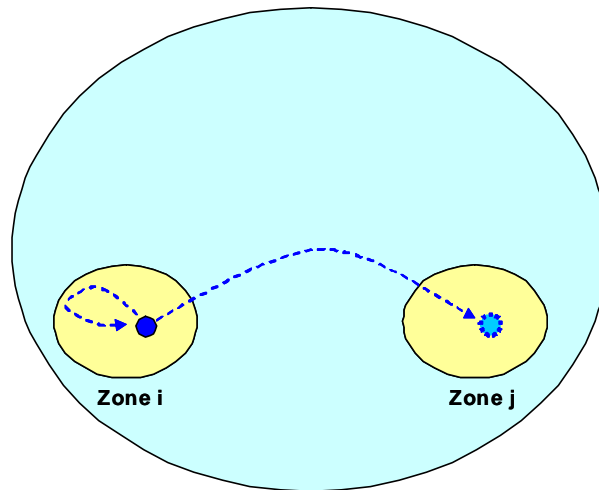
On tire aléatoirement un ménage m candidat à déménager situé dans la zone i et on lui désigne aléatoirement une zone de destination potentielle j .

A l'itération n , l'enchère que va faire le ménage m pour emménager dans la zone j dépend du prix du logement dans sa zone d'origine i et de la différence des utilités entre les zones i et j de l'itération $n-1$ et a pour expression.

$$\pi_{j,n}^m = P_{i,n-1} + \delta(U_{j,n-1}^m - U_{i,n-1}^m) \text{ tout en vérifiant la condition : } U_{j,n-1}^m > U_{i,n-1}^m$$

On suppose que le ménage m peut renoncer à déménager si on lui fait un rabais sur le prix du logement dans sa zone d'origine i . L'expression de ce nouveau prix est :

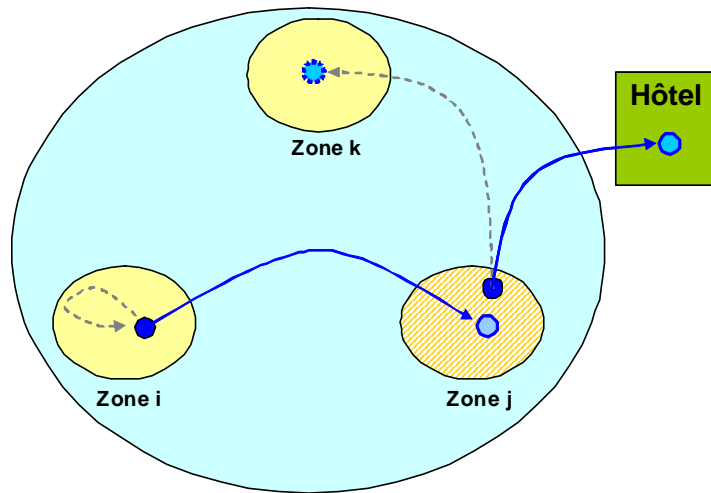
$$\pi_{i,n}^m = P_{i,n-1}(1 - \beta)$$



Il convient de noter que dans les travaux de (Lemoy, 2010), le mécanisme de décroissance du prix est fonction de la surface occupée ; c'est-à-dire une zone verra son prix diminué en fonction de sa surface libre (capacité - surface occupée).

Le ménage m choisi ainsi de se localiser dans l'une des deux zones où il retire la plus grande utilité. Si $U(\pi_{j,n}^m) > U(\pi_{i,n}^m)$ le ménage m choisi donc de se localiser dans la zone j sinon il restera dans la zone i .

Dans le cas où l'utilité d'emménager dans la zone j est la plus élevée et que la zone j est déjà saturée, le ménage m est tout de même relocalisé dans la zone j . Pour respecter la contrainte de capacité des zones, on prend le ménage m' qui a la plus faible utilité dans la zone j et on lui tire une zone de destination potentielle k pour le déménager. Dans le cas où le ménage m' a une utilité plus faible dans la zone k par rapport à celle qu'il a dans la zone j alors on le relocalise temporairement dans la zone « hôtel ».



Il convient de noter que les ménages « éjectés » des zones saturées vers la zone « hôtel » verront leur utilité diminuée d'une certaine proportion fixe pour l'ensemble des ménages. Il nous semble que le mécanisme de passage par l'hôtel joue implicitement le rôle de contrainte budgétaire des ménages notamment ceux qui ont des faibles revenus. En effet, les ménages passant par l'hôtel au cours de la simulation sont des ménages appartenant aux CSP- et qui vont faire des enchères de faible valeur (Cf. formulation de l'enchère qui dépend de l'utilité des ménages).

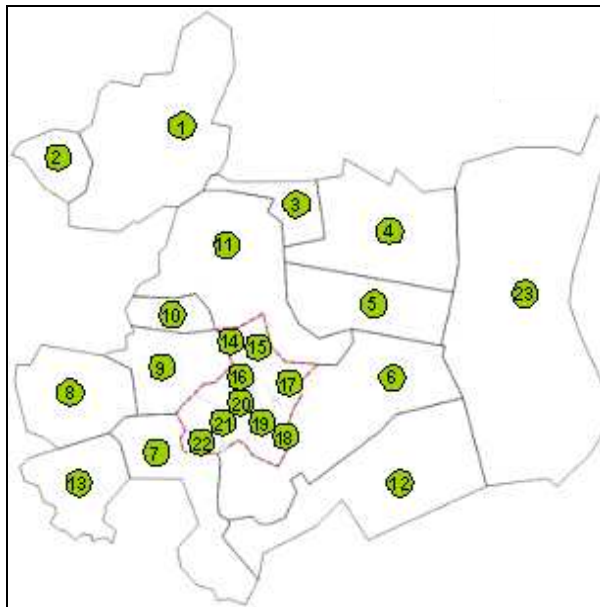
IV. Application sur l'agglomération Mulhouse

Dans le projet ASPECT 2050, trois agglomérations ont été choisies comme terrains d'étude : Lyon, Dunkerque et Mulhouse. Le choix de Mulhouse pour l'application du modèle PROSPEG nous a été dicté par le fait que cette agglomération s'est montrée particulièrement intéressée et nous a apporté une assistance, notamment pour la définition du découpage de l'agglomération en zones homogènes.

IV.1. Description de l'agglomération

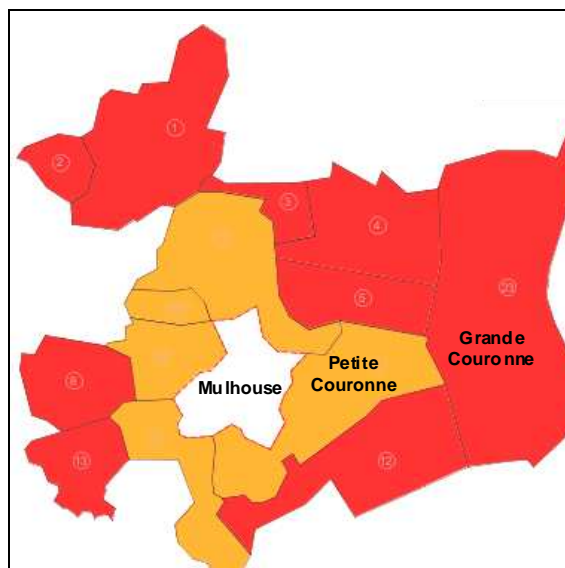
IV.1.1. Découpage et zones

L'agglomération mulhousienne est découpée en 23 zones dont 9 zones (14-22) sont dans la commune de Mulhouse. Les zones à l'extérieur de la commune de Mulhouse sont composées d'une ou plusieurs communes. Nous avons vérifié de manière empirique la stabilité du comportement de ces zones au sein du marché immobilier local, à la fois en faisant appel aux données disponibles et à l'expertise des professionnels et des praticiens (d'où l'importance de l'implication des services de la collectivité territoriale).



Découpage en zones de l'agglomération de Mulhouse

Pour faciliter l'interprétation des résultats nous avons réalisé un macro-zonage comprenant la ville-centre, la petite couronne et la grande couronne comme illustré dans la figure ci-dessous.

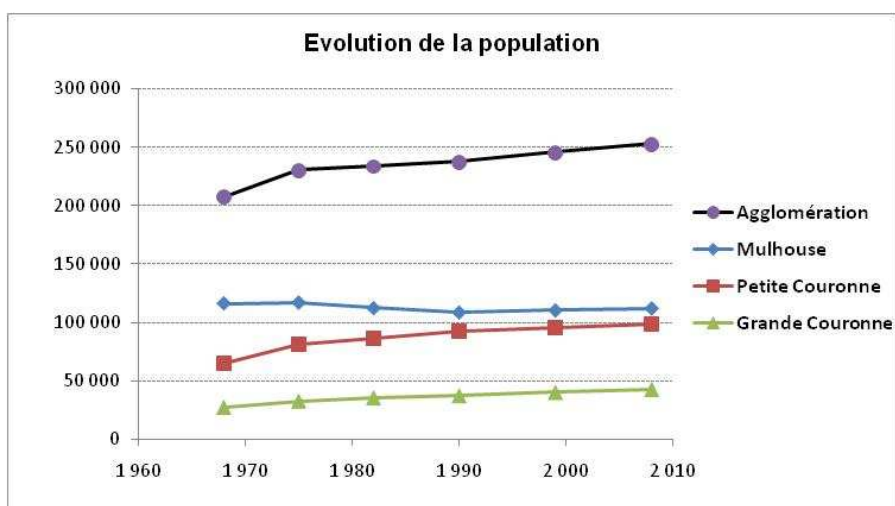


Découpage en macro-zones de l'agglomération de Mulhouse

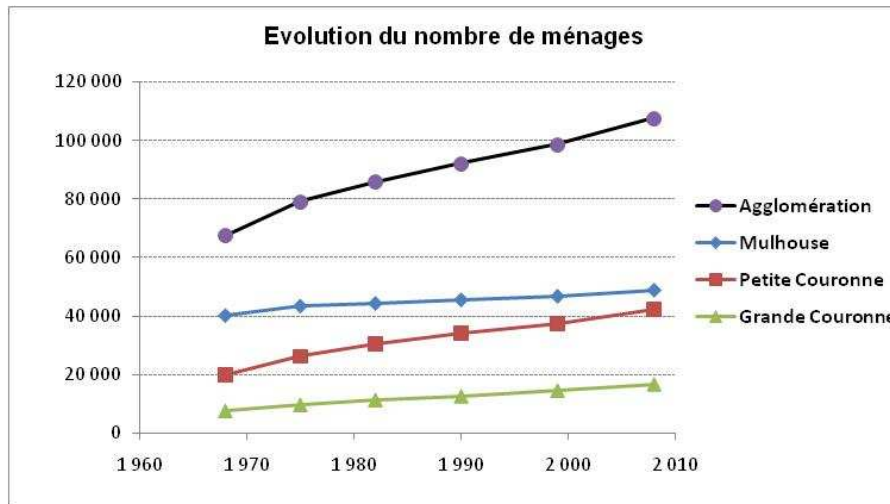
IV.1.2. Données socio-économiques

Les données présentées ci-après sont issues des recensements de populations réalisés successivement en 1968, 1975, 1982, 1990, 199 et 2008.

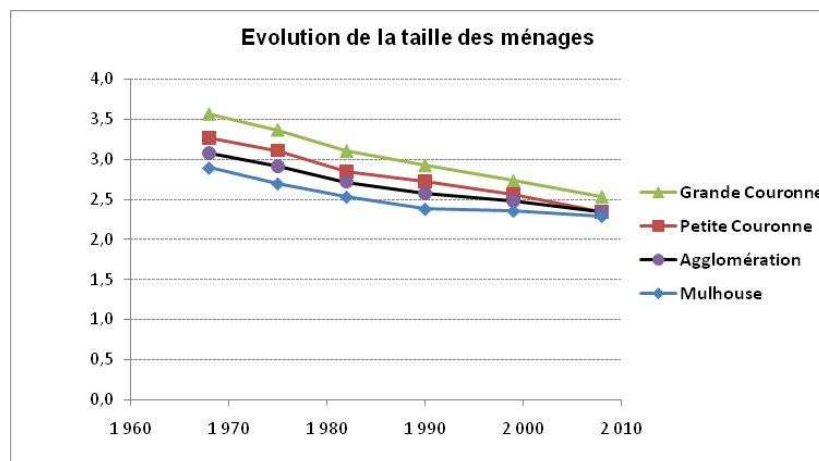
Ce graphique montre que la population augmente sur tout le territoire de l'agglomération à l'exception de la ville de Mulhouse où la population a diminué dans les années 70 et stagnée dans les 3 dernières décennies.



Le graphique ci-dessous montre que le nombre de ménages est en croissance permanente. La croissance la plus marquée est observée au de la petite couronne et celle la moins marquée est dans la ville de Mulhouse.



Le graphique ci-après montre que de manière corrélative la taille des ménages décroît au fil du temps. En 1968, la taille moyenne des ménages de l'agglomération est de 3.1 avec la taille maximale au niveau de la grande couronne (3.6) et la taille minimale est enregistrée sur la commune de Mulhouse (2.9). Par contre, en 2008 la taille moyenne des ménages est de 2.3 avec une homogénéité relative entre le centre et la périphérie.



Dans l'application au cas de Mulhouse, nous avons considéré 16 catégories de ménages s'appuyant sur 4 tailles des ménages (1 personne, 2 personnes, 3 personnes, 4 personnes et plus) et 4 catégories socioprofessionnelles du chef de famille du ménage (CSP+ occupé, CSP+ non-occupé, CSP- occupé, CSP- non-occupé). Il convient de noter que l'ensemble des données socioéconomiques sont issues des recensements de l'INSEE et des données d'enquêtes fournies par Mulhouse Alsace Agglomération (M2A).

IV.1.3. Variables d'entrée

Les variables d'entrée pour l'application du modèle sur territoire mulhousien sont explicitées ci-dessous :

Accessibilité

Nous sommes partis des accessibilités calculées par le modèle d'affectation Visum calibré par PTV* sur l'agglomération mulhousienne à partir des données de 1999. Ces accessibilités ont été actualisées sur les données d'emplois 2008 et ajustées pour tenir compte de la centralité des zones.

Notoriété

La notoriété a été estimée proportionnellement au prix de l'immobilier des zones calculés par *MeilleursAgents.com* sur la base des ventes enregistrées par les Notaires en juin 2011. Il est à noter que les valeurs de la notoriété sont modifiées dans la phase de calibration du modèle sur l'agglomération mulhousienne (voir ci-après).

Surface du logement

On considère pour chaque taille de ménage correspond une surface de logement unique : 25 m² par personne et au-delà de 4 personnes on considère que le ménage occupe 100 m².

Equipement d'automobile

Le coût annuel d'équipement des ménages en automobile est le produit du prix moyen d'utilisation d'un véhicule (amortissement, assurance,...) et du taux de motorisation des ménages différencié selon les zones (données d'enquêtes).

Facture énergétique

La facture énergétique liée au logement (€/m²/an) est issue des consommations observées sur les différentes zones de l'agglomération de Mulhouse.

IV.2. Calibration du modèle PROPEG

La calibration ou le calage du modèle consiste à reconstituer la situation observée pour une année donnée. Les paramètres du modèle seront calibrés dans le but d'avoir une meilleure adéquation entre les résultats obtenus par la simulation et ceux observés selon deux variables (nombre de ménages, prix de l'immobilier) sur les différentes zones de l'agglomération mulhousienne.

La difficulté à laquelle nous nous sommes confrontés dans la phase de calibration est que nous ne connaissons pas le poids respectif de la notoriété (NO) et de l'accessibilité (AC) dans la fonction d'utilité telle que définie précédemment (tous les autres composantes sont des coûts monétaires). La démarche proposée pour surmonter cette difficulté est de corrélérer ces 2 composantes selon 3 ratios et d'effectuer pour chacun un calage pour la situation actuelle (2008).

$$\frac{\alpha_1 AC}{\alpha_1 AC + \alpha_2 NO} = 25\%, 50\% \text{ et } 75\%$$

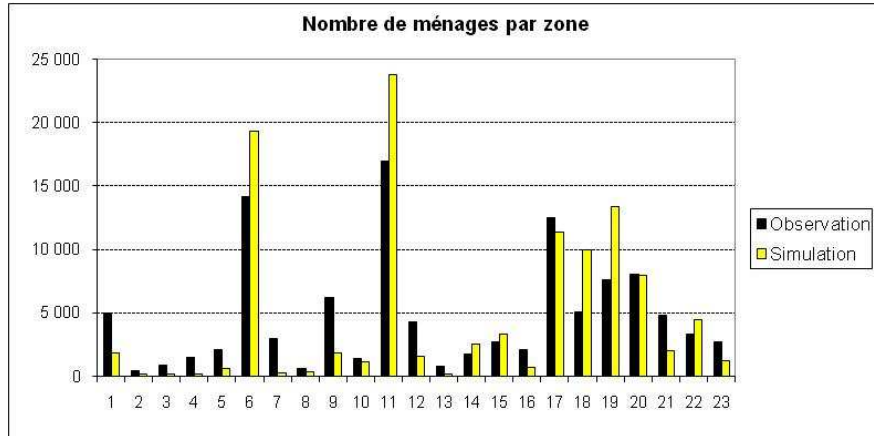
La validation du modèle consiste à vérifier la capacité de ce dernier à reconstituer les observations sur une période passée (1975 ou 1968). Ainsi, le couplet (AC, NO) de pondération de la fonction d'utilité qui donne les meilleurs résultats en retro-prospective sera considéré comme le plus pertinent pour la prospective.

Les résultats de calage du modèle PROSPEG (dans le cas d'égalité des poids de l'accessibilité et de la notoriété dans la fonction d'utilité) sur l'agglomération mulhousienne pour l'année 2008 sont présentés ci-après.

* PTV est éditeur allemand de logiciels et services d'information géographique. Son offre s'adresse aux professionnels du transport et de la logistique, de la mobilité et du géomarketing.

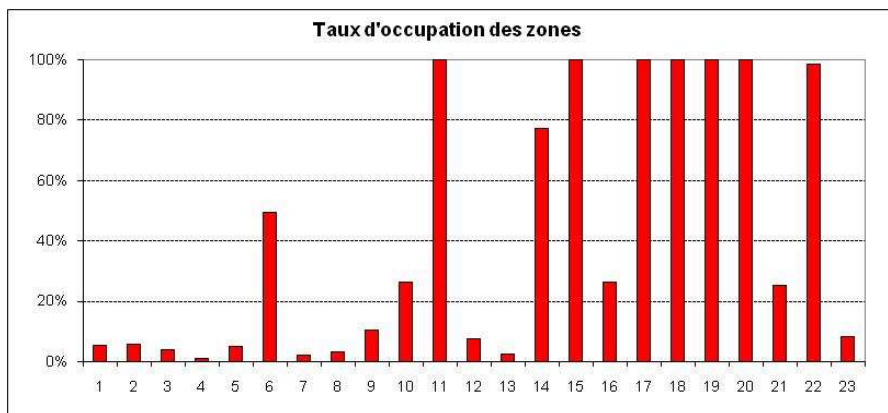
Nombre de ménages

La figure ci-dessous montre pour chacune des 23 zones le nombre de ménages observé et celui obtenu par simulation.



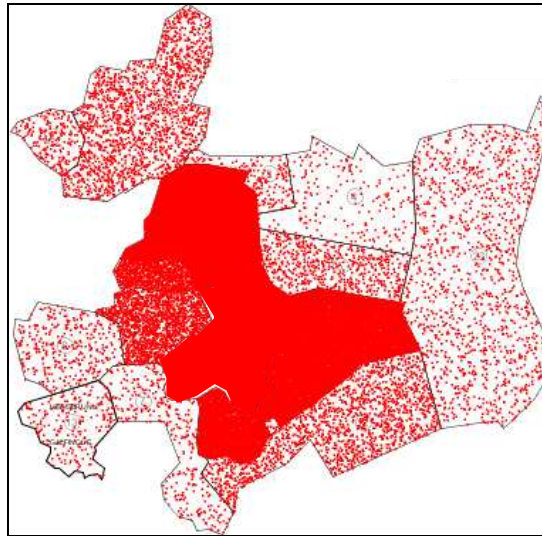
On constate que le modèle surestime l'occupation des zones 6 et 11 situées dans la petite couronne et les zones 18 et 19 situées dans la ville de Mulhouse. A l'inverse il sous-estime le nombre de ménages dans les zones 1, 7, 9 et 12 de la grande couronne.

Le graphique ci-dessous montre le taux saturation des zones qui représente le ratio entre la surface occupée et la surface totale disponible dans chaque zone.



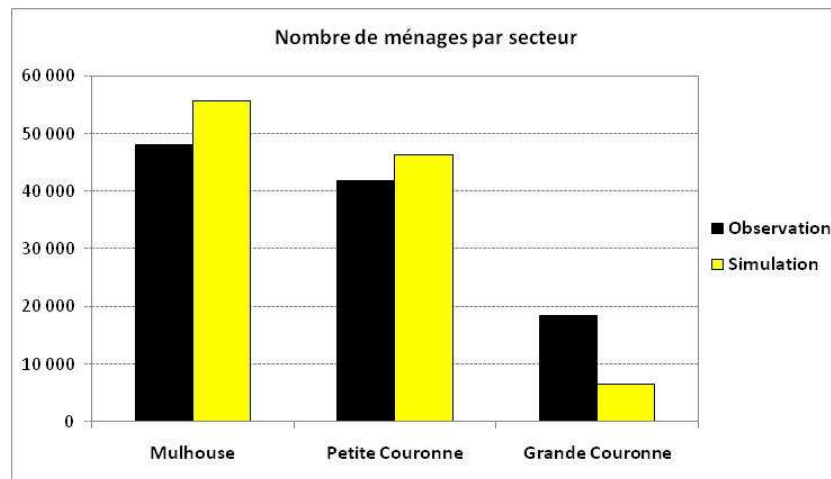
On constate que les zones les plus saturées sont celles de la ville de Mulhouse et la zone 11 située dans la petite couronne au nord de Mulhouse.

La figure ci-dessous, extraite de l'outil AnyLogic, montre l'occupation des zones par les ménages (un point équivaut un ménage).

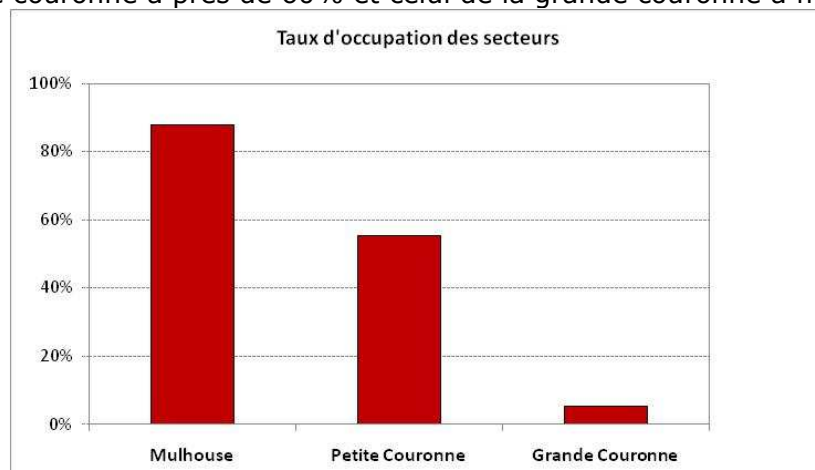


Occupation des zones par les ménages

L'agrégation des résultats par secteur montre que le modèle surestime l'occupation de la ville de Mulhouse et la petite couronne et à l'inverse il sous-estime l'occupation de la grande couronne.

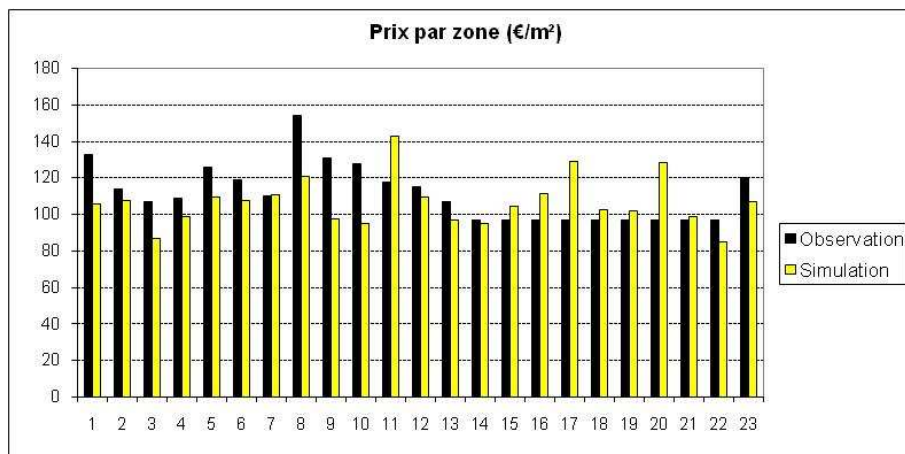


En ce qui concerne le taux d'occupation par secteur, on constate par rapport à la surface de logement disponible que le parc immobilier de la ville-centre est occupé à près de 90%, la petite couronne à près de 60% et celui de la grande couronne à moins de 5%.



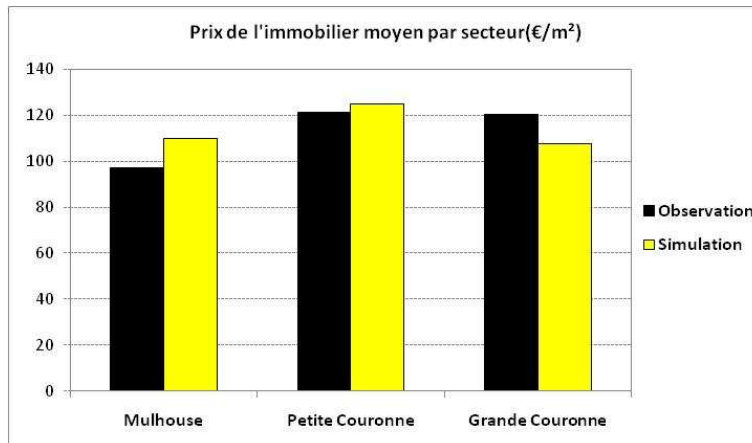
Prix de l'immobilier

La figure ci-dessous montre pour chacune des 23 zones le prix de l'immobilier (en €/m²) observé et celui obtenu par simulation.



On constate que le modèle estime assez bien le prix de l'immobilier comparativement à la localisation des populations.

Le prix moyen (pondéré par le nombre de ménages) par secteur montre une surestimation pour la ville de Mulhouse et une sous-estimation pour la grande couronne.

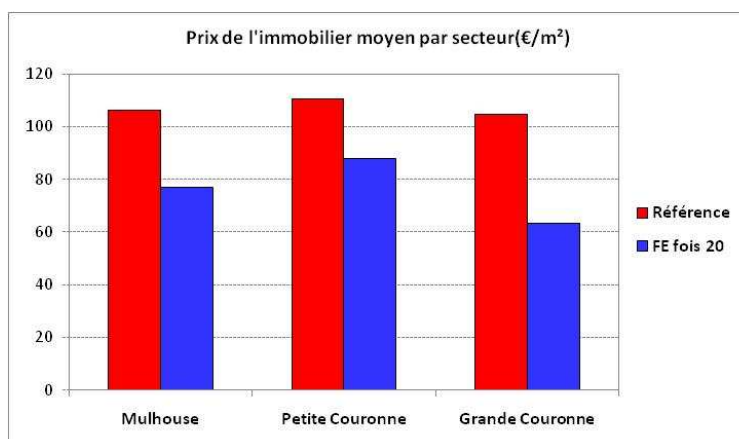
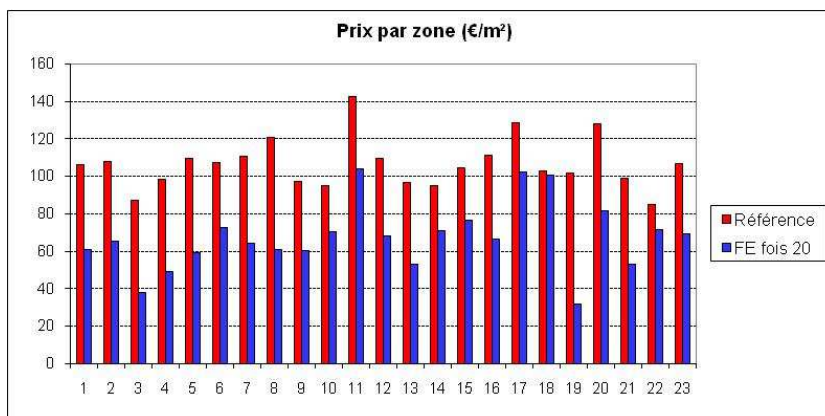


V. Partie exploratoire : analyse de sensibilité à une augmentation du prix de l'énergie

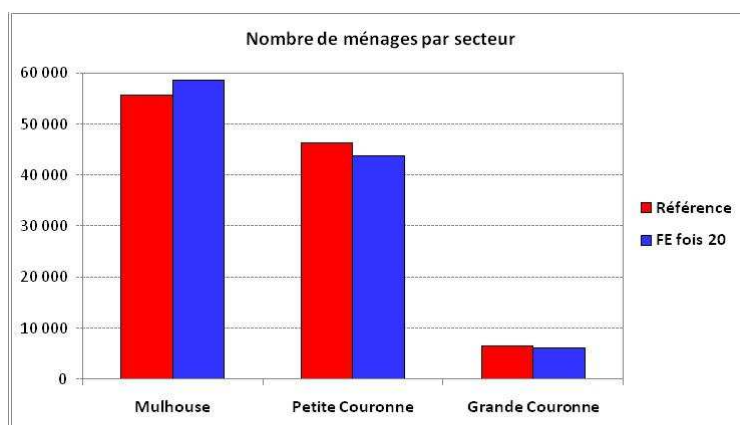
La facture énergétique (FE) telle qu'introduite dans la fonction d'utilité est un élément de choix de localisation résidentielle des ménages au même titre que les autres composantes de leur utilité (ex : prix du logement). Pour évaluer d'une manière sensible l'effet que produira un enchérissement du prix de l'énergie sur la localisation des ménages, nous avons multiplié le prix de l'énergie observé actuellement sur le territoire mulhousien par un facteur de 20. Il convient de noter que le modèle est utilisé en état

actuel sans qu'il soit calibré et que donc exploratoire à ce stade. On désigne par la situation de référence celle où le prix de la facture énergétique est celui observé en situation actuelle.

Les graphiques ci-dessous montrent que le renchérissement du prix de l'énergie se traduit par une baisse du prix d'immobilier d'équilibre sur toutes les zones et par conséquent sur les trois macro-zones. Ce phénomène est conforme à l'intuition et peut s'expliquer par la contrainte budgétaire des ménages.



L'effet de l'augmentation de la facture énergétique sur la localisation des ménages montre à travers le graphique ci-dessous un resserrement des populations de la petite couronne vers le centre de l'agglomération. La faible quantité de ménages qui déménagent de la petite couronne vers la ville-centre est due au fait que la ville de Mulhouse est presque saturée et que le poids de la facture énergétique n'est toujours pas prépondérant dans la fonction d'utilité malgré sa multiplication par le facteur 20.



VI. Conclusion

Le modèle PROSPEG paraît à ce stade comme un outil prometteur dans les prévisions de l'occupation du sol au regard de l'évaluation de l'impact des politiques territoriales sur les plans énergétique et d'émissions de GES. L'approche ménage-centrée et le mécanisme d'enchères modélisé nous ont permis d'introduire des règles comportementales dans les choix de localisation résidentielle des ménages dans une aire urbaine et d'estimer le prix de l'immobilier d'une manière endogène. L'innovation de POSPEG réside dans la prise en compte de la facture énergétique liée au logement dans l'utilité des ménages.

Son application sur le cas mulhousien donne des résultats encore partiels à ce stade mais intéressants quant à la prospective énergétique des territoires urbains. Il faudra cependant finaliser le calage sur la situation actuelle et aller au bout de la calibration du modèle en rétrospective (en reconstituant un passé assez lointain) avant d'utiliser le modèle en prospective, et a fortiori d'envisager son application de manière opérationnelle.

VII. Références

LEMOY, R. ; RAUX, C. ; JENSEN, P., 2010. An agent-based model of residential patterns and social structure in urban areas. **Cybergeo : European Journal of Geography**, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, article 512. URL : <http://cybergeo.revues.org/index23381.html>.

IAU-IdF, 2011, **ULTISIM : Vers un modèle intégré transport-urbanisme européen. Première phase**, URL : [http://www.iau-idf.fr/fileadmin/Etudes/etude_844/ULTISIM Vers un modele integre transport urbanisme europeen 1re phase.pdf](http://www.iau-idf.fr/fileadmin/Etudes/etude_844/ULTISIM_Vers_un_modele_integre_transport_urbanisme_europeen_1re_phase.pdf).

AULAGNIER S. ; COME J-M. ; HEIDER M. ; JEANNIERE E. ; LAIGLE L. ; LATERRASSE J. ; LEFEBVRE-NARE F. ; PETER M. ; POUTREL S. ; ZERGUINI J. , 2012. Aide à la décision pour les plans climat énergie territoriaux : exploration des interactions à l'aide d'une simulation dynamique multi-agents. Article pour le Colloque « **La modélisation des flux au service de l'aménagement urbain** ». Lille, 13-14 juin 2012.

NICOLAS J-P., 2010, SIMBAD : un outil pour intégrer le développement durable dans les politiques publiques, **in ANTONI J-P. (ED.), MODELISER LA VILLE.**

NGUYEN-LUONG D., 2010, SIMAURIF : un modèle dynamique de simulation de l'interAction transport-urbanisation en région Ile-de-France, **in ANTONI J-P. (ED.), Modéliser la ville.**

CAMBIEN A., 2010, La modélisation urbaine : une approche historique, **in ANTONI J-P. (ED.), Modéliser la ville.**

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier chaleureusement Olivier Morellet du LVMT qui a suivi et contrôlé les principaux fondements et concepts économiques du modèle usage du sol. Nous remercions également, Raphael Nahon de Burgeap qui a programmé la première version du modèle usage du sol sous AnyLogic.

Nos remerciements vont à l'ANR également pour le co-financement accordé au projet ASPECT-2050 ainsi qu'aux services techniques de la M2A pour la fourniture des données de modélisation.