

Chapitre 10

Simulation des conflits liés à l'utilisation des terres en Corse à l'aide d'un modèle à base d'agents.

Dominique Prunetti, Claudio Detotto, Corinne Idda, Eric Innocenti et
Yuheng Ling

10.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous modélisons, sous la forme d'un système multi-agents (*SMA*), un territoire touristique confronté à un développement urbain intense en considérant deux marchés : un marché foncier et un marché immobilier. Bien que l'approche proposée cible le contexte géographique de la Corse, celle-ci est suffisamment générique pour être répliquée dans d'autres contextes similaires, notamment quand il s'agit de simuler et d'évaluer des politiques d'aménagement des territoires. L'objectif des simulations effectuées est, à terme, de proposer de nouvelles pratiques de gestion capables de combiner un développement économique et une concurrence foncière dans un environnement fortement contraint. Les simulations informatiques consistent à calculer le comportement d'agents économiques hétérogènes dans le temps et dans l'espace d'un monde numérique.

Ainsi, la principale application empirique de ce chapitre concerne les marchés foncier et immobilier en Corse, qui, de par leur dynamique, génèrent une forte pression sur les prix et des conflits d'usage des sols : dans ce chapitre, sera ainsi considéré un potentiel conflit d'usage entre un marché résidentiel local et des investissements locatifs touristiques. Le contexte d'étude correspondant est présenté plus en détail dans la

DOI : <https://doi.org/10.58110/estate-jx86>

section suivante.

L'une des références les plus importantes permettant d'aborder cette problématique est le modèle urbain monocentrique d'Alonso (1964). Ce modèle développe une théorie de la rente dans laquelle les ménages choisissent des emplacements à une certaine distance du centre urbain (CBD¹) en maximisant l'utilité dérivée de la consommation d'un bien spatial (un terrain ou une maison) et d'un bien composite (représentant tous les autres biens de consommation) sous une contrainte budgétaire qui inclut les coûts de transport vers le CBD. Cependant, le modèle d'Alonso (1964) présente certaines limites, comme le notent Filatova et al. (2009a). Celles-ci proviennent, notamment, de l'utilisation d'une approche par agent représentatif², l'hypothèse d'une rationalité parfaite³, un ajustement instantané à l'équilibre et l'absence d'interactions entre les agents.

En effet, la plupart des modèles conceptuels de gestion spatiale du territoire ne peuvent pas être résolus analytiquement. D'un autre côté, le paradigme agent offre des techniques de simulation informatique exploitables. En particulier, il permet de simuler sous la forme de modèles ABM/LUCC des comportements hétérogènes constitués de nombreux composants en interaction. Dans ce type de modèle conceptuel, le phénomène économique est interprété à travers le prisme d'un système complexe composé d'entités hétérogènes qui interagissent dans un environnement. Le comportement économique des entités sous-jacentes est régi par un processus de prise de décision qui repose sur un raisonnement logique basé sur des informations incomplètes et une rationalité limitée⁴. La méthode de conceptualisation repose pour cela sur les préceptes, concepts et techniques du paradigme agent emprunté à la science de la simulation informatique.

1. *Central Business District*.

2. L'approche par agent représentatif repose sur une simplification selon laquelle, il est suffisant de ne s'intéresser qu'au comportement d'un seul agent pour comprendre le fonctionnement de l'économie dans son ensemble. Il a été démontré (Kirman, 1992) que, loin de constituer une simplification théorique anodine, l'emploi de cette hypothèse conduit en fait à des résultats qui peuvent s'avérer décevants et inexacts. Cela tient notamment aux deux aspects suivants : (i) rien ne justifie que l'agrégation de choix individuels conduise nécessairement à la même solution que le choix d'un individu représentatif ; (ii) il n'y a aucune garantie que la réaction d'un agent représentatif à un changement dans le modèle soit la même que la réaction agrégée des agents qu'il est censé représenter.

3. La rationalité dont il est question ici étant une rationalité particulière, la rationalité substantive selon la terminologie de Simon (1976) qui la définit ainsi : « Le comportement est substantivement rationnel quand il est en mesure d'atteindre les buts donnés à l'intérieur des limites imposées par les conditions et les contraintes données ». Cela implique, notamment, que les agents économiques disposent de capacités cognitives illimitées leur permettant de prendre des décisions qui maximisent sous contraintes leurs décisions économiques.

4. Simon (1950) définit le concept de rationalité limitée selon lequel les individus ne peuvent avoir qu'une connaissance imparfaite des contraintes et des choix possibles. Les individus, face à cette imperfection de l'information, opèrent des choix qui ne sont pas optimaux mais qui cherchent seulement à atteindre un certain niveau d'aspiration ou d'exigence. Plutôt que d'être conforme à la rationalité substantive, leur comportement découle alors d'une rationalité procédurale selon la terminologie introduite par Simon (1976) : « Le comportement est rationnel de manière procédurale quand il est le résultat d'une réflexion appropriée. Sa rationalité procédurale dépend du processus qui l'a généré. »

Il s'agit d'une méthode de modélisation conceptuelle qui a conduit à l'essor de l'*Agent-based Computational Economics*, un nouveau domaine de recherche qui s'est développé en science économique ces dernières années (Tesfatsion, 2017).

Dans le domaine spécifique des marchés foncier et immobilier, des modèles qualifiés d'*ABM/LUCC* se sont développés au début des années 2000 (cf., Parker, 2014). Ces derniers sont basés sur une approche de modélisation hybride et multidimensionnelle offrant une alternative aux méthodes de modélisation analytique habituellement utilisées en économie. Dans un modèle conceptuel de type *ABM/LUCC*, les processus économiques sont décrits sous la forme d'agents économiques qui évoluent dans le temps à partir de conditions initiales clairement définies. Alors que les processus classiques de modélisation économique tendent à décrire la dynamique des phénomènes complexes à l'équilibre, l'approche *ABM/LUCC* décrit des agents économiques et leurs interactions hors équilibre. Dans ce type de modèles, les agents n'ont pas nécessairement une rationalité parfaite. En outre, l'utilisation d'un modèle conceptuel *ABM/LUCC* permet de réaliser des études qualitatives, mais aussi quantitatives, des différents aspects des systèmes économiques.

Les modèles à base d'agents présentent donc de nombreux avantages pour la simulation spatiale des territoires. Notamment, ces modèles permettent de prendre en compte des agents hétérogènes, des interactions entre agents, des interactions avec leur environnement, ainsi que des dynamiques hors-équilibre. Le modèle développé par Filatova et al. (2009a) comprend des interactions entre plusieurs types d'agents, un processus de formation des prix entre acheteurs et vendeurs, et des règles de prise de décision des agents combinant l'optimisation déductive avec des modèles inductifs de formation des anticipations de prix.

En s'appuyant sur ce courant de recherche, nous proposons dans ce chapitre un modèle économique basé sur deux marchés : foncier et immobilier. Le programme de maximisation de l'utilité des ménages est basé sur les travaux de Parker et Filatova (2008), Filatova et al. (2009a) et Filatova et al. (2009b) ainsi que sur celui de Magliocca et al. (2015), en particulier lors de la modélisation des agents développeurs.

Enfin, deux nouveaux types d'agents économiques sont introduits dans notre modèle conceptuel afin de mieux représenter le contexte spécifique des zones touristiques caractérisées par un développement résidentiel intense. D'une part, les agents « propriétaires fonciers » qui sont généralement des agriculteurs dans la plupart des modèles pré-cités sont ici des ménages afin de mieux correspondre à notre cas d'application. D'autre part, un agent « Investisseur » est également inclus. Ce dernier a pour objectif de retirer du profit en achetant des résidences et en les transformant en investissements locatifs touristiques.

Le reste de ce chapitre est organisé comme suit. Dans la section suivante, nous présentons brièvement le contexte de l'étude. Ensuite, dans la section suivante, nous formulons le modèle conceptuel de notre *ABM/LUCC*. Le paramétrage et les résultats de la simulation du modèle, à partir de données relatives aux marchés foncier et immobilier corses, sont présentés dans la quatrième section. Nous concluons ce travail dans une dernière section.

10.2 Contexte d'étude

La principale application empirique de notre travail concerne les marchés foncier et immobilier en Corse, qui, de par leur dynamique, génèrent une forte pression sur les prix et des conflits sur l'utilisation des terres. Avec 39 habitants par kilomètre carré, la Corse est l'une des régions méditerranéennes les moins densément peuplées⁵. Les habitants sont inégalement répartis sur le territoire, la population insulaire étant largement concentrée sur le littoral, et en particulier dans les grandes villes et leur périphérie (Huyssen et Rémi, 2020) comme nous pouvons le voir sur la figure 10.1.

Ajaccio, située dans le sud-ouest de l'île, est la ville la plus peuplée. Elle est suivie par Bastia et quatre autres villes (Borgo, Biguglia, Lucciana et Furiani) situées dans l'unité métropolitaine de Bastia font également partie des dix villes les plus habitées de Corse. A l'extrême sud Porto-Vecchio et au nord-ouest Calvi sont situées dans des zones fortement touristiques. Enfin, nous notons qu'une seule de ces villes n'est pas située sur la zone côtière. Il s'agit de la ville de Corte située au centre de la Corse. Cette ville est donc une exception, qui s'explique principalement par la présence de l'unique université de Corse.

Il existe, entre autres, de nombreuses contraintes géographiques et insulaires, en particulier en raison des différentes règles des lois montagne et littoral rendant de nombreuses zones inconstructibles (Collectivité de Corse, 2015c; Collectivité de Corse, 2015b). Depuis la loi de 2002 et le nouveau statut de la décentralisation, la Collectivité territoriale de Corse élabore un Plan d'Aménagement et de Développement Durable de la Corse (*PADDUC*), (Collectivité de Corse, 2015a). Son objectif est de fournir un cadre pour l'aménagement du territoire de l'île. Les schémas de cohérence territoriale, les schémas de secteur, les plans locaux d'urbanisme et les cartes communales doivent être compatibles avec ce plan. En France, les terres agricoles ne peuvent pas être vendues de la même manière que les autres terres. En effet, la *Société d'Aménagement Foncier et d'Établissement Rural (SAFER)* est prioritaire sur la vente des terres agricoles et dispose d'un droit de préemption sur ces dernières. L'objectif assigné à la *SAFER* est de développer l'agriculture tout en protégeant l'environnement, les paysages et les ressources naturelles, ainsi que de soutenir les collectivités locales dans leurs projets fonciers. Ainsi, les terrains agricoles ne peuvent être vendus de la même manière que les autres terrains. Pour pouvoir acquérir ce type de bien, les acheteurs doivent avoir un projet à vocation agricole ou envisager d'autres solutions d'acquisition (donation, location avec vente ultérieure, achat en viager...). C'est pour cette raison que nous n'inclurons pas le marché foncier agricole dans notre modèle.

Dans les territoires insulaires tels que la Corse, les problèmes de logement sont particulièrement accentués. De plus, une économie touristique s'est développée en Corse depuis les années 1970 : plus de 3,5 millions de touristes visitent annuellement la Corse (pour 339 178 de résidents permanents) selon les statistiques de l'Agence du Tourisme de la Corse (ATC, 2018) au cours d'une saison relativement courte et intense (72% de

5. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1405599?geo=REG-94>.

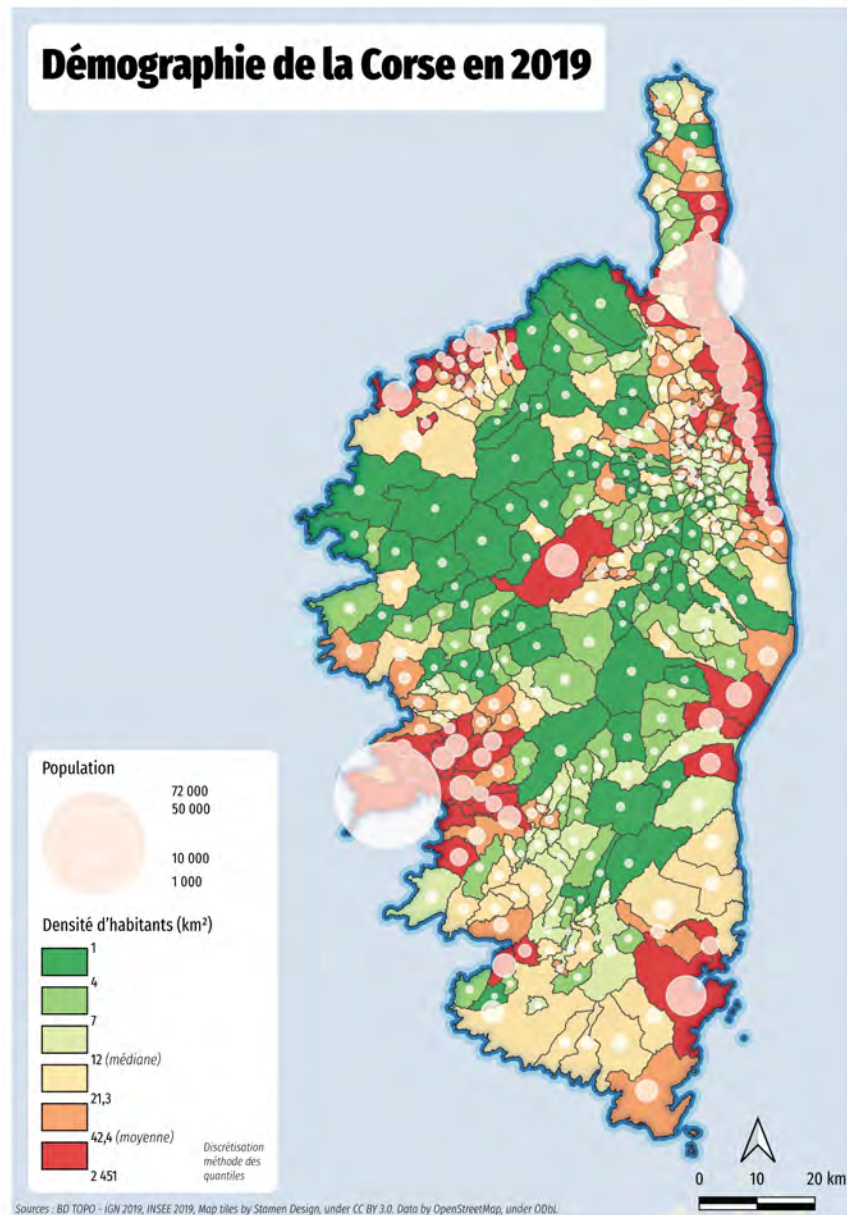


FIGURE 10.1 – Démographie de la Corse en 2019 (UMR CNRS 6240 LISA – Cellule SIG)

ces touristes visitent la Corse entre mai et septembre). Ce développement touristique se caractérise par la construction d'infrastructures destinées au tourisme de masse (hôtels, bars, restaurants, etc.), ainsi que par la construction de résidences secondaires, qui ne cessent de croître. Selon l'Institut National de la Statistique et des Études Économiques (INSEE), en 2015, on comptait 91 622 résidences secondaires en Corse (Touzani, 2018), ce qui représentait plus de 37% du parc immobilier régional⁶ et ce taux est près de

6. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1405599?geo=REG-94>.

quatre fois supérieur au niveau national comme l'illustre la figure 10.2.

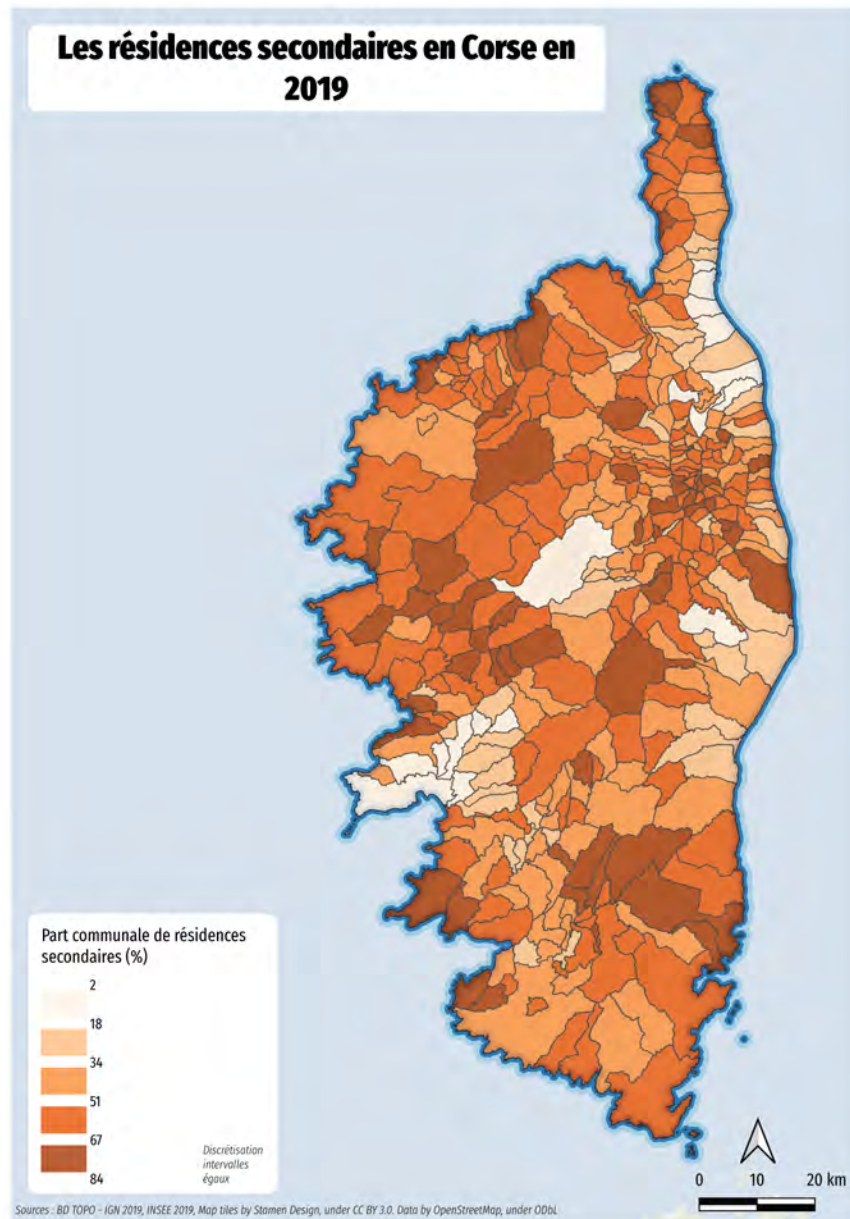


FIGURE 10.2 – *Pourcentage de résidences secondaires en 2019 (UMR CNRS 6240 LISA – Cellule SIG)*

Depuis 2012, on observe également une forte croissance démographique : 1% de croissance annuelle de la population en Corse entre 2011 et 2016 (0,4% pour la France entière), ce qui représente le taux le plus élevé de France selon Bretel (2018). Cette croissance démographique est exclusivement due au solde migratoire, alors que le solde naturel est négatif. Majoritairement, les individus de cette population sont constitués

d'actifs (entre 25 et 40 ans) qui réalisent des migrations infrarégionales pour occuper un emploi en Corse et qui se concentrent dans les zones urbaines. La géographie limitant les possibilités de construction à moyen terme, cela conduit inexorablement le territoire corse vers des changements dans l'utilisation de son espace insulaire, ainsi que vers une reconfiguration spatiale.

Cette situation rend difficile l'accès au logement pour une partie de la population, notamment dans les deux grandes villes et dans les zones touristiques, et constitue une préoccupation récurrente en Corse. En effet, les prix, tant des terrains, des appartements que des maisons, ne cessent de croître sur le marché, accentuant la pression foncière et entraînant une difficulté pour les ménages à se loger à des prix abordables. Les figures 10.3, 10.4 et 10.5 (réalisées à partir de la base de données PERVAL) illustrent les prix de vente au m² en Corse sur les marchés correspondant.

10.3 Modèle conceptuel

10.3.1 Organisation des marchés

Le système complexe étudié dans ce travail est un territoire géographiquement contraint par la mer et soumis à un phénomène dynamique basé sur deux marchés économiques : un *marché foncier* et un *marché immobilier*. Le *marché foncier* génère des interactions dynamiques entre des agents *Ménages (Hse-)* qui sont propriétaires fonciers vendeurs sur ce marché et les agents acheteurs *Développeurs (Dev-)*. Le *marché immobilier* génère des interactions dynamiques entre des *Ménages* à la recherche d'un logement, agents acheteurs sur ce marché, et un *Investisseur (Inv-)* agent acheteur, unique représentant de sa classe d'agent, qui sont en concurrence pour l'achat de biens immobiliers (maisons) construits par les *Dev*-agents devenus vendeurs sur ce dernier marché. Par souci de clarté, nous présenterons le paramétrage de notre modèle dans une section ultérieure. Le système économique complexe à deux marchés étudié dans ce travail est illustrée sur la figure 10.6.

Les agents Propriétés

Dans l'*ABM* correspondant, un agent *Propriété (Pr-)* est attaché à chacun des terrains i du monde virtuel et supporte les processus de négociation et de transaction des marchés. Ces agents sont achetés sur le marché foncier et sont vendus avec une maison sur le marché immobilier. Les agents *Pr-* évoluent au cours de la simulation informatique depuis l'état de terrains jusqu'à l'état de construction qui correspond au dernier état de propriété atteint sur le marché immobilier. Ainsi, les agents *Pr-* sont des éléments fixes de l'environnement et n'ont pas de règles de comportement. Leur rôle se limite au stockage des données nécessaires aux processus de décision sur les marchés. Pour cela, chaque *Pr*-agent possède un vecteur d'attributs $z_i = (LA_i, dCBD_i, db_i, SVI_i, \dots)$ comprenant des variables descriptives telles que la superficie du terrain et d'autres aménités/désaménités, à savoir la vue sur mer, les distances au CBD, à la plage. Ces

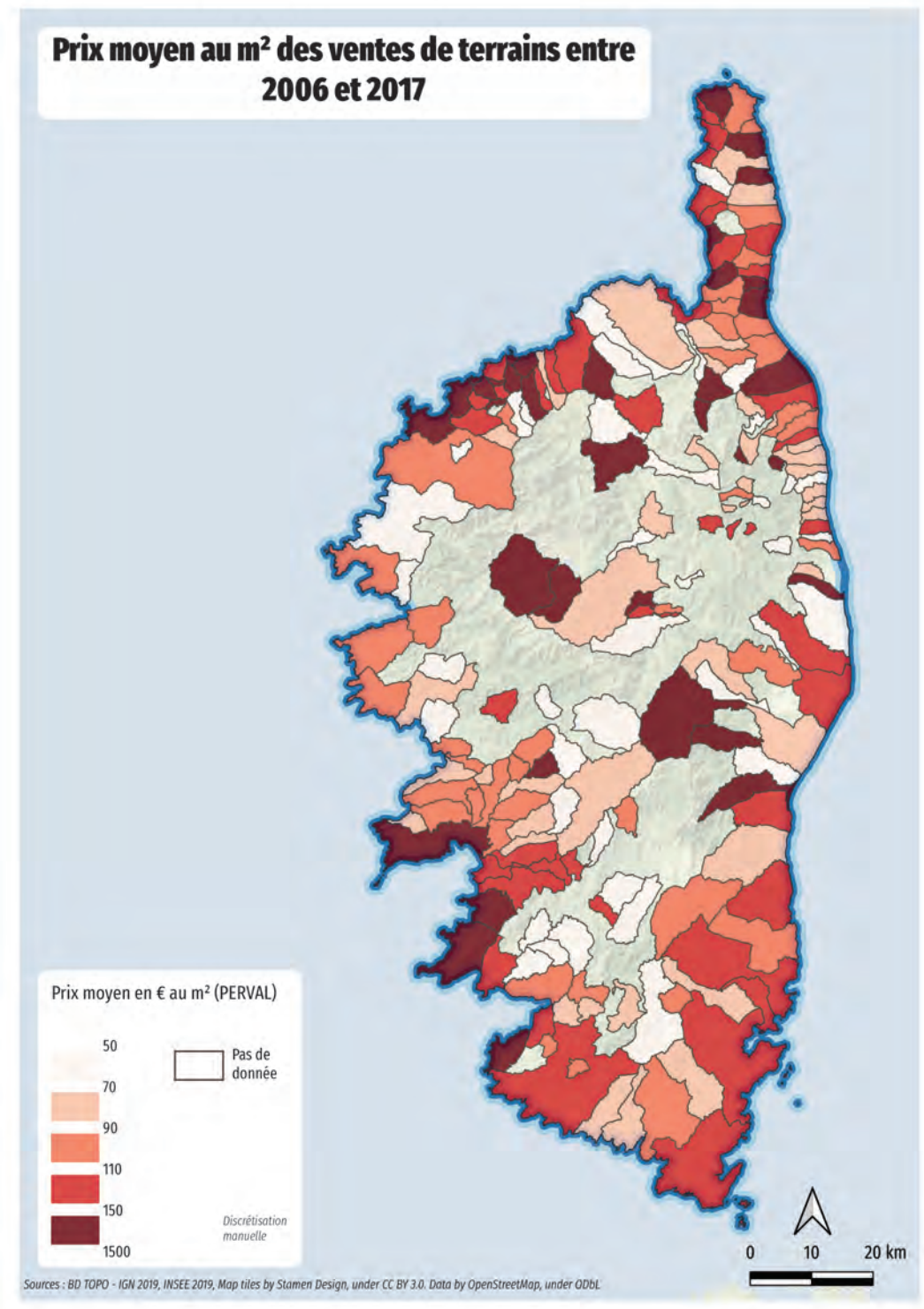


FIGURE 10.3 – Prix de vente moyen au m² des terrains entre 2006 et 2017

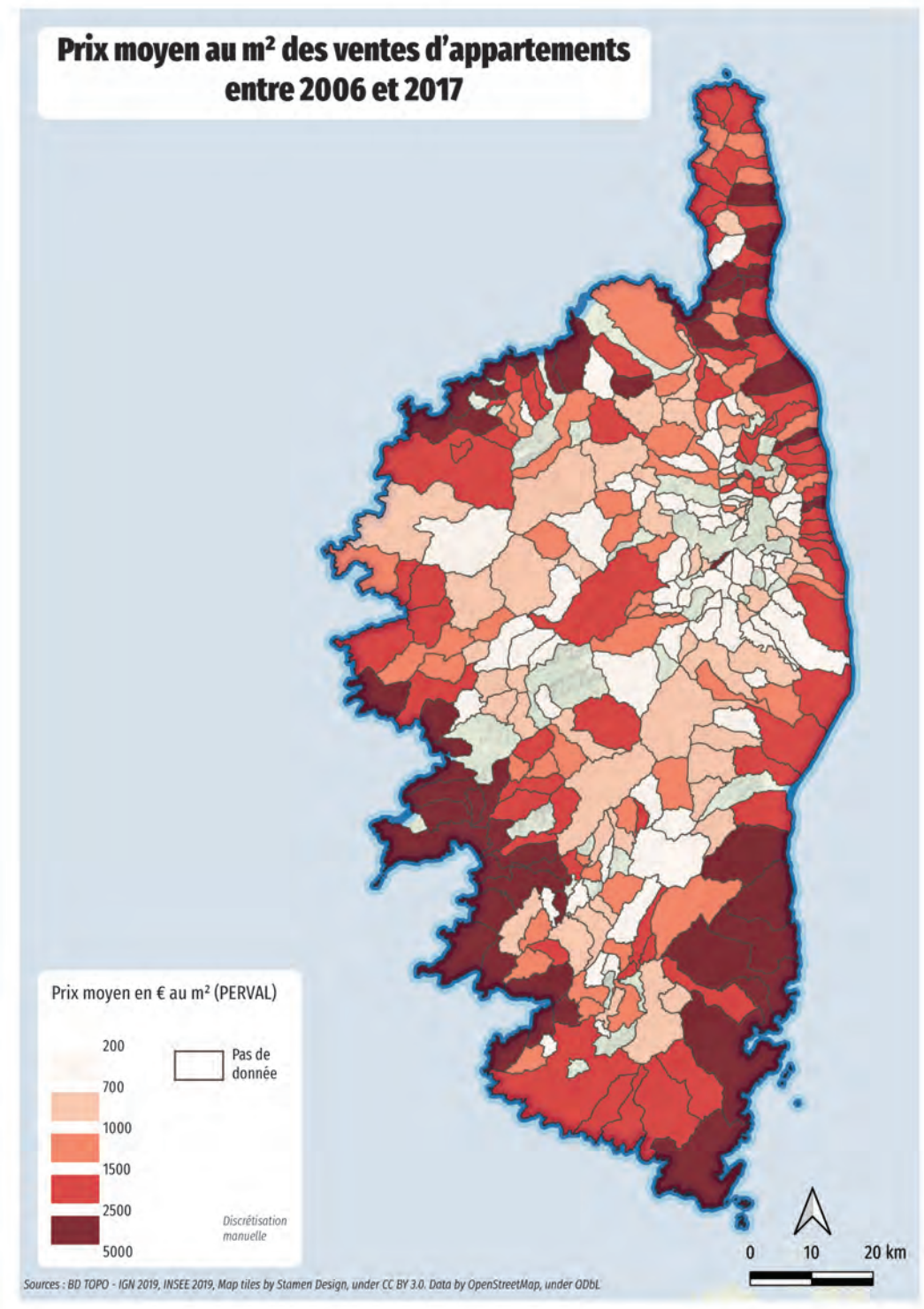


FIGURE 10.4 – *Prix de vente moyen des appartements entre 2006 et 2017*

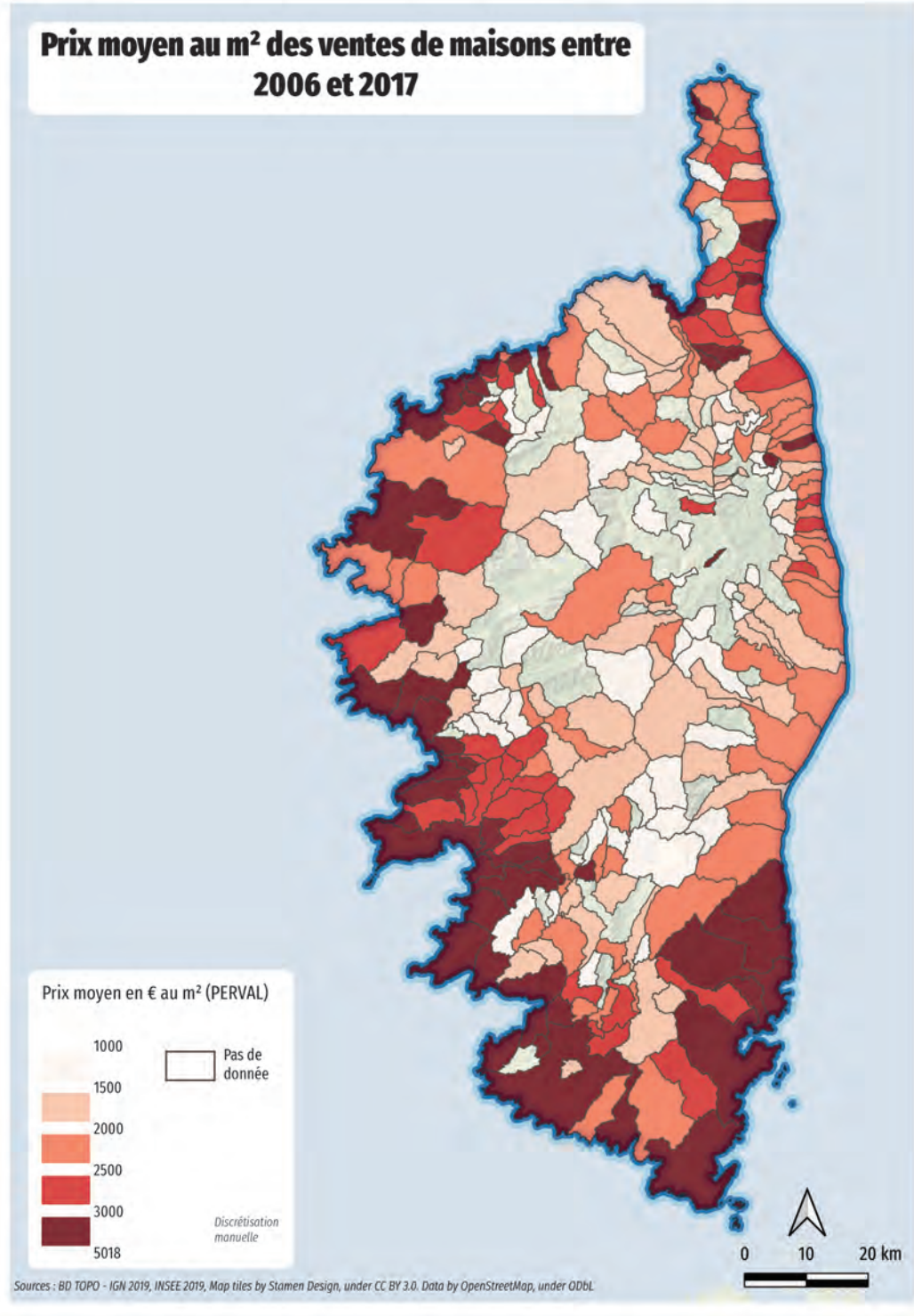


FIGURE 10.5 – *Prix de vente moyen des maisons entre 2006 et 2017*

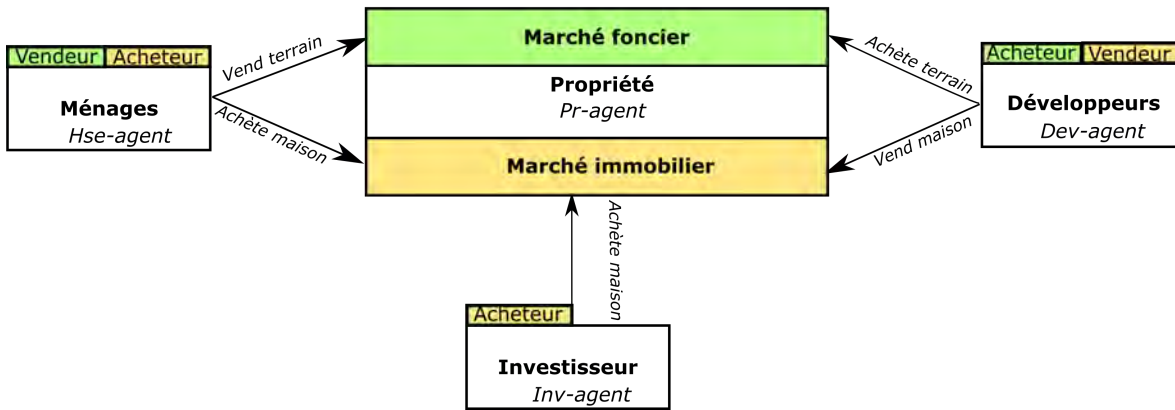


FIGURE 10.6 – Organisation des marchés et agents

agents (*Pr*-agents) sont conçus pour faciliter la formulation des algorithmes du modèle informatique de programmation et ne représentent pas des acteurs du marché.

10.3.2 Le marché foncier

Les agents ménages propriétaires fonciers

Une partie des *Hse*-agents possèdent des parcelles qui sont vendues sur le *marché foncier*. Le processus de prise de décision de ces agents repose sur un *consentement à recevoir* (*WTA*) qui prend en compte les prix de vente moyens (passés) de terrains similaires disposant de caractéristiques $P_{t-1}(z_i)$ identiques. Ces *Hse*-agents prennent également en compte l'évolution du prix des terrains vendus à mesure que des ventes se réalisent sur le marché foncier.

A l'initialisation ($t = 0$), le *WTA* des *Hse*-agents propriétaires fonciers s'écrit :

$$WTA_{Hse}(z_i) = P_{t-1}(z_i) \quad (10.1)$$

Dans cette équation, $P_{t-1}(z_i)$ est le prix de vente moyen passé d'un terrain similaire présentant les mêmes caractéristiques (estimé à l'aide de la régression spatiale portant sur les prix passés moyens de vente des terrains en Corse sur la période 2006-2017 présentée par ailleurs).

Durant le processus de simulation, et dès qu'il y a un nombre de vente de terrains supérieur au nombre d'éléments du vecteur z_i , cette anticipation est corrigée par les agents à partir d'une régression sur le prix de vente des terrains⁷.

Suite à des entretiens avec des professionnels du secteur immobilier (trois agents immobiliers et un promoteur), il a été nécessaire de considérer que sur les différents

7. Calculée à partir de la commande « regress-on » de l'extension « stat » de NetLogo.

segments du marché immobilier corse, une règle implicite consistait pour les vendeurs et les acheteurs à tenter de préserver une marge de manœuvre dans les négociations menant à une transaction. Cette marge de manœuvre consistait pour les vendeurs à essayer d'obtenir un prix de transaction supérieur à leur prix de réserve et pour les acheteurs à essayer d'obtenir un prix de transaction inférieur à leur consentement maximal à payer. Cette marge de manœuvre a été estimée par nos interlocuteurs à environ 7% du prix de vente.

Considérant la marge de manœuvre, le prix demandé est basé sur le WTA de l'agent. Il est donné par l'équation suivante :

$$Askprice_{Hse} = (1 + \psi_{Hse})WTA_{Hse} \quad (10.2)$$

Avec ψ_{Hse} la valeur de la marge de manœuvre permettant d'obtenir un prix de transaction supérieur au WTA .

Les agents développeurs

Le processus de décision de ces agents repose sur un *consentement à payer* (WTP). Pour déterminer leur WTP pour un terrain donné i , les *Dev*-agents font des anticipations sur le prix auquel ils pourront vendre la maison construite sur ce terrain en cherchant à obtenir un taux de marge sur le coût total de cette maison.

Sur le marché foncier, les *Dev*-agents achètent les terrains i (cf. *Pr*-agents) vendus par les *Hse*-agents pour construire une maison d'un type m , avec $m = \{1, \dots, M\}$ (chalet, villa, etc.). Chaque développeur construit un type unique de maisons m , ces dernières étant alors hétérogènes. Pour des raisons de simplification du modèle conceptuel et de disponibilité des données, nous avons fait le choix de ne pas considérer la possibilité qu'une partie de la marge réalisée par les développeurs soit captée par un investisseur qui achète les parcelles de terrain et les revend ensuite aux développeurs.

A l'initialisation, le processus décisionnel du *Dev*-agent est construit sur son WTP comme suit :

$$WTP_m(z_i) = \frac{P_{H,i,t-1}(z_i, LivA_m) - C_{LivA}(z_i) LivA_m}{1 + \pi_m} \quad (10.3)$$

Dans cette équation, $P_{H,i,t-1}(z_i, LivA_m)$ est le prix moyen (passé) payé pour une maison équivalente⁸ ; $LivA_m$ est la surface habitable d'une maison de type m ; π_m est le taux de marge estimé du développeur ; $C_{LivA}(z_i)$ est le coût de construction d'une maison.

Au cours de la simulation, et dès qu'il y a eu un nombre de vente de maisons supérieur au nombre d'éléments de $z_i + 1$, l'anticipation de prix $P_{H,i,t-1}(z_i, LivA_m)$ est corrigée par les agents à partir d'une régression sur le prix de vente des maisons⁹.

8. Il est estimé à l'aide de la régression spatiale portant sur les prix passés moyens de vente des maisons en Corse sur la période 2006-2017 présentée ci-après (Cf. 10.4.1).

9. Calculée à partir de la commande « regress-on » de l'extension « stat » de NetLogo.

Nous supposons que les *Dev*-agents ont une capacité de construction limitée, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent pas construire plus de n maisons pendant une période de temps t . Ainsi, un *Dev*-agent m ne peut pas enchérir au-delà de $n_m = n - \sigma_m$ terrains, où σ_m est le nombre de chantiers en cours de l'agent.

Le prix d'offre $Bidprice_m$ d'un *Dev*-agent est donné par :

$$Bidprice_m = (1 - \psi_m)WTP_m(z_i) \quad (10.4)$$

Où ψ_m est la valeur de la marge de manœuvre permettant d'obtenir un prix de transaction inférieur au WTP .

Les processus de transaction et de négociation

Les *Hse*-agents (propriétaires fonciers) et les *Dev*-agents sont actifs sur le marché foncier. Lorsque tous les agents ont déterminé leur $Bidprice$ et leur $Askprice$, un mécanisme d'appariement et d'échange démarre. Afin de configurer ce mécanisme, nous avons mené des entretiens auprès d'agents et d'experts immobiliers. Les *Dev*-agents font une offre pour tous les terrains en fonction de leurs contraintes de capacité de construction et les *Hse*-agents propriétaires fonciers évaluent toutes les offres les concernant. Ensuite, le processus de décision débute pour chaque terrain i :

- **(a) Processus de Transaction Direct (*DTP*)** : Les vendeurs (*Hse*-agents propriétaires fonciers) examinent toutes les offres et déterminent, le cas échéant, le meilleur $Bidprice_{Max}$. Si ce $Bidprice_{Max}$ des *Dev*-agents est supérieur au $AskPrice_{Hse}$ du vendeur, la vente a lieu sans négociation de prix. Le prix de la transaction est alors égal au $AskPrice_{Hse}$ du vendeur, soit : $\bar{P}(z_i) = AskPrice_{Hse}$.
- **(b) Transaction avec Processus de Négociation (*TNP*)** : S'il n'existe aucune offre pour laquelle le $Bidprice_{Max}$ est supérieur au $AskPrice_{Hse}$, il n'y a pas de vente directe. Toutefois si, pour un terrain, le WTP_m des *Dev*-agents est supérieur au WTA_{Hse} du *Hse*-agent propriétaire foncier, un mécanisme de négociation est activé. Le propriétaire foncier détermine le WTP_{Max} des *Dev*-agents et l'appariement se fait entre les deux. Le prix de la transaction est ensuite négocié et s'établit entre le WTP_{Max} et le WTA_{Hse} , la part de la différence revenant à chaque côté de l'échange étant fonction de l'état du marché : plus il y a de demandes potentielles pour un bien, plus le prix de transaction sera élevé et plus le pouvoir de négociation du vendeur sera important et vice versa. Le prix de la transaction est finalement donné par : $\bar{P}(z_i) = WTA_{Hse}(z_i) + \frac{ND_i}{\chi} [WTP_{Max} - WTA_{Hse}(z_i)]$. ND_i est le nombre de demandes potentielles et χ est le nombre de *Dev*-agents, pour lesquels $n_{m'} \geq 0$, avec $m' = \{1, \dots, \chi\}$ tant que $ND_i \leq \chi$.
- **(c) Pas de transaction** : enfin, si le WTA_{Hse} du ménage propriétaire foncier pour un terrain i donné est supérieur au WTP_m des *Dev*-agents ou si tous les développeurs ont atteint leur limite de capacité de construction pour la période ($\chi = 0$), aucune transaction ne se produit.

Dans le processus LM , les Dev -agents ne participent en tant qu'acheteurs que s'ils n'ont pas atteint leur capacité de construction n_m . Les Hse -agents qui ont vendu leur terrain quittent le marché foncier s'ils ne possèdent plus de parcelle de terrain (mais demeurent sur le marché immobilier s'ils sont à la recherche d'un logement). En revanche, les Dev -agents restent sur le marché même s'ils réussissent à acheter un terrain. Ils continuent à acheter des terrains (dans les limites de leur capacité de construction) et commencent à construire des maisons qu'ils vendent ensuite sur le marché immobilier sous condition qu'ils ne soient pas en faillite.

10.3.3 Le marché immobilier

Dans notre modèle, nous ne considérons que le marché des logements neufs et (pour des raisons de disponibilité des données) nous ne prenons pas en compte le secteur de la location.

Les agents développeurs

Sur le marché immobilier, les Dev -agents vendent les maisons (c'est-à-dire les Pr -agents) précédemment construites sur le marché foncier en se basant sur le WTA suivant :

$$WTA_{i,m}(z_i, LivA_m) = (1 + \pi_m) (\bar{P}_i(z_i) + C_{LivA} LivA_m) \quad (10.5)$$

Dans cette équation, $LivA_m$ est la surface de la maison de type m ; π_m est le taux de marge du développeur; $\bar{P}_i(z_i)$ est le prix payé pour le terrain i ; C_{LivA} est le coût de construction de la maison.

Sur la base du WTA donné par (10.5), le prix demandé par un Dev -agent est :

$$Askprice_{i,m} = (1 + \psi_m) WTA_{i,m} \quad (10.6)$$

Avec ψ_m la marge de manœuvre permettant d'obtenir un prix de transaction supérieur au WTA .

L'agent investisseur

Nous considérons un investisseur représentatif unique¹⁰, Inv -agent, dans notre modèle. Nous supposons que l' Inv -agent dispose d'un budget limité noté Ω , qui représente l'investissement global sur le marché HM pendant une période donnée. Il peut choisir entre deux types d'investissement : un investissement sur le marché financier ou un investissement immobilier. Dans ce dernier cas, il achète des maisons et les loue comme résidences touristiques. Ses décisions sont fondées sur les coûts d'opportunité respectifs que représente chaque investissement par rapport à l'autre option disponible. Il s'agit

10. Ce choix a été fait car la prise de décision de cet agent s'appuie sur un critère objectif, à savoir le taux d'intérêt du marché financier, cf. ci-après.

d'un critère objectif selon lequel le rendement attendu de l'achat d'une maison à un prix $P_I(\eta)$ (où η désigne le vecteur des caractéristiques pertinentes de la maison et du terrain correspondant) doit être égal ou supérieur au rendement d'un investissement du même montant sur le marché financier. Les rendements nets actualisés attendus si il investit dans une résidence de tourisme en location sont donnés par l'expression suivante :

$$R_{tour}(\eta) = \sum_{t=1}^T (1+r)^{-t} \gamma \zeta \varphi(\eta) - P_I(\eta) + \rho(1+r)^{-T} P_I(\eta)$$

Où $r \in [0, 1]$ est le taux d'intérêt du marché financier ; $\gamma \in [0, 1]$ est le coefficient de rendement locatif net (net des coûts d'entretien) ; ζ est le nombre de jours que dure la saison touristique ; $\varphi(\eta)$ est le revenu journalier moyen d'une résidence touristique ayant les mêmes caractéristiques ; l'horizon temporel T correspond à la durée moyenne d'un prêt ; $\rho(1+r)^{-T} P_I(\eta)$ est la valeur résiduelle de la maison après T années et $\rho \in [0, 1]$.

Investir le même montant $P_I(\eta)$ sur le marché financier apporte un flux de revenu en valeur courante à chaque période correspondant à l'intérêt avec réinvestissement du capital : $(1+r)^t P_I(\eta) - P_I(\eta)$.

En valeur actualisée, ce flux de revenu est : $P_I(\eta) - \frac{P_I(\eta)}{(1+r)^{-t}}$.

Enfin, la valeur actuelle nette d'un investissement d'un montant identique sur le marché financier est donnée par :

$$R_{fi}(\eta) = -P_I(\eta) + \sum_{t=1}^T \left[P_I(\eta) - \frac{P_I(\eta)}{(1+r)^{-t}} \right] = (T-1) P_I(\eta) - \frac{1-(1+r)^{-T}}{r} P_I(\eta)$$

L'investisseur choisira donc d'investir dans une résidence de tourisme plutôt que de placer le même montant sur le marché financier si :

$$R_{tour}(\eta) \geq R_{fin}(\eta) \Leftrightarrow \frac{\gamma \zeta \varphi(\eta) [1-(1+r)^{-T}]}{r(1-\rho)(1+r)^{-T} + rT - 1 + (1+r)^{-T}} \geq P_I(\eta)$$

Le WTP de l'*Inv*-agent est finalement donné par le prix de l'habitation permettant l'égalité entre le rendement d'un investissement dans une résidence de tourisme et le rendement d'un investissement de même montant sur le marché financier :

$$WTP_I(\eta) = \frac{1 - (1+r)^{-T}}{r(1-\rho)(1+r)^{-T} + rT - 1 + (1+r)^{-T}} \gamma \zeta \varphi(\eta) \quad (10.7)$$

Selon (10.7), le $Bidprice_I$ d'un *Inv*-agent est donné par :

$$Bidprice_I = (1 - \psi_I) WTP_I(\eta) \quad (10.8)$$

avec ψ_I la valeur de la marge de manœuvre permettant d'obtenir un prix de transaction inférieur au WTP .

L'*Inv*-agent achète des maisons dans la limite de son budget Ω qui est renouvelé à chaque période.

Les agents ménages

Les agents ménages, notés *Hse-agent*, qui sont à la recherche d'un logement disposent d'un budget qui leur permet à la fois d'acheter le bien immobilier et de consommer un bien composite.

La contrainte budgétaire du *Hse-agent* c est donnée par l'équation suivante :

$$Y_c - Tr(D) + \frac{W}{T} = x + P(\eta) \quad (10.9)$$

où Y_c est le revenu du ménage c ; $Tr(D)$ représente le coût périodique du trajet domicile-travail pour une maison située à une distance D du CBD; W représente le patrimoine du ménage hors revenus salariaux de l'agent dans le cas où il a vendu une ou plusieurs parcelle de terre sur le marché foncier¹¹, dans ce cas nous supposons que le ménage consacre une part fixe du produit de(s) la vente(s) réalisée(s) en τ sur l'intervalle $\tau = \{\tau, \dots, \tau + T - 1\}$ pour se loger et consommer le bien composite, ainsi si le prix de vente de la parcelle de terre est de $P(z_i)$ le montant $\frac{P(z_i)}{T}$ vient s'ajouter à ces revenus salariaux pour chacune des périodes sur cet intervalle; x est la somme d'argent dépensée pour le bien composite; $P(\eta)$ est le prix anticipé de la maison et du terrain correspondant avec les caractéristiques η , $\eta = \{\eta_1, \dots, \eta_n\}$.

Nous supposons (sur la base du modèle hédonique présenté ci-dessous) que les anticipations de prix d'une maison ayant les caractéristiques η , sur le segment de marché des maisons correspondant à la classe sociale du ménage considéré, sont données par : $P(\eta) = e^{\eta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j \eta_j}$. Nous supposons également que chaque *Hse-agent* n'achète qu'une seule maison. En cours de simulation, et dès qu'il y a eu un nombre de vente de maisons achetées par les ménages de la même classe sociale que le ménage considéré supérieur à n , cette anticipation est corrigée par les agents à partir d'une régression sur le prix de vente des maisons correspondant à la classe sociale du ménage considéré calculée à partir de la commande « regress-on » de l'extension « stat »¹² de NetLogo.

Le *Hse-agent* maximise la fonction d'utilité quasi-linéaire suivante sous sa contrainte budgétaire : $U_c(\eta, x) = V_c(\eta) + x = \sum_{j=1}^n \alpha_j \eta_j + x$; α_j reflétant la préférence du *Hse-agent* pour les caractéristiques j ; $\sum_{j=1}^n \alpha_j = 1$.

En substituant l'expression de x obtenue à partir de la contrainte budgétaire dans la fonction d'utilité quasi-linéaire, nous obtenons l'expression alternative de la fonction d'utilité :

$$W_c(\eta) = \sum_{j=1}^n \alpha_j \eta_j + Y_c + \frac{W}{T} - T(D) - e^{\eta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j \eta_j}. \quad (10.10)$$

La maximisation de cette fonction d'utilité donne après réarrangement : $\alpha_j = \frac{\beta_j}{\sum_{i=1}^n \beta_i}$.

11. Si ce n'est pas le cas, $W = 0$. Dans le cas où $W > 0$ et que le ménage est à la recherche d'un logement, nous faisons l'hypothèse que W est exclusivement consacré à l'achat du logement : s'il ne parvient pas à acheter un logement à une période donnée, il place cette somme sur le marché financier et son patrimoine hors revenus salariaux s'élève à $W(1+r)$ à la période suivante.

12. <https://github.com/cstaelin/Stats-Extension>.

Ensuite, après maximisation, $V_c(\eta)$ peut être réécrit de la manière suivante :

$$V_c(\eta) = \sum_{j=1}^n \frac{\beta_j}{\sum_{i=1}^n \beta_i} \eta_j.$$

Le *Hse-agent* considère toutes les maisons disponibles sur le marché et calcule la valeur correspondante de $V_c(\eta)$. Soit V_c^{Max} la valeur maximale obtenue. Le *Hse-agent* n'enchérit que sur la maison correspondant à cette valeur maximale.

A la suite de Filatova et al. (2009a), nous supposons que la fonction d'offre correspondante (*WTP* périodique) du *Hse-agent* est donnée par : $\theta_c(\eta) = \frac{YD_c(V_c^{Max})^2}{b^2 + (V_c^{Max})^2}$; où YD_c est le montant que le ménage consacre à chaque période à son habitation et b est la pente de la fonction d'offre.

Dans le cadre de ce travail, $YD_c = \omega Y_c + \frac{W}{T} - T(D)$; ω étant le taux correspondant à la capacité d'emprunt du ménage au regard de son revenu salarial.

Finalement, le *WTP* total du *Hse-agent* pour la maison correspondant à V_c^{Max} est donné par :

$$WTP_c(\eta) = \sum_{t=1}^T (1 + \delta_c)^t \theta_c(\eta) = \frac{(1 + \delta_c) \left[(1 + \delta_c)^T - 1 \right]}{\delta_c} \theta_c(\eta) \quad (10.11)$$

avec δ_c le taux d'escompte du *Hse-agent*.

Le prix d'offre du *Hse-agent* est lui donné par :

$$Bidprice_c = (1 - \psi_c) WTP_c(\eta) \quad (10.12)$$

avec ψ_c la marge de manœuvre permettant d'obtenir un prix de transaction inférieur au *WTP*.

Les processus de transaction et de négociation

Sur la base des entretiens menés auprès d'experts et d'agents immobiliers, nous avons adopté un processus de négociation et de transaction sur le marché immobilier similaire à celui du marché foncier. Les *Dev-agents*, *Inv-agent* et *Hse-agents* sont actifs sur ce marché. L'*Inv-agent* peut enchérir sur des maisons dans la limite de son budget Ω alors que le *Hse-agent* n'enchérit que sur une seule propriété : celle qui lui procure potentiellement l'utilité maximale tout en respectant sa contrainte budgétaire. Les *Dev-agents* recueillent et évaluent toutes les offres pour leurs maisons. La propriété d'un *Dev-agent* est appariée avec un acheteur, c'est-à-dire l'*Inv-agent* ou un *Hse-agent* ayant fait l'offre la plus élevée. Le processus de décision commence alors pour chaque maison \bar{m} à vendre.

- **(a) Processus de Transaction Direct (*DTP*)** : Les vendeurs (*Dev-agents*) examinent toutes les offres et déterminent, le cas échéant, le meilleur *Bidprice*. Si ce $Bidprice_{Max}$ des acheteurs est supérieur au $AskPrice_{\bar{m}}$ demandé par le vendeur, la vente a lieu. Le prix de la transaction est alors égal au $AskPrice_{\bar{m}}$ de l'agent sans négociation de prix :

$$\bar{P}(\bar{m}) = AskPrice_{\bar{m}}.$$

- **(b) Transaction avec Processus de Négociation (TNP)** : S'il n'existe aucune offre pour laquelle le $Bidprice_{Max}$ est supérieur au $AskPrice_{\bar{m}}$, il n'y a pas de vente directe. Toutefois, si pour une maison, le $WTP(\bar{m})$ des acheteurs est supérieur au $WTA(\bar{m})$ d'un développeur, un mécanisme de négociation est enclenché. Le *Dev*-agent détermine le $WTP(\bar{m})_{Max}$ et l'appariement se fait entre les deux. Le prix de la transaction est ensuite négocié et s'établit entre le $WTP(\bar{m})_{Max}$ et le $WTA(\bar{m})$, la part de la différence revenant à chaque côté de l'échange étant fonction de l'état du marché. Plus il y a de demandes potentielles pour un bien, plus le prix de transaction sera élevé et plus le pouvoir de négociation du vendeur sera important et vice versa.

Le prix de transaction est donné par :

$$\bar{P}(\bar{m}) = WTA(\bar{m}) + \frac{ND_{\bar{m}}}{C+1} [WTP(\bar{m})_{Max} - WTA(\bar{m})].$$
 $ND_{\bar{m}}$ est le nombre de demandes potentielles, c'est-à-dire le nombre d'*Hse*-agents qui enchérissent sur la maison plus un si l'*Inv*-agent décide d'enchérir sur celle-ci, et C est le nombre d'*Hse*-agents à la recherche d'une maison sur le marché immobilier.

- **(c) Pas de transaction** : Enfin, si le WTA du *Dev*-agent pour une maison \bar{m} est supérieur au WTP de l'acheteur ayant le prix d'offre le plus élevé, aucune transaction n'est observée.

L'*Inv*-agent reste sur le *HM* même s'il réussit à acheter une maison. Après avoir acheté une maison, les *Hse*-agents quittent le *HM*.

Dans le cas où un *Dev*-agent ne parvient pas à vendre une maison après sa mise sur le marché, il diminue son $AskPrice$ à la période suivante au niveau du coût total de construction (il renonce dans ce cas à dégager une marge et cherche simplement à recouvrir les coûts engendrés par l'achat du terrain et la construction de la maison). Au bout de deux périodes successives durant lesquelles l'ensemble des opérations achevées depuis la période initiale d'un *Dev*-agent ne lui permettent pas de dégager un chiffre d'affaire positif, l'agent est déclaré en faillite : il meurt et un autre *Dev*-agent prend sa place. En dehors de ce dernier cas, les *Dev*-agents restent sur le *HM*.

10.4 Les expériences

10.4.1 Paramétrage

Le modèle hédonique avec des classes de ménages basées sur les revenus

La formation des prix sur les marchés foncier et immobilier est généralement basée sur le modèle séminal de Rosen (1974). Dans ce modèle, sur la base de la théorie de Lancaster (1966), un bien est acheté de manière à obtenir un certain nombre de caractéristiques ou d'attributs qui lui sont attachés. Rosen propose un modèle pour décrire un marché des biens différenciés, y compris le marché immobilier dans une zone urbaine donnée.

Il s'agit du modèle des prix hédoniques qui explique comment les interactions entre les consommateurs et les vendeurs, optimisant leurs fonctions objectif en fonction des

caractéristiques des biens immobiliers, conduisent à une relation d'équilibre observable entre les caractéristiques et leurs prix sur le marché immobilier. En général, les modèles de négociation visent à étudier l'impact des caractéristiques de l'acheteur et du vendeur sur le prix final (voir les travaux de Harding et al. (2003), pour une discussion détaillée de cette question). Dans le cas présent, les acheteurs sont les premiers acquéreurs du bien immobilier ; les caractéristiques ne concernent donc que ce côté de la négociation (voir la colonne 3 du tableau 3 de Harding et al. (2003)). Ainsi, nos estimations des effets de la négociation et de la demande se réfèrent à des variables pertinentes uniquement pour les acheteurs.

Sur la base du cadre de modélisation hédonique, nous utilisons des bases de données extraites de la base de données « PERVAL » produite par la Chambre des Notaires. Nous avons utilisé la base de données des ventes de maisons pour estimer les paramètres de notre modèle. La variable dépendante pour toutes les régressions est la valeur des ventes. Chaque régression correspond à un type de marché : marché du logement, marché foncier, etc. Cette base de données contient toutes les informations sur les transactions immobilières, les attributs des propriétés ainsi que les profils des acheteurs et des vendeurs. De plus, la plupart des observations de la base de données sont géoréférencées et nous avons donc pu ajouter à chaque transaction géoréférencée la distance au centre ville le plus proche, la distance à la plage la plus proche et un indice de « Vue sur la mer ». Cet indice est construit en approximant la qualité de la vue sur la mer depuis la maison, calculé en utilisant ArcGIS (Cf. Nagy, 1994 ; O'Sullivan et Turner, 2001).

La base de données compte 7 694 ventes de maisons sur la période 2006-2017. Lorsque nous restreignons les données aux seuls vendeurs développeurs, le nombre d'observations tombe à 604. Ensuite, nous divisons les acheteurs en trois groupes en fonction de leur niveau de revenu moyen, approximé par leur catégorie d'emploi :

- Revenus élevés : Artisan, Commerçant, Cadre.
- Revenus moyens : Profession intermédiaire.
- Faibles revenus : Employé, Ouvrier.

Malheureusement, cette dernière information souffre d'un niveau élevé de données manquantes. La base de données finale compte 154 observations.

Pour cette première régression, nous estimons un modèle standard de prix hédoniques dans lequel la transformation logarithmique du prix réel est régressée en fonction d'un ensemble de variables explicatives, à savoir la surface habitable, la superficie du terrain, la distance à la plage la plus proche, la distance au centre ville le plus proche et l'indice de vue sur la mer. Le modèle de prix hédoniques fournit les prix implicites d'un ensemble de variables ou de caractéristiques. En général, ces valeurs ne sont pas les mêmes pour toutes les tranches de prix des maisons. En d'autres termes, le prix implicite d'une caractéristique donnée varie en fonction de la valeur du bien. Pour cette raison, le modèle de prix hédoniques est souvent estimé sous une forme semi-logarithmique, la transformation logarithmique des prix étant utilisée comme variable dépendante. Sous cette forme, les coefficients représentent la variation en pourcentage du prix pour une variation d'une unité de la caractéristique donnée.

Afin de prendre en compte la manière dont ces variables affectent le prix de l'im-

mobilier des différentes typologies d'acheteurs, nous examinons les interactions entre chaque covariable avec les groupes d'acheteurs (variables muettes).

De cette manière, nous sommes en mesure d'estimer la pente de chaque variable par groupe d'acheteurs. L'ajustement global de la régression MCO est satisfaisant ($R^2 = 0.57$).

Le modèle correspondant est exprimé de la manière suivante :

$$\ln(P) = \alpha_H + \sum_j [\beta_{1Hj} LivA_H + \beta_{2Hj} LA_H + \beta_{3Hj} dB_L + \beta_{4Hj} dCBD_H + \beta_{5Hj} SVI_H] + \epsilon_{1L}$$

Où $j = \{Elevé, Moyen, Faible\}$; $LivA_H$ est la surface habitable de la maison; LA_H est la taille du terrain; dB_H est la distance à la place la plus proche; $dCBD_H$ est la distance au centre urbain le plus proche; SVI_H est l'indice de vue sur mer potentielle et ϵ_{1L} est le terme d'erreur.

Les résultats de la régression sont présentés dans le tableau 10.1. Pour la simulation, nous ne retenons que les coefficients dont la p-value est inférieure à 0,1 (valeurs en gras dans le tableau 10.1).

	Groupe	Estimation	Erreur standard	P-value
Constante	—	12.14855	0.149	0.000
Surface habitable	Faibles Rev.	8.2165e-04	9.59e-04	0.000
Taille du terrain	Faibles Rev.	-3.34e-06	9.01e-06	0.711
Dist. à la place la plus proche	Faibles Rev.	-2.85e-02	6.6e-03	0.000
Dist. au CBD le plus proche	Faibles Rev.	-1.91e-02	5.86e-03	0.001
Indice de vue sur mer	Faibles Rev.	-2.64e-03	8.5e-03	0.757
Surface habitable	Rev. Moyens	2.0724e-03	3.767e-04	0.000
Taille du terrain	Rev. Moyens.	-1.98e-06	5.57e-06	0.723
Dist. à la place la plus proche	Rev. Moyens	-8.07e-03	0.01	0.425
Dist. au CBD le plus proche	Rev. Moyens	-9.43e-03	7.42e-03	0.206
Indice de vue sur mer	Rev. Moyens	4.48e-03	8.81e-03	0.612
Surface habitable	Rev. élevés	6.4553e-03	1.8469e-03	0.001
Taille du terrain	Rev. élevés	-2.13e-05	1.15e-06	0.067
Dist. à la place la plus proche	Rev. élevés	-1.47e-02	1.05e-02	0.165
Dist. au CBD le plus proche	Rev. élevés	-1.77e-02	6.59e-03	0.008
Indice de vue sur mer	Rev. élevés	-5.16e-03	7.33e-03	0.482
Observations : 154	$R^2 : 0.564$			

TABLE 10.1 — Régression hédonique, classes de ménages basées sur les revenus

Régressions spatiales

L'emplacement est un déterminant essentiel du prix des logements, car il est lié à diverses opportunités économiques. Par exemple, le fait qu'une maison soit située à

proximité de lieux de vie pittoresques ou attrayants ou bien encore à proximité du réseau de transport va avoir une influence sensible sur son prix. L'évaluation d'un emplacement est difficile mais nécessaire, et l'absence d'estimation de sa valeur pourrait biaiser les analyses économétriques (Anselin et Lozano-Gracia, 2009).

Les attributs de localisation étant par nature spatiaux, les spécialistes des sciences régionales ont appliqué la régression spatiale pour les modéliser. Ces modèles se sont imposés dans les études du marché immobilier au cours des deux dernières décennies (Wilhelmsson, 2002). Cependant, les modèles d'économétrie spatiale sont difficiles à spécifier et à estimer : par exemple, comment spécifier la matrice de pondération spatiale appropriée ? L'estimation des modèles de régression spatiale nécessite généralement des méthodes de maximum de vraisemblance, des moindres carrés spatiaux généralisés en deux étapes (Kelejian et Prucha, 1998) et des techniques bayésiennes. De plus, elle nécessite généralement des logiciels spécialisés et une grande puissance de calcul.

Dans ce contexte, plusieurs spécialistes des sciences régionales s'intéressent à la régression linéaire avec effets fixes spatiaux : ces modèles étant simples et directs, ils présentent un certain intérêt. En plus des covariables, les modèles spatiaux à effets fixes contiennent une variable muette pour une zone spatiale plus large à laquelle appartiennent les unités de logement individuelles, comme les blocs, les secteurs de recensement, les districts scolaires et les villes.

L'inclusion d'effets fixes spatiaux est analogue à l'inclusion d'indicateurs pour les sous-marchés, et donc la variable muette permet de tenir compte de la variation des prix moyens entre les sous-marchés. En d'autres termes, la structure spatiale est dominée par l'hétérogénéité spatiale (Anselin, 1988), et doit être traitée en priorité. Pour ce faire, lors de notre procédure de paramétrage, nous utilisons trois régressions spatiales.

Prix passés moyens de vente des terrains

Sur la base de la meilleure performance prédictive, nous avons sélectionné le modèle suivant pour cette régression spatiale :

$$\ln(P_{t-1}) = \alpha_L + \beta_{1L}\ln(LA_L) + \beta_{2L}[\ln(LA_L)]^2 + \beta_{3L}/dB_L + \beta_{4L}/dCBD_L + \beta_{5L}SVI_L + \beta_{6L}t + \beta_{7L}CD_L + \epsilon_{1L}$$

Où LA_L est la superficie des terrains ; dB_L est la distance à la plage la plus proche ; $dCBD_L$ est la distance au centre-ville le plus proche ; SVI_L est l'indice de vue sur mer potentielle ; CD_L est une variable muette représentant un centre urbain fictif et ϵ_{1L} est le terme d'erreur. Les effets fixes spatiaux sont représentés par la variable muette représentant un centre urbain fictif. Les données originales de la variable « superficie des terrains » ont une grande variance. Afin de stabiliser les variances et de rendre la distribution de ces données approximativement normale, nous utilisons une transformation logarithmique.

Nous utilisons la base de données PERVAL sur les transactions du marché foncier pour cette régression spatiale. Il convient de noter que la base de données contient également des dates de transaction. Nous regroupons les informations temporelles en

trimestres, puis nous les convertissons en nombres ordinaux. Du premier trimestre 2006 au quatrième trimestre 2017, il y a eu 48 périodes de transaction. Ces dernières sont utilisées pour décrire les tendances temporelles, qui sont adaptées à la prévision dans un modèle à base d'agents. En outre, la transformation logarithmique est appliquée aux prix et aux superficies des terrains, afin de stabiliser les variances et de rendre la distribution de ces variables approximativement normale.

La base de données originale contient 7 153 observations. Après avoir retiré les parcelles de terrain dont les caractéristiques sont manquantes et éliminé celles correspondant aux queues de la distribution des prix, il reste 2 561 observations s'étendant de 2006 à 2017.

Le tableau 10.2 présente les résultats de l'analyse des régressions.¹³

	Estimation	Erreur standard	Valeur T	Pr(> T)	SIG
Constante	-5.263951	0.400662	-13.138	<2.2e-16	***
Log de la taille du terrain	3.750292	0.101858	36.819	<2.2e-16	***
(Log de la taille du terrain)²	-0.212693	0.006960	-30.561	<2.2e-16	***
Dist. inv. à la plage la + proche	0.338973	0.037445	9.053	<2.2e-16	***
Dist. inv. au CBD le + proche	3.335117	0.459277	7.262	4.13e-13	***
Indice de vue sur mer	0.022379	0.001961	11.410	<2.2e-16	***
Tendance temporelle	0.014461	0.001018	14.204	<2.2e-16	***

TABLE 10.2 – Résultats de la régression pour les prix de vente moyens des terrains

Prix passés moyens de vente des maisons

Sur la base de la meilleure performance prédictive, nous sélectionnons le modèle suivant pour cette régression spatiale :

$$\ln(P_{H,t-1}) = \alpha_H + \beta_{1H}LivA_L + \beta_{2H}LivA_L^2 + \beta_{3H}LivA_L^3 + \beta_{4H}LivA_L^4 + \beta_{5H}LA_L + \beta_{6H}/dB_L + \beta_{7H}/dCBD_L + \beta_{8H}SVI_L + \beta_{9H}t + \epsilon_H$$

Où $LivA_L$ est la surface habitable de la maison ; LA_H est la taille du terrain ; dB_H est la distance à la plage la plus proche ; $dCBD_H$ est la distance au centre ville le plus proche ; SVI_H est l'indice de vue sur mer potentielle et ϵ_H est le terme d'erreur. Les termes polynomiaux reflètent la relation non linéaire entre la surface habitable et les prix des logements.

Nous utilisons la base de données PERVAL sur les transactions du marché des maisons individuelles pour cette régression spatiale. La base de données originelle contient 11 622 observations. Après avoir retiré les maisons avec des caractéristiques manquantes et éliminé celles correspondant aux queues de la distribution des prix, il reste 9 593 observations s'étendant de 2006 à 2017.

Le tableau 10.3 présente les résultats de la régression.

13. Dans les tableaux 10.2 à 10.4, *** indique un taux de significativité de $\alpha = 0,01$; ** indique un taux de significativité de $\alpha = 0,05$; * indique un taux de significativité de $\alpha = 0,10$. Nous retenons tous les coefficients pour la simulation car ils sont tous significatifs à un niveau $\alpha = 0,10$.

	Estimation	Erreur standard	Valeur T	Pr(> T)	SIG
Constante	10.474	5.059e-02	207.029	<2.2e-16	***
Surface habitable	0.016	5.285e-04	29.620	<2.2e-16	***
(Surface habitable) ²	-2.825e-05	1.717e-06	-16.456	<2.2e-16	***
(Surface habitable) ³	1.760e-08	1.406e-09	12.518	<2.2e-16	***
(Surface habitable) ⁴	-3.395e-12	3.122e-13	-10.874	<2.2e-16	***
Taille du terrain	4.262e-06	1.300e-06	3.279	0.001	**
Dist. inv. à la plage la + proche	0.665	3.754e-02	17.766	<2.2e-16	***
Dist. inv. au CBD le + proche	0.490	8.792e-02	5.568	2.85e-08	***
Indice de vue sur mer	0.004	1.199e-03	3.358	7.95e-04	***
Tendance temporelle	0.007	8.891e-04	8.041	1.35e-15	***

TABLE 10.3 – Résultats de la régression pour les prix de vente moyens des maisons

Revenu journalier moyen des résidences touristiques

Une base de données pour la période du 1er février 2016 au 30 novembre 2020 fournie par AirDNA, une société commerciale qui collecte des données sur les locations de vacances à court terme, est utilisée pour cette régression spatiale. Nous ajoutons à chaque observation la distance au centre urbain le plus proche, la distance à la plage la plus proche et un indice de vue sur mer potentielle.

La base de données originelle contient 52 082 observations. Après avoir supprimé les observations pour lesquelles le revenu quotidien est manquant et les valeurs aberrantes parmi les variables dépendantes et indépendantes, il reste 14 126 observations.

Sur la base de la meilleure performance prédictive, nous sélectionnons le modèle suivant pour cette régression spatiale :

$$\ln(\varphi_{t-1}) = \alpha_{RT} + \beta_{1RT} Bed_{RT} + \beta_{2RT} LT_{RT} + \beta_{3RT}/dB_{RT} + \beta_{4RT}/dCBD_{RT} + \beta_{5RT}/dCBD_L^2 + \beta_{6RT} SVI_L + \beta_{7RT} MCD_{RT} + \epsilon_{RT}$$

Où Bed_{RT} est le nombre de chambres ; LT_{RT} correspond au type d'inscription (la base de référence est « Pièce ») ; dB_{RT} est la distance à la plage la plus proche ; $dCBD_{RT}$ est la distance au centre urbain le plus proche ; SVI_{RT} est l'indice de vue sur mer potentielle ; MCD_{RT} est une variable muette représentant un centre urbain fictif et ϵ_{RT} est le terme d'erreur.

Il convient de noter que la variable dépendante « revenu journalier moyen de la résidence touristique » a subi une transformation logarithmique, et que les effets fixes spatiaux sont représentés par la variable muette représentant un centre urbain fictif. Cette variable muette indique la ville principale à laquelle appartient une location de courte durée (la catégorie de base est Ajaccio, ville principale de l'île).

Le tableau 10.4 présente les résultats de la régression.

	Estimation	Erreur st.	Valeur T	Pr(> T)	SIG
Constante	-48.13	4.40	-10.9713	<2.2e-16	***
Nombre de chambres	101.15	1.9764	51.1786	<2.2e-16	***
Type de liste (Base : Pièce)	14.079	2.4999	5.6319	1.817e-08	***
Dist. inv. à la plage la + proche	13.188	1.5260	8.6424	<2.2e-16	***
Dist. inv. au CBD le + proche	-5.1002	2.4253	-2.1029	0.03549	*
(Dist. inv. au CBD le + proche) ²	0.8385	0.37358	2.2441	0.02484	*
Indice de vue sur mer	7.684e-04	8.8851e-05	8.6491	<2.2e-16	***

TABLE 10.4 – Résultats de la régression pour le revenu journalier d’une résidence touristique

Autres paramètres et calibrage

En plus des bases de données PERVAL et AirDNA, nous avons utilisé d’autres sources pour estimer les paramètres utilisés dans la simulation. Divers paramètres démographiques et économiques proviennent des sources de la base de données de l’INSEE. Certaines valeurs de paramètres concernant le secteur du bâtiment font partie du domaine public et peuvent être trouvées sur le site Internet : <https://www.data.gouv.fr/>. Le coût des déplacements domicile-travail au centre urbain est basé sur l’indemnité kilométrique des véhicules pour la défiscalisation utilisée par les services des impôts en France¹⁴. Enfin, certains paramètres ont été obtenus via un focus group avec deux agents immobiliers et un développeur.

Les valeurs et les sources de ces paramètres sont résumées dans le tableau 10.5 ci-dessous¹⁵.

10.4.2 Les résultats des MCO

Afin de nous assurer que notre modèle conceptuel constitue une abstraction satisfaisante du système complexe étudié et que le modèle exécutable est correct et nous permet d’obtenir des données simulées conformes au modèle conceptuel, nous avons procédé à une méthode de vérification. Pour cela, nous avons réalisé 500 répliques avec 40 pas de temps du modèle. Nous avons utilisé une technique d’exploration de l’espace consistant à explorer l’hyperespace « au hasard ». Nous avons ensuite appliqué différents traitements statistiques à ces données simulées.

Le modèle correspondant est exprimé de la manière suivante :

$$\ln(\bar{P}_i) = \alpha_{i,0} + \sum_j \beta_{i,j} x_{i,j} + \epsilon_i$$

Les statistiques concernant le marché foncier sont résumées dans le tableau 10.6.

Nous obtenons plus de 98 000 observations sur ce marché. L’ajustement global de la régression MCO est très satisfaisant ($R^2 = 0,9058$). Les résultats montrent que la

14. <https://www.impots.gouv.fr/portail/simulateur-bareme-kilometrique>.

15. Pour le taux de préférence pour le présent, voir par exemple les travaux de Stern et al. (2006), Nordhaus (2007) ou Costanza et al. (1989).

Paramètre	Valeur	Statut	Source
Nombre de parcelles constructibles	5000	Constante	PERVAL
Développeurs	100	Constante	PERVAL
Ménages à faibles revenus	3040	Constante	INSEE
Ménages à revenus moyens	1140	Constante	INSEE
Ménages à revenus élevés	1445	Constante	INSEE
Ménages cherchant une maison	48%	Constante	INSEE
ψ	[0.05, 0.08]	Aléatoire uniforme	Focus group
ρ	[0.08, 0.115]	Aléatoire uniforme	Focus group
T	20	Constante	Focus group
n	[1, 2]	Constante	Focus group
Temps de construction	[8, 20]	Aléatoire uniforme	Focus group
π	[0.02, 0.024]	Aléatoire uniforme	www.data.gouv.fr
a_{ls}	[18, 30]	Aléatoire uniforme	PERVAL
b_{ls}	[24, 32]	Aléatoire uniforme	PERVAL
$LivA = a_{ls} + b_{ls} * Bed_{RT}$	$a_{ls} : [18, 30]$ et $b : [24, 32]$	Calculé	PERVAL
C_{LivA}	[750, 1000]	Constante	www.data.gouv.fr
γ	[0.65, 0.75]	Aléatoire uniforme	AirDNA
r	[0.02, 0.04]	Aléatoire uniforme	INSEE
$Y_{C,Low}$	[6200, 22200]	Aléatoire uniforme	INSEE
$Y_{C,Middle}$	[10000, 39000]	Aléatoire uniforme	INSEE
$Y_{C,High}$	[11500, 66500]	Aléatoire uniforme	INSEE
LA	[500, 2400]	Aléatoire uniforme	PERVAL
Bed_{RT}	[1, 5]	Aléatoire uniforme	AirDNA
SVI	[0.75, 22.5]	Aléatoire uniforme	PERVAL
δ_c	[0.01, 0.1]	Aléatoire uniforme	Littérature économique
ω	0.3	Constante	Focus group
Ω	1000000	Constante	Variable expérimentale
ζ	300	Constante	AirDNA
Pente b	1	Constante	
$T(D)$	0.5404	Constante	impotsurlerevenu.org

TABLE 10.5 – *Autres paramètres utilisés dans la simulation*

simulation fournit des données conformes au modèle conceptuel. Par exemple, nous observons sur le tableau 10.6 que toutes les variables hédoniques du terrain (Surface du terrain, distance de la plage la plus proche, distance au CBD le plus proche et indice de vue sur mer) sont statistiquement significatives et influencent le prix dans la direction attendue. Certaines variables ne sont pas statistiquement significatives, par exemple le taux de marge, mais cela peut s'expliquer principalement par l'influence d'une autre variable, c'est-à-dire le paramètre de coût dans ce cas, qui a une influence, en sens inverse, sur la même composante des transactions du marché foncier, c'est-à-dire le WTP des développeurs. La surface de la maison et le nombre de chambres ont un impact positif significatif sur le prix car ils augmentent le WTP des développeurs à travers le prix attendu de la future maison qui sera construite sur le terrain. Seule une marge de manœuvre est statistiquement significative, celle du vendeur, ce qui traduit une prédominance des ventes directes sur ce marché. Enfin, nous constatons que le taux

	Estimation	Erreur st.	Valeur t	Pr(> t)
Constante	10.2215	0.0113	901.06	0.0000
Taux d'intérêt (%)	-0.0048	0.0007	-6.18	0.0000
Marge de manoeuvre du vendeur (%)	0.0038	0.0003	10.47	0.0000
Marge de manoeuvre de l'acheteur (%)	-0.0002	0.0003	-0.72	0.4703
Taux de marge (%)	0.0041	0.0036	1.13	0.2584
Surface de la maison	0.0002	0.0001	3.53	0.0004
Nombre de chambres	0.0116	0.0016	7.40	0.0000
Paramètre de coût	-0.0001	0.0000	-21.67	0.0000
Temps de construction	-0.0001	0.0003	-0.28	0.7789
Taille du terrain	0.0007	0.0000	774.19	0.0000
Dist. à la plage la plus proche	-0.0057	0.0000	-158.57	0.0000
Dist. au CBD le plus proche	-0.0030	0.0000	-99.79	0.0000
Indice de vue sur mer	0.0217	0.0001	329.19	0.0000
Observations :	98,474			
R ² multiple :	0.9058	R ² ajusté :	0.9058	

TABLE 10.6 – *Statistiques du marché foncier*

d'intérêt a un impact négatif significatif sur le prix des terrains, c'est-à-dire qu'une augmentation de 1% du taux d'intérêt entraîne une diminution d'environ 0,5 du prix des parcelles de terrain. Etant donné que le *WTA* des vendeurs et le *WTP* des acheteurs dans notre modèle ne dépendent pas du taux d'intérêt, cela peut s'expliquer par une diffusion de l'impact du taux d'intérêt à partir du marché immobilier. En effet, si le taux d'intérêt augmente, cela conduit à une augmentation du coût d'opportunité de l'investissement immobilier par rapport à l'investissement sur le marché financier pour l'investisseur. Ainsi, l'augmentation de ce coût d'opportunité conduit à une diminution des ventes et des prix sur le marché immobilier.

Concernant le marché immobilier, nous avons appliqué le modèle suivant :

$$\ln(P_m) = \alpha_{m,0} + \sum_j \beta_{m,j} x_{m,j} + \epsilon_m$$

L'ajustement global de la régression MCO est également très satisfaisant ($R^2 = 0,9001$). Sur le marché immobilier, nous obtenons environ 41 000 observations. Les résultats sur ce marché sont résumés dans le tableau 10.7. Ce marché, en ce qui concerne le nombre de ventes sur le marché foncier, n'est donc pas en équilibre. Toutes les variables hédoniques des maisons et le taux d'intérêt sont également statistiquement significatifs sur ce marché et influencent le prix de vente dans le sens attendu. Le paramètre de coût est également significatif et le signe de son coefficient est le même que celui du marché foncier mais avec une valeur absolue plus faible. Cela peut s'expliquer par le fait qu'en réduisant le prix du terrain sur lequel la maison est construite, ce paramètre conduit finalement à une diminution du prix de transaction de la maison. Pour les variables catégorielles « Ménages à faibles revenus », « Ménages à revenus moyens » et « Ménages à revenus élevés », la catégorie de référence est l'investisseur. Ainsi, l'appartenance à l'une de ces catégories augmente la probabilité de payer un prix supérieur à celui payé par l'investisseur selon un pourcentage compris entre 0,6 et 1,3%.

	Estimation	Erreur st.	Valeur t	Pr(> t)
Constante	10.2388	0.0173	592.38	0.0000
Taux d'intérêt (%)	-0.0212	0.0013	-15.68	0.0000
Marge de manœuvre du vendeur (%)	0.0007	0.0005	1.36	0.1741
Taux de marge (%)	0.0016	0.0055	0.30	0.7666
Surface de la maison	0.0001	0.0001	1.71	0.0873
Nombre de chambres	0.0294	0.0022	13.23	0.0000
Paramètre de coût	-0.0001	0.0000	-12.60	0.0000
Marge de manœuvre de l'acheteur (%)	-0.0001	0.0005	-0.20	0.8393
Temps de construction	-0.0005	0.0005	-1.06	0.2879
Taille du terrain	0.0007	0.0000	465.05	0.0000
Dist. à la plage la plus proche	-0.0055	0.0001	-97.38	0.0000
Dist. au CBD le plus proche	-0.0033	0.0000	-68.23	0.0000
Indice de vue sur mer	0.0209	0.0001	208.90	0.0000
Ménages à faible revenu	0.0110	0.0033	3.31	0.0009
Ménages à revenu moyen	0.0128	0.0045	2.84	0.0045
Ménages à revenu élevé	0.0064	0.0037	1.76	0.0790
Observations :	41,271			
R ² multiple :	0.9002	R ² ajusté :	0.9001	

TABLE 10.7 – *Statistiques du marché immobilier*

Pour vérifier de quelle manière notre modèle fonctionne pour les différentes classes d'acheteurs sur le marché immobilier, nous avons également effectué des régressions sur les quatre segments de marché correspondant à ces acheteurs. En ce qui concerne l'investisseur, le modèle utilisé pour la régression s'écrit de la manière suivante :

$$\ln(P_{Inv}) = \alpha_{Inv,0} + \sum_j \beta_{Inv,j} x_{Inv,j} + \epsilon_{Inv}$$

Il faut noter que l'investisseur achète dans notre simulation une part importante des maisons, à savoir 86%. Les résultats sont résumés dans le tableau 10.8.

Nous avons déjà examiné les variables hédoniques des maisons, le taux d'intérêt et le paramètre de coût, nous pouvons noter que ces variables évoluent de la même manière que dans le modèle global. Le budget disponible de l'investisseur n'a pas d'impact significatif car la contrainte correspondante n'est pas active dans nos simulations. En revanche, nous constatons que la principale variable influençant la rentabilité d'un investissement sur le secteur de la location touristique, à savoir le rendement net de la location, a un impact positif et significatif sur le prix payé par l'investisseur.

Concernant les achats des ménages, le modèle utilisé s'écrit de la manière suivante :

$$\ln(P_{Hse}) = \alpha_{Hse,0} + \sum_j \beta_{Hse,j} x_{Hse,j} + \epsilon_{Hse}$$

Les résultats sont résumés dans le tableau 10.9

	Estimation	Erreur st.	Valeur t	Pr(> t)
Constante	10.1667	0.0272	374.29	0.0000
Taux d'intérêt (%)	-0.262	0.0014	-17.72	0.0000
Marge de manœuvre du vendeur (%)	0.0008	0.0006	1.37	0.1716
Taux de marge (%)	0.0048	0.0059	0.82	0.4136
Rendement net de la location	0.1470	0.0237	6.21	0.0000
Budget disponible de l'inv (k€)	-0.0000	0.0000	-0.62	0.5379
Nombre de chambres	0.0359	0.0008	42.67	0.0000
Paramètre de coût	-0.0001	0.0000	-14.43	0.0000
Marge de manœuvre de l'acheteur (%)	-0.0003	0.0005	-0.62	0.5326
Temps de construction	-0.0007	0.0005	-1.51	0.1305
Taille du terrain	0.0007	0.0000	432.07	0.0000
Dist. à la plage la plus proche	-0.0053	0.0001	-86.69	0.0000
Dist. au CBD le plus proche	-0.0030	0.0001	-58.68	0.0000
Indice de vue sur mer	0.0206	0.0001	193.45	0.0000
Observations :	35,578			
R ² multiple :	0.8986	R ² ajusté :	0.8986	

TABLE 10.8 – Statistiques du marché immobilier, Achats de l'investisseur

	Estimation	Erreur st.	Valeur t	Pr(> t)
Constante	10.1721	0.0727	139.94	0.0000
Taux d'intérêt (%)	-0.0101	0.0032	-3.14	0.0017
Marge de manœuvre du vendeur (%)	-0.0004	0.0014	-0.32	0.7490
Taux de marge (%)	-0.107	0.0139	-0.77	0.4385
Budget disponible des ménages (k€)	0.0000	0.0000	0.20	0.8431
Taux de préférence pour le présent (%)	-0.0355	0.0554	-0.64	0.5221
Richesse (k€)	0.0003	0.0000	4.30	0.0000
Taille de la maison	0.0008	0.0001	12.22	0.0000
Paramètre de coût	-0.0001	0.0000	-2.33	0.0200
Marge de manœuvre de l'acheteur (%)	-0.0000	0.0014	-0.03	0.9738
Temps de construction	-0.0003	0.0012	-0.23	0.8162
Taille du terrain	0.0008	0.0000	160.90	0.0000
Dist. à la plage la plus proche	-0.0060	0.0001	-45.46	0.0000
Dist. au CBD le plus proche	-0.0058	0.0002	-35.78	0.0000
Indice de vue sur mer	0.0220	0.0003	84.25	0.0000
Observations :	5,693			
R ² multiple :	0.8933	R ² ajusté :	0.893	

TABLE 10.9 – Statistiques du marché immobilier, Achats des ménages

Sur les trois variables spécifiques de ce type d'agents, c'est-à-dire le budget disponible des ménages, le taux d'actualisation et la richesse, seule la richesse a un impact positif et significatif sur le prix payé par les ménages sur le marché immobilier. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces variables jouent un rôle similaire sur le *WTP* des

ménages et parce que la majorité de ces ménages qui réussissent à acheter une maison sont ceux qui ont une richesse en dehors du revenu salarial, représentée dans notre modèle par les profits de la vente du terrain. Les régressions réalisées pour chaque catégorie de ménages génèrent des résultats similaires. Nous notons, sans surprise, que plus les ménages ont des revenus élevés, plus le pourcentage d’acheteurs est élevé.

10.5 Conclusion

En Economie, les *ABM/LUCC* soulèvent des questions théoriques à différents niveaux (Cf., entre autres, Parker, 2014). Ces modèles conceptuels reposent sur des paradigmes et des formalismes de modélisation reconnus pour leur efficacité à produire des modèles exécutables modulaires et évolutifs pour l’expérimentation par la simulation (codes informatiques objets). Ils peuvent servir de guide pour la prise de décision en matière d’aménagement du territoire. En effet, les acteurs qui développent un projet foncier ont besoin de méthodes, d’ingénierie et d’outils informatiques adaptés pour étudier des modes de gestion durables, capables de concilier développement économique et concurrence foncière dans des environnements fortement contraints.

Dans ce chapitre, nous avons présenté le modèle conceptuel générique d’un *SMA* pour simuler des territoires touristiques confrontés à des développements urbains intenses. Nous en avons détaillé l’architecture conceptuelle. Nous l’avons calibrée pour qu’elle puisse décrire des politiques envisageables d’aménagement du territoire du contexte économique du territoire corse. Pour ce faire, nous avons fait le choix de modéliser le comportement d’agents économiques hétérogènes. Nous avons également prouvé que les *ABM/LUCC* autorisent la modélisation de comportements hétérogènes plus précis et plus réalistes par la prise en compte des interactions locales liées aux processus socio-économiques du système complexe considéré. La formulation d’un *ABM/LUCC* étant basée sur le paradigme agent, nous avons pu effectuer un travail de conceptualisation efficace, en préalable au développement du code informatique objet. Nous avons détaillé ce travail à travers le processus de modélisation du monde réel au monde virtuel, conformément à l’approche en quatre phases dont nous sommes les auteurs (cf. Chapitre 9).

Nous avons également expérimenté un prototype de ce modèle conceptuel sur l’environnement de simulation *NetLogo* afin de vérifier la justesse fonctionnelle de ses composants et de ses relations. La calibration de cet *ABM/LUCC* repose sur des analyses économétriques du contexte corse. Pour cela, nous avons utilisé les données relatives au prix de vente des biens immobiliers constituant tous les contrats de vente des maisons en Corse entre 2006 et 2017 (la source principale de ces informations est la base de données PERVAL produite par la Chambre des Notaires). Les revenus des locations touristiques des maisons ont été déterminés à partir des données fournies par AirDNA. En outre, toutes les observations étant géoréférencées, les algorithmes de transition intègrent les temps de trajet des maisons vers les diverses aménités (ex. plages et CBD) ainsi qu’un indice de vue sur mer potentielle. Nous avons également réalisé des régressions nous

permettant de déterminer les variables influençant les prix sur les marchés foncier et immobilier.

Dans de futurs travaux, nous réaliserons une analyse de sensibilité de notre *ABM/LUCC* que nous baserons sur la méthode de criblage de Morris (Morris, 1991 ; Campolongo et al., 2007) et simulerons différentes politiques de régulation publique en Corse sur les marchés foncier et immobilier. Ces politiques prendront la forme de zonage, taxes sur l'investissement touristique ainsi que des restrictions sur cet investissement touristique.

Bibliographie

- Alonso, William (1964). *Location and land use. Toward a general theory of land rent*. Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Pr.
- Anselin, Luc (1988). *Spatial Econometrics: Methods and Models*. Kluwer Academic Publishers.
- Anselin, Luc et Nancy Lozano-Gracia (2009). « Spatial hedonic models ». In : *Palgrave handbook of econometrics*. Springer, p. 1213-1250.
- ATC (2018). *Feuille de route de l'ATC 2018-2021 – Pour une transition écologique et numérique du tourisme corse, créateur de valeur et respectueux des équilibres du territoire*. <https://www.corsica-pro.com/fr/agence-tourisme-corse/documents-strategiques/feuille-de-route-tourisme-2018-2021>. Agence de Tourisme de la Corse.
- Bretel, Antonin (2018). « 330 500 habitants en Corse au 1er janvier 2016 ». In : *Insee Flash Corse* 38. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3680694>.
- Campolongo, Francesca, Jessica Cariboni et Andrea Saltelli (2007). « An effective screening design for sensitivity analysis of large models ». In : *Environmental modelling & software* 22(10), p. 1509-1518.
- Collectivité de Corse (2015a). *Plan d'Aménagement et de Développement Durable de la Corse*. Rapport, (2020 dernière modification). Assemblée de Corse. URL : https://www.aue.corsica/Le-Padduc-dans-son-integralite_a47.html.
- Collectivité de Corse (2015b). *Plan d'Aménagement et de Développement Durable de la Corse, Annexe 2 - Plan Montagne*. Rapp. tech. URL : <https://www.isula.corsica/attachment/2062628/>.
- Collectivité de Corse (2015c). *Plan d'Aménagement et de Développement Durable de la Corse, Annexe 3 - Livret Littoral*. Rapp. tech. URL : <https://www.aue.corsica/attachment/619084/>.
- Costanza, Robert, Stephen C. Farber et Judith Maxwell (1989). « Valuation and management of wetland ecosystems ». In : *Ecological Economics* 1(4), p. 335-361.
- Filatova, Tatiana, Dawn C. Parker et Anne Van der Veen (2009a). « Agent-based urban land markets: agent's pricing behavior, land prices and urban land use change ». In : *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 12(1), p. 3.
- Filatova, Tatiana, Anne Van Der Veen et Dawn C. Parker (2009b). « Land Market Interactions between Heterogeneous Agents in a Heterogeneous Landscape-Tracing the Macro-Scale Effects of Individual Trade-Offs between Environmental Amenities and

- Disamenities ». In : *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroéconomie* 57(4), p. 431-457. DOI : 10.1111/j.1744-7976.2009.01164.x.
- Harding, John P., Stuart S. Rosenthal et C. F. Sirmans (2003). « Estimating Bargaining Power in the Market for Existing Homes ». In : *The Review of Economics and Statistics* 85(1), p. 178-188.
- Huyssen, Arnaud et Malleville Rémi (2020). « En Corse, 86 % de la population vit dans l'aire d'attraction d'une ville ». In : *Insee Flash Corse* 54. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4808381>.
- Kelejian, Harry H et Ingmar R Prucha (1998). « A generalized spatial two-stage least squares procedure for estimating a spatial autoregressive model with autoregressive disturbances ». In : *The Journal of Real Estate Finance and Economics* 17(1), p. 99-121.
- Kirman, Alan P (1992). « Whom or what does the representative individual represent? » In : *Journal of economic perspectives* 6(2), p. 117-136.
- Lancaster, Kelvin J (1966). « A new approach to consumer theory ». In : *Journal of political economy* 74(2), p. 132-157. DOI : 10.1086/259131.
- Magliocca, Nicholas, Virginia McConnell et Margaret Walls (2015). « Exploring sprawl: Results from an economic agent-based model of land and housing markets ». In : *Ecological Economics* 113, p. 114-125. DOI : 10.1016/j.ecolecon.2015.02.020.
- Morris, Max D (1991). « Factorial sampling plans for preliminary computational experiments ». In : *Technometrics* 33(2), p. 161-174.
- Nagy, George (1994). « Terrain visibility ». In : *Computers & graphics* 18(6), p. 763-773.
- Nordhaus, William D (2007). « A review of the Stern review on the economics of climate change ». In : *Journal of economic literature* 45(3), p. 686-702.
- O'Sullivan, David et Alasdair Turner (2001). « Visibility graphs and landscape visibility analysis ». In : *International journal of geographical information science* 15(3), p. 221-237.
- Parker, Dawn C. (2014). « An economic perspective on agent-based models of land use and land cover change ». In : *The Oxford Handbook of Land Economics*. Sous la dir. de J. Duke et J. Wu. Oxford University Press. Chap. 16, p. 402-429.
- Parker, Dawn C. et Tatiana Filatova (2008). « A conceptual design for a bilateral agent-based land market with heterogeneous economic agents ». In : *Computers, Environment and Urban Systems* 32(6), p. 454-463. DOI : 10.1016/j.compenvurbsys.2008.09.012.
- Rosen, Sherwin (1974). « Hedonic prices and implicit markets: product differentiation in pure competition ». In : *Journal of political economy* 82(1), p. 34-55. DOI : 10.1086/260169.
- Simon, Herbert A (1950). *Administrative behavior*. Macmillan New York.
- Simon, Herbert A (1976). « From substantive to procedural rationality ». In : *25 years of economic theory: Retrospect and prospect*, p. 65-86.
- Stern, N. et al. (2006). *Stern Review: The economics of climate change*. Rapp. tech. HM Treasury, London.

- Tesfatsion, Leigh (2017). « Modeling economic systems as locally-constructive sequential games ». In : *Journal of Economic Methodology* 24(4), p. 384-409. DOI : 10.1080/1350178X.2017.1382068.
- Touzani, Hanan (2018). « Des résidences principales et secondaires en forte croissance ». In : *Insee Flash Corse* 32. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3571002>.
- Wilhelmsson, Mats (2002). « Spatial models in real estate economics ». In : *Housing, theory and society* 19(2), p. 92-101.