



THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par l'Université Toulouse 1 Capitole
Discipline ou spécialité : Sciences Economiques

Présentée et soutenue par **Mikaël Akimowicz**
Le **14 Décembre 2012**

Le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines

Le cas des grandes cultures dans le Lauragais midi-pyrénéen

JURY

M. Alfons BALMANN, *Professeur des Universités, Université Martin Luther Halle-Wittenberg*

Mme Laure LATRUFFE, *Chargée de Recherche HDR, INRA Rennes (Rapporteur)*

M. Jean-Paul NICOLETTI, *Chargé de mission à la Direction scientifique, ARVALIS Institut du végétal*

M. Philippe PERRIER-CORNET, *Directeur de Recherche, INRA Montpellier (Rapporteur)*

M. Denis REQUIER-DESJARDINS, *Professeur Emérite, IEP Toulouse*

Mme Aude RIDIER, *Maître de Conférences, Agrocampus Ouest*

Ecole doctorale :

Temps, Espaces, Sociétés, Cultures (TESC)

Unités de recherche :

Agrosystèmes, agricultures, Gestion des ressources, Innovations et Ruralités (AGIR)

Laboratoire d'Etude et de Recherche sur l'Economie, les Politiques et les Systèmes sociaux (LEREPS)

Directeurs de Thèse :

Denis REQUIER-DESJARDINS, *Professeur Emérite à l'IEP Toulouse*

Jacques-Eric BERGEZ, *Directeur de Recherche à l'INRA Toulouse*

Aude RIDIER, *Maître de Conférences à Agrocampus Ouest*

Françoise CARPY-GOULARD, *Expert recherche et prospective à l'Agence de l'Eau Adour-Garonne*



Université
de Toulouse

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par l'Université Toulouse 1 Capitole
Discipline ou spécialité : Sciences Economiques

Présentée et soutenue par **Mikaël Akimowicz**
Le **14 Décembre 2012**

Le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines

Le cas des grandes cultures dans le Lauragais midi-pyrénéen

JURY

M. Alfons BALMANN, *Professeur des Universités, Université Martin Luther Halle-Wittenberg*

Mme Laure LATRUFFE, *Chargée de Recherche HDR, INRA Rennes (Rapporteur)*

M. Jean-Paul NICOLETTI, *Chargé de mission à la Direction scientifique, ARVALIS Institut du végétal*

M. Philippe PERRIER-CORNET, *Directeur de Recherche, INRA Montpellier (Rapporteur)*

M. Denis REQUIER-DESJARDINS, *Professeur Emérite, IEP Toulouse*

Mme Aude RIDIER, *Maître de Conférences, Agrocampus Ouest*

Ecole doctorale :

Temps, Espaces, Sociétés, Cultures (TESC)

Unités de recherche :

Agrosystèmes, agricultures, Gestion des ressources, Innovations et Ruralités (AGIR)

Laboratoire d'Etude et de Recherche sur l'Economie, les Politiques et les Systèmes sociaux (LEREPS)

Directeurs de Thèse :

Denis REQUIER-DESJARDINS, *Professeur Emérite à l'IEP Toulouse*

Jacques-Eric BERGEZ, *Directeur de Recherche à l'INRA Toulouse*

Aude RIDIER, *Maître de Conférences à Agrocampus Ouest*

Françoise CARPY-GOULARD, *Expert recherche et prospective à l'Agence de l'Eau Adour-Garonne*

“The University is not to provide any approval or disapproval regarding the opinions this PhD dissertation includes. These opinions must be considered as being solely those of their authors.”

« L’Université n’entend donner aucune approbation ni aucune improbation aux opinions émises dans les thèses. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs. »

À ma famille et à tous ceux qui me sont chers

*L'arbre ne s'élève qu'en enfonçant ses racines
dans la Terre nourricière.*

- Birago Diop -

Remerciements

Cette thèse est le résultat d'un parcours long et fastidieux dont l'aboutissement a nécessité un investissement permanent tout au long de ces quatre années de thèse. Mais celle-ci ne saurait être le seul fruit de mes efforts isolés d'étudiant. Nombreux sont ceux qui par leurs conseils avisés, leur soutien amical ou leurs réflexions circonspectes ont contribué à ce que ce travail soit mené à son terme. Avant toute chose, je tiens à les en remercier très chaleureusement et à les assurer de ma profonde reconnaissance.

Ce parcours semé d'embûches a, tout d'abord, pu être réalisé grâce au suivi quotidien et au soutien de tous les instants de mes directeurs de thèse, Denis Requier-Desjardins et Jacques-Eric Bergez, ainsi que de mes tutrices, Aude Ridier et Françoise Carpy-Goulard. Ils m'ont encadré en m'accordant beaucoup de liberté, laissant libre cours à mon inspiration et à mes envies, tout en canalisant ma curiosité scientifique. Je les remercie pour la confiance sans faille qu'ils m'ont accordée, même au cœur d'instantanés parfois périlleux. Je tiens également à remercier l'ensemble des membres du jury, Alfons Balmann, Laure Latruffe, Jean-Paul Nicoletti, Philippe Perrier-Cornet, Denis Requier-Desjardins et Aude Ridier d'avoir accepté d'évaluer ce travail de thèse.

Les soutiens financiers de la Région Midi-Pyrénées et d'Arvalis – institut du végétal ont été primordiaux pour mener ce travail de thèse à son terme. Les bourses de mobilité accordées par le CIERA pour financer mes déplacements à l'IAMO ont également largement contribué à l'aboutissement de ce travail de thèse en facilitant la collaboration avec les chercheurs de l'IAMO. Un grand merci à eux.

J'adresse également ma sincère gratitude aux membres des différents centres de recherche que j'ai fréquentés, l'ENFA, l'IAMO, l'INRA et le LEREPS, pour l'accueil qui m'a été réservé. En tant que doctorant, la mise à disposition d'un espace de travail au sein d'un laboratoire est un atout indéniable pour mener à bien un travail de thèse. L'opportunité d'échanger quotidiennement avec d'autres chercheurs est, de plus, une incitation sans commune mesure à l'émulation scientifique. Je tiens à remercier tous les personnels administratifs de ces centres et en particuliers, Annemarie, Anne-Marie, Christine, Geneviève, Marina, Regina, Sophie et

Sabine, ainsi que les chercheurs et les enseignant-chercheurs de l'ENFA, de l'IAMO, de l'INRA et du LEREPS dont les conseils quotidiens ont été une aide précieuse. Je salue tout spécialement Michael Kopsidis pour sa bonne humeur quotidienne et ses blagues savamment préparées.

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui ont consacré de leur temps précieux pour participer aux comités de suivi et aux comités de thèse qui ont jalonné l'avancé des travaux présentés dans cette thèse. Elles m'ont prodigué des conseils inestimables, éclairant mes travaux de leurs riches expériences et de leur vision critique. Merci à Christian Montgobert, Jean-Paul Nicoletti, Anne Paulhe-Massol et Olivier Thérond pour leur participation aux comités de suivi. Merci également à Kathrin Happe, Jean-Paul Nicoletti, Olivier Petit, Christoph Sahrbacher et Sophie Thoyer pour leur participation aux comités de thèse INRA. Merci enfin à Jean-Pierre Del Corso, Danièle Galliano, Nicola Gallai, Anne Isla, Charilaos Kephaliacos, Rachel Levy, Marie-Benoît Magrini et Pierre Triboulet pour leur participation aux comités de thèse du LEREPS.

Scientifiquement, cette thèse a été l'occasion de collaborer ponctuellement avec différents chercheurs. Ces rencontres, enrichissantes scientifiquement, sont également des opportunités de rencontres collégiales voire amicales. Je tiens à remercier Marie-Benoît Magrini, pour ses nombreux conseils en économétrie, ainsi que les membres de l'IAMO, et en particuliers Alfons Balmann, pour m'avoir ouvert les portes de l'IAMO, Arlette Ostermeyer, Christoph Sahrbacher et Franziska Schönau, pour m'avoir ouvert celles d'AgriPoliS. Je tiens également à remercier la DRAAF Midi-Pyrénées, pour m'avoir accordé l'accès à leurs bases de données, et Dominique Aymard, pour son accueil chaleureux et sa disponibilité.

Cette thèse a également été l'opportunité de rencontrer de nombreuses personnes à l'ENFA, à l'IAMO, à l'INRA et au LEREPS, et de nouer des relations amicales sans lesquelles il aurait été bien difficile d'en surmonter toutes les épreuves quotidiennes. Je ne saurai toutes les citer et, en espérant ne pas en oublier trop, je remercie les « Jean-Michel » stagiaires, doctorants et post-doctorants, Achille, Arnaud, Audrey, Christian, Eline, Elodie, Eric, Issam, Javier, Jean-Luc, Julie, Lucie, Mohammed et Solène de l'ENFA; Ayse, Aymeric, Bertrand, Diego, Geoffrey, Geoffroy, Inès, Joan, Laurie, Liliana, Luis, Mariam, Pierre-Alexandre, Simon, Susanna, Tristan et l'ensemble des doctorants du LEREPS ; ainsi qu'Andriy, Arlette, Boröka, Diana, Florian, Franziska, Ilkay, Ivan, Jamila, Jerry, Konstantin, Lili, Kasia, Klodi, Maryna,

Mila, Omar, Pall, Ramona, Sultan, Sasha, Swetlana, Vasyl et l'ensemble des doctorants et post-doctorants de l'IAMO, sans qui ces quatre années de thèse auraient été bien moins chamarrées et bien moins riches en instants inoubliables.

Mes sentiments les plus amicaux sont également adressés aux collègues qui ont consacré de leur temps à la relecture de certains chapitres de cette thèse. Achille, Audrey, Geoffroy, Jean-Pierre, Liliana, Ludwig, Luis, Nicola, Paul et Simon, je vous serai à jamais reconnaissant pour vos conseils avisés. Une pensée toute particulière de profonde gratitude va également à l'ensemble du corps enseignant qui, tout au long de mes nombreuses années d'étude, a accompli avec passion et mérite son rôle merveilleux d'apprentissage. Aujourd'hui, j'ai cette intime conviction que sans eux, sans leur patience, sans leur persévérance, sans leur acharnement, sans tout ce qu'ils se sont évertués à m'enseigner, rien de cette belle aventure n'aurait été possible.

Outre ces instants d'intense collaboration intellectuelle et de coopération scientifique, une thèse, c'est également des moments de doute et de remise en question parfois difficiles à surmonter. Heureusement, nos amis sont toujours là pour nous encourager. Ils ne nous abandonnent jamais et nous soutiennent en permanence. Merci très sincèrement à Audrey, Babou, Boul, Brekk, Eva, Flying H, Franzy, Guigui, Julian, Julio, Kide, les K'Tas, Laureline, Momo, Paul le berger, Riko, Vince et Vince, Yo et Yayo.

Mes dernières pensées, les plus chaleureuses et les plus sincères, sont adressées à l'ensemble de ma famille et tout spécialement à Chantal, ma mère, Jean-François, mon père, Delphine, ma petite sœur, Loulette, ma grand-mère et Nathalie, ma marraine. Depuis le tout début, ils sont là. Depuis le tout début, ils me supportent, me soutiennent et m'encouragent. Je leur dois énormément et j'espère qu'un jour, il me sera possible de leur montrer toute la gratitude que j'ai à leur égard. Certains proches, Augusta, Bernard, Francine, Gègène, Jacques et Waldeck, dont la participation à la réalisation de cette thèse n'a pas été des moindres, ne pourront malheureusement pas lire ces mots. Je les remercie du fond du cœur pour toutes les valeurs qu'ils m'ont transmises, notamment le courage d'avoir des rêves et la force de les vivre. J'espère qu'au-delà de ce qu'ils m'ont appris à être, je saurai me montrer digne de leurs enseignements et de leur affection, et que je les transmettrai avec le même succès qui fût le leur.

Productions scientifiques

Article scientifique

- Akimowicz M., M.B. Magrini. A. Ridier, J.E. Bergez et D. Requier-Desjardins, **What influences farm size growth? An illustration in South-Western France**, soumis à la revue « Applied Economic Perspectives and Policy »

Communications à des colloques internationaux

- Akimowicz M., M.B. Magrini. A. Ridier, J.E. Bergez et D. Requier-Desjardins, 2011, **Une analyse économétrique des facteurs influençant la taille et la croissance en taille des exploitations agricoles de la région Midi-Pyrénées**, 5^{èmes} Journées de Recherches en Sciences Sociales INRA SFER CIRAD organisées par la Société Française d'Economie Rurale (SFER), Dijon, France
- Akimowicz M., C. Sahrbacher, A. Ostermeyer, A. Ridier, J.E. Bergez, D. Requier-Desjardins et F. Goulard, 2011, **Agent-Based Modelling for impact assessment of urban sprawl on cash crop farm structure in South-Western France**, New Challenges for European Regions and Urban Areas in a Globalised World, 51^{ème} Congrès Européen de la Regional Science Association International (RSAI), Barcelone, Espagne
- Akimowicz M., 2009, **The effects of the 2006 INAO reform on the quality labelled food chain products in France**, Territorial Cohesion of Europe and Integrative Planning, 49^{ème} Congrès Européen de la RSAI, Lodz, Pologne

Présentation de posters

- Akimowicz M., C. Sahrbacher, A. Ostermeyer, A. Ridier, J.E. Bergez, D. Requier-Desjardins et F. Carpy-Goulard, 2011, **Modelling the impact of urban sprawl on evolving farm structures: the case of cash crop farms in South-Western France**, Change and Uncertainty: Challenges for Agriculture, Food and Natural Resources, XIII

Congrès de la European Association of Agricultural Economists (EAAE), Zurich, Suisse
(présenté par A. Sahrbacher)

Communications à des séminaires pour doctorants

- Akimowicz M., 2012, **Simulation de l'adaptation structurelle des exploitations agricoles à la périurbanisation**, 2^{ème} Journée des Doctorants du LEREPS, Toulouse, France
- Akimowicz M., 2011, **An econometric analysis of factors driving farm structural change in south-western France**, EAAE PhD workshop, Nitra, Slovaquie (également présenté à la 1^{ère} Journée des Doctorants du LEREPS, Toulouse, France)

Table des matières

<i>Remerciements</i>	<i>i</i>
<i>Productions scientifiques</i>	<i>v</i>
<i>Table des matières</i>	<i>vii</i>
<i>Table des tableaux</i>	<i>xi</i>
<i>Table des figures</i>	<i>xiii</i>
<i>Table des acronymes</i>	<i>xv</i>
INTRODUCTION GENERALE	1
PARTIE 1	13
MODIFICATION DE LA DYNAMIQUE STRUCTURELLE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES PERIURBAINES : THEORIE ET ANALYSE RETROSPECTIVE	13
INTRODUCTION DE LA PREMIERE PARTIE	15
CHAPITRE 1.....	17
IMPACTS DE L'EVOLUTION DE LA VALEUR DE LA RENTE FONCIERE PERIURBAINE SUR L'ACTIVITE AGRICOLE	17
<i>Introduction</i>	17
1.1 <i>Le foncier agricole support de l'expansion des villes : définition de la périurbanisation</i>	18
1.1.1 La périurbanisation : une consommation rapide du foncier agricole à des fins non-agricoles.....	19
1.1.2 Analyse des facteurs affectant la dynamique de périurbanisation.....	21
1.1.3 Classification des différentes formes de croissance urbaine	23
1.2 <i>Comment estimer la valeur du foncier périurbain ?</i>	25
1.2.1 La rente foncière dans la littérature économique	25
1.2.2 Usages du foncier périurbain et estimation de la valeur de la rente foncière périurbaine	31
1.3 <i>Impacts de l'extension périurbaine des villes sur l'activité agricole</i>	34
1.3.1 Les mécanismes de régulation des transactions foncières	34
1.3.2 Impacts de la périurbanisation sur le fonctionnement des exploitations agricoles.....	38
<i>Conclusion</i>	41
CHAPITRE 2.....	43
QUELLES APPROCHES THEORIQUES POUR INTEGRER LA STRATEGIE DE PATRIMONIALISATION DANS L'ANALYSE DU CHANGEMENT STRUCTUREL DES EXPLOITATIONS AGRICOLES PERIURBAINES ?	43
<i>Introduction</i>	43
2.1 <i>Définition et caractéristiques de l'évolution structurelle des exploitations agricoles</i>	44
2.1.1 La structure de l'exploitation agricole : une dotation en facteurs de production	45
2.1.2 Le changement structurel, une évolution lente et irréversible.....	47
2.1.3 Rôle des facteurs de dépendance au chemin	49
2.2 <i>Des approches pour analyser les déterminants classiques du changement structurel en agriculture</i>	54
2.2.1 Economies d'échelle et économies de gamme	55
2.2.2 Quelles spécificités pour l'analyse du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines ?....	60
2.3 <i>Un modèle de ménage pour analyser les déterminants spécifiques du changement structurel périurbain</i>	62
2.3.1 La spéculation sur le prix du foncier	62
2.3.2 Coupler un modèle microéconomique de ménage à un modèle multi-agents spatialisé.....	64
<i>Conclusion</i>	69
CHAPTER 3	71
WHAT INFLUENCES FARM SIZE GROWTH? AN ILLUSTRATION IN SOUTH-WESTERN FRANCE	71
<i>Introduction</i>	71
3.1 <i>Literature review: what are the main factors responsible for farm size growth?</i>	73
3.1.1 Farm mechanization and specialization.....	74
3.1.2 Is there a farm equilibrium size?.....	74
3.1.3 Human capital factors.....	75

3.1.4 Other classical factors.....	76
3.1.5 Territorial factors.....	76
3.2 <i>Materials and econometric method</i>	77
3.2.1 Regional trends in professional farms.....	78
3.2.2 Econometric models.....	80
3.3 <i>Results of the econometric models</i>	87
3.3.1 The influence of farm structure variables.....	89
3.3.2 Empirical results concerning the influence of the characteristics of farmers.....	90
3.3.3 Empirical results concerning the influence of territorial variables.....	91
<i>Conclusion</i>	93
CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE.....	95
PARTIE 2.....	97
SIMULER LE CHANGEMENT STRUCTUREL DES EXPLOITATIONS AGRICOLES PERIURBAINES AVEC LE SYSTEME MULTI-AGENTS AGRIPOLIS.....	97
INTRODUCTION DE LA DEUXIEME PARTIE.....	99
CHAPITRE 4.....	101
UN SYSTEME MULTI-AGENTS POUR SIMULER LE CHANGEMENT STRUCTUREL DES EXPLOITATIONS AGRICOLES PERIURBAINES.....	101
<i>Introduction</i>	101
4.1 <i>Analyse comparative des méthodes utilisées pour modéliser le changement structurel des exploitations agricoles</i>	102
4.1.1 Les modèles de type économétrique.....	102
4.1.2 La programmation mathématique.....	106
4.1.3 Les systèmes multi-agents.....	107
4.2 <i>Les Systèmes multi-agents, des outils complexes au potentiel intéressant</i>	108
4.2.1 Des laboratoires virtuels.....	108
4.2.2 Des outils flexibles pouvant être couplés à d'autres outils.....	108
4.2.3 Des outils complexifiant la diffusion des résultats.....	109
4.3 <i>Modéliser le changement structurel des exploitations avec AgriPolis</i>	109
4.3.1 La phase d'initialisation : créer un territoire virtuel.....	110
4.3.2 La phase de simulation : simuler le fonctionnement des exploitations agricoles.....	112
<i>Conclusion</i>	116
CHAPTER 5.....	119
ADAPTATION OF THE AGENT-BASED MODEL AGRIPOLIS TO A SUBREGION OF MIDI-PYRENEES (LAURAGAIS).....	119
<i>Introduction</i>	119
5.1 <i>The upscaling procedure: creating a virtual region based on individual farms</i>	121
5.1.1 Selecting individual farms from the French FADN dataset: method and data.....	121
5.1.2 Results of the upscaling procedure.....	125
5.1.3 Introduction of two arable soil types.....	132
5.2 <i>A classification of the upscaled farms</i>	133
5.2.1 Implementation of the distance index.....	134
5.2.2 Results of the classification.....	135
5.3 <i>Calibration of AgriPolis: adjusting data to reproduce observed trends</i>	138
5.3.1 Calibrating the share of crops in the Simuland.....	139
5.3.2 Calibrating the regional average labour input per hectare.....	143
5.3.3 Calibrating the relative decline of farms.....	144
5.4 <i>Validation of AgriPolis: testing the behaviour of the model</i>	147
5.4.1 Complementarities and differences between calibration and validation.....	147
5.4.2 Methodology for the validation of AgriPolis.....	148
5.4.3 Results of the validation step of AgriPolis.....	151
<i>Conclusion</i>	159
CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE.....	161
PART 3.....	163
THE STRUCTURAL ADJUSTMENT OF PERIURBAN CASH-CROP FARMS IN LAURAGAIS.....	163

INTRODUCTION OF THE THIRD PART.....	165
CHAPTER 6	167
CASH-CROP FARM STRUCTURAL CHANGE IN LAURAGAIS: A PROSPECTIVE ANALYSIS	167
<i>Introduction</i>	167
6.1 <i>Methodology used for simulating periurban farm structural change</i>	168
6.1.1 Scenarios for assessing the impact of sprawl.....	168
6.1.2 Parctical considerations	169
6.1.3 Description of results.....	170
6.2 <i>Identification of the drivers of Farm agents' exit rates</i>	171
6.2.1 A farm exit rate speeding up due to a decrease in subsidies.....	171
6.2.2 Modification of investment and production decisions	172
6.2.3 A loss of competitiveness for hillside farms.....	180
6.3 <i>Discussion</i>	181
6.3.1 Absence of a size catch-up effect.....	181
6.3.2 A prospective discussion of the AgriPoliS results.....	183
<i>Conclusion</i>	183
CHAPTER 7	185
EXTENDING AGRIPOLIS TO SIMULATE URBAN SPRAWL	185
<i>Introduction</i>	185
7.1 <i>General structure of the urban sprawl extension</i>	186
7.2 <i>Introduction of urban landscapes</i>	190
7.3 <i>Modelling the behaviour of the agent City</i>	194
7.3.1 Characteristics of the land market in the real-world area	194
7.3.2 Modelling the behaviour of the agent City	196
7.4 <i>Introducing speculation in the behaviour of Farm agents</i>	201
7.4.1 Introduction of a speculative factor in the profit function of Farm agents	202
7.4.2 The speculative behaviour of non-professional farmers	204
<i>Conclusion</i>	205
CONCLUSION OF THE THIRD PART	207
DISCUSSION GENERALE : ANALYSE CRITIQUE	209
<i>Complémentarité des approches économétrique et multi-agents</i>	210
Identification ex-post des déterminants du changement structurel des exploitations	210
AgriPoliS, un modèle au potentiel élevé mais à la structure contraignante pour répondre aux questions posées dans cette thèse	212
Cohérence des résultats de l'analyse économétrique avec la structure d'AgriPoliS.....	213
<i>Représentation du paysage dans AgriPoliS</i>	214
Couplage d'AgriPoliS avec un système d'information géographique : la contrainte du torus	214
Introduction de types de sol hétérogènes : le cas des Terreforts et des Boulbènes.....	216
Différenciation des agents virtuels : le biais introduit par le recours à des distributions aléatoires	217
<i>Le comportement des agents exploitations agricoles</i>	217
Sélection des agents exploitations agricoles : partialité des données FADN	218
Des décisions de sortie intégrant les coûts irrécouvrables	219
Introduire d'autres opportunités de productions agricoles ou des activités non agricoles	219
<i>A propos de la représentation de l'étalement urbain</i>	220
Compétition foncière et rôle des villes	221
Hétérogénéité des terres artificialisées : différenciation de la contrainte périurbaine	221
CONCLUSION GENERALE	223
<i>Apports de la thèse</i>	225
Apports théoriques.....	226
Apports méthodologiques	226
Apports empiriques	228
<i>Perspectives de recherche</i>	229
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	231
ANNEXES.....	249

Table des tableaux

Tableau 1 : Comparaison des modèles de localisation des activités de Von Thünen (1826) et d'Alonso (1964) .	29
Tableau 2 : Caractéristiques du foncier périurbain en fonction de son usage agricole ou urbain	32
Tableau 3 : Propriétés des agents des systèmes multi-agents	67
Tableau 4 : Sélection de travaux appliqués à l'agriculture mobilisant des systèmes multi-agents	68
Table 5: Estimation of the variations in farm size between 2000 and 2007 in the sample of farms.....	79
Table 6: Size growths exceeding 2% between 2000 and 2007 in the sample of farms	79
Table 7: Descriptive analysis of the dependant variables of the three econometric models.....	80
Table 8: Typology of the independent variables used in the econometric models	82
Table 9: Descriptive analysis of the variables used in the econometric variables (reference year 2000)	83
Table 10: Results of the estimations of the econometric models in Midi-Pyrénées between 2000 and 2007	88
Tableau 11 : Description non-exhaustive de travaux en économie agricole utilisant des modèles économétriques	105
Tableau 12 : Contrainte rotationnelle des différentes cultures introduite dans les simulations	114
Tableau 13 : Critères d'évaluation des coûts d'opportunité des facteurs de production dans AgriPoliS.....	115
Table 14: Regional data used for the upscaling procedure and results	124
Table 15: Typical farms selected during the upscaling procedure.....	127
Table 16: Difference observed between land use values extracted from the 2000 RPG and the 2007 RPG.....	128
Table 17: Adjustment of the characteristics of the virtual area to the characteristics of the real-world area...	130
Table 18: Comparison of the estimated share of Boulbènes and Terreforts soil types in the real-world area and in the Simuland	132
Table 19: Description of the structure parameters used in AgriPoliS for the 25 typical farms.....	133
Table 20: Comparison of the share of irrigated land between the CRAMP farms and the farm agents	136
Table 21: Characteristics of the farm classes	136
Table 22: Definitions of the ratios used in the radars in order to describe farm classes.....	137
Table 23: Characteristics of the calibration procedures	139
Table 24: Comparison of the share of crops in the real-world area and in the Simuland	140
Table 25: Technial and economic values of calibrated data on crops used in the simulations	142
Table 26: Three estimations of the average labour per hectare in the real-world area.....	144
Table 27: Adjusted values of the labour input per hectare of crop	144
Table 28: Financial indicators used in AgriPoliS	145
Table 29: Ranges of the parameter values tested for the adjustment of the value of the farm exit rate.....	146
Table 30: Adjusted values of the parameters selected for the calibration of the farm exit rate	147
Table 31: Parameters tested during the validation procedure	150
Table 32: Design of experiment matrix of the validation procedure	151

Table 33: Results of the OLS regression of the validation metamodel	158
Table 34: Design of experiment for simulating farm structural change	170
Table 35: Influence of the policy change on farm exit rates in the four scenarios in iterations 2 and 3	172
Table 36: Crop gross margins in the four scenarios	176
Table 37: Evolution of the values of subsidies during the policy reform	177
Table 38: Calculation for radiuses used to transform the « real » Lauragais into a circular region	192
Table 39: Values used for the initialization of towns in the urban area	192
Table 40: Area occupied by the different landscapes in real-world area and in the Simuland	193
Table 41: Location and area consumed by urban sprawl every year in the proposed extension of AgriPoliS ...	199
Table 42: Comparison of the evolution of the number of farms between 2000 and 2007	204
Tableau 43: Déterminants du changement structurel identifiés dans l'analyse économétrique et pris en compte dans AgriPoliS.....	213
Table A44: Results of the multinomial logit estimation using odds ratios.....	277
Table A45: Economical data for cultivated crops in the Lauragais region (original values).....	283
Table A46: Economical data for ewes in the Lauragais region (original values)	283
Table A47: Investment options for the Lauragais region	284
Table A48: Values of the coupled CAP payments in the Lauragais region since 2007	288
Table A49: Values of the coupled CAP payments in the simulations.....	288
Table A50: Farm description and endowment in production factors	291
Table A51: AgriPoliS data structure	293
Table A52: Financial indicators	294
Table A53 : Mathematical formulations of the economic variables used in AgriPoliS (Happe, 2004).....	294
Table A54: Land prices as a function of the as-the-crow-flies distance from Toulouse	295
Table A55: Land prices as a function of the road distance from Toulouse	295
Table A56: Land prices as a function of the time-distance during off-peak hours from Toulouse	295
Table A57: Land prices as a function of the time-distance during rush-hours from Toulouse	295
Table A58: Land prices as a function of the as-the-crow-flies distance from Villefranche-de-Lauragais	297
Table A59: Land prices as a function of the road distance from Villefranche-de-Lauragais	297
Table A60: Land prices as a function of the time-distance during off-peak hours from Villefranche-de-Lauragais	297
Table A61: Land prices as a function of the time-distance during rush-hours from Villefranche-de-Lauragais ..	297
Table A62: Endowment of farms with Terreforts and Boulbènes.....	301

Table des figures

Figure 1 : Distribution spatiale de l'activité agricole dans la région Midi-Pyrénées (Agreste, 2010).....	4
Figure 2 : Evolution démographique des communes de la région Midi-Pyrénées entre 1999 et 2006, source (Frenot, 2009) d'après données IGN – Insee 2008	5
Figure 3 : Trois formes théoriques d'étalement urbain et de consommation du foncier rural (Slak & Vivière, 1999)	24
Figure 4 : Distribution spatiale des activités dans les modèles de Von Thünen (1826) et d'Alonso (1964)	30
Figure 5 : Evolution des déterminants de la valeur de la rente foncière en fonction de la distance au centre ville (Capozza & Helsley, 1989).....	31
Figure 6 : Coûts moyens de production des exploitations agricoles (Boussard, 1986; Chavas, 2001)	56
Figure 7: Localisation of the Midi-Pyrénées region and its eight departments (1/16000000)	78
Figure 8 : Description du fonctionnement du modèle AgriPoliS, adapté de Happe (2004).....	110
Figure 9: Demographical evolution of Lauragais municipalities between 1990 and 1999, source: Direction des Affaires Economiques et du Développement Local (Association du Pays Lauragais, 2002)	120
Figure 10: Loss of information about the real-world agricultural structure occurring during the upscaling procedure (Source: CRAMP)	129
Figure 11: Synthesis of the upscaling procedure, selected databases and motivations.....	131
Figure 12: Evolution of the values of the distance indexes used to classify farm agents	135
Figure 13: Characteristics of the average farms obtained in the classification	137
Figure 14: Final value of the adjusted farm exit rate	146
Figure 15: Evolution of the decline of farms in the validation procedure	153
Figure 16: Evolution of the household incomes in the validation procedure.....	153
Figure 17: Evolution of the plain land rent in the validation procedure.....	153
Figure 18: Evolution of the hillsides land rent in the validation procedure.....	153
Figure 19: Relative declines of farms given the validation parameter values	155
Figure 20: Evolution of household incomes given the validation parameters.....	155
Figure 21: Evolution of plain land rents given the validation parameter values	155
Figure 22: Evolution of hillsides land rents given the paramters.....	155
Figure 23: Evolution of cumulated farm exit rates during the simulations in the four scenarios.....	170
Figure 24: Total values of subsidies received by Farm agents in the four scenarios	172
Figure 25: Farm size growth during the simulations in the four scenarios	173
Figure 26: Evolution of the regional crop mix during the simulations in the four scenarios	175
Figure 27: Evolution of the relative shares of laboursduring the simulations in the fourth scenarios.....	179
Figure 28: Evolution of the hillside land rent during the simulations in the four scenarios	180

Figure 29: Average farm size growths in the three classes during the simulations in the four scenarios (iteration 24)	182
Figure 30: Conceptual UML class diagram of the proposed AgriPoliS extension.....	187
Figure 31: Attributes of objects introduced in the proposed extension.....	188
Figure 32: General process of simulation for the proposed extension of AgriPoliS	189
Figure 33: Transformation of the real-world area into a squared area	191
Figure 34: Characteristics of the farmland market in the simulated area from 2005 to 2010 in the simulated area	195
Figure 35: Farmland prices for development projects between 2005 and 2010 in the simulated area.....	196
Figure 36: Average land prices given the as-the-crow-flies distance to the urban pole in the simulated area..	197
Figure 37 : Amount of land bought by non-farmers for non-farming purposes between 2005 and 2010 in the simulated area	198
Figure 38 : Method to calculate the values of the transition probabilities used in the proposed extension	201
Figure 39 : Modification de la forme de représentation du paysage dans AgriPoliS	216
Figure A40 : Map of the level of decoupled payments in the Midi-Pyrénées region (SSP, 2007a).....	287
Figure A41: Visual evidences of urban sprawl in Lauragais (Summer 2012).....	289
Figure A42: Distribution of soil types in the real-world area (Source: IGN & CRAMP)	299
Figure A43: Distribution of Terreforts and Boulbène soil types in the real-world area.....	300
Figure A44: Distribution of the soil types in each "commune" of the real-world area.....	301

Table des acronymes

ABM	Agent-Based Model (SMA)
AOP	Appellation d'Origine Protégée
ATCF	As-the-crow-flies
AUAT	Agence d'Urbanisme et d'Aménagement du territoire Toulouse Aire Urbaine
AWU	Annual Working Unit (UTA)
CAP	Common Agricultural Policy (PAC)
CBD	Central Business District
CDOA	Commission Départementale d'Orientation de l'Agriculture
CEE	Communauté Economique Européenne
COR	Conditional Odds Ratio
CRAMP	Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées
DoE	Design of Experiment
DPU	Droits à Paiement Unique
EEA	European Environment Agency / Agence Européenne de l'Environnement
EPF	Etablissement Public Foncier de l'Etat
EPFL	Etablissement Public Foncier Local
ES	Enquête sur la Structure des exploitations (FSS)
ESU	European Size Unit
ETA	Entreprise de Travaux Agricole
EU	European Union (UE)
FADN	Farm Accountancy Data Network (RICA)
FGC	Farm General Census (RGA)
FSS	Farm Structure Survey (ES)
GIS	Geographic Information System
IAMO	Institut pour le Développement Agricole de l'Europe Centrale et Orientale
IG	Indication Géographique
IGN	Institut Géographique National

IGP	Indication Géographique Protégée
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
MBS	Marge Brute Standard (SGM)
MIP	Mixed-Integer Programming
MSA	Mutualité Sociale Agricole
OLS	Ordinary Least Squares
OR	Odds Ratio
OTEX	Orientation Technico-économique des EXploitations
PAC	Politique Agricole Commune (CAP)
PAD	Percentage of Absolute Deviation
PBS	Production Brute Standard
PLU	Plan Local d'Urbanisme
RICA	Réseau d'Information Comptable de l'Agriculture (FADN)
RGA	Recensement Général Agricole (FGC)
RGP	Recensement Général de la Population
RPG	Relevé Parcellaire Graphique
SAF	Société des Agriculteurs de France
SAFER	Sociétés d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural
SAU	Surface Agricole Utile (UAA)
SCOT	Schémas de COhérence Territoriale
SGM	Standard Gross Margin (MBS)
SIG	Système d'Information Géographique (GIS)
SMA	Système Multi-Agents (ABM)
STH	Superficie Toujours en Herbe
UAA	Utilized Agricultural Area (SAU)
UDE	Unité de Dimension Européenne (ESU)
UE	Union Européenne (EU)
US	United-States/Etats-Unis
ZAC	Zone d'Aménagement Concerté
ZAUER	Zonage en Aires Urbaines et en aires d'Emploi de l'espace Rural

INTRODUCTION GENERALE

L'agriculture française occupe aujourd'hui une place nouvelle dans l'économie française suite à l'industrialisation, puis à la tertiarisation de cette dernière (Polèse & Shearmur, 2005). Ainsi, nous pouvons observer une diminution du nombre des exploitations et des actifs agricoles, un recul de la contribution de l'agriculture au produit intérieur brut et la prise en compte par la société des externalités négatives d'origine agricole. Une des conséquences de cette évolution concerne le changement structurel des exploitations agricoles, c'est-à-dire l'évolution des dotations en facteurs de production, provoqué par les investissements des agriculteurs¹. Le changement structurel des exploitations agricoles est un sujet largement documenté dans la littérature économique. Pour autant, l'originalité de cette thèse réside dans l'intérêt porté au changement structurel des exploitations agricoles périurbaines et plus spécifiquement à celui des exploitations de grande culture du Lauragais midi-pyrénéen. Au cœur de la plus grande région agricole française, Toulouse, la capitale régionale, connaît une croissance démographique importante qui pourrait modifier les dynamiques de changement structurel des exploitations agricoles périurbaines du fait de leur proximité accrue avec les espaces urbains. Dans la région Midi-Pyrénées, la question du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines de grande culture est essentielle pour un aménagement territorial durable conciliant les intérêts, parfois divergents, d'acteurs agricoles et urbains partageant une ressource commune, le foncier. Toutefois, cette question n'a que peu été traitée dans la littérature. Avec ce travail, nous souhaitons contribuer à la compréhension des dynamiques de changement structurel des exploitations agricoles périurbaines en utilisant des outils d'analyse rétrospectif (économétrie) et prospectif (simulations).

¹ Sur le long terme, la structure d'une exploitation agricole peut être définie comme la dotation en facteurs de production (capital, travail et foncier) disponible sur l'exploitation.

Tendances du changement structurel des exploitations agricoles midi-pyrénéennes

En 2010, le nombre d'exploitations agricoles était estimé à environ 47 619, soit une chute de plus de 50% depuis 1979 (Agreste, 2010). Le taux de disparition des exploitations agricoles s'est accéléré dans les années quatre-vingt dix (environ -3% par an) avec l'arrivée à l'âge de la retraite des exploitants, la mise en place de mesures de départ anticipé à la retraite et le ralentissement des installations. Il a ensuite légèrement ralenti la décennie suivante (-2% par an environ). Dans le même temps, la relative stabilité de la surface agricole exploitée (baisse moyenne annuelle de 1% entre 1988 et 2000), en comparaison au déclin du nombre des exploitations, a résulté en un agrandissement sensible des exploitations (+50% depuis 1979). Aujourd'hui, celles-ci atteignent une taille moyenne estimée à 48 ha². De nos jours, ce sont principalement les grandes exploitations qui s'agrandissent. Bien que minoritaires en nombre, elles occupaient 13% de la SAU régionale en 1979 et en occupent 40% aujourd'hui (Agreste, 2010). Cette concentration des terres agricoles pourrait toutefois être freinée par la reprise à la hausse des prix du foncier après trente ans de baisse ininterrompue (en monnaie constante) (FNSAFER, 2012b). L'agrandissement des exploitations s'est, de plus, accompagné d'une spécialisation de l'activité agricole à l'origine du déclin des exploitations aux productions peu spécialisées (polyculture-élevage, polyculture, polyélevage) (CRAMP, 2012). Cette restructuration a été au cœur des politiques structurelles agricoles avec, en Europe, la mise en place du plan Mansholt en 1970 et, dès les années soixante en France, les lois d'orientation agricole, avec l'objectif de réduire l'écart entre les revenus agricoles et ceux perçus dans les autres secteurs.

Parallèlement, les systèmes agricoles se sont fortement mécanisés et l'utilisation du facteur de production travail par hectare de terre cultivée a chuté, notamment du fait de la baisse du nombre d'exploitants agricoles. Estimé à 56 643, le nombre de chefs d'exploitation et de co-exploitants a significativement diminué entre 1979 et 2010 (-46%) (Agreste, 2010). Démographiquement, l'actuel rajeunissement des chefs d'exploitation et des co-exploitants (âge moyen de quarante-huit ans) est toutefois une tendance en trompe l'œil (les sorties massives des exploitants âgés expliqueraient davantage ce rajeunissement que le remplacement des exploitants âgés par des jeunes). Jusque dans les années quatre-vingts, le secteur agricole midi-pyrénéen était, de plus, principalement constitué d'exploitations familiales caractérisées par la prégnance de la famille de l'agriculteur au sein du système

² La région Midi-Pyrénées se caractérise toutefois par un nombre important d'exploitations non-professionnelles (47% en 2010), principalement localisées dans les zones de montagne, qui occupent 13% de la SAU régionale.

d'exploitation (participation au travail agricole et à la prise de décision) (CRAMP, 2012). La baisse des effectifs a également été particulièrement sévère parmi les actifs agricoles familiaux qui sont passés de 111 750 en 2000 à 77 700 en 2010, ces derniers étant toutefois en partie remplacés par du salariat (permanent et saisonnier).

Enjeux de la périurbanisation sur le changement structurel des exploitations agricoles

La vulnérabilisation sectorielle de l'agriculture s'est accompagnée d'une urbanisation croissante (Polèse & Shearmur, 2005). L'urbanisation, phénomène de densification des espaces urbains, évolue, aujourd'hui, vers un phénomène d'expansion spatiale, rapide et de faible densité, opéré au détriment des espaces agricoles : la périurbanisation (EEA, 2006). La périurbanisation est le résultat conjoint d'une croissance démographique des villes et d'une évolution des préférences des agents pour un habitat de type villa. En provoquant l'artificialisation irrémédiable des terres agricoles, souvent très fertiles à proximité des villes, la périurbanisation est un facteur supplémentaire de vulnérabilité pour l'agriculture. Toutefois, en rapprochant la ville des exploitations agricoles, elle est également source d'opportunités (valorisation des produits en vente directe, allocation du temps de travail entre une activité agricole et une activité non-agricole) (Lopez et al., 1988; Inwood & Sharp, 2012).

En 2002, 70% des agriculteurs vivaient à moins d'une heure d'un centre-ville (DATAR, 2002). La question de l'articulation des espaces urbains et ruraux est dès lors une question d'aménagement territorial primordiale. Face aux opportunités et aux contraintes des espaces périurbains, les agriculteurs adaptent leur activité provoquant, sur le long terme, un changement structurel spécifique des exploitations agricoles. Dans cette thèse, nous nous pencherons plus spécifiquement sur le cas de la région Midi-Pyrénées où Toulouse, la capitale régionale, enregistre une croissance spatiale périurbaine substantielle (Frenot, 2009; AUAT, 2010).

Avec le plus grand nombre d'exploitations agricoles, 47 619 exploitations (9.3% des exploitations françaises) et la plus grande surface agricole utile (SAU)³, 2 291 498 ha (8.5% de la SAU française), la région Midi-Pyrénées est considérée comme la plus grande région agricole de France (Agreste, 2010). Dans cette région, le maintien d'une activité agricole est, d'une part, une question de développement économique, avec une filière agroalimentaire représentant environ 100 000 emplois et, d'autre part, un enjeu d'aménagement territorial,

³ La SAU comprend les terres arables, la superficie toujours en herbe (STH) et les cultures permanentes.

afin de permettre la coexistence de l'agriculture avec d'autres activités, de renforcer l'attractivité du territoire grâce à des paysages agricoles entretenus et de mettre en valeur le potentiel touristique régional. Dans la région Midi-Pyrénées, le relief, les conditions pédoclimatiques et la disponibilité de l'eau ont été des déterminants majeurs de la spécialisation productive des exploitations (figure 1)⁴. Les grandes cultures sont principalement localisées dans la vallée de la Garonne et sur les coteaux du Gers. Les principales cultures sont le blé, le tournesol et le maïs irrigué. Les grandes cultures se sont maintenues, encadrées par une filière bien structurée. En 2010, ce secteur représentait 31% des exploitations midi-pyrénéennes et 33% de la SAU régionale (Agreste, 2010).

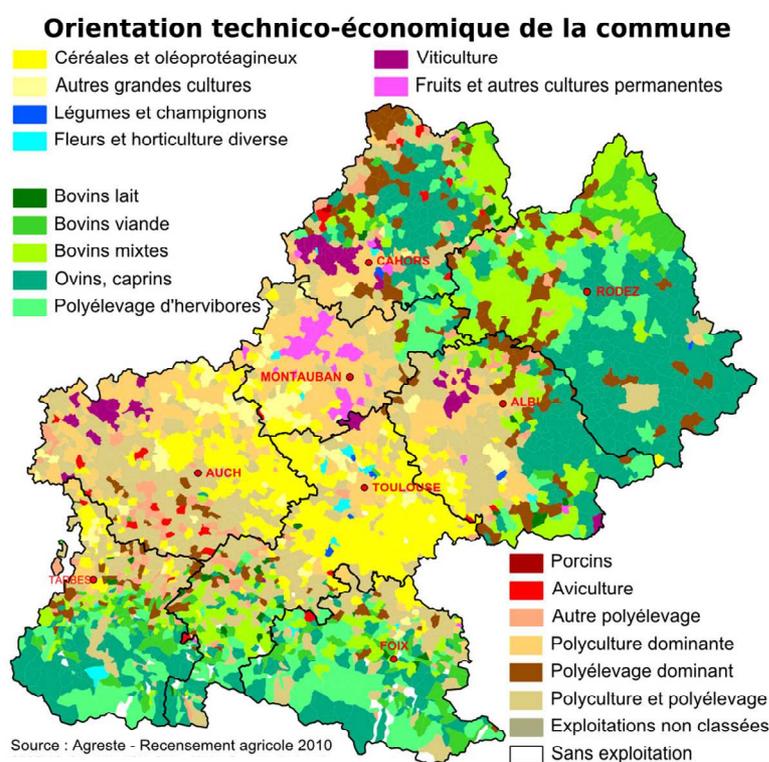


Figure 1 : Distribution spatiale de l'activité agricole dans la région Midi-Pyrénées (Agreste, 2010)

Le relief n'a pas uniquement orienté la spécialisation productive des exploitations. Le développement territorial de la région Midi-Pyrénées a été longtemps verrouillé par les Pyrénées et le Massif Central qui, en limitant fortement les communications avec les régions voisines, ont contribué au maintien de l'activité agricole. Aujourd'hui, la région Midi-Pyrénées est toujours caractérisée par une densité démographique moyenne faible mais, depuis le début des années quatre-vingt-dix, des centres urbains tels que Toulouse, Auch ou Montauban connaissent une croissance démographique rapide (DATAR, 2002). L'effet de

⁴ D'autres déterminants substantiels sont le relief et les conditions d'accès à la ressource eau.

rattrapage démographique a contribué à l'émergence d'un réseau urbain polycentrique favorisant le phénomène de périurbanisation (figure 2). Aujourd'hui, la périurbanisation des espaces à proximité des grandes métropoles et l'artificialisation des espaces agricoles est une préoccupation majeure. En témoignent les débats portant, d'un côté, sur les capacités d'adaptation des exploitations et, de l'autre, sur les mesures réglementaires nécessaires à la maîtrise de la consommation du foncier dans les espaces périurbains (annexes A1 et A2).

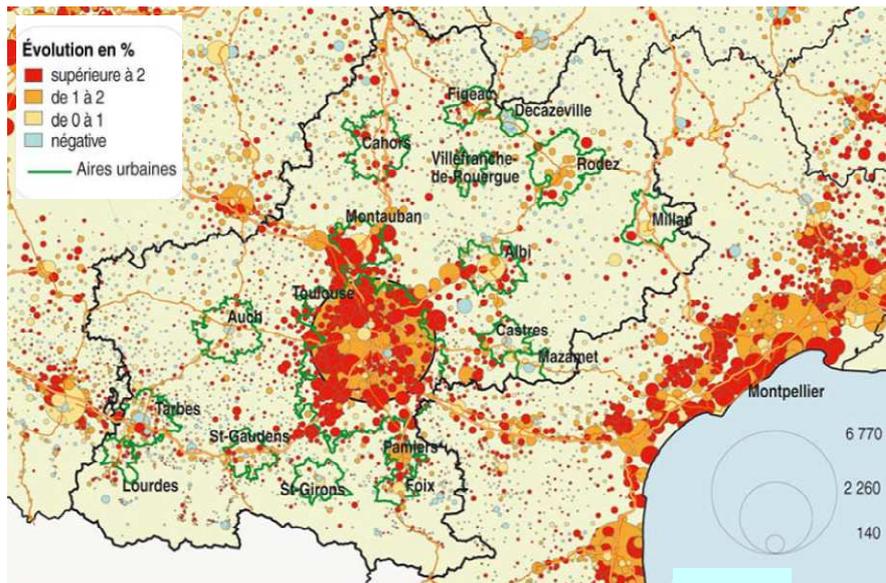


Figure 2 : Evolution démographique des communes de la région Midi-Pyrénées entre 1999 et 2006, source (Frenot, 2009) d'après données IGN – Insee 2008

La métropole toulousaine est ainsi au cœur d'une région agricole spécialisée dans les grandes cultures (figure 1), à proximité notamment du bassin du Lauragais. D'autre part, la métropole toulousaine est également au cœur d'un pôle urbain très attractif (figure 2). De plus, l'existence de voies de communication rapides vers les pôles urbains secondaires de la région (Montauban, Albi, Saint Gaudens, Foix) favorise la périurbanisation. En 2005, du fait de l'expansion diffuse de la métropole toulousaine, 87% de l'espace de l'agglomération toulousaine était constitué de terres agricoles (AUAT, 2005). Ainsi, le changement structurel des exploitations de grande culture midi-pyrénéennes peut être analysé dans un contexte original de périurbanisation. Pour ces raisons, les particularités du fonctionnement du marché du foncier sont maintenant détaillées.

Spécificités du marché français du foncier agricole

Avec 528 300 ha de foncier agricole échangés⁵ en 2011, le marché du foncier français enregistre une reprise d'activité qui s'inscrit toutefois dans une baisse tendancielle du volume des terres échangées (-19% entre 1998 et 2001). Le prix de l'hectare agricole à la vente est d'en moyenne 5 430€, soit une hausse de 6% entre 2010 et 2011. Celle-ci serait d'ailleurs responsable d'un accroissement du fermage⁶. Parmi ces transactions, 33 200 ha ont été vendus en vue de leur urbanisation (+4% entre 2010 et 2011). L'augmentation du volume des terres urbanisées s'est accompagnée d'une hausse des plus-values immobilières qui atteignent dix milliards d'euros en 2011 (hausse de 22% entre 2010 et 2011) (FNSAFER, 2012b).

Le marché du foncier agricole fait preuve d'une opacité favorisant la concentration des terres au sein de très grandes exploitations (FNSAFER, 2012b). La régulation réalisée par les SAFER, permise par i) la réception des notifications notariales des transactions foncières et ii) un droit de préemption des biens en vue notamment de leur redistribution à des agriculteurs, n'a toutefois pas d'emprise sur les reprises des parts de sociétés agricoles qui échappent à l'obligation de notifier les transactions. Ces dernières années, les acquisitions de foncier par des personnes morales se sont d'ailleurs amplifiées. Derrière ces transactions, trois grands types d'acteurs peuvent être distingués : des puissances souveraines qui souhaitent prévenir les risques de pénurie alimentaire qui investissent, pour le moment, dans les pays du Sud (Cotula et al., 2009), des firmes agro-industrielles qui internalisent les opérations de production de biens agricoles et des fonds d'investissement qui diversifient leurs actifs et spéculent sur le prix des matières premières agricoles ou du foncier.

Le marché du foncier agricole est ainsi en phase tendancielle de contraction alors que de nouveaux acteurs y prennent part sous la forme de personnes morales difficilement identifiables, complexifiant de fait sa régulation (FNSAFER, 2012b). Ces spécificités, qui compliquent l'accès des agriculteurs au foncier, sont des barrières à l'entrée non-négligeables qui réduisent le nombre des reprises et les installations hors-cadre familial et qui, par conséquent, pourraient contribuer à une modification des dynamiques de changement structurel des exploitations agricoles périurbaines.

⁵ Soit 1,15% de la SAU française métropolitaine.

⁶ Pour la première fois en 2011, le volume des terres louées dépasse celui des terres vendues.

Quel changement structurel pour les exploitations agricoles périurbaines ?

Le changement structurel, évolution des dotations en facteurs de production disponibles sur une exploitation (OECD, 1994, 1995), est, en économie, généralement analysé en s'intéressant aux économies d'échelle et de gamme (Chavas, 2001; Bergevoet et al., 2010) ainsi qu'aux dynamiques d'entrée et de sortie des exploitations (Gale Jr., 1996, 2003). Dans cette approche, le foncier est un facteur de production qui sert de support à une activité de production de biens agricoles⁷. Pour améliorer sa compétitivité, l'agriculteur peut effectuer des investissements qui orientent son système de production vers plus de spécialisation ou plus de diversification (Chavas et al., 2001; Bergevoet et al., 2010). La spécialisation repose sur la réalisation d'économies d'échelle alors que la diversification repose sur la réalisation d'économies de gamme. L'importance relative de ces deux types d'économies au sein du système d'exploitation détermine la taille minimum requise pour que l'exploitant puisse générer un revenu à partir de son activité agricole. Ainsi, les investissements permettant de générer des économies d'échelle induisent, par exemple, des besoins plus importants en foncier⁸. Les mouvements fonciers sont alors déterminés par les bénéfices financiers espérés (corrélés au système de production développé) et par la disponibilité de la ressource foncière. La question de la mobilité du foncier entre les exploitations, et donc de leur changement structurel, nécessite de prendre en considération quelques particularités propres au secteur agricole des économies occidentales (Eastwood et al., 2010). D'une part, la quasi-totalité des terres à vocation agricole reconnue est utilisée : une exploitation ne peut s'agrandir qu'aux dépens d'une autre exploitation. D'autre part, l'existence de coûts de transport implique qu'un exploitant n'agrandira pas son exploitation en achetant des terres trop éloignées de son siège d'exploitation. Enfin, coûts irrécouvrables (Balman, 1998) et effets d'apprentissage (Lucas Jr, 1988)⁹ induits par les investissements agricoles peuvent provoquer des phénomènes de dépendance au chemin : des exploitants engagés dans des investissements lourds, contraignant leurs opportunités d'évolution future, n'arrêtent pas nécessairement leur activité agricole malgré des résultats économiques peu performants. Le phénomène de dépendance au chemin contribue alors à limiter le volume des terres échangé sur le marché foncier.

Ainsi dans une région agricole telle que la région Midi-Pyrénées, caractérisée par l'importance de sa filière grande culture dans l'économie régionale, nous nous demandons,

⁷ Dans cette thèse, le foncier est une forme de capital qui est différencié des autres formes de capitaux (bâtiments, machinisme agricole).

⁸ Nous ne prenons pas en compte dans ce cas les systèmes de production dits « hors-sols ».

⁹ Les concepts d'apprentissage et de dépendance au chemin seront développés dans le chapitre 2.

en adoptant une approche prospective, quels sont les déterminants du changement structurel des exploitations de grande culture midi-pyrénéennes et quelles en seront les conséquences, sur le long terme, sur la structure des exploitations de grande culture.

Toutefois, le phénomène de périurbanisation modifie cette dynamique. La conversion des terres agricoles à proximité immédiate des métropoles en terres à usage urbain provoque leur artificialisation irréversible (SSP, 2009b). La transition d'une parcelle agricole (support de l'activité de production agricole) en une parcelle à usage urbain (support d'une activité non-agricole ou résidentielle) se traduit, en termes économiques, par une évolution du statut du foncier, de facteur de production à bien de consommation intermédiaire, qui modifie le mode d'estimation de la valeur du foncier. En tant que facteur de production agricole, la valeur d'une parcelle est estimée en fonction de son potentiel agronomique. En revanche, en tant que bien de consommation intermédiaire, la valeur d'une parcelle est estimée en fonction de sa proximité à un ensemble d'aménités (Capozza & Helsley, 1989; Partridge et al., 2010). Les aires périurbaines ont ceci de particulier que ce sont des espaces où coexistent espaces ruraux et urbains, c'est-à-dire que les agriculteurs peuvent entrer en concurrence avec des acteurs non-agricoles sur le marché du foncier. Cette particularité des espaces périurbains provoque dès lors une coexistence de deux modes d'estimation de la valeur du foncier. La théorie néoclassique stipule alors que, sous la condition restrictive de leur parfaite mobilité, les facteurs de production sont alloués efficacement grâce aux signaux du marché (les prix). L'existence d'un fort différentiel entre les prix du foncier urbain et ceux du foncier agricole provoquerait alors un mouvement de transformation inéluctable des terres agricoles en terres à usage urbain. Pour réguler ce phénomène, un système de protection publique des terres agricoles sous forme de zonage a été mis en place (Boisson, 2005). Si toutefois les deux systèmes de prix sont alors théoriquement déconnectés, les agriculteurs peuvent néanmoins anticiper la date de conversion du statut de la terre. Il en résulte alors une hausse de la rente foncière¹⁰ provoquée, d'une part, par l'anticipation de la constructibilité de la parcelle et, d'autre part, par un phénomène de rétention des terres à visée spéculative qui en diminue le volume disponible sur le marché foncier (Géniaux & Napoléone, 2005, 2007).

Du fait de la périurbanisation caractéristique du territoire midi-pyrénéen autour de la métropole toulousaine, nous nous interrogeons également sur la nature des dynamiques du

¹⁰ La définition de la rente foncière fait l'objet d'une analyse dans le premier chapitre de cette thèse.

changement structurel occasionné par les contraintes et les opportunités associées à la proximité de la ville.

Les agriculteurs périurbains peuvent s'adapter à ce nouveau contexte de prix en modifiant leur dynamique d'investissement. Dans un tel contexte, le foncier peut être vendu en vue de son artificialisation et devenir objet de spéculation. Il revêt alors un statut patrimonial qui, en termes de gestion, modifie le cadre décisionnel (celui du ménage plutôt que celui du producteur) et l'horizon de décision (le long terme plutôt que le court terme). La rétention des terres à des fins spéculatives contribue à la raréfaction des mouvements fonciers et perturbe les dynamiques de changement structurel. Toutefois, le rapprochement des exploitations agricoles des marchés urbains est source d'opportunités pour les agriculteurs : production valorisée en vente directe, activités agro-touristiques, emplois non-agricoles. Dans une zone périurbaine, la hausse de la rente foncière et les comportements spéculatifs pourraient ainsi modifier l'allocation du foncier entre les unités de production agricole. La périurbanisation serait alors susceptible de modifier la dynamique d'évolution structurelle des exploitations, d'où notre question de recherche que nous formulons de la manière suivante :

Dans quelle mesure l'évolution du statut économique du foncier agricole périurbain, d'un statut de facteur de production à celui de bien de consommation intermédiaire, renouvelle-t-elle les capacités d'adaptation des exploitations agricoles périurbaines de grande culture modifiant de fait leurs dynamiques de changement structurel ?

Les objectifs de cette thèse¹¹ sont triples. Ils s'inscrivent dans une approche de prospective territoriale visant à quantifier le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines grâce à des indicateurs spécifiques. En tant qu'outils d'aide à la décision, ces indicateurs ont un intérêt pour les acteurs confrontés à la périurbanisation des espaces : décideurs publics soucieux d'une coexistence durable de l'agriculture avec les autres activités, coopératives agricoles anticipant les changements en cours dans leurs zones de collecte pour proposer un conseil adapté à leurs membres. Dans un premier temps, nous identifierons les déterminants du changement structurel des exploitations à l'œuvre dans la région Midi-Pyrénées. Nous évaluerons notamment l'existence d'un effet de la périurbanisation sur la dynamique structurelle des exploitations agricoles midi-pyrénéennes. Cette première étape

¹¹ Cette thèse fait partie du programme de recherche PROUESSES dont les objectifs sont de dresser une prospective du secteur des grandes cultures de la région Midi-Pyrénées à l'horizon 2030.

sera réalisée en mobilisant une approche économétrique permettant d'analyser ex-post les effets de déterminants classiquement utilisés pour expliquer le phénomène d'agrandissement des exploitations. Dans un deuxième temps, nous simulerons le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines de grande culture à l'aide d'un outil de simulation. Dans cette optique, nous mobiliserons le modèle multi-agents AgriPoliS développé par une équipe de l'IAMO¹² avec laquelle nous avons collaboré. L'usage d'AgriPoliS nécessite toutefois d'émettre des hypothèses fortes pour répondre à notre question de recherche. Ces simulations nous permettront tout de même d'identifier des comportements adaptatifs des agriculteurs et de les discuter dans une optique prospective. Dans un troisième temps, nous proposerons un ensemble de modifications à apporter à AgriPoliS afin d'améliorer la modélisation du phénomène de périurbanisation.

Structure de la thèse

Cette thèse est organisée en sept chapitres répartis dans trois parties. La ***première partie*** présentera tout d'abord les éléments théoriques nécessaires à l'analyse du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines et se terminera par une analyse rétrospective des déterminants de la taille et de l'évolution en taille physique des exploitations de la région Midi-Pyrénées. Le ***premier chapitre*** présentera une revue de la littérature sur la périurbanisation. Nous verrons que l'artificialisation des terres agricoles périurbaines modifie la dynamique d'usage des sols et modifie l'organisation des exploitations par, entre autres, des évolutions de la valeur de la rente foncière. Dans le ***deuxième chapitre***, une seconde revue de la littérature s'intéressera aux dynamiques de changement structurel des exploitations agricoles sur le long terme. L'échelle temporelle utilisée dans cette thèse permet de considérer la structure d'une exploitation agricole comme sa dotation en facteurs de production. Cette acception sera ensuite appliquée à l'analyse du changement structurel, phénomène caractérisé par de la dépendance au chemin provoquée par des coûts irrécouvrables et des phénomènes d'apprentissage. Enfin, une discussion sur les différentes approches économiques mobilisables pour traiter du sujet conclura à la préférence pour une approche multi-agents couplée à une analyse microéconomique. Dans le ***troisième chapitre***, les résultats d'une analyse économétrique valideront l'existence d'un impact de la localisation urbaine ou rurale des exploitations sur les dynamiques structurelles des exploitations. Pour cela, trois modèles seront utilisés pour identifier les déterminants i) de la taille des

¹² L'IAMO est l'Institut pour le Développement Agricole de l'Europe Centrale et Orientale à Halle (Saale), Allemagne. AgriPoliS a été développé par l'équipe « Structures agricoles ».

exploitations, ii) de la probabilité de s'agrandir ou non, et iii) de l'intensité des agrandissements.

La *deuxième partie* sera consacrée au choix et à l'adaptation du modèle AgriPoliS pour simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines de grande culture du Lauragais. Le *quatrième chapitre* présentera une revue de la littérature sur les différentes méthodes utilisées en sciences économiques pour modéliser le changement structurel des exploitations agricoles. L'analyse comparative des hypothèses sous-jacentes à leur utilisation permettra de conclure à l'adéquation des systèmes multi-agents pour traiter notre question de recherche. Notamment à celle du modèle AgriPoliS dont le fonctionnement sera ensuite détaillé. Le *cinquième chapitre* explicitera la méthodologie suivie pour adapter le modèle AgriPoliS à la région d'étude. Dans un premier temps, le territoire virtuel sera construit grâce à une procédure automatisée de sélection/pondération d'exploitations typiques : l'« upscaling ». Dans un second temps, les exploitations seront classifiées selon des critères structurels (exploitations de taille moyenne, de grande taille et de très grande taille) en prévision de l'analyse des résultats. Dans un troisième temps, le modèle sera calibré (les résultats du modèle seront ajustés à des données historiques). Enfin, une étape de validation consistera à tester le comportement du modèle.

La *troisième partie* présentera les résultats de simulations réalisées avec le modèle AgriPoliS. Elle se terminera avec des propositions de modification du modèle AgriPoliS afin que celui-ci puisse modéliser de manière plus appropriée le phénomène de périurbanisation. Le *sixième chapitre* présentera les résultats des simulations du changement structurel des exploitations de grande culture du Lauragais, une petite région agricole spécialisée dans les grandes cultures. Ces simulations permettront une comparaison des évolutions structurelles des exploitations relativement à une évolution des charges opérationnelles qui, selon la littérature, est caractéristique de l'influence urbaine des villes sur le fonctionnement des exploitations. Le *septième chapitre* proposera un ensemble de modifications qui pourraient être apportées à AgriPoliS afin que celui-ci modélise plus finement la périurbanisation et, in fine, internalise les mécanismes qui concourent à l'augmentation des charges opérationnelles. Une discussion générale concernant les choix méthodologiques réalisés dans cette thèse et les résultats obtenus sera ensuite réalisée. Finalement, nous rappellerons, en guise de conclusion, les apports de cette thèse et nous proposerons quelques pistes de recherche envisageables pour donner suite à ces travaux.

PARTIE 1

MODIFICATION DE LA DYNAMIQUE STRUCTURELLE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES PERIURBAINES : THEORIE ET ANALYSE RETROSPECTIVE

Introduction de la première partie

La périurbanisation, artificialisation irréversible des terres agricoles à proximité directe des pôles urbains, est à la fois source de contraintes et d'opportunités pour les agriculteurs (Heimlich & Anderson, 2001). A travers une compétition accrue pour l'accès au foncier avec des non-agriculteurs, la périurbanisation provoque une augmentation de l'immobilisation de capital qui, à son tour, réduit les capacités d'investissement des agriculteurs (Boinon, 2012). D'autre part, la proximité des exploitations avec des espaces à usage urbain provoque également une hausse des coûts de transport en raison d'infrastructures routières inadaptées à la circulation des machines agricoles (Nehring et al., 2006). Les exploitants détenant du foncier en faire-valoir direct sont également susceptibles de développer des stratégies de spéculation sur le prix du foncier en anticipant les dates de conversion des terres agricoles en terres constructibles (Géniaux & Napoléone, 2007). Toutefois, la proximité de la ville permet une valorisation des produits agricoles en vente directe, le développement d'activités agrotouristiques ou encore une insertion professionnelle non-agricole (Lopez et al., 1988; Inwood & Sharp, 2012). Ainsi, dans ce nouvel environnement, les dynamiques structurelles des exploitations pourraient être significativement différentes de celles observées dans les espaces ruraux.

Pour analyser ces dynamiques structurelles, un cadre théorique spécifique doit être défini. Traditionnellement, les décisions de production des agriculteurs peuvent s'analyser avec des modèles de décision microéconomiques intégrant économies d'échelle et économies de gamme (Boussard & Daudin, 1988). Toutefois, les décisions de gestion du foncier, qui revêt un attribut patrimonial dans les espaces périurbains, sont des décisions de long terme prises au sein de l'espace familial. D'une part, parce que la décision de transmission intergénérationnelle de l'exploitation prend en compte des critères autres que ceux de rentabilité de court terme. D'autre part, parce qu'un agriculteur propriétaire de ses terres peut décider de spéculer sur le foncier. De plus, l'analyse des décisions des agents périurbains

nécessite de prendre en compte des facteurs de décision spatialisés tels que la proximité des parcelles à des sources d'aménités (agent non-agriculteur) ou au siège de l'exploitation (agent agriculteur).

Les objectifs de cette partie seront i) de définir la périurbanisation, ii) d'identifier une approche théorique adaptée à l'analyse du phénomène de changement structurel des exploitations périurbaines et iii) de vérifier, qu'en Midi-Pyrénées, la périurbanisation modifie la dynamique de changement structurel des exploitations agricoles.

Pour cela, nous définirons dans le premier chapitre, le concept de périurbanisation à partir d'une revue des littératures économique et géographique. Nous nous intéresserons en particulier au concept de rente marshallienne qui, à notre sens, propose une vision synthétique des déterminants de la rente foncière périurbaine, avant d'envisager les conséquences de la périurbanisation sur les exploitations agricoles. Dans le deuxième chapitre, nous définirons le concept de structure d'une exploitation agricole comme la dotation en facteurs de production disponibles sur une exploitation. Nous caractériserons ensuite le concept de changement structurel comme faisant preuve d'une dépendance au chemin exacerbée dans les espaces périurbains. Cette analyse nous permettra ensuite de définir une approche pour simuler le changement structurel des exploitations périurbaines reposant sur le couplage d'une approche microéconomique et d'une approche multi-agents. Le troisième chapitre de cette partie proposera une analyse économétrique des déterminants de la taille et du changement en taille des exploitations afin de vérifier que la dynamique structurelle des exploitations agricoles périurbaines est différente de celles des autres exploitations.

Chapitre 1

Impacts de l'évolution de la valeur de la rente foncière périurbaine sur l'activité agricole

Introduction

Phénomène mondial, la croissance démographique se traduit dans la majorité des grandes métropoles par une expansion rapide et plus ou moins contrôlée des espaces urbains (UNFPA, 2007). On parle de périurbanisation. Cet étalement urbain caractérisé par une faible densité serait à l'origine de gaspillages avec la construction de réseaux très étendus (eau, électricité, routes) et des consommations importantes d'énergie (déplacements pendulaires quotidiens et faible isolation de l'habitat de type villa) (Castel, 2006; Baccaïni et al., 2007; Mancebo, 2008).

L'expansion des villes s'opère aux dépens des espaces ruraux et notamment des terres agricoles. En France, la déprise agricole se traduit par une consommation des terres agricoles évaluée « à 61 000 hectares dans les années 1990 puis à 86 000 hectares entre 2006 et 2009, d'après les données TERUTI-Lucas » (Levesque et al., 2012: p.86). Pour les agriculteurs, la disparition des terres agricoles est une menace pour l'intégrité de leur exploitation. D'une part, parce que les terres concernées sont souvent des terres à potentiels agronomiques élevés¹³ (CGDD, 2011). D'autre part, parce que l'augmentation du prix des terres nécessite de

¹³ Le potentiel agronomique des terres est évalué par leur réserve utile (leur capacité de rétention de l'eau).

réaliser des arbitrages en termes d'investissement pour accéder au foncier (Larson et al., 2001; Cavailhès et al., 2012; Lefebvre & Rouquette, 2012). Néanmoins, la proximité de la ville peut également représenter une opportunité pour valoriser une production agricole en vente directe¹⁴ ou pour trouver un emploi non-agricole (Lopez et al., 1988; Larson et al., 2001; SSP, 2009a; Paul & McKenzie, 2013). Face à ce nouveau contexte de production, les agriculteurs développent des stratégies d'adaptation à la périurbanisation (Géniaux & Napoléone, 2005, 2007; Inwood & Sharp, 2012).

L'objectif de ce chapitre sera de mettre en évidence les impacts économiques de l'extension périurbaine des villes sur l'activité agricole. La première section permettra de définir le concept de périurbanisation. Dans la deuxième section, nous défendrons que la valeur du foncier périurbain est estimée en fonction de son usage à vocation agricole ou urbaine selon deux modes d'évaluation différents. La troisième section s'attachera à expliquer comment l'activité agricole est altérée par la périurbanisation des territoires malgré une législation consacrée à la réglementation de l'usage des terres.

1.1 Le foncier agricole support de l'expansion des villes : définition de la périurbanisation

En Europe, l'urbanisation des sociétés a débuté dès l'Antiquité. Les populations sédentarisées ont alors tiré avantage de l'agglomération des activités pour réduire les coûts de transport, se spécialiser dans une activité et abaisser les coûts de production (Antrop, 2004; Polèse & Shearmur, 2005). Durant la révolution industrielle, ce phénomène s'est amplifié et un flux net de migration des populations des campagnes vers les villes s'est progressivement amorcé (Ackerman, 1977). Si le phénomène semble s'être stabilisé dans les années soixante-dix, une tendance au repeuplement des campagnes localisées à proximité des grandes métropoles émerge depuis le début des années quatre-vingt-dix (Le Jeannic, 1997; Quintin, 1998; Laganier & Vienne, 2009) : c'est la périurbanisation

Dans cette section, nous commencerons par définir le concept de périurbanisation à partir de l'examen de définitions proposées par la littérature économique et géographique. Nous

¹⁴ Les productions valorisées en vente directe sont souvent des productions maraîchères mais d'autres formes de production peuvent également être valorisées ainsi : viande, productions horticoles, farine, pain.

identifierons ensuite les déterminants de la périurbanisation. Enfin, nous illustrerons graphiquement différentes formes d'extension urbaine.

1.1.1 La périurbanisation : une consommation rapide du foncier agricole à des fins non-agricoles

Le concept de périurbanisation est né avec Earl Draper en 1937. Cet auteur étudiait alors le rapport entre le développement urbain et les évolutions rapides des moyens de transport individuel et des revenus aux Etats-Unis (Nechyba & Walsh, 2004). Dans un premier temps, la périurbanisation est associée à l'expansion rapide et de faible densité des métropoles aux Etats-Unis (Galster et al., 2001; Heimlich & Anderson, 2001; Ghorra-Gobin, 2005). Aujourd'hui, ce phénomène est également à l'œuvre en Europe (EEA, 2006). Toutefois, les métropoles européennes sont en général plus denses que les métropoles américaines. Leur développement historique a donné naissance à un centre ville compact qui, aujourd'hui, s'étend avec l'apparition d'une couronne périphérique à plus faible densité d'habitat (EEA, 2006; Poelmans & Van Rompaey, 2009). De nombreuses définitions du concept de périurbanisation coexistent dans les littératures économique et géographique¹⁵. Dans cette sous-section, nous discuterons les caractéristiques de la périurbanisation.

Galster et al. (2001) considèrent que le terme de « périurbanisation » a été utilisé pour caractériser tour à tour, un phénomène, ses causes ou ses conséquences. Les auteurs définissent la périurbanisation comme un « *pattern of land use in an urbanized area that exhibits low levels of some combination of eight distinct dimensions: density, continuity, concentration, clustering, centrality, nuclearity, mixed uses and proximity* » (Galster et al., 2001: p. 685). En complément, Glaeser et Kahn (2004) estiment que la périurbanisation s'analyse à travers les critères de décentralisation et de densité. Pour ces auteurs, la périurbanisation est le résultat de la décentralisation peu dense des activités et de la population. Le concept de décentralisation renvoie à la localisation homogène des activités et des populations dans l'espace urbain. Par ailleurs, celui de faible densité correspond à la faible concentration des activités et de l'habitat dans les zones périurbaines. Ces deux premières définitions dressent une liste de critères permettant de caractériser la périurbanisation mais n'en évoquent ni les causes, ni les conséquences.

¹⁵ Dans cette sous-section, les définitions de la périurbanisation ne sont pas traduites afin de ne pas dévaloriser l'effort de formalisation réalisé par l'auteur. Notons que le terme périurbanisation se traduit en anglais par *urban sprawl* ou *sprawl*.

Pour Ghorra-Gobin (2005: p.124), la périurbanisation « *correspond à un phénomène d'étalement urbain se poursuivant au gré de la construction des routes et autoroutes, de la dynamique d'implantation d'entreprises soucieuses de bénéficier d'un cadre agréable au moindre coût et des lotissements résidentiels. Il présente un territoire fragmenté et incorpore en fait deux figures, l'edge city et l'edgeless city, deux entités rivales du traditionnel downtown de la ville-centre ayant réussi à attirer emplois et entreprises* ». Dans cette définition, le coût du foncier et la recherche d'aménités sont identifiés comme des causes de la migration des habitants et des activités en périphérie des villes. Celle-ci s'opère le long des axes de communication et donne lieu à la construction d'un habitat peu dense. Si cette définition présente en partie le rôle joué par l'évolution des modes de transport, elle ne permet toutefois pas d'anticiper les conséquences de la périurbanisation sur l'activité agricole.

Plus récemment, l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA, 2006 : p.6) a appréhendé la périurbanisation comme un « *physical pattern of low-density expansion of large urban areas, under market conditions, mainly into the surrounding agricultural areas. Sprawl is the leading edge of urban growth and implies little planning control of land subdivision. Development is patchy, scattered and strung out, with a tendency for discontinuity. It leapfrogs over areas, leaving agricultural enclaves* ». Cette définition reprend certains des déterminants identifiés par Ghorra-Gobin (prix du foncier, faible densité de l'habitat) auxquels elle ajoute les réglementations concernant l'usage des sols et précise l'existence d'un impact de la périurbanisation sur l'activité agricole sans pour autant les détailler. De plus, ni la mobilité des individus, ni l'évolution des moyens de transport ne sont évoqués.

Pour Mancebo (2008 : p.51), la périurbanisation est multidimensionnelle. Cet auteur la définit comme « *the advancement of the town or city into agricultural, forest and more generally rural areas to create built spaces characterized by low density, landscaped monotony and advanced standardisation of different urban elements (roads, houses, warehouses, etc.). But it is also a process of functional and social differentiation from the town city, leading to significant individual mobility* ». Dans cette définition, les principales caractéristiques de la périurbanisation évoquées précédemment sont citées : artificialisation des terres agricoles, apparition d'un habitat peu dense, migrations pendulaires des agents et des activités facilitées par l'usage de l'automobile et l'existence de nombreuses infrastructures de transport. Il ne s'attarde toutefois pas sur les causes de la périurbanisation.

L'emprunt de notions issues des champs géographique et économique nous permet de mettre en évidence que la périurbanisation se caractérise par :

- un phénomène qui s'exprime largement à travers les forces du marché avec une préférence des consommateurs pour l'habitat de type villa ainsi que pour la proximité à des aménités naturelles (Ghorra-Gobin, 2005; EEA, 2006) ;
- des espaces artificialisés, localisés à proximité des grandes métropoles ou des axes de communication, dont l'accès est simplifié par l'usage de l'automobile (Ghorra-Gobin, 2005; Mancebo, 2008) ;
- la conversion d'espaces naturels et agricoles non-bâties en espaces artificialisés à usage urbain (Galster et al., 2001; Glaeser & Kahn, 2004; EEA, 2006; Mancebo, 2008) ;
- une fragmentation des espaces périurbains provoquée par un manque de réglementations (Ghorra-Gobin, 2005; EEA, 2006).

Nous parvenons ainsi à l'idée que la périurbanisation peut être considérée comme un processus d'expansion spatiale des métropoles au cours duquel des espaces naturels, et notamment des terres agricoles, localisés à leur périphérie, sont irréversiblement artificialisés. Ce processus se caractérise par une expansion rapide et peu dense des villes provoquée par une forte demande pour un habitat individuel de type villa, et désordonnée, par manque de régulations. La périurbanisation est ainsi, d'une part, déterminée par le jeu des forces de marché et, d'autre part, difficilement réglementée par les politiques d'aménagement et de régulation du foncier. Cette définition de la périurbanisation servira de référence dans les analyses conduites ultérieurement dans cette thèse. Après avoir donné une définition de la périurbanisation, nous nous attachons maintenant à identifier les facteurs influençant la dynamique de périurbanisation.

1.1.2 Analyse des facteurs affectant la dynamique de périurbanisation

Dans cette deuxième sous-section, nous présenterons quatre déterminants de la dynamique de périurbanisation: le facteur démographique, les facteurs socio-économiques, le facteur transport et le facteur réglementation.

1.1.2.1 Le facteur démographique

La croissance démographique des villes, provoquée simultanément par une croissance démographique naturelle et des flux migratoires nets positifs, provoque une hausse

significative de la demande de foncier à bâtir (UNFPA, 2007). Parallèlement, l'augmentation significative des revenus des ménages depuis la fin de la seconde guerre mondiale a entraîné une hausse sensible de la demande pour un nouveau type d'habitat : la villa individuelle située en périphérie des villes (Margo, 1992). Confrontés aux externalités négatives urbaines (pollution, prix élevé des logements, manque d'espaces verts), les résidents des centres-villes décident de s'installer en périphérie des villes où, d'une part, ces externalités sont moins intenses et où, d'autre part, le prix du foncier est moins élevé (Heimlich & Anderson, 2001). La demande de foncier dans les espaces ruraux périurbains est alors amplifiée par ces changements de comportement. En facilitant les migrations pendulaires, l'usage de l'automobile accentue ce phénomène.

1.1.2.2 Les facteurs socio-économiques

Des facteurs socio-économiques tels que les technologies de l'information et de la communication et la mise en place du travail à distance facilitent l'installation des ménages dans des secteurs excentrés du centre ville (Audirac, 2005). En parallèle, les centres commerciaux, formes de distribution gourmandes en foncier, se développent dans les espaces périurbains, où le prix du foncier est moins élevé, et s'installent le long des axes de communication, où leur accessibilité est convenable pour les consommateurs (EEA, 2006). Ces évolutions du mode de vie des ménages sont toutes deux corrélées à la généralisation de l'usage de l'automobile.

1.1.2.3 Le facteur transport

La migration au sein des espaces ruraux à proximité des grandes métropoles est indissociable d'une plus grande mobilité des agents avec, au cœur de ce processus, l'automobile (Moses & Williamson Jr., 1963; L'Hostis, 2009; Chang, 2010). Celle-ci participe à la différenciation fonctionnelle de l'espace métropolitain au sein duquel les espaces résidentiels se distinguent facilement des zones d'activité artisanales ou commerciales. L'automobile, en permettant des gains de temps significatifs grâce à une plus grande flexibilité, a remplacé les transports en commun, malgré un coût de transport plus élevé (Cameron et al., 2004; Glaeser & Kahn, 2004). Dès lors, l'agglomération de l'habitat et des activités à proximité des structures de communication, telles que les gares routières et ferroviaires, affecte moins les choix de résidence des ménages, occasionnant une généralisation de l'urbanisation des espaces isolés. En parallèle, le projet d'intégration européenne s'est accompagné d'une création

d'infrastructures de communication (réseaux routiers et ferrés) qui, en facilitant les déplacements des agents, sont également un facteur significatif de périurbanisation. Néanmoins, de nos jours, la hausse du coût du carburant pourrait tendre à limiter le rôle de l'automobile dans le développement de la périurbanisation.

1.1.2.4 Le facteur réglementation

Pour faire face au développement rapide de la périurbanisation et à ses effets négatifs en termes de gestion de l'espace, les instances publiques ont adopté des mesures de réglementation de l'accès au foncier (Larson et al., 2001; Glaeser & Kahn, 2004). Ainsi, en France, en complément d'un système de zonage de l'usage des sols, des institutions de régulation du marché du foncier ont été mises en place, les Sociétés d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural (SAFER) et les établissements fonciers, (OECD, 1995; Boisson, 2005; Comby, 2010). Ces mesures sont destinées à protéger les terres agricoles de l'expansion urbaine et à faciliter leur transmission entre les agriculteurs. Toutefois, la relative nouveauté du phénomène, l'intensité de la demande pour les terres agricoles et la forte hausse du prix du foncier associée à la conversion des terres agricoles en terres urbaines limitent l'efficacité des mesures existantes.

1.1.3 Classification des différentes formes de croissance urbaine

L'influence relative des facteurs de périurbanisation aboutit à différentes formes de croissance urbaine. Slak et Vivière (1999) identifient et répertorient trois formes principales d'expansion urbaine (figure 3) : une forme continue, une forme dite en « dent creuse » et le mitage. Afin de caractériser ces trois formes de croissance spatiale urbaine, le nombre de parcelles agricoles en contact avec des espaces artificialisés est utilisé comme indicateur. Celui-ci permet d'estimer l'importance des conflits entre agriculteurs et non-agriculteurs, notamment en ce qui concerne l'accès au foncier.

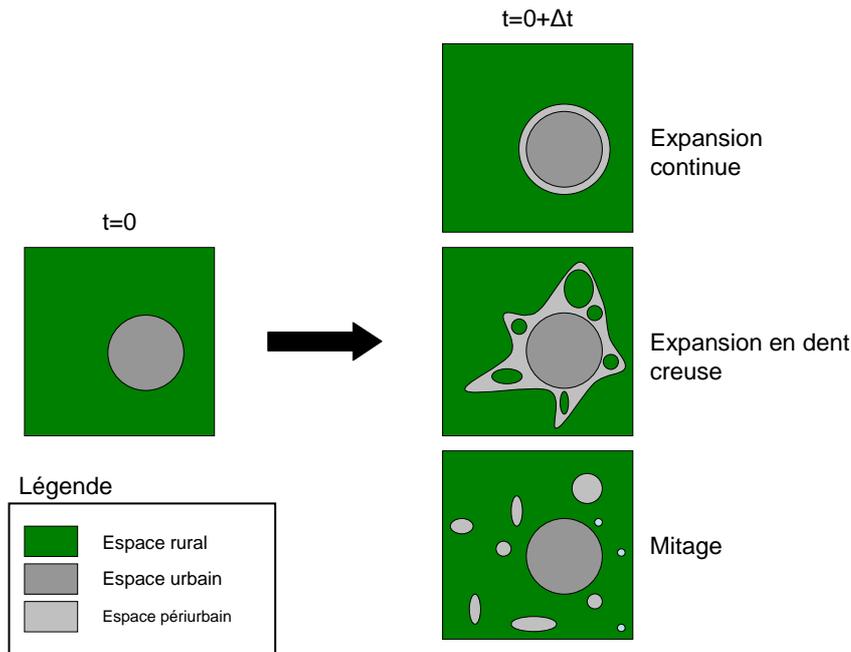


Figure 3 : Trois formes théoriques d'étalement urbain et de consommation du foncier rural (Slak & Vivière, 1999)

La forme d'étalement urbain continu est caractérisée par une maîtrise de l'expansion urbaine (réglementations). La forme en dent creuse est caractérisée par une expansion le long des axes de communication conduisant à la formation d'îlots agricoles au sein d'espaces urbanisés. Enfin, le mitage est la forme la plus diffuse.

L'expansion urbaine continue est un modèle de développement urbain d'autant plus dense que la périurbanisation des espaces ruraux reste marginale. Espaces urbains et ruraux sont nettement délimités et le nombre de parcelles agricoles en contact avec des surfaces artificialisées est faible. Les paysages ruraux allemands sont typiques de cette forme de développement urbain (EEA, 2006).

Le mitage, en revanche, est une forme très fragmentée d'expansion urbaine qui se caractérise par un habitat peu dense avec, par exemple, la construction de lotissements au milieu des terres agricoles. Parmi les trois formes d'étalement urbain présentées dans cette thèse, c'est la forme de développement la moins dense. Elle entraîne des coûts importants en matière d'aménagement du territoire (extension des réseaux de distribution d'eau, d'électricité, construction d'infrastructures routières). Dans ce cas de figure, le nombre de parcelles agricoles en contact avec des espaces artificialisés est très important. Le mitage de l'espace rural se rencontre fréquemment en France (EEA, 2006).

Enfin, la forme intermédiaire dite « en dent creuse » est caractérisée par un isolement des parcelles entre des espaces artificialisés du fait de la progression rapide de ces derniers le long

des axes de communication. La faible coordination des réglementations des différentes communes du territoire peut être à l'origine de ce phénomène. Cette forme de développement serait caractéristique de l'agglomération barcelonaise (EEA, 2006).

Le processus de périurbanisation opéré aux dépens des terres agricoles consomme une quantité importante de foncier : les terres agricoles et les espaces naturels sont alors irréversiblement artificialisés. La prochaine section présentera, sous un angle théorique, la relation existante entre la valeur de la rente foncière et la localisation des activités au sein des espaces périurbains.

1.2 Comment estimer la valeur du foncier périurbain ?

Dans la section précédente, la périurbanisation a été définie comme une expansion des métropoles s'opérant aux dépens des espaces ruraux environnants où une large part du foncier est traditionnellement allouée à l'activité agricole. Lorsque les transactions foncières ne sont pas régulées, l'usage du foncier est celui qui génère la rente foncière la plus élevée. Or comme la rente de l'activité agricole est significativement plus faible que celle générée par les activités non-agricoles, une des conséquences majeure serait l'artificialisation irréversible des terres agricoles (SSP, 2010).

Dans cette section, nous analyserons dans un premier temps dans quelle mesure la valeur de la rente foncière détermine la localisation des activités agricoles et urbaines. Dans un deuxième temps, nous défendrons que la différence entre le prix du foncier agricole et celui du foncier urbain est provoquée par des usages différents du foncier.

1.2.1 La rente foncière dans la littérature économique

La localisation des activités urbaines et agricoles peut s'expliquer au regard de la valeur de la rente foncière. Dans cette sous-section, il s'agira de lier les conceptions de la rente foncière à une analyse de la distribution des activités rurales et urbaines. Pour cela, nous passerons d'abord en revue les théories de la rente foncière qui expliquent la localisation de l'activité agricole. Puis, nous étudierons le lien entre rente foncière et localisation des activités urbaines.

1.2.1.1 Rente foncière et localisation de l'activité agricole

Dans la littérature économique, la rente foncière est utilisée pour expliquer la localisation de l'activité agricole (Ricardo, 1821; Von Thünen, 1826; Marx, 1872)¹⁶.

Ricardo (1821), en s'intéressant à l'impact de la qualité agronomique des terres sur la rente foncière, montre que les terres agricoles les plus fertiles sont cultivées en priorité. Pour Ricardo, les terres agricoles présentent des qualités agronomiques hétérogènes et donc des niveaux de fertilité différents. En faisant l'hypothèse, d'une part, que l'offre alimentaire équilibre la demande et, d'autre part, qu'il existe une différence substantielle entre la fertilité de la parcelle cultivée au potentiel agronomique le plus élevé et celle de la dernière parcelle cultivée indispensable à la satisfaction de la demande alimentaire, cet auteur montre que les propriétaires des terres les plus fertiles jouissent d'un surplus issu de la fertilité supérieure de leurs terres. Ricardo en déduit que la valeur de la rente foncière peut être estimée à la valeur de ce surplus. La rente ricardienne est ainsi une rente technique dont la valeur est liée à la fertilité des sols. Il en résulte que les terres cultivées sont a priori les plus fertiles. La portée des analyses de Ricardo est cependant limitée pour comprendre la localisation des activités agricoles en zones périurbaines. En effet, ce type d'analyse ne prend pas en compte les coûts de transport expliquant notamment la présence de l'agriculture à la périphérie des villes (immobilité du facteur de production et périssabilité des matières premières agricoles).

Les coûts de transport sont en revanche intégrés dans l'analyse de la rente foncière de Von Thünen (1826). A partir d'un territoire hypothétique dans lequel une métropole est entourée de terres agricoles à la fertilité homogène et satisfaisant l'intégralité de la demande alimentaire urbaine, Von Thünen montre, à l'aide d'un raisonnement marginaliste tenant compte du coût de transport, que la spatialisation des activités de production agricole suit un schéma concentrique centré sur la ville. Il en conclut que plus la valeur ajoutée du bien produit est faible, plus celui-ci est produit sur un cercle éloigné du centre ville. La valeur de la rente foncière est alors négativement corrélée à la distance au marché. La prise en compte des coûts de transport dans l'évolution de la valeur de la rente foncière complète l'approche de Ricardo en proposant un modèle de distribution spatiale de l'activité agricole.

¹⁶ La conception de la rente foncière développée par Marx reprend des éléments de la définition de la rente ricardienne. Son objectif n'étant pas d'expliquer les phénomènes de localisation des activités économiques, celle-ci ne sera pas développée dans cette thèse.

Cette conception de la rente foncière associée à l'activité agricole, caractérisée par l'immobilité du foncier, est à l'origine de modèles de distribution spatiale homogène de l'activité économique (Christaller, 1933; Lösch, 1940). Dans ces deux modèles, l'activité économique est localisée dans une ville principale autour de laquelle gravitent des villes périphériques plus petites. La localisation de ces villes suit un schéma régulier, conséquence de l'hypothèse d'homogénéité de l'espace qui, dans notre cas, limite la portée de ces approches ainsi que leur intérêt pour une application dans les espaces périurbains.

Outre la fertilité des terres et la distance des parcelles aux marchés de consommation des biens agricoles, des effets externes peuvent également modifier la valeur d'une production agricole et donc la valeur associée de la rente foncière. Les territoires ruraux sont en effet caractérisés par des ressources spécifiques localisées et distribuées indépendamment des décisions de l'agriculteur. Ces ressources spécifiques peuvent être naturelles (fertilité des sols) mais aussi construites, matérielles et idéelles (Colletis & Pecqueur, 2005; Requier-Desjardins, 2009). Il s'agit par exemple de ressources associées à l'histoire d'une région, à un patrimoine architectural, à une culture ou à des pratiques gastronomiques spécifiques. Ces ressources territoriales sont parfois source de différenciation des produits agricoles et peuvent alors être à l'origine d'une rente de qualité territoriale (Hirczak et al., 2008; Moalla & Mollard, 2011). La différenciation territoriale des productions alimentaires est notamment à l'origine de la démarche des Indications Géographiques (IG) telles que les AOP (Appellations d'Origine Protégées) ou les IGP (Indications Géographiques Protégées) (Vandecandelaere & Touzard, 2005). La valorisation supérieure associée aux produits alimentaires bénéficiant d'une rente de qualité a été mise en évidence comme la cause d'un phénomène de résistance à l'artificialisation des terres agricoles viticoles dans la région bordelaise (Péres, 2009).

Von Thünen (1826), malgré son hypothèse forte de localisation d'une ville centrale, s'était également interrogé sur les facteurs responsables de la localisation des villes. Pour cet auteur, l'agglomération des individus dans des espaces urbanisés relève d'une logique différente de celle responsable de la distribution de l'activité agricole. Sans pour autant conceptualiser son raisonnement, les explications de Von Thünen posent les bases de l'analyse de la localisation des activités urbaines (Krugman, 1991; Fujita & Krugman, 2004; Fujita, 2012).

1.2.1.2 Rente foncière et localisation de l'activité urbaine

Les espaces périurbains sont des espaces intercalés entre les espaces ruraux et urbains. Leurs caractéristiques n'en font ni des espaces urbains, ni des espaces ruraux, mais plutôt un entre-deux qui rend leur délimitation complexe. Afin de comprendre la localisation des activités périurbaines, cette sous-section s'intéressera auparavant aux forces qui influencent la création et l'expansion des villes ainsi qu'à celles qui régissent la localisation des activités au sein de l'espace urbain.

Le processus d'agglomération des activités dans les centres urbains est économiquement rationnel pour les firmes qui, en se rapprochant des marchés importants, peuvent bénéficier de rendements croissants. Ce rapprochement l'est également pour les consommateurs qui, en se rapprochant des centres industriels, peuvent bénéficier de prix de vente moins élevés (Arthur, 1990; Krugman, 1991). L'intensité de la concentration des activités est toutefois déterminée par l'opposition de forces centripètes et de forces centrifuges (Fujita & Krugman, 2004). D'un côté, des forces centripètes générées par la proximité spatiale des consommateurs et des producteurs, l'existence de marchés denses à l'origine d'économies pécuniaires et l'existence d'économies externes concourent à la concentration des activités. De l'autre, des forces centrifuges provoquées par l'immobilité des facteurs, la valeur élevée de la rente foncière, le faible coût des migrations pendulaires et les déséconomies pures (effets de congestion) opposent une résistance à ce processus de concentration.

Dans la littérature, différentes théories coexistent pour expliquer l'accroissement de la taille des centres urbains. Un pan de la littérature défend que la croissance démographique des villes est corrélée à leur dotation en aménités (Gottlieb, 1995; Glaeser et al., 2001; Lloyd, 2002). Le climat, le cadre de vie, la probabilité de trouver un emploi, les activités culturelles sont autant de facteurs d'attractivité. Ainsi, plus la dotation en aménités d'une ville est élevée, plus sa croissance démographique est importante. En revanche, un autre pan de la littérature défend que croissances économique et démographique des villes sont liées à leur capacité à attirer la diversité¹⁷ (Florida, 2002; Stolarick & Florida, 2006). Dans cette littérature, la faible diversité d'une ville est considérée comme une barrière élevée à l'installation d'agents

¹⁷ Le critère de diversité est défini comme l'acceptation de l'autre, celui qui n'a pas la même religion, la même culture ou la même orientation sexuelle. Pour caractériser la diversité, Florida (2002) utilise ainsi un index « gay » qui quantifie la part de la population gay dans la population totale. La population gay étant largement ostracisée, il fait l'hypothèse que plus la part de la population gay est importante, plus la diversité est acceptée.

talentueux¹⁸ représentant un frein à ses croissances économique et démographique (Glaeser et al., 1995; Simon & Nardinelli, 1996). La dotation en aménités d'une ville et sa « diversité » seraient ainsi des déterminants indirects de la dynamique de périurbanisation.

La périurbanisation est principalement le fait de la localisation de l'activité résidentielle en périphérie des villes (section 1.1). Pour comprendre ce phénomène, le modèle d'Alonso (1964) est mobilisé. Sa structure concentrique rappelle d'ailleurs le modèle de Von Thünen (1826) de localisation de l'activité agricole (tableau 1).

Tableau 1 : Comparaison des modèles de localisation des activités de Von Thünen (1826) et d'Alonso (1964)

	Von Thünen (1826)	Alonso (1964)
Structure du modèle	<i>Concentrique</i>	<i>Concentrique</i>
Objectif	<i>Localisation des activités agricoles</i>	<i>Localisation des activités urbaines</i>
Agents	<i>Agriculteurs</i>	<i>Citadins</i>
Centre	<i>Ville centrale</i>	<i>Centre ville</i> <i>« Central Business District »</i>
Fonction du centre	<i>Marché des biens agricoles</i>	<i>Marché de l'emploi, du logement et des loisirs</i>

Pour Alonso (1964), les agents citadins émettent des enchères pour accéder au foncier à partir desquelles une rente d'enchère, estimation de la rente foncière, est évaluée. Celle-ci est alors, par définition, le prix le plus élevé qu'est prêt à payer un agent pour accéder au foncier en un lieu donné. L'agent qui émet l'enchère la plus élevée fixe l'usage du sol. Alonso obtient alors un schéma concentrique de localisation des activités avec au centre les activités de service, puis une première couronne où sont concentrées des zones industrielles et enfin une couronne résidentielle. L'activité résidentielle se localise ainsi en périphérie des villes là où, d'une part, le prix du foncier est moins élevé et permet d'accéder à des propriétés de type villa et où, d'autre part, les effets de congestion sont moins importants. Néanmoins, résider en périphérie des centres urbains implique des transports plus fréquents pour accéder aux lieux de consommation et de travail, contrainte levée avec l'usage de l'automobile.

Les mécanismes de distribution spatiale des activités agricoles et urbaines semblent répondre à la même logique : l'agent en mesure de payer la rente la plus élevée, c'est-à-dire d'obtenir une productivité plus élevée du facteur de production, fixe l'usage du sol. Toutefois, la localisation des activités agricoles et celle des activités urbaines ne répondent pas aux mêmes déterminants. Une définition de la rente foncière périurbaine devrait donc permettre de rendre

¹⁸ Un agent talentueux est un agent doté d'un capital humain élevé.

compte de l'influence des différents déterminants sur la localisation des activités agricoles et des activités urbaines. Walras (1896) estime que la terre est un facteur de production ordinaire dont la valeur doit être estimée en fonction de son utilité marginale. La localisation de la terre apparaît dès lors comme un facteur de rareté additionnel. La définition de Walras gagne beaucoup en simplicité du fait qu'elle agglomère dans une fonction de demande l'ensemble des facteurs à l'origine des estimations variées de la valeur du foncier. D'autre part, Hotelling (1929) précise que la rente liée à une ressource rare s'accroît avec le temps au fur et à mesure que la ressource se raréfie. Pour cet auteur, la rente optimale est telle que lorsque la ressource est totalement épuisée, son prix est tellement élevé que la demande est alors nulle (le taux de croissance de la rente est alors égal au taux d'intérêt).

Dans des modèles monocentrés où les temps de parcours ainsi que les qualités agronomiques des terres sont homogènes, la distribution des activités est alors concentrique (figure 4).

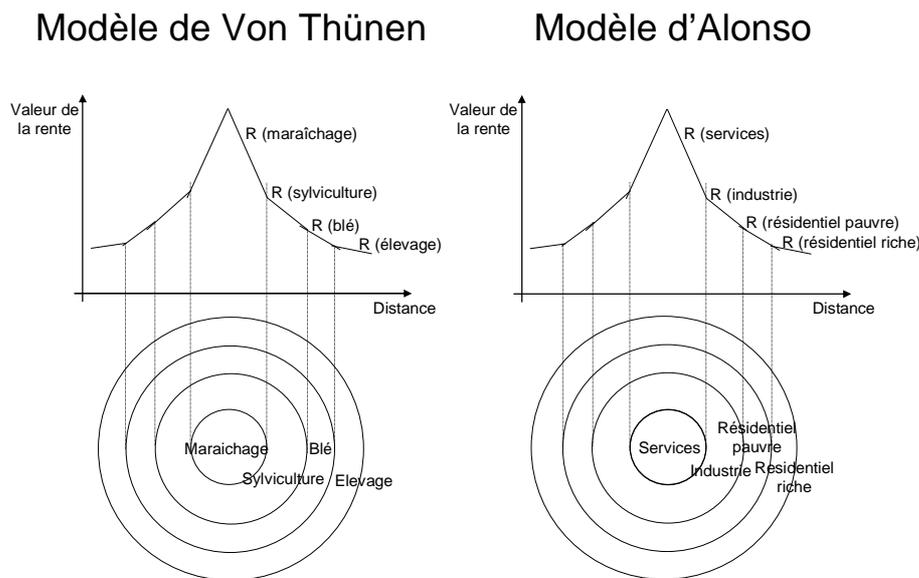


Figure 4 : Distribution spatiale des activités dans les modèles de Von Thünen (1826) et d'Alonso (1964)

Les modèles de localisation des activités agricoles de Von Thünen et des activités urbaines d'Alonso aboutissent à la formation de schémas de distribution concentriques dans lesquels les activités caractérisées par une productivité plus élevée sont localisées au centre, là où la rente foncière est la plus élevée.

A première vue, les modèles de Von Thünen et d'Alonso paraissent compatibles dans la mesure où l'ajout de cercles supplémentaires au modèle de localisation des activités urbaines permettrait a priori d'unifier ces deux modèles et d'expliquer simultanément la localisation des activités urbaines et agricoles. Toutefois, l'existence d'un fort différentiel de prix entre la rente générée par une activité agricole et celle générée par une activité non-agricole empêche

cette convergence. La sous-section suivante présentera les déterminants de la valeur de la rente foncière périurbaine et la localisation des activités dans les espaces périurbains.

1.2.2 Usages du foncier périurbain et estimation de la valeur de la rente foncière périurbaine

Au sein des espaces périurbains, activités agricoles, résidentielles et artisanales se côtoient. La multiplicité des usages du sol provoque la coexistence de valeurs significativement différentes de la rente foncière dans des espaces relativement réduits. Cette sous-section présentera les déterminants de la valeur de la rente foncière périurbaine.

La valeur de la rente foncière périurbaine est influencée par quatre facteurs (figure 5) : la valeur agronomique de la parcelle, la valeur de conversion de la parcelle, la valeur d'accessibilité et la valeur d'anticipation du prix futur de la parcelle (Capozza & Helsley, 1989).

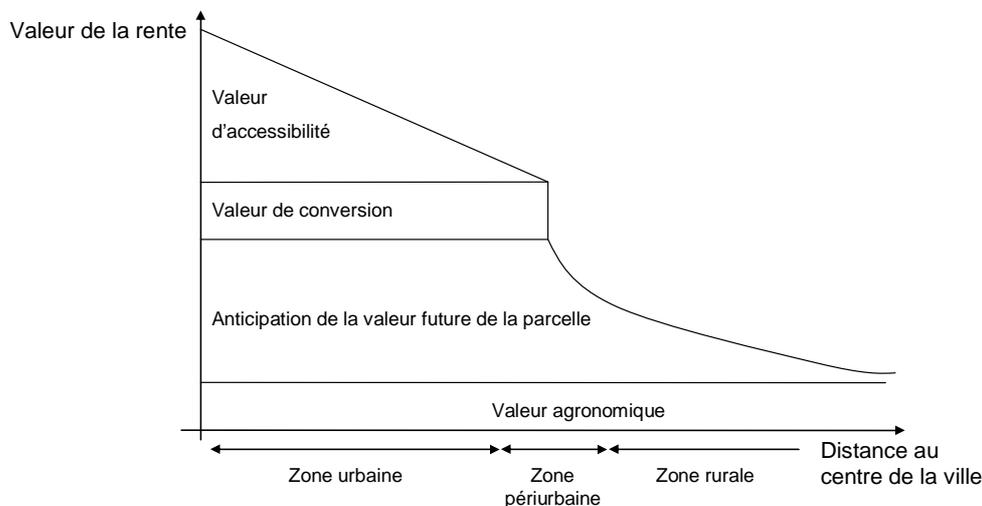


Figure 5 : Evolution des déterminants de la valeur de la rente foncière en fonction de la distance au centre ville (Capozza & Helsley, 1989)

L'hétérogénéité de la rente foncière périurbaine s'explique par la coexistence d'espaces artificialisés où s'installent des activités ayant des productivités bien plus élevées que l'activité agricole (centres commerciaux). En outre, l'anticipation de l'artificialisation des terres provoque une hausse du prix des terres agricoles.

Pour ces auteurs, la valeur de la rente foncière périurbaine dépend, d'une part, de l'usage qu'il en est fait aujourd'hui (valeur d'usage) et, d'autre part, de l'anticipation de l'usage qu'il peut en être fait dans le futur (valeur d'option). Pour les agriculteurs, le foncier est le support de l'activité de production agricole. Il est considéré comme un facteur de production dont la valeur intrinsèque est estimée en fonction de son potentiel agronomique. La rente qui en

résulte est alors corrélée aux profits retirés de l'activité agricole. En revanche, le foncier utilisé en vue d'un usage urbain doit être considéré comme un bien de consommation intermédiaire indispensable à la construction d'une habitation ou d'une zone d'activité (Capozza & Helsley, 1989; Cavailhès et al., 2012; Lefebvre & Rouquette, 2012)¹⁹. Dans ce cas, les attributs de la parcelle recherchés par l'acheteur sont sans rapport avec son potentiel agronomique, les agents non-agricoles recherchant la proximité à des aménités urbaines ou environnementales. La proximité à un ensemble d'aménités a également une influence significative sur la valeur d'un appartement (Cheshire & Sheppard, 1995; Brueckner et al., 1999; Partridge et al., 2010) ou sur celle de terres constructibles (Cavailhès et al., 2012; Lefebvre & Rouquette, 2012). Capozza et Helsley (1989) décomposent alors la valeur de la localisation en une rente d'accessibilité et une rente de conversion.

Les espaces périurbains sont caractérisés par la coexistence de parcelles de terre dont la valeur est significativement différente en fonction de l'usage urbain ou agricole qu'il en est fait. Pour les agriculteurs, le foncier a principalement un usage agricole qui, s'il devient constructible, peut faire l'objet de spéculations. A ce titre, différentes stratégies de revenu peuvent être élaborées par les agriculteurs : production de matières premières agricoles ou spéculation sur le prix du foncier. Ainsi, pour les agriculteurs périurbains, le foncier est à la fois un facteur de production et un bien patrimonial dont la gestion ne se raisonne, a priori, ni sur la même échelle de temps, ni au sein de la même cellule de décision que la production agricole (Salamon, 1992; Inwood & Sharp, 2012) (tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristiques du foncier périurbain en fonction de son usage agricole ou urbain

Foncier	Parcelle agricole	Terres constructibles
Statut pour un non-agriculteur	/	<i>Bien de consommation intermédiaire</i>
Statut pour un agriculteur	<i>Facteur de production</i>	<i>Bien patrimonial</i>
Mise en valeur par l'agriculteur	<i>Production agricole</i>	<i>Spéculation sur le prix du foncier</i>
Horizon de décision	<i>Court terme (année de production)</i>	<i>Long terme</i>
Cellule de décision	<i>Entrepreneur agricole</i>	<i>Ménage agricole</i>

En d'autres termes, dans les espaces périurbains, il existe deux estimations possibles de la valeur du foncier selon l'usage qu'il en est fait. Lorsque le foncier est utilisé comme un facteur de production agricole, sa valeur est estimée en fonction de son potentiel agronomique. En revanche, lorsque le foncier est utilisé comme un bien de consommation

¹⁹ La terre est considérée comme un bien de consommation intermédiaire dans la mesure où son artificialisation, par exemple pour construire un centre commercial ou une villa, est une transformation irréversible qui interdit toute utilisation agricole future.

intermédiaire, sa valeur est estimée en fonction de sa localisation par rapport à un ensemble d'aménités. De plus, dans les espaces périurbains, où coexistent à la fois un usage urbain et un usage agricole des sols, la cohabitation de deux méthodes d'estimation de la valeur du foncier est à l'origine de tensions entre les acteurs du territoire.

L'analyse du comportement des agriculteurs périurbains doit ainsi intégrer la gestion patrimoniale du foncier. Pour cela, la définition de la rente foncière marshallienne nous semble la plus appropriée pour la suite des travaux menés dans cette thèse. Pour Marshall (1920), la rente foncière est un surplus qui résulte d'une rente de longue durée (corrélée à la fertilité des sols), une rente de situation (corrélée à la proximité des aménités), une quasi-rente (corrélée au travail et aux décisions des agents) et une rente transitoire (corrélée à un mauvais ajustement de l'offre et de la demande). La quasi-rente, qui au sens de Marshall est induite par l'adoption d'une innovation technique et qui relève alors des décisions des agents, est une rente temporaire.

Quelques précautions doivent être prises avant de mobiliser le concept de rente marshallienne au cas du foncier périurbain. Dans les espaces périurbains français, une législation régule l'usage du sol grâce à un système de zonage définissant la constructibilité ou non des parcelles²⁰. La modification du statut de la terre, de celui de terre agricole à celui de terre constructible, peut être entendue comme une « innovation administrative » dans la mesure où cette situation est temporaire puisqu'elle perdure jusqu'à la révision du zonage et à la définition éventuelle de nouvelles zones constructibles. Dans l'optique de vente des terres, un agriculteur dont les terres en faire-valoir directe deviennent constructibles est alors dans une situation de monopole temporaire. Sa situation s'apparente à un dilemme dans lequel il a le choix entre vendre maintenant des terres agricoles dont la valeur a brusquement augmenté (liquidation du patrimoine) ou conserver les terres et spéculer sur leur valeur future, en prenant le risque que sa situation de monopole disparaisse.

L'approche de Marshall reprend la notion de rente technique liée à la productivité de la terre (Ricardo), celle « de localisation » (Von Thünen, Hotelling), ainsi que celle « d'équilibre » (Walras). La rente marshallienne permet donc de rendre compte à la fois de l'influence des activités rurales (agriculture), des activités urbaines (de service, résidentielles). De plus, en intégrant le concept de quasi-rente, elle permet également de prendre en compte l'aspect

²⁰ La section 1.3.1 décrit la législation française de régulation du marché du foncier agricole.

spéculatif associé à l'évolution du statut du foncier périurbain dont la valeur est incomparablement plus élevée lorsque celui-ci est destiné à un usage urbain plutôt qu'à un usage agricole.

L'existence d'un différentiel significatif entre le prix des terres agricoles et des terres constructibles est un facteur significatif de l'artificialisation des terres. En France, une réglementation destinée à protéger les terres agricoles de l'urbanisation a été mise en place par les pouvoirs publics, elle sera l'objet de notre prochaine section.

1.3 Impacts de l'extension périurbaine des villes sur l'activité agricole

La valeur du foncier est estimée différemment selon que celui-ci est considéré comme un facteur de production ou un bien de consommation intermédiaire (section 1.2). Le différentiel des prix entre une terre agricole et une terre constructible, nettement en faveur des terres constructibles, est à l'origine de conflits dans les espaces périurbains. En France, des mécanismes de régulation ont été mis en place pour limiter ces conflits (Boisson, 2005; Boinon, 2012). Afin de comprendre les impacts de la périurbanisation, la première sous-section décrira les mécanismes français de régulation des transactions foncières destinés à protéger les espaces agricoles de l'artificialisation. La deuxième sous-section s'intéressera ensuite aux conséquences de la périurbanisation sur l'activité agricole.

1.3.1 Les mécanismes de régulation des transactions foncières

La politique française de régulation des transactions foncières s'articule, d'une part, autour de la constitution de plans d'usage des sols, les schémas de cohérence territoriale (SCOT) et les plans locaux d'urbanisme (PLU) et, d'autre part, sur l'action d'opérateurs spécifiques, les Sociétés d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural (SAFER) et les établissements fonciers.

1.3.1.1 Zonage de l'usage du sol : les SCOT et les PLU

La législation française caractérisée par un zonage de l'usage des sols s'appuie sur deux outils : les SCOT et les PLU dont les objectifs sont de formaliser les enjeux d'aménagement du territoire et d'usage des sols.

Les SCOT doivent permettre « *l'équilibre entre le renouvellement urbain, un développement urbain maîtrisé, le développement de l'espace rural, d'une part, et la préservation des espaces affectés aux activités et agricoles* » (Legifrance, 2012a). Ils sont élaborés en association avec les différentes autorités dont dépendent la commune ou le groupe de communes, l'Etat, la région, le département et les chambres consulaires concernées. Ces documents ont pour objectif de définir un cadre global cohérent et des directions quant à l'usage du sol. Ils ne sont toutefois pas opposables aux tiers sauf dans le cas de la construction de zones d'aménagement concerté (ZAC), de la mise en réserve foncière de surfaces de plus de cinq hectares, du remembrement du parcellaire, des autorisations d'implantation commerciale et de l'octroi de permis de construire de plus cinq mille mètres carrés.

Les PLU ont pour objectif de dresser un « *diagnostic établi au regard des prévisions économiques et démographiques et précisent les besoins répertoriés en matière de développement économique, d'aménagement de l'espace, d'environnement, d'équilibre social de l'habitat, de transports, d'équipements et de services* » (Legifrance, 2012b). Ils sont élaborés sous la responsabilité des communes ou des communautés de communes. Ce sont des documents de planification qui, dans le cas où la commune est couverte par un SCOT, sont une déclinaison opérationnelle du SCOT. Les PLU sont opposables à tiers. Pour les petites communes, les cadres communaux sont des documents simplifiés qui remplacent les PLU (Boisson, 2005).

Les PLU définissent des zones d'utilisation du sol : zones urbaines, zones à urbaniser, zones agricoles et zones naturelles et forestières. La zone agricole est délimitée en fonction de la valeur agricole des terres. C'est une zone de production qui comporte des bâtiments et des aménagements spécifiques à l'activité agricole. Les zones d'aménagement foncier (remembrement) ou hydrauliques doivent systématiquement être incluses dans les zones agricoles du PLU (DGEAF, 2007). Les PLU peuvent être modifiés mais, si des parcelles localisées dans des zones agricoles sont concernées par une modification de leur statut, il est nécessaire de procéder à une révision de leur classement, procédure pouvant être assez lourde (Boisson, 2005).

La politique de protection des terres agricoles contre l'artificialisation repose sur le zonage du territoire français et l'évolution du statut des zones agricoles est théoriquement contrôlée lors des procédures de révision. Or ce ne sont pas nécessairement les terres agricoles les plus

proches des espaces à usage urbain qui sont converties en priorité en terres constructibles. Le processus de décision relève en effet d'une négociation incertaine entre les acteurs à l'origine des PLU et des SCOT. Cette incertitude peut alors être exploitée pour spéculer sur les prix du foncier.

1.3.1.2 Les sociétés d'aménagement foncier et d'établissement rural

Créées au début des années soixante, les SAFER ont peu à peu diversifié leurs missions. En complément de leur objectif initial de modernisation et de restructuration des exploitations agricoles, elles doivent aujourd'hui travailler à la coexistence des activités agricoles, forestières et non-agricoles avec comme objectifs globaux le développement économique des territoires et celui de préservation de l'environnement et des paysages (OECD, 1995; Boisson, 2005; Sencébé, 2012).

L'action des SAFER sur l'activité agricole prend plusieurs formes. Elles doivent, d'une part, faciliter l'installation des jeunes agriculteurs et, d'autre part, contribuer au renforcement de la structure des exploitations agricoles²¹. Les SAFER disposent pour cela d'un droit de préemption qui s'applique sur des biens agricoles pour une durée de cinq ans, après avis des commissions départementales d'orientation de l'agriculture (CDOA) et des chambres d'agriculture (Boisson, 2005). Dans la zone agricole, le droit de préemption de la SAFER s'applique dès le premier mètre carré de terre agricole en transaction. L'activité agricole peut également se maintenir dans les zones à urbaniser. Dans ces cas-là, le droit de préemption de la SAFER s'exerce, uniquement sur les transactions portant sur des surfaces de plus de mille mètres carrés, en second rang, après les collectivités locales (DGEAF, 2007). Outre le droit de préemption, les SAFER ont également été dotées de pouvoirs importants pour réguler les transactions foncières : pouvoir informationnel (notifications notariales des projets de transactions foncières) et pouvoir de direction de l'usage des sols (choix des acquéreurs des terres rétrocédées).

Les SAFER sont des opérateurs de la politique des structures des lois d'orientation agricole qui, depuis les années soixante, ont pour ambition de défendre l'agriculture familiale en permettant à la main d'œuvre familiale de générer un revenu comparable à ce qu'elle pourrait

²¹ Le renforcement de la structure des exploitations consiste à favoriser l'agrandissement de leur superficie jusqu'à ce que celle-ci dépasse un seuil de viabilité dépendant de l'orientation technico-économique de l'exploitation.

obtenir dans le secteur non-agricole, ainsi qu'une rémunération convenable des capitaux engagés (Barthélémy, 2002). Pour cela, un seuil de viabilité en deçà duquel il est considéré que les exploitants ne peuvent pas subvenir à leurs besoins grâce à leur seule activité agricole est défini pour chaque spécialisation dans chaque région agricole. Les SAFER œuvrent alors à l'agrandissement des exploitations dont la taille est proche de ce seuil de viabilité sans pour autant le dépasser. D'autre part, des autorisations préfectorales sont requises lorsque i) les agrandissements aboutissent au franchissement d'un seuil de taille maximum aux ou ii) lorsque l'agrandissement d'une exploitation se réalise aux dépens d'une exploitation dont la taille devient alors inférieure au seuil de viabilité.

Les SAFER sont des opérateurs qui, malgré l'élargissement de l'éventail de leurs missions, sont théoriquement en charge de la protection des terres agricoles. Toutefois, leurs objectifs de développement économique des territoires et de préservation de l'environnement et des paysages peuvent s'avérer antinomiques. En effet, quels secteurs favoriser pour le développement économique des territoires ? Quels paysages conserver ? Comment juger de la valeur d'un paysage ? Ces questions laissent une part aux interprétations des preneurs de décision et à l'expression des rapports de pouvoir entre les acteurs faisant émerger une dimension politique dans cette prise de décision. D'autre part, le mode de financement des SAFER par les ventes des terres rétrocédées peut les inciter à revendre au plus offrant. Ces écueils sont à l'origine de vives critiques à l'encontre des SAFER (FNSafer, 2012a; Sencébé, 2012).

1.3.1.3 Les établissements fonciers

Les établissements fonciers sont des opérateurs dont la mission est la protection des espaces naturels et agricoles. Le travail des établissements fonciers a une portée largement patrimoniale. Les établissements publics fonciers de l'Etat (EPF) ont pour mission de constituer des réserves foncières en vue d'aménagements publics. Depuis 1996, leurs interventions peuvent être motivées par des objectifs de protection de l'environnement et des zones agricoles. Les actions des EPF sont contrôlées par les préfets.

Les acquisitions des Etablissements Publics Fonciers Locaux (EPFL) ont pour objectif de mettre en œuvre un projet urbain, une politique locale de l'habitat, d'organiser le maintien, l'extension, ou l'accueil des activités économiques, de permettre le renouvellement urbain, de

sauvegarder ou de mettre en valeur le patrimoine bâti ou non bâti et les espaces naturels. Pour cela, les EPFL peuvent utiliser un droit de préemption (urbains, zone d'aménagement différé, espace naturel sensible). Toute action d'un EPFL doit être validée par le conseil municipal de la commune de laquelle dépend le bien (Boisson, 2005).

La mission des établissements publics fonciers complète le travail effectué par les SAFER. Alors que les SAFER favorisent la redistribution des terres agricoles entre les exploitations agricoles dans une optique de développement économique des territoires et de protection des espaces naturels, les établissements fonciers créent des réserves de foncier avec une perspective de patrimonialisation des espaces.

La législation française, en délimitant des espaces à vocation agricole au sein des zones périurbaines, permet la coexistence des deux formes d'estimation de la valeur du foncier. L'incertitude relative à la conversion des terres agricoles en terres constructibles peut alors être considérée comme une des causes de la spéculation sur le prix des terres agricoles. De plus, la multiplicité des acteurs (SAFER, établissements fonciers) complexifie la politique foncière française. Bien que dotés de missions similaires, leurs actions peuvent néanmoins diverger, par exemple, lorsque les terres agricoles préemptées ne sont pas destinées au même usage selon l'opérateur qui intervient (Coulomb, 1999). L'analyse de l'évolution de l'activité agricole périurbaine nécessite de prendre en compte l'action de ces institutions.

1.3.2 Impacts de la périurbanisation sur le fonctionnement des exploitations agricoles

La périurbanisation, en tant que processus d'artificialisation des terres agricoles par des acteurs non-agricoles, se traduit par l'augmentation de la demande totale pour du foncier agricole (Berry, 1978; Glaeser & Kahn, 2004). Or le foncier est un bien non-reproductible et localisé. La hausse de la demande de foncier agricole provoque alors mécaniquement une hausse des prix (Chicoine, 1981; Plantinga et al., 2002; Cavailhes & Wavresky, 2003). La localisation du foncier, déterminant majeur de sa valeur, accroît d'autant plus cette hausse que les agents sont contraints dans leurs déplacements. Ainsi, à la hausse du prix du foncier provoquée par l'augmentation de la demande pour des parcelles agricoles, s'ajoute une surcote de « rareté » liée à leur localisation. D'autre part, la rente future espérée associée à la vente d'une parcelle agricole pour un usage urbain est capitalisée dans son prix actuel provoquant une surenchère à la hausse des prix (Plantinga & Miller, 2001; Goodwin et al.,

2003). Bien qu'en partie contrôlée grâce au zonage des sols (Vaillancourt & Monty, 1985), la périurbanisation a pour première conséquence, en provoquant une hausse des immobilisations, de diminuer la capacité d'un agriculteur à investir ce qui, à moyen terme, peut entraîner une perte de compétitivité (Boinon, 2012).

Face à cette évolution de leur environnement, les agriculteurs des zones périurbaines s'adaptent à leur contexte de production. Heimlich et Brook (1987) cités par Inwood et Sharp (2012) défendent l'existence de trois stratégies d'adaptation : les exploitations « alternatives » de petite taille avec une production à forte valeur ajoutée, les exploitations « récréatives » de très petites tailles et dont le revenu généré ne participe que faiblement aux revenus du ménage, et les exploitations « traditionnelles ». Pour ces auteurs, l'émergence des formes « alternatives » et « récréatives » s'expliquerait notamment par leur capacité à vendre directement leur production aux consommateurs urbains et à mettre en place des procédés originaux de commercialisation pour y parvenir.

Les agriculteurs modifient leur système d'exploitation pour s'adapter à la hausse du prix du foncier (Gardner, 1994; Larson et al., 2001; Tolron, 2001). Selon la théorie microéconomique du producteur, la hausse du prix d'un facteur de production se traduit par sa substitution par un autre facteur de production au prix moins élevé. Dans le cas des exploitations agricoles, la hausse du prix du foncier pourrait ainsi se traduire par une utilisation accrue, soit de capital (dont l'efficacité est indépendante de la surface de l'exploitation), soit de travail. La conversion des exploitations périurbaines au maraîchage est une transition fréquente lorsque les caractéristiques pédologiques des sols la permettent²² (Lopez et al., 1988; Larson et al., 2001; Cavailhès & Wavresky, 2006; SSP, 2008; Cavailhès et al., 2012). Le rapprochement des espaces de production agricole des espaces de consommation et le développement des circuits courts inciteraient les agriculteurs à réaliser cette transition via une hausse sensible des marges captées par les producteurs (Inwood & Sharp, 2012; Paul & McKenzie, 2013).

Parallèlement, la périurbanisation des espaces ruraux s'accompagne d'un aménagement du territoire caractéristique des espaces urbains à l'origine d'inefficiences. D'une part, les aménagements routiers (ronds-points) peuvent gêner la circulation des machines agricoles.

²² Dans le Lauragais, cette transition des systèmes de grande culture vers des systèmes de maraîchage n'est pas observée. Cela s'expliquerait notamment par la nature argileuse des sols, la pente des reliefs vallonés et la forte contrainte sur la disponibilité de la ressource en eau.

D'autre part, la réglementation des épandages pour limiter les nuisances auprès des résidents peut perturber les conduites culturelles (Heimlich & Anderson, 2001). Enfin, les exploitations maraîchères peuvent être l'objet de vandalisme et de vols (Lopez et al., 1988). Ces contraintes provoquent une hausse des coûts variables de production. Nehring et al. (2006) montrent ainsi que les coûts variables de production sont en moyenne plus élevés de 10% dans les zones sous influence urbaine de la « Corn Belt » aux Etats-Unis.

Dans les espaces périurbains, la compétition pour l'accès au foncier, entre des agents agriculteurs et des agents non-agriculteurs, apparaît très inégale au regard du différentiel de prix des terres agricoles et des terres constructibles. Les agriculteurs peuvent alors mettre en place des stratégies de spéculation sur le prix du foncier en anticipant les dates de conversion des terres agricoles en terres urbaines. La rétention des terres occasionnée par l'apparition de stratégies spéculatives augmente le phénomène de raréfaction du foncier. La quantité de terre disponible pour l'agrandissement en taille des exploitations diminue et le prix du foncier augmente. Parallèlement, le capital nécessaire pour accéder au foncier augmente significativement. Cette barrière à l'entrée de nouveaux acteurs provoque une diminution des installations. Sur le long terme, la baisse du nombre des installations provoquée par les coûts d'opportunité élevés à l'installation pourrait être à l'origine d'une soudaine libération des terres lorsque les agriculteurs les plus âgés prendront leur retraite. Des stratégies d'adaptation ont été mises en évidence. Certains agriculteurs périurbains s'engagent dans des investissements fonciers afin de consolider leur exploitation et anticiper une amputation d'une partie de leurs terres (Lopez et al., 1988; Jarrige et al., 2003; Alavoine-Mornas & Giraud, 2004). D'autres décident de spéculer sur le prix du foncier (Lopez et al., 1988; Géniaux & Napoléone, 2005, 2007). D'autres encore s'attachent à diversifier leurs sources de revenu en développant des activités complémentaires à la production de matières premières agricoles (transformation de la production, tourisme, vente directe) ou en profitant des opportunités d'emplois non-agricoles offertes par la proximité de la ville (Lopez et al., 1988; Larson et al., 2001; Inwood & Sharp, 2012).

Conclusion

Dans ce premier chapitre, nous avons défini la périurbanisation comme un processus d'artificialisation rapide des terres agricoles localisées à proximité directe des grandes métropoles, qui a été accéléré par la généralisation de l'usage de l'automobile, moyen de transport flexible, en dépit d'un coût d'utilisation plus élevé. Grâce à la mobilité accrue des individus, les zones d'habitat se sont peu à peu déconnectées des zones de travail. Les espaces en bordure des villes bénéficiant des aménités urbaines et rurales et caractérisés par des prix plus faibles qu'en centre ville, ont attiré les agents non-agricoles. Ces espaces sont le plus souvent des terres agricoles caractérisées, en outre, par des potentiels agronomiques élevés.

La périurbanisation, en s'opérant aux dépens des terres agricoles affecte significativement l'activité agricole à travers l'évolution de la rente foncière. Dans les espaces périurbains, la valeur des terres à usage urbain et des terres à usage agricole n'est pas estimée en fonction des mêmes critères. Les terres à usage agricole, utilisées comme des facteurs de production par les agriculteurs, sont évaluées en fonction de leur potentiel agronomique tandis que les terres à usage urbain, utilisées comme des biens de consommation intermédiaire, sont évaluées en fonction de leur localisation par rapport à la distribution spatiale d'un certain nombre d'aménités. Cette différence d'usage des sols est à l'origine d'un différentiel de prix largement en faveur des terres à usage urbain et induit des comportements spécifiques chez les agriculteurs périurbains.

En France, malgré l'existence d'un cadre législatif et institutionnel ayant pour objectif la protection des terres agricoles de l'artificialisation, l'impact de la périurbanisation sur le fonctionnement des exploitations agricoles est tout de même significatif. La coexistence d'un usage urbain et d'un usage agricole des sols au sein des espaces périurbains provoque i) une hausse de la demande pour le foncier agricole, ii) une conversion des exploitations agricoles vers des systèmes agricoles maraîchers, iii) une hausse des coûts variables de production et iv) l'apparition d'une stratégie de spéculation sur le foncier chez les agriculteurs propriétaires d'au moins une partie de leurs terres.

L'impact de la périurbanisation sur l'activité agricole se traduit par une modification des stratégies des agriculteurs périurbains avec notamment l'apparition de comportements spéculatifs. Parallèlement, l'évolution du comportement des agriculteurs altère l'évolution

structurelle des exploitations agricoles. Afin de mener une analyse de l'impact de la périurbanisation sur le changement structurel à long terme des exploitations périurbaines, le prochain chapitre s'attachera à définir un cadre d'analyse approprié.

Chapitre 2

Quelles approches théoriques pour intégrer la stratégie de patrimonialisation dans l'analyse du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines ?

Introduction

La revue de la littérature menée dans le premier chapitre nous a conduits à faire l'hypothèse que les dynamiques structurelles des exploitations agricoles périurbaines seraient différentes de celles des autres exploitations. Ces dynamiques seraient provoquées, d'une part, par une adaptation à l'augmentation du prix du foncier et des coûts de production et, d'autre part, par une adaptation à la rétention des terres consécutives à l'apparition de comportements spéculatifs des propriétaires terriens. Diverses formes d'adaptation existeraient : intensification de la production, diversification de l'activité, voire cessation de l'activité, chacune d'entre elles influençant différemment l'évolution des quantités de facteur de production employées sur les exploitations.

Ce deuxième chapitre a pour objectif la définition d'un cadre adapté à l'analyse du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines sur le long terme. Dans un premier temps, il convient de s'accorder sur une définition de la structure des exploitations qui, dans cette thèse, sera entendue comme *la dotation en facteurs de production disponibles sur une exploitation*. Il s'agit ensuite de déterminer un cadre d'analyse adapté. Selon la

littérature économique, le changement structurel des exploitations est caractérisé par de la dépendance au chemin, c'est-à-dire qu'il est conditionné aux décisions d'investissement passées à cause de l'existence de coûts irrécouvrables (Balman, 1999) et des effets d'apprentissage (Lucas Jr, 1988). De plus, le foncier n'est pas qu'un facteur de production pour les agriculteurs périurbains, c'est également un patrimoine dont la gestion se raisonne sur le long terme au sein du ménage (chapitre 1). Enfin, l'existence de coûts de transport nécessite de tenir compte de la distribution spatiale de certains facteurs de décision (distance des parcelles au siège de l'exploitation pour les agents agricoles, distance des parcelles artificialisées à des sources d'aménité pour les agents non-agricoles). Un cadre d'analyse centré sur une approche microéconomique couplée à une approche multi-agents sera ainsi utilisé dans cette thèse. Celui-ci permettra à la fois de simuler le comportement d'agents hétérogènes et de tenir compte de la spatialisation des facteurs de décision. Ce cadre conceptuel sera la base des développements méthodologiques proposés dans la suite de la thèse.

Ce chapitre est construit autour de trois sections. La première section définira les concepts de structure et de changement structurel de l'exploitation agricole. Elle exposera ensuite les déterminants de la dépendance au chemin des dynamiques structurelles des exploitations. La deuxième section justifiera pourquoi une approche centrée sur un modèle statique de production pourrait s'avérer trop restrictive pour analyser le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines sur le long terme. La troisième section validera le recours à une approche microéconomique couplée à une approche multi-agents afin d'intégrer les décisions de patrimonialisation dans les systèmes de décision des agriculteurs.

2.1 Définition et caractéristiques de l'évolution structurelle des exploitations agricoles

Pendant la deuxième moitié du vingtième siècle, la spécialisation des exploitations agricoles a accru leur hétérogénéité structurelle. Entre 2000 et 2010, cette tendance s'est poursuivie : la part des exploitations classées dans les orientations technico-économiques polyculture ou polyélevage, a priori peu spécialisées, a diminué (SSP, 2011a). L'hétérogénéité des structures provient, d'une part, du système de production développé par les agriculteurs (choix de la spécialisation, choix des techniques de production et des technologies employées) et, d'autre

part, des spécificités territoriales de la zone de production (Boussard, 1986; Chavas, 2001; Barthélémy, 2002). Ainsi, le relief, les caractéristiques pédoclimatiques, les pratiques et les savoirs locaux associés à un territoire sont des déterminants de la spécialisation productive des exploitations.

Dans un premier temps, la structure des exploitations agricoles sera définie, sur les bases d'une revue de la littérature, comme leur dotation en facteurs de production. Dans un deuxième temps, le changement structurel sera défini comme la variation relative sur le long terme des facteurs de production disponibles sur une exploitation. Puis, dans un troisième temps, les déterminants de la dépendance au chemin caractéristiques du changement structurel des exploitations agricoles seront détaillés.

2.1.1 La structure de l'exploitation agricole : une dotation en facteurs de production

Les exploitations agricoles sont des unités de production définies en tant qu'unité statistique (INSEE, 2011). Dans le recensement agricole, l'exploitation agricole est définie comme une unité de production qui i) produit des biens agricoles, ii) a une gestion courante indépendante et iii) atteint un certain seuil²³ en superficie, en production ou en nombre d'animaux. La littérature économique n'a toutefois pas épuisé la question de la définition de la structure des exploitations agricoles et de nombreuses acceptions coexistent (Goddard et al., 1993; Happe, 2004; Zimmermann et al., 2009). Communément, la structure désigne un ensemble organisé d'éléments interdépendants. Cette définition manque toutefois de précision pour pouvoir être utilisée dans notre travail. Cette sous-section s'attachera à définir la conception de la structure des exploitations agricoles mobilisée dans cette thèse.

Dès 1954, Flamant (1954) reconnaît la multitude d'acceptions du concept de structure économique et pose légitimement la question de l'existence d'une définition. Dans sa revue de la littérature, il considère la structure comme « *l'ensemble des relations qui varient, à long terme, lentement* » qui s'exprime dans le cadre d'un espace spatio-temporel clairement défini (Flamant, 1954 : p.934). Dans cette définition, la structure est un objet d'étude qui a une réalité en un lieu et une époque donnée. Il pourrait ainsi y avoir coexistence de différentes structures selon les échelles de temps et d'espace utilisées. De plus, la structure est décrite

²³ Ce seuil a été défini de la façon suivante : une superficie agricole utilisée au moins égale à un hectare, une superficie en cultures spécialisées au moins égale à vingt ares, ou une activité suffisante de production agricole, estimée en cheptel, surface cultivée ou volume de production.

comme variant lentement. Autrement dit, la structure serait relativement stable à court terme. Toutefois, cette acception de la structure en tant qu'« *ensemble de relations* » laisse en suspens la question des éléments constitutifs de la structure, au cœur de notre analyse.

Le cadre spatial des exploitations agricoles évoqué par Flamant (1954) peut intégrer deux dimensions : la filière et le territoire. Au sein de la filière, les exploitations agricoles sont connectées, par l'intermédiaire de flux physiques (facteurs de production, biens) et de flux immatériels (financiers, connaissance), entre elles mais également avec les acteurs de l'agrofourniture (en amont de la filière), ou encore avec les acteurs de l'agro-industrie, voire directement avec les consommateurs (en aval de la filière). La dimension filière peut, aujourd'hui, nécessiter la définition d'un cadre spatial très large du fait de la mondialisation des activités et de l'éloignement spatial possible des activités de production, de transformation et de consommation. D'autre part, les exploitations agricoles entretiennent également des relations socio-économiques avec les autres acteurs de leur territoire (partage des ressources). L'activité agricole est en outre fortement régulée et fait, en Europe, l'objet d'une intervention publique développée sous la forme de réglementations, normes et incitations (normes sanitaires et environnementales, subventions européennes) (Malassis & Gherzi, 1996; Rastoin & Gherzi, 2010).

Les facteurs de production sont à l'origine de flux à travers la filière mais ils peuvent également avoir lieu avec des acteurs du territoire (foncier). Ils font également l'objet de régulations de la part des pouvoirs publics. Une approche par les facteurs de production permet ainsi de prendre en compte le cadre spatio-temporel préconisé par Flamant (1954). Cette approche satisfait de plus aux définitions identifiées dans une revue de la littérature économique stipulant que la structure est un ensemble d'éléments spécifiques et interdépendants dont les caractéristiques sont stables sur une période relativement longue (Bernard & Colli, 1989; Bezbakh & Gherardi, 2008; Beitone et al., 2010). Pour ces raisons, nous définissons la structure des exploitations agricoles comme leur dotation en éléments interdépendants et spécifiques à leur fonctionnement dans le cadre de leur activité de production : le travail, le foncier et le capital²⁴ (OECD, 1994; Chavas, 2001).

²⁴ Dans la suite de cette thèse, nous différencions le foncier des autres types de capitaux (bâtiments, machines agricoles...).

Cette définition basée sur les facteurs de production permet de tenir compte de l'influence des déterminants du changement structurel sur le long terme (coûts irrécouvrables, apprentissage). L'analyse des flux de facteurs de production permet d'envisager les relations marchandes et non-marchandes existantes entre les acteurs de la filière (offre de main d'œuvre, achat/location/prêt de matériel, vente de terres)²⁵. Finalement, cette définition permet également de s'intéresser aux changements structurels provoqués par les réglementations concernant l'usage des facteurs de production (réglementation des transactions foncières, réglementation de l'usage du matériel d'irrigation). Sur le long terme, les quantités de travail, de foncier et de capital disponibles sur une exploitation peuvent toutefois évoluer et entraîner, sous l'action de certaines forces, une modification de la structure des exploitations agricoles. La prochaine sous-section analysera la nature du changement structurel des exploitations.

2.1.2 Le changement structurel, une évolution lente et irréversible

Sur une période suffisamment longue, la proportion des facteurs de production disponible sur une exploitation se modifie sous l'action de forces exogènes et endogènes à l'exploitation. Ces évolutions sont communément expliquées par des ajustements permanents de l'offre et de la demande dans un contexte technologique donné (OECD, 1994; Chavas, 2001). En outre, sous la condition, très restrictive, de parfaite mobilité des facteurs de production, les signaux du marché permettraient une évolution optimale de la structure d'un secteur d'activité (efficacité et équité). La littérature suggère toutefois que les évolutions relatives de l'offre et de la demande ne suffisent pas à analyser la dynamique structurelle des exploitations agricoles qui serait déterminée par des coûts irrécouvrables (Balmann, 1999) et des effets d'apprentissage (Lucas Jr, 1988) sources de dépendance au chemin. L'objectif de cette sous-section sera de définir le changement structurel des exploitations agricoles.

Malgré un environnement dont l'évolution peut être rapide, la structure d'un système se caractérise par une forte inertie (Flamant, 1954; Braudel, 1987). Selon Flamant (1954), les structures évoluent par mutation, c'est-à-dire qu'elles évoluent brusquement lors de périodes de transition sensiblement plus courtes que les périodes de stabilité, plus longues, lors desquelles les structures résistent au changement. Ainsi, sur un temps suffisamment long, la mutation n'est pas discernable et l'évolution de la structure apparaît comme le résultat d'une

²⁵ Les échanges non-marchands (prêts de main d'œuvre et de matériel) sont des facteurs d'adaptation des exploitations agricoles. Ils ne seront cependant pas développés dans cette thèse.

évolution lente et progressive. C'est par exemple le cas des investissements foncier qui sont des évènements ponctuels dans l'histoire d'une exploitation. Sur la longue durée, le changement structurel apparaît cependant comme lent et progressif. Ce point de vue est partagé par Lordon (1994) qui qualifie les évolutions fortes ou structurelles de « *ruptures* » (Lordon, 1994: p.3). Ces dernières marquent la transition d'une période de stabilité à une autre. Lors de telles transitions, les paramètres jusqu'alors stables du système étudié sont significativement modifiés et peuvent alors être régis par de nouvelles règles²⁶ : il y a « *bifurcation* » (Lordon, 1994: p.14). En économie, l'inertie de la dynamique de changement structurel évoquée ci-dessus n'est pas sans rappeler le phénomène de dépendance au chemin²⁷ (David, 1985; Arthur, 1989; Martin & Sunley, 2006; David, 2001), une évolution irréversible contraignant l'éventail des décisions présentes en fonction des décisions passées. L'analyse de la notion de dépendance au chemin et de ses déterminants est développée ultérieurement (section 2.1.3).

Les bifurcations apparaissent lorsque la structure d'un système est modifiée profondément et durablement (Poirier, 1991; Lordon, 1994). C'est l'apparition de limites et de contradictions liées au propre fonctionnement d'un système qui provoque le changement structurel : les mêmes règles qui avaient contribué au succès d'une structure sont également responsables de son déclin. L'émergence de contraintes propres au fonctionnement de l'exploitation nécessite l'apparition de nouvelles règles de fonctionnement qui modifient sa structure (Domingo & Tonella, 2000). La stabilité supposée de la structure d'un système serait alors le résultat de son autoreproduction.

Un changement structurel s'opère en trois étapes successives lors desquelles les lois régissant un système sont remplacées (Poirier, 1991; Domingo & Tonella, 2000). Lors de la première phase, une structure émergente et minoritaire enregistre une phase d'expansion lors de laquelle cette dernière remplace peu à peu la structure dominante. Débute ensuite une phase de stabilité durant laquelle la nouvelle structure se maintient. Au cours de cette deuxième phase, des évènements conjoncturels peuvent ponctuellement modifier le fonctionnement du système mais un retour à l'équilibre s'observe assez rapidement. Enfin, la structure établie est confrontée aux limites de son propre fonctionnement. Elle est alors à son tour remplacée par une nouvelle structure émergente. Une période de changement structurel reste toutefois très

²⁶ Cette acception du concept de « règle » est très proche de ce que Flamant (1954) qualifie de « relations ».

²⁷ *Path dependency* dans la littérature anglophone.

difficile à détecter hormis lors d'études historiques (Domingo & Tonella, 2000; Hendry, 2000).

Au cours du vingtième siècle, les exploitations majoritairement familiales (Petit, 1975; Barthélémy, 2002) ont évolué vers plus de mécanisation et de spécialisation (Coulomb, 1963; Lacombe, 2002). Outre la modification de l'organisation du travail ou de la propriété foncière (Lobley & Potter, 2004), ces systèmes provoquent un certain nombre d'externalités négatives (Stoate et al., 2009). Ces externalités sont à l'origine d'un questionnement sur la possibilité d'un changement structurel duquel émergeraient des systèmes de production plus respectueux de l'environnement, tels que l'agriculture raisonnée ou biologique (Sutherland, 2011; Hellec & Blouet, 2012; Lamine, 2012).

Un autre exemple propre à la région Midi-Pyrénées concerne l'irrigation. L'irrigation permet aux agriculteurs d'accroître les rendements et de s'assurer contre le risque de sécheresse. La généralisation de l'irrigation a provoqué une contrainte quantitative forte sur la ressource en eau, à l'origine d'un questionnement sur les pratiques d'irrigation (Bergez & Nollet, 2003; Bergez & Lacroix, 2008). L'incapacité des exploitants et des institutions à gérer ces ressources expliquant en partie le déclin de l'irrigation (SSP, 2007b). L'appauvrissement quantitatif des ressources en eau et leur dégradation qualitative sont, dans cet exemple, les déterminants d'un probable changement structurel caractérisé par la modification des conduites culturelles (Sarker et al., 2008).

2.1.3 Rôle des facteurs de dépendance au chemin

La dynamique structurelle des exploitations est principalement déterminée par les décisions d'investissement pour l'accès au foncier (agrandissement) et au capital (mécanisation). Dans un environnement en constante évolution, les investissements peuvent devenir obsolètes avant même d'avoir été rentabilisés. En altérant le capital financier de l'exploitation, ils affectent alors durablement la capacité des agriculteurs à s'adapter aux évolutions futures de leur environnement (Huffman, 1974). Dès lors, l'activité de production agricole est maintenue à un état sous-optimal à cause de décisions passées (Requier-Desjardins, 1993; Balmann, 1997; 1998, 1999) : on parle de dépendance au chemin.

Cette section présentera les facteurs affectant la dépendance au chemin des dynamiques structurelles des exploitations. Dans un premier temps, nous analyserons les facteurs qui influencent la décision d'entrée dans le secteur agricole. Puis, nous détaillerons comment les coûts irrécouvrables et les effets d'apprentissage peuvent provoquer de la dépendance au chemin. Dans un quatrième temps, nous exposerons les déterminants de la sortie des exploitations agricoles.

2.1.3.1 Facteurs d'entrée d'une exploitation dans le secteur agricole

Le nombre d'entrées dans le secteur agricole a significativement diminué depuis le milieu du vingtième siècle (Butault & Delame, 2005). Dodson (1996) estime d'ailleurs que cette baisse est provoquée par des barrières à l'entrée importantes ainsi que par des préférences personnelles des individus pour des activités professionnelles non-agricoles.

L'installation est un investissement lourd, notamment pour accéder au foncier, qui représente une barrière à l'entrée pour les nouveaux agriculteurs. Pour cette raison, les jeunes agriculteurs débutent souvent leur activité agricole sur des exploitations plus petites que celles des agriculteurs déjà installés qui ont pu agrandir leur exploitation depuis leur installation (Boehlje, 1992; Gale Jr., 1993, 1994). En revanche, de plus en plus d'entrées sont le fait de non-agriculteurs qui utilisent l'épargne accumulée lors d'expériences professionnelles antérieures pour s'installer sur des exploitations en moyenne plus grandes que celles sur lesquelles s'installent les jeunes agriculteurs (Boinon & Dussol, 2005; SSP, 2005).

Le revenu agricole moyen est significativement plus faible que dans les autres secteurs de l'économie (Hill, 1999). Le faible niveau des revenus agricoles, relativement à l'importance des capitaux investis²⁸, notamment des capitaux fonciers (FNSafer, 2012a, b), crée des coûts d'opportunités significatifs à l'origine d'une baisse des vocations (Tolley, 1970; Perloff, 1991; Gale Jr., 1993). Toutefois, les préférences des agents pour l'exercice d'une activité agricole peuvent modifier leur perception des coûts d'opportunité engendrés lors de l'installation (Dodson, 1996; Hill, 1999; Gale Jr., 2003). C'est par exemple le cas de non-agriculteurs qui s'installent après avoir connu une première expérience professionnelle non-agricole (SSP, 2005), ou encore celui d'agriculteurs qui diversifient leurs sources de revenus

²⁸ D'où une rentabilité plus faible des capitaux que dans d'autres secteurs de l'économie.

avec des emplois complémentaires afin de compenser la faiblesse des revenus agricoles ou pour préparer leur sortie du secteur agricole (DRAAF Midi-Pyrénées, 2006).

2.1.3.2 Investissements et coûts irrécouvrables

Les investissements sont indispensables aux firmes pour rester compétitives (Levins & Cochrane, 1996). Toutefois, investir peut générer des coûts irrécouvrables²⁹ (Sutton, 1991; Balmann, 1998). Les coûts irrécouvrables sont des pertes supportées par les agriculteurs associées à la revente d'un investissement à un prix inférieur à sa valeur d'achat dépréciée en raison de l'usure du matériel. Ainsi, plus les coûts irrécouvrables sont importants, plus l'incitation à revendre un bien est faible³⁰. La dynamique d'investissement est alors modifiée (sous-investissement, maintien d'investissements peu productifs).

Dans un contexte incertain, Chavas (1994) montre que la propension d'un agriculteur à investir est plus faible lorsque les investissements génèrent des coûts irrécouvrables. En période de prix bas, l'exploitant est incité à remplacer un investissement peu productif par un autre qui l'est plus. Ainsi, face à l'incertitude concernant la productivité future des investissements réalisés, l'agriculteur en limite le nombre pour ne pas avoir à supporter les coûts irrécouvrables liés à leur revente. Dans les milieux périurbains, les investissements pourraient être réduits dans la mesure où les agriculteurs doivent faire face à une incertitude accrue, provoquée par une date de changement de statut des terres agricole en terres constructibles qui ne peut être connue avec exactitude.

L'existence de coûts irrécouvrables modifie également le degré d'aversion au risque des agriculteurs en provoquant une diminution de richesse en cas de revente d'un investissement (Zeelenberg & van Dijk, 1997). Afin de ne pas avoir à supporter d'éventuels coûts irrécouvrables, un agriculteur préfère conserver un investissement coûteux de manière à limiter le risque d'avoir à le revendre et privilégie alors un itinéraire technique adapté à son utilisation. Dès lors, la propension de l'agriculteur à s'éloigner de cet itinéraire technique diminue d'autant plus que l'investissement a été coûteux. Ainsi, plus les coûts irrécouvrables sont élevés, plus le degré d'aversion au risque de l'agriculteur augmente.

²⁹ *Sunk costs* dans la littérature anglophone.

³⁰ On parle alors de bien fixe.

L'existence de coûts irrécouvrables modifie également les conditions d'existence d'une exploitation dans le secteur agricole (Chavas, 1994; Balmann, 1999). Pour ces auteurs, plus les investissements initiaux sont importants, plus un agriculteur est incité à poursuivre son activité malgré des performances économiques faibles. L'objectif est alors de limiter les pertes liées à la revente du capital (minimisation des coûts irrécouvrables).

En agriculture, les coûts irrécouvrables sont des déterminants de la dynamique structurelle des exploitations qui contribuent à limiter la mobilité des facteurs de production. Etant donné qu'une exploitation ne peut s'agrandir qu'aux dépens d'une autre qui libère des terres, l'existence des coûts irrécouvrables, en maintenant en activité certaines exploitations, retarde l'agrandissement d'autres exploitations. Simultanément, un investissement agricole faiblement productif peut malgré tout être conservé pour s'affranchir des coûts irrécouvrables associés à sa revente. Les coûts irrécouvrables générés par les décisions d'investissement des agriculteurs maintiennent ainsi les exploitations dans une dynamique de changement structurel qui évolue très peu avec le temps.

2.1.3.3 Apprentissage et adaptation du système d'exploitation

L'apprentissage, processus d'accumulation de connaissances (Koenig, 1994) qui permet de détecter des erreurs et de les corriger (Argyris & Schön, 1996), occupe une place primordiale dans le processus de création de valeur des unités de production (Arrow, 1962; Dosi et al., 1999). En agriculture, l'acquisition et la création de compétences permettent à l'agriculteur d'améliorer sa productivité et occupent une place d'autant plus importante que les sources d'incertitude sont multiples (Schultz, 1975; Boussard, 1987; Lien & Hardaker, 2001).

L'apprentissage est un déterminant des résultats économiques des agriculteurs i) qui permet de diminuer les coûts de production grâce à une meilleure connaissance du processus de fabrication (Brueckner & Raymon, 1983), ii) qui permet une meilleure utilisation de l'information pour une gestion du risque plus efficace (Stefanou, 1989), iii) qui facilite l'adoption précoce et efficace de technologies adaptées aux problématiques de l'agriculteur (Levins & Cochrane, 1996).

Lucas Jr (1988) montre que l'apprentissage peut résulter des interactions des agents. Ainsi, un agriculteur d'une zone spécialisée en grande culture peut bénéficier des connaissances des agriculteurs géographiquement proches. La littérature évoque alors des effets

d'agglomération, des effets « spill over » et des effets épidémiques (Wozniak, 1984; Geroski, 2000; Breschi & Lissoni, 2001). Les interactions en cause peuvent être des collaborations pour l'utilisation de matériel, pour la mise en place d'un système de culture collectif ou encore des transferts de connaissances entre des parents et des enfants agriculteurs. Pour Lucas Jr (1988), les choix de production passés sont également source d'apprentissage. Par la pratique, l'agriculteur accumule de l'expérience et acquiert une expertise pour les cultures qu'il a produites par le passé.

Cette revue de la littérature suggère qu'un agriculteur ne modifie pas son système de production sans avoir accumulé au préalable de l'information et de l'expérience sur les nouveaux ateliers. L'apprentissage, en maintenant les systèmes de culture pour lesquels les agriculteurs ont acquis de l'expérience, est ainsi un déterminant du changement structurel des exploitations agricoles. Mantzavinos et al. (2004) définissent d'ailleurs cet aspect de la dépendance au chemin comme la dépendance cognitive au chemin. Au final, la dépendance au chemin peut aboutir à des situations de verrouillages³¹ qui généralement entraînent la cessation d'activité des exploitations non-viables.

2.1.3.4 Transmission de l'exploitation et cessation de l'activité

En France, la dynamique de sortie des exploitations du système agricole conditionne les quantités de terre disponibles sur le marché du foncier agricole et, par conséquent, détermine l'accessibilité au foncier pour les autres exploitations (Gale Jr., 2003; Boinon, 2012). En outre, l'intensité capitaliste des systèmes agricoles réduit considérablement le nombre des repreneurs potentiels d'une exploitation (Boehlje, 1992; Dodson, 1996). Ainsi, la connaissance d'un successeur maintient l'exploitation dans une phase d'accumulation de capital ; l'objectif de l'exploitant est alors de transmettre un outil productif à son successeur. Au contraire, l'absence de successeur est le signal d'une décapitalisation progressive qui aboutit à la disparition de l'exploitation agricole (Boehlje, 1992; Gale Jr., 1994).

La décapitalisation génère des coûts irrécouvrables à la charge de l'agriculteur à l'origine du report de la cessation d'activité (Chavas, 1994). La rétention du foncier par des exploitations peu productives diminue alors la mobilité du foncier et affecte la dynamique de changement structurel des autres exploitations. En France, des institutions telles que la SAFER ont pour

³¹ *Lock-in* dans la littérature anglo-saxonne.

objectif de faciliter la transmission des exploitations par une meilleure coordination des acteurs (Boisson, 2005).

D'autre part, l'emploi non-agricole influence significativement la décision de cessation d'activité d'un agriculteur (Rattin & Cariotti, 2000; Meert et al., 2005; SSP, 2005; SCEES, 2006; Aldanondo Ochoa et al., 2007; Mishra & El-Osta, 2008) La littérature met néanmoins en évidence deux effets antagonistes de l'emploi non-agricole sur la décision de sortie des agriculteurs (Goetz & Debertain, 2001). D'une part, exercer une activité professionnelle non-agricole peut être le signal d'une cessation progressive de l'activité agricole. L'emploi non-agricole à temps partiel contribue alors à la future insertion de l'agriculteur dans le secteur non-agricole. Dans ce cas, l'emploi non-agricole est alors synonyme de sortie plus rapide de l'exploitation du système agricole. D'autre part, exercer une activité non-agricole est également un moyen pour diversifier les sources de revenus et par conséquent de diminuer la sensibilité aux chocs affectant l'activité agricole. Dans ce cas-là, l'activité non-agricole contribue à la pérennité économique de l'exploitation. La littérature ne tranche pas sur la prédominance d'un effet ou de l'autre.

Dans cette section, une revue de la littérature a montré que le changement structurel, entendu comme l'évolution relative des facteurs de production, est le fait des décisions du chef d'exploitation. Dans les espaces périurbains, la conversion des terres agricoles en terres à usage urbain provoque leur irréversible artificialisation à l'origine de comportements spéculatifs. L'adaptation à ce nouvel environnement provoque des transformations majeures des systèmes de production susceptibles d'accroître la dépendance au chemin en provoquant une bifurcation irréversible des pratiques agricoles (conversion au maraîchage, transformation de la production, agrotourisme ou recherche d'un emploi non-agricole). La suite de ce chapitre s'applique à proposer le choix d'une approche de l'exploitation agricole qui permette d'en analyser le changement structurel dans les espaces périurbains.

2.2 Des approches pour analyser les déterminants classiques du changement structurel en agriculture

En réalisant des économies d'échelle et des économies de gamme, les agriculteurs améliorent la pérennité économique de leur exploitation (Chavas, 2001; Bergevoet et al., 2010). Pour

cela, ils doivent réaliser des investissements qui modifient la structure de leur exploitation et induisent des dynamiques structurelles différentes. Le fonctionnement des exploitations agricoles peut être appréhendé à l'aide de modèles de production soit grâce à une approche sectorielle, soit grâce à une approche microéconomique. Dans cette section, les choix de production des agriculteurs (spécialisation, diversification) seront tout d'abord explicités. Puis, dans un deuxième temps, l'utilisation de modèles sectoriels et de modèles microéconomiques de production sera discutée au regard des hypothèses sous-jacentes à leur utilisation.

2.2.1 Economies d'échelle et économies de gamme

Les décisions d'investissement déterminent la pérennité économique de l'exploitation agricole sur le long terme. L'agriculteur peut spécialiser son activité pour tirer profit d'économies d'échelle ou la diversifier pour bénéficier d'économies de gamme. Les conséquences de ces deux stratégies sur la dynamique structurelle des exploitations sont significativement différentes (Boehlje, 1999; Bergevoet et al., 2010). Cette sous-section présentera rapidement, dans une optique historique, la tendance à la spécialisation observée en France depuis le milieu du vingtième siècle, puis les facteurs favorables à l'émergence d'une diversification de l'activité agricole.

2.2.1.1 Spécialisation de l'agriculture française dans les années soixante

La spécialisation permet à l'agriculteur d'être compétitif en réalisant des économies d'échelle (Chavas, 2001; Bergevoet et al., 2010). Les économies d'échelle caractérisent une baisse du coût moyen de production de long terme lorsque la production augmente consécutivement à une hausse proportionnelle de l'utilisation de tous les inputs employés lors du processus de production (Mankiv & Taylor, 2010). Le coût moyen diminue grâce à une distribution des coûts fixes de production sur une plus grande quantité de biens produits.

En agriculture, la mécanisation de l'activité agricole a permis des gains d'efficacité significatifs grâce à l'exploitation de plus grandes surfaces par unité de main d'œuvre. Le rendement horaire du matériel agricole (en hectares par heure) n'a cessé de croître avec l'augmentation de la puissance du parc matériel ou avec la combinaison des opérations de travail du sol ou de récolte (SSP, 2011c). L'agrandissement des exploitations apparaît alors comme une condition nécessaire à l'utilisation optimale d'un parc matériel individuel plus

coûteux dont les avantages ne s'expriment pas sur de petites surfaces (Coulomb, 1963; Malassis & Gherzi, 1996; Hayami & Ruttan, 1998; Boussemart et al., 2009).

Toutefois, contrairement à ce qu'énonce la théorie microéconomique de la firme, la courbe des coûts moyens observée empiriquement sur les exploitations agricoles est caractérisée par une forme en « L » provoquée par la coexistence de technologies adaptées à des tailles différentes d'exploitation (Hall & Phillip, 1978; Boussard, 1986; Chavas & Aliber, 1993; Chavas, 2001). A l'échelle d'une région, chaque exploitant utilise la technologie qui minimise les coûts de production sur son exploitation ce qui empêche l'observation de la phase croissante des coûts moyens de production. La courbe empirique des coûts moyens agrégés enveloppe les courbes de coûts moyens de chaque technologie à leur minimum (Matulich, 1978; Chavas, 2001) : les économies d'échelle potentielles sont alors importantes sur les petites exploitations et tendent à disparaître sur les plus grandes (figure 6).

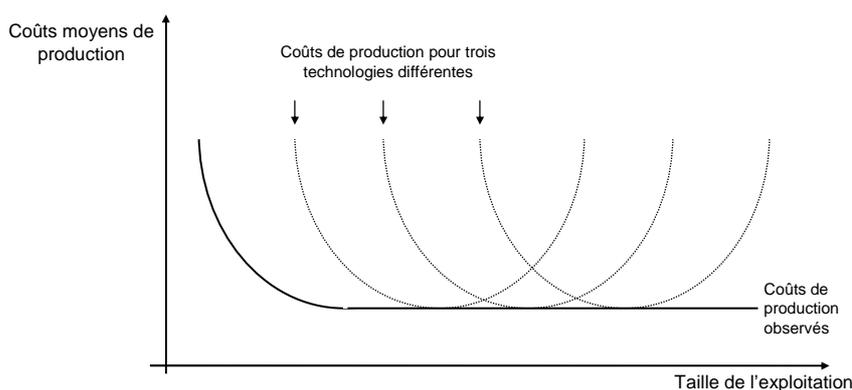


Figure 6 : Coûts moyens de production des exploitations agricoles (Boussard, 1986; Chavas, 2001)

L'emploi des courbes de production est une approche statique pour caractériser une structure donnée. En agriculture, la diversité des technologies employées et des productions réalisées, ainsi que l'hétérogénéité des contextes de production (taille des exploitations, main d'œuvre disponible, conditions pédo-climatiques) induisent une multiplicité de structures, chacune caractérisée par une courbe de production. Au final, l'observation empirique des coûts de production des exploitations se traduit par une courbe en « L » qui relie les optimums des courbes individuelles de production théoriques en « U ».

En France, la spécialisation des exploitations agricoles a été encouragée par un contexte technologique et un ensemble de décisions politiques favorables à l'investissement matériel et à l'agrandissement des exploitations. Deux types d'interventions sur le marché peuvent être mis en avant : les mesures de restructuration proposées dans le plan Mansholt et la création des Sociétés d'Aménagement Foncier et d'Établissement Rural (SAFER). Le plan Mansholt, élaboré dans le cadre de la Politique Agricole Commune (PAC), entre en vigueur en 1968 et consiste en un ensemble de mesures destinées à « améliorer » la structure des exploitations

agricoles. Il vise notamment l'augmentation de la taille moyenne des exploitations agricoles tout en diminuant le nombre d'emplois dans le secteur agricole³². La France anticipe l'entrée en vigueur de ce plan avec l'adoption de la Loi N°60-808 du 5 Août 1960 d'orientation agricole modifiée par la Loi N°62-933 du 8 Août 1962 (LegiFrance, 2011). L'objectif de ces deux textes est de permettre aux agriculteurs français de combler le déficit latent entre les revenus des agriculteurs et ceux dégagés dans les autres secteurs de l'économie (industrie, services). Avec le plan Mansholt, des aides à l'investissement, à la recherche, à la formation et à la diffusion des connaissances sont instaurées en complément de mesures de départ anticipé à la retraite des agriculteurs. La redistribution des terres laissées vacantes est alors coordonnée par les Sociétés d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural (SAFER) dont un des objectifs est de faciliter les transactions foncières et d'accélérer le processus d'agrandissement des exploitations (Boisson, 2005). Les aides agricoles européennes à la production prennent en outre la forme de mesures de soutiens financiers garantissant des prix élevés. Durant toute la deuxième moitié du vingtième siècle, la conjonction de ces facteurs techniques et politiques est à l'origine de la spécialisation, de l'agrandissement et de la mécanisation des exploitations agricoles, tendance lourde de leur évolution structurelle (Chavas, 2001; Eastwood et al., 2010).

En France, cette restructuration a provoqué une baisse significative du nombre d'exploitations et une concentration de la production au sein d'exploitations de plus en plus grandes et spécialisées (Butault & Delame, 2005; SSP, 2008; Fall et al., 2010; SSP, 2011a). En France métropolitaine, le nombre d'exploitations agricoles a ainsi diminué de moitié entre 1988 et 2010, passant d'un peu plus d'un million en 1988 à 490 000 en 2010. Parallèlement, la surface agricole est restée à peu près constante. La taille des exploitations s'est fortement accrue, de 31 ha en moyenne en 1988 à 55 ha en moyenne en 2010 (SSP, 2011b). Simultanément, le facteur travail a été substitué par du capital (machinisme agricole) et la quantité de main d'œuvre utilisée au sein des exploitations agricoles a diminué. En définitive, la spécialisation des exploitations agricoles françaises, soutenue par les politiques agricoles, a provoqué l'émergence de systèmes d'exploitation capitalistiques caractérisés par une utilisation accrue du capital mécanique (Coulomb, 1963; Chavas, 2001; Rastoin & Ghersi, 2010).

³² <http://agriculture.gouv.fr/quelques-points-de-reperes-sur-la>

2.2.1.2 Diversification de la production

La diversification de l'activité agricole est une alternative à la spécialisation. Elle repose sur la possibilité d'exploiter des économies de gamme plutôt que des économies d'échelle (Chavas, 2001; Bergevoet et al., 2010). Les économies de gamme sont générées lorsque la production d'au moins deux outputs différents par une même unité de production permet une diminution des coûts de production par rapport à leur production dans deux unités séparées (Chavas & Kim, 2010). En associant une activité d'élevage à des productions végétales ou des productions végétales entre elles, l'activité de production agricole permet de générer des économies de gamme (Fernandez-Cornejo et al., 1992; Chavas & Aliber, 1993; Barbieri & Mahoney, 2009; Chavas & Kim, 2010). L'association élevage/productions végétales permet de valoriser les productions végétales en les utilisant pour l'alimentation du bétail tout en utilisant les effluents d'élevage comme engrais organiques. Simultanément, des prairies temporaires peuvent être introduites dans le cycle de rotation des cultures afin de reconstituer naturellement la fertilité du sol. Des synergies sont également possibles en associant des productions végétales : une succession protéagineux/céréales permet une meilleure gestion de l'azote du sol tandis que la culture simultanée de protéagineux et de céréales permet également de lutter contre l'apparition d'adventices. Ces synergies peuvent notamment contribuer à la diminution des quantités d'intrants ou encore à l'augmentation des rendements (Gold et al., 1990; Altieri, 1999, 2002; Bedoussac & Justes, 2011).

La diversification de l'activité agricole ne se limite pas à la seule diversification de la production. L'agriculteur peut également diversifier ses sources de revenu avec la mise en place d'activités complémentaires à la production agricole comme, par exemple, la création d'un atelier de vente directe en complément d'une activité de transformation des produits, d'hébergement à la ferme ou d'activités de loisir telles que l'activité équestre (Benjamin, 1994; DRAAF Midi-Pyrénées, 2009; Vial et al., 2010).

Outre son impact sur les coûts de production, la diversification contribue également à une meilleure gestion du risque (Boehlje, 1999). L'activité agricole est en effet soumise à diverses sources d'incertitude : incertitude biologique (croissance des végétaux), climatique (fréquence des sécheresses et des inondations) et de marché (évolution des cours des prix des matières premières) (Hardaker et al., 1997). La répartition des risques sur un éventail de cultures plus large limite l'impact d'un événement défavorable sur les résultats économiques de

l'exploitation. Ainsi la diversification contribue à limiter l'impact négatif d'un aléa (Stigler, 1939; von Ungern-Sternberg, 1990; Weiss, 2001).

Depuis la réforme de 1992, les évolutions successives de la PAC pourraient influencer davantage l'arbitrage entre spécialisation et diversification. La prise en compte des externalités négatives liées à l'activité agricole (pollution des ressources en eau, impact négatif sur la biodiversité) et la reconnexion progressive du marché européen des matières premières agricoles au marché mondial sont des pierres angulaires des réformes successives de la PAC depuis 1992. La réforme Mc Sharry de 1992 est la première étape de ce processus. Au soutien des prix, qui inhibe les signaux du marché (les prix), sont peu à peu substituées des aides directes au revenu, découplées des quantités produites et conditionnées au respect de normes environnementales (Plan Fischler de 2003). Parallèlement, au découplage progressif des soutiens du premier pilier, une politique de développement rural est mise en place de façon renforcée depuis 1999 dans le cadre du second pilier (Agenda 2000). Ce dernier repose sur une conception multifonctionnelle de l'agriculture et contribue à la diversification des activités agricoles avec pour objectifs la promotion de l'emploi rural non-agricole et la protection de l'environnement (Chaplin et al., 2004). Cette orientation a été poursuivie lors du bilan de santé de la PAC en 2008 avec l'instauration d'aides financières à la diversification des activités de production agricole. La PAC post-2013 devrait conserver cette ligne de conduite (Ciolos, 2011). Selon le commissaire européen à l'agriculture, des mesures de diversification des cultures, la contractualisation de mesures environnementales et le soutien à la mise en place d'outils de gestion du risque (unités de stockage individuelles, assurances) sont des axes de travail de la commission. La fin des prix garantis élevés et la reconnexion du secteur agricole européen au marché mondial a accru le risque de marché duquel il est possible de se prémunir en diversifiant la production (Markowitz, 1952, 1991). La diversification de l'activité agricole soutenue par la PAC pourrait même être à l'origine de bonnes pratiques environnementales. De plus, une aide spécifique et forfaitaire pour les exploitations de subsistance et de semi-subsistance³³ pourrait être créée, ce qui constituerait une reconnaissance de la diversité des formes de l'entreprise agricole en Europe.

Nous supposons que l'évolution structurelle des exploitations agricoles résulte d'un équilibre entre, d'une part, la recherche de spécialisation (à l'origine d'économies d'échelle) et, d'autre part, la recherche de diversification de la production (à l'origine d'économies de gammes) et

³³ Ces exploitations sont caractérisées par une taille économique inférieure à huit UDE.

de l'activité. En fonction de l'équilibre entre ces deux forces, des demandes différentes en facteurs de production s'expriment. Dans les espaces périurbains, caractérisés par la hausse significative du prix du foncier, la spécialisation, qui implique un agrandissement des exploitations, pourrait toutefois être plus compliquée à mettre en œuvre.

2.2.2 Quelles spécificités pour l'analyse du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines ?

Le changement structurel des exploitations agricoles de la région Midi-Pyrénées peut être modifié à la fois par des facteurs traditionnels, qui affectent la réalisation d'économies d'échelles et d'économies de gamme, et des facteurs spécifiques à la région Midi-Pyrénées comme l'étalement du pôle urbain toulousain (chapitre 3). Dans cette sous-section, nous verrons comment les approches classiques de la production peuvent être complétées afin d'aborder de manière satisfaisante le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines.

2.2.2.1 *Les approches sectorielles et en équilibre général*

Une première approche pour modéliser les décisions de production des agriculteurs consiste à utiliser une approche sectorielle ou en équilibre général. Alors qu'en équilibre général les conditions d'équilibre sur l'ensemble des marchés interdépendants d'une économie sont analysées, en équilibre partiel, les conditions d'équilibre d'un seul marché, dont l'influence sur les autres marchés de l'économie est estimée négligeable, sont déterminées. L'utilisation de telles approches requiert la formalisation des fonctions d'offre et de demande ainsi que la connaissance des élasticités associées, en tenant compte de la diversité des agents concernés par l'équilibre.

Dans les espaces périurbains, l'existence de transferts de foncier entre deux marchés distincts, celui des terres agricoles et celui des terres constructibles, interdit le recours à un modèle d'équilibre partiel. En raison de la transmission au sein du cadre familial des exploitations agricoles et de l'administration du marché de la terre agricole par la SAFER (chapitre 1), des coûts irrécouvrables caractérisant les investissements agricoles, et des barrières à l'entrée représentées par l'investissement initial nécessaire pour s'installer en agriculture (chapitre 2), l'hypothèse de parfaite mobilité du foncier n'est pas respectée. Enfin, le comportement spéculatif d'une partie des agents propriétaires de terres agricoles provoquée par l'incertitude

sur les dates de conversion du statut du foncier invalide l'hypothèse d'information parfaite. Le non-respect de ces hypothèses limite l'utilisation d'un modèle d'équilibre général. Pour ces raisons, les approches sectorielles et en équilibre général ne sont pas privilégiées.

2.2.2.2 Les modèles d'offre

Avec les modèles d'offre, l'exploitation agricole est considérée comme une unité de production qui alloue ses moyens de production pour maximiser son profit, les prix des inputs et des outputs étant exogènes. L'ensemble des décisions possibles d'allocation est représenté par une fonction de production, formalisation des relations entre la quantité de biens produits et les quantités de facteurs utilisées. Le programme du producteur a pour objectif de déterminer la combinaison optimale de biens produits en fonction des facteurs de production disponibles (foncier, travail, capital) qui maximise la fonction d'utilité de l'agriculteur (Ellis, 1988; Varian, 1997). Cette approche peut être réduite à une optimisation sous contraintes d'une fonction-objectif résolue grâce aux techniques de programmation mathématique (Hazell & Norton, 1986). Les règles de décision des agriculteurs peuvent être affinées en intégrant le degré d'aversion au risque des agriculteurs dans leurs prises de décision (Ridier, 2001; Ricome, 2012).

La représentation de la fonction de production peut atteindre un degré de précision très fin. Il est possible de coupler les modèles microéconomiques à des modèles agronomiques afin de tenir compte des contraintes spécifiques à l'activité agricole, des contraintes technologiques relatives à la conduite des cultures (utilisation de matériel d'irrigation, mise en culture conventionnelle, biologique ou raisonnée) et des contraintes naturelles (conditions pédoclimatiques). Coupler des modèles agronomiques à des modèles microéconomiques permet *in fine* de procéder à des évaluations multicritères plus complètes (indicateurs variés) que des analyses strictement économiques (Carpay-Goulard, 2001; van Ittersum et al., 2008; Mosnier et al., 2009).

L'approche microéconomique présente toutefois des limites pour la modélisation du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. Au sein des espaces périurbains, le foncier est un patrimoine dont la vente génère une plus-value si les parcelles bénéficient du statut de terres constructibles. Un modèle de production se focalisant uniquement sur l'activité de production agricole élude la question de la gestion patrimoniale du foncier en propriété. Celle-ci ne peut pas être comprise à l'aune des seules décisions d'un

chef d'exploitation qui maximiserait une fonction d'utilité construite sur les résultats de son activité agricole. D'une part, parce qu'il existe un compromis entre production agricole et vente du foncier. Et d'autre part, parce que la vente de foncier se raisonne sur une échelle de temps plus longue qu'une année de production agricole. En revanche, la gestion patrimoniale du foncier peut se comprendre au regard des décisions prises au sein du ménage dont les décisions reposent sur la mise en balance des opportunités offertes par les revenus agricoles et non-agricoles.

Les modèles de production en programmation mathématique sont adaptés pour leur bonne représentation de la technologie. En revanche, des approches fondées exclusivement sur des modèles de production (endogénéisant ou non le marché de la terre) portent une vision de l'exploitation agricole qui exclut certaines spécificités propres à notre question de recherche. Pour les exploitations périurbaines, le foncier n'est pas seulement un facteur de production, c'est également un bien patrimonial grâce auquel il est possible de générer un revenu. La propriété foncière représente un stock de terres dont la gestion se raisonne au sein du ménage sur le long terme avec la possibilité pour les exploitants transmettre à leurs enfants le patrimoine foncier (Lipton, 1968; Inwood & Sharp, 2012).

2.3 Un modèle de ménage pour analyser les déterminants spécifiques du changement structurel périurbain

Dans les espaces périurbains, le foncier agricole est un patrimoine dont la gestion se raisonne sur le long terme (chapitre 1). Elle consiste en un compromis entre liquidation du bien avec réalisation d'une plus-value (lever d'option) et conservation du bien (production de biens agricoles, location des terres) en vue de sa transmission intergénérationnelle ou afin de spéculer sur le prix du foncier. Dans un premier temps, les déterminants de la décision de spéculation seront analysés. Puis, dans un deuxième temps, le recours à un modèle microéconomique de ménage couplé à un modèle multi-agents spatialisé sera défendu afin de modéliser la gestion patrimoniale spécifique de l'exploitation agricole périurbaine.

2.3.1 La spéculation sur le prix du foncier

Autour des grandes métropoles, la hausse de la demande de foncier pour la construction de lotissements résidentiels ou de zones commerciales entraîne une artificialisation des terres

agricoles. Cette conversion du foncier à vocation agricole en foncier à vocation urbaine a pour conséquence une hausse sensible du prix du foncier agricole (Cavailhes & Wavresky, 2003; AUAT, 2005; SSP, 2009b; AUAT, 2011; Cavailhès et al., 2012), à l'origine de spéculations sur le prix du foncier (Géniaux & Napoléone, 2005, 2007).

Traditionnellement, la théorie économique définit la spéculation comme une activité d'atténuation de l'évolution des prix résultant de l'évolution de l'offre et de la demande. Kaldor (1987) précise que l'évolution du prix ne doit pas résulter d'un usage différent du bien ou de son transfert entre différents marchés. Or le différentiel de prix entre les terres agricoles et les terres constructibles est provoqué, dans notre cas, par la coexistence de deux systèmes de valorisation du foncier en fonction de son usage en tant que facteur de production ou que bien de consommation intermédiaire³⁴ (section 1.2).

Cette acception de la spéculation ne correspond pas à celle rencontrée dans les espaces périurbains. Dans notre cas, la spéculation des propriétaires terriens correspond à une anticipation de la date de conversion du statut de la terre de terre agricole à terre constructible, correspondant à son transfert d'un marché des facteurs de production à celui d'un marché de biens de consommation intermédiaire (chapitre 1). Lors de ce transfert, la valeur du foncier augmente significativement provoquant chez certains agriculteurs un comportement spéculatif. Ces derniers peuvent alors décider de conserver leur exploitation tant que les terres agricoles ne sont pas constructibles. Cette rétention des terres crée alors une pénurie sur le marché du foncier agricole, ralentissant la dynamique d'agrandissement des autres exploitations.

La stratégie patrimoniale de l'agriculteur (spéculation ou transmission) peut s'analyser au regard de la théorie des biens de subsistance durables (Ellis, 2000). La spéculation fait partie d'un ensemble d'alternatives à l'activité de production agricole permettant à l'agriculteur de générer un revenu. A première vue, la décision de liquider les terres en faire-valoir direct apparaît antagoniste à la décision de maintenir une activité agricole. Si un agriculteur vend des terres, la quantité de foncier à sa disposition diminue, compromettant la viabilité de son exploitation. Toutefois, grâce à la plus-value réalisée, l'agriculteur peut se constituer un

³⁴ Dans cette thèse, la variation du prix d'une parcelle consécutivement à l'évolution de son potentiel agronomique (transaction entre deux agriculteurs) ne sera pas prise en compte. La variation de son prix suite à l'évolution de la distance avec des sources d'aménités (transaction entre deux non-agriculteurs) ne sera également pas prise en compte.

capital-retraite voire, dans certains cas, décider d'arrêter son activité agricole³⁵. En revanche, cette décision peut également permettre à l'agriculteur de racheter une exploitation plus grande dans une zone plus éloignée de la métropole. L'analyse et la modélisation de ces décisions nécessite ainsi de tenir compte des décisions de transmission du patrimoine. Il est donc nécessaire d'élargir le centre de décision du producteur agricole au ménage agricole et de considérer le temps long.

2.3.2 Coupler un modèle microéconomique de ménage à un modèle multi-agents spatialisé

Les modèles microéconomiques de ménage permettent d'analyser simultanément les décisions de production agricole ainsi que les décisions de gestion patrimoniale du foncier. Afin de leur adjoindre une analyse des effets spatiaux de la proximité urbaine, nous proposons de coupler un tel modèle avec un modèle multi-agents.

2.3.2.1 Un modèle de ménage pour examiner la gestion du patrimoine foncier...

Les exploitations agricoles françaises sont majoritairement des exploitations familiales pour lesquelles le centre de décision effectif est le ménage (Petit, 1975; DRAAF Midi-Pyrénées, 2006; SCEES, 2006). L'acceptation du ménage variant selon les cultures et les groupes étudiés, il convient d'en préciser le sens (Sadoulet & de Janvry, 1995). En France, l'INSEE³⁶ définit un ménage comme « *l'ensemble des personnes qui partagent la même résidence principale, sans que ces personnes soient nécessairement unies par des liens de parenté. Un ménage peut être constitué d'une seule personne. Il y a égalité entre le nombre de ménages et le nombre de résidences principales* ». Les modèles de ménage permettent de modéliser les décisions des exploitations agricoles familiales pour lesquelles les décisions de consommation sont prises simultanément à celles de production (Sadoulet & de Janvry, 1995; Taylor & Adelman, 2003).

Les membres d'un ménage réalisent un compromis concernant les objectifs à atteindre et les moyens à mettre en œuvre pour y parvenir (Ellis, 1988; de Janvry et al., 1991; Sadoulet & de Janvry, 1995). Lors de cette prise de décision, les conditions d'accès aux ressources et les

³⁵ Les sommes en jeu peuvent atteindre plusieurs centaines de milliers d'euros par hectare de terre vendu.

³⁶ <http://www.insee.fr/fr/methodes/default.asp?page=definitions/menage.htm>

rapports de pouvoir entre les membres du ménage déterminent les décisions prises. En ce sens, Patrick et Eisgruber (1968) montrent que les agriculteurs poursuivent simultanément plusieurs objectifs : générer un revenu (emploi agricole ou non-agricole), consacrer du temps à leur famille et transmettre un patrimoine. Ces travaux soulignent deux caractéristiques des décisions des ménages agricoles : l'arbitrage du temps et l'horizon de long terme.

Avec la proximité de la ville, la question de l'allocation du temps de travail sur ou en-dehors de l'exploitation permet en partie de comprendre l'évolution structurelle des exploitations périurbaines (chapitre 1). Les agriculteurs sont confrontés à l'optimisation d'un revenu pouvant résulter d'un ensemble d'activités agricoles et non-agricoles combinées au sein d'un portefeuille de moyens d'existence (Ellis, 2000). Ceci est d'autant plus vrai que la proximité avec la ville offre aux agriculteurs périurbains de nombreuses possibilités de diversification de l'activité. Le travail non-agricole peut être considéré comme un complément à l'activité agricole (diversification des revenus) ou comme une alternative (cessation de l'activité agricole). Des activités non-agricoles complémentaires peuvent être développées sur l'exploitation (tourisme, transformation de la production). L'existence d'entreprises de travaux agricoles (ETA) offre également la possibilité de sous-traiter des opérations culturales (labour, épandage, traitements, moisson). Enfin, le patrimoine foncier peut être liquidé.

L'objectif implicite du ménage est la transmission d'une exploitation viable à un descendant (Ellis, 1988; Sadoulet & de Janvry, 1995). En ce sens, un modèle de ménage permet d'analyser les décisions du ménage sur le long terme avec le cas de la transmission intergénérationnelle. Pour Taylor et Adelman (2003), l'objectif d'un ménage agricole est de maximiser un flux futur actualisé d'utilité espérée. Ces auteurs considèrent les modèles de production inappropriés pour modéliser la transmission intergénérationnelle du patrimoine car les décisions du ménage ne sont pas des décisions de rentabilité de court terme, mais des décisions d'existence sur le long terme. Cette préoccupation de transmission de l'exploitation se caractérise notamment par une dynamique des investissements particulière déterminée par l'existence d'un repreneur (Boehlje, 1992; Gale Jr., 1994; Inwood & Sharp, 2012)³⁷. A

³⁷ Pour Boehlje, le cycle de vie de l'exploitation familiale se décompose en trois étapes : l'étape d'entrée dans le secteur (installation) caractérisée par une faible accumulation de capital, l'étape de croissance/survie (phase d'investissement en foncier, capital et capital humain qui peut être fortement affectée par la faible mobilité des facteurs) et l'étape de transmission/sortie. La connaissance d'un successeur est déterminante. Lorsque l'exploitation est transmise, l'exploitant veille au maintien de la compétitivité (maintien de l'investissement) alors que l'absence de successeur est souvent le signal à une décapitalisation progressive.

l'approche de la retraite, un agriculteur maintiendra un certain niveau d'investissement afin de transmettre un outil de production viable à un successeur connu. Au contraire, il entrera dans une phase de décapitalisation progressive dans le cas où aucun repreneur ne lui succède.

L'analyse du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines présente des spécificités qui nécessitent de s'intéresser aux décisions des ménages : décisions de long terme, transmission intergénérationnelle du patrimoine foncier et allocation du temps de travail entre une activité agricole et une activité non-agricole. Néanmoins, certaines limites en contraignent l'utilisation. Pour ces raisons nous nous penchons maintenant sur les possibilités offertes par les approches multi-agents.

2.3.2.2 ... couplé à un système multi-agents pour intégrer les déterminants spécifiques des décisions des agriculteurs périurbains

L'utilisation d'une approche microéconomique seule pour simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines présente des contraintes. D'une part, la spéculation foncière est le résultat d'interactions entre des agents agriculteurs et des agents non-agriculteurs sur le marché du foncier constructible. D'autre part, la localisation du foncier suppose l'existence de phénomènes spatialisés prenant en compte les coûts de transport. Dans une approche multi-agents, issue des recherches en intelligence artificielle, les exploitations agricoles peuvent être assimilées à des agents indépendants dotés d'un système de décision qui interagissent entre eux (transactions foncières) et avec leur environnement (impact des décisions de production sur l'environnement et réciproquement).

L'approche multi-agents permet de modéliser le changement structurel des exploitations agricoles comme un système complexe adaptatif (Happe, 2004). Le changement structurel est alors assimilé à la réponse des agents exploitations agricoles aux contraintes imposées par i) leur dotation en facteur de production, ii) les règles de décision associées à leur comportement et iii) les contraintes exogènes (politiques publiques, technologiques, territoriales). La complexité d'un tel système empêche sa partition en plusieurs sous-systèmes étudiés indépendamment les uns des autres. Au contraire, il est alors nécessaire de considérer simultanément plusieurs sous-systèmes pour pouvoir en simuler l'évolution globale (Gilbert, 2005). Dans les milieux périurbains, pour comprendre le changement structurel des exploitations, il est ainsi nécessaire d'inclure dans le système, en complément des exploitations agricoles, les agents non-agricoles entrant en compétition pour le foncier avec

les agriculteurs. Les décisions de rétention des terres et de spéculation sur le prix du foncier s'analysent en effet à la lumière des décisions d'achat de foncier des non-agriculteurs dont le consentement à payer pour des parcelles des terres est significativement supérieur à celui des agriculteurs. La notion d'agent renvoie aux propriétés définies par Franklin et Graesser³⁸ (1997) (tableau 3).

Tableau 3 : Propriétés des agents des systèmes multi-agents

Propriétés	Définitions
Réactif	Modifie son comportement en fonction des signaux perçus
Autonome	Choisit délibérément les actions qu'il implémente
Proactif	Met en place des stratégies pour parvenir à son objectif
Temporellement continu	Le processus de décision est continu dans le temps
Communicant	Echange de l'information avec d'autres agents
Adaptatif	Modifie son comportement en fonction des événements passés
Mobile	Peut se déplacer dans l'espace
Flexible	Les décisions ne suivent pas un scénario établi à l'avance
Plausible	Personnalité crédible

Source : Franklin et Graesser (1997)

A minima, un agent est caractérisé par les propriétés de réactivité, d'autonomie, de proactivité et une continuité temporelle. Par exemple, des agents exploitations agricoles peuvent prendre des décisions en fonction de leur environnement (climat, marché) et doivent réagir à des modifications permanentes du contexte de production. Les propriétés de communication, d'adaptation, de mobilité, de flexibilité, et de plausibilité sont accessoires³⁹. Les agents peuvent en outre être dotés de caractéristiques et de systèmes de décisions différents.

L'approche multi-agents permet ainsi de représenter la diversité structurelle des exploitations d'une région grâce à la modélisation d'agents exploitations agricoles dotés de caractéristiques hétérogènes. Simultanément, des agents non-agricoles dotés d'objectifs différents (achat de foncier à proximité de certaines aménités) peuvent être modélisés (Ferber, 1995; Varenne, 2011). Il est enfin possible de lever l'hypothèse de rationalité substantive et de simuler le comportement d'agents animés par des comportements stratégiques (Cardon & Guessoum, 2000; Rejeb, 2005).

³⁸ Pour ces auteurs, « an autonomous agent is a system situated within a part of an environment that senses that environment and acts on it, over time, in pursuit of its own agenda and so as to affect what it senses in the future »

³⁹ Toute entité d'un SMA ne satisfaisant pas aux propriétés de réactivité, d'autonomie, de proactivité et de continuité temporelle est un objet. Dans notre cas, les parcelles peuvent être considérées comme des objets, elles n'évoluent pas par elles même mais la distance au siège de l'exploitation agricole modifie la valeur de l'enchère émise par l'agriculteur sur le marché du foncier.

L'approche multi-agents permet également de modéliser les agents au sein de leur environnement (Ferber, 1995; Gilbert & Troitzsch, 2005). Sur les exploitations agricoles, la localisation des ressources (foncier, points d'accès à l'eau) engendre des coûts de transport à l'origine de déséconomies d'échelle croissantes avec la taille des exploitations (Boussard, 1986; Chavas, 2001). La représentation spatiale peut prendre la forme d'un damier, comme dans AgriPoliS (Happe, 2004; Kellermann et al., 2008) ou utiliser un Système d'Information Géographique (SIG) (Guillobez et al., 2000; Pontius Jr et al., 2001; Lifran et al., 2003). Le tableau 4 compile un échantillon de travaux mobilisant des approches SMA et détaille quelles problématiques agricoles ont été traitées avec quelles représentations spatiales.

Tableau 4 : Sélection de travaux appliqués à l'agriculture mobilisant des systèmes multi-agents

Références	Problématiques	Agents	Représentations spatiales
Rouchier et Requier-Desjardins (2000)	Impacts sur l'environnement de systèmes d'élevage	Éleveurs transhumants, éleveurs sédentaires et chefs de village	-
Berger (2001)	Diffusion de technologies	Exploitations agricoles	Représentation stylisée en forme de damier
Parker et al. (2003)	Usage des sols	-	Systèmes d'Information Géographique Représentation stylisée en forme de damier
Happe (2004) et Sahrbacher (2011)	Changement structurel des exploitations agricoles	Exploitations agricoles	Représentation stylisée en forme de damier
Valbuena et al. (2008)	Usage des sols	Exploitations agricoles	Système d'Information Géographique
Filatova et al. (2011)	Régulation du marché du foncier	3780 agents sur le marché du foncier	Représentation stylisée en forme de damier

Inclure une représentation spatiale de l'environnement est particulièrement intéressant pour simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines dans la mesure où les agents agricoles choisissent des parcelles pour agrandir leur exploitation sous contrainte de coûts de transport, tandis que les agents non-agricoles choisissent des parcelles constructibles sous contrainte de leur distance aux centres urbains.

L'approche multi-agents permet également de modéliser les interactions des agents. Dans le cas du changement structurel des exploitations agricoles, celles-ci peuvent avoir lieu sur le marché du foncier entre agents agricoles ou avec des agents non-agricoles (Happe, 2004; Kellermann et al., 2008). Les agents peuvent également interagir avec leur environnement. Dans les espaces périurbains, les agents agricoles peuvent modifier l'usage du sol et les agents non-agricoles peuvent convertir les parcelles agricoles en parcelles artificialisées. Cet aspect

des approches multi-agents permet d'observer des phénomènes émergents non-prédictibles à partir de la connaissance de l'état individuel des agents (Ferber, 1995; Gilbert & Troitzsch, 2005) : l'état du système (échelle macro) résulte des interactions individuelles des agents qui le composent (échelle micro). L'approche « bottom-up » des SMA permet d'adopter une vision prospective utile pour une analyse sur le long terme (Bommel, 2009).

En permettant de modéliser les interactions des agriculteurs et des non-agriculteurs sur le marché du foncier et de spatialiser l'information, le couplage d'une approche microéconomique à une approche multi-agents permettrait de remédier aux limites de l'approche microéconomique de production afin de simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines.

Conclusion

Analysé sur le long terme, le changement structurel des exploitations agricoles peut être défini comme la variation des quantités de facteurs de production disponibles sur une exploitation. Ces changements sont notamment caractérisés par de la dépendance au chemin provoquée par l'existence de coûts irrécouvrables et d'effets d'apprentissage. La dépendance au chemin de la structure des exploitations agricoles est d'autant plus importante pour les exploitations agricoles périurbaines que, d'une part, le prix du foncier est plus élevé et, d'autre part, l'apprentissage de nouvelles formes de production agricole rend plus difficile l'adaptation des systèmes d'exploitation à leur environnement, provoquant de véritables situations de verrouillage.

Analyser le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines nécessite une approche méthodologique permettant de prendre en compte, d'un côté, les stratégies de production de l'agriculteur sur le court terme et, d'un autre côté, la gestion du patrimoine foncier sur le long terme et les transmissions intergénérationnelles auxquelles celle-ci peut donner lieu. La vision sous-jacente de l'exploitation agricole développée dans les modèles microéconomiques de ménage permet de lever les difficultés propres à l'analyse de long terme qu'il convient de mener pour comprendre le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. Néanmoins, les modèles microéconomiques de ménage ne prennent en compte ni la dimension spatialisée, ni la question de la diversité des agents posée par le

problème du changement structurel des exploitations dans les espaces périurbains. Afin d'y remédier, une solution consiste à coupler un modèle microéconomique de ménage à un modèle multi-agents. Sur le long terme, la dynamique structurelle des exploitations pourrait être en partie déterminée par l'intensité de la périurbanisation.

Dans le chapitre suivant, les résultats d'une analyse économétrique ex-post sont proposés afin de valider la pertinence de la question du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. Pour cela, les déterminants de la taille et de l'évolution en taille des exploitations agricoles de la région Midi-Pyrénées sont testés à l'aide de trois modèles.

Chapter 3

What Influences Farm Size Growth? An illustration in South-Western France

Introduction

During the second half of the twentieth century, the number of farms declined sharply in Western Europe (Eastwood et al., 2010). In France, this trend is continuing. The number of professional farms⁴⁰ has continued to decrease by 3% each year since the end of the 1980s⁴¹. In 2007, there were a little over 300 000 professional farms in Metropolitan France. The corollary of this decline in farm numbers is the increase in their average size. Currently, the average French professional farm has an utilised agricultural area (UAA) of 77 ha, as opposed to an average of 50 ha in the European Union⁴². Remaining farms are less numerous and are growing at the expense of those that cease activity (Butault & Delame, 2005). In addition, French farms are subject to an increasingly strong demand for land, driven by growing urbanization (EEA, 2006; Levesque et al., 2012). For instance, between 2000 and 2006, almost 75 000 ha of farmland were artificially modified in France⁴³. The average increase in the size of farms on the one hand, and the related downward trend in the number of farms and

⁴⁰ Professional farms have an economic size greater than 8 ESU and employ more than 0.75 AWU. This chapter refers mainly to this category of farms.

⁴¹ SSP, 2008, 326000 Exploitations Professionnelles, Agreste primeur 215

⁴² Eurostat, 2007: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agriculture/data/database>

⁴³ CGDD, 2011, L'artificialisation des sols s'opère aux dépens des terres agricoles, Observation et Statistiques 75

overall agricultural area on the other, have prompted the examination of factors that can explain this continuing growth, i.e. farm concentration, since 2000. In this chapter, special attention is paid to the growing share of artificial land close to urbanized areas by introducing farm location factors for explaining farm size and farm size growth. The issue of farm size growth refers to that of structural change (Boehlje, 1992; Chavas, 2001). It is only one dimension of structural change, which means a permanent and irreversible change in the characteristics of farming systems. (Goddard et al., 1993; Zimmermann et al., 2009). Structural change includes the diversification of activities (Weiss, 2001), increased mechanization, the development of information technology, the technical and economic specialization of farms and evolving relations between production units (Goddard et al., 1993), all of which are changes that can be generally explained by the search for scale and scope economies (Chavas, 2001; Boussemart et al., 2009). Most of the dimensions of structural change are accompanied by a common phenomenon: that of "growth", in the sense of an additional endowment of factors that therefore contribute to the extension of farms. Size is therefore understood as being the quantity of production factors held, including one essential factor: land.

However, as Alvarez and Arias (2004) pointed out, the concept of size is not sufficiently precise and different indicators of size are used in the literature. Some authors use indicators of physical size, such as UAA for crop production or head of cattle for livestock production (Summer & Leiby, 1987; Weiss, 1999). Others use indicators of economic size, such as total gross margin or turnover (Summer & Leiby, 1987; Butault & Delame, 2005). Although some studies use the total value of the agricultural output of farms as a measure of size, most studies consider only one (often quasi-fixed) production factor, such as land. Aside from the question of land mentioned above, the choice of UAA as an indicator of size seems more relevant than a turnover indicator, e.g. gross margin. For instance, the variability over time of production choices, i.e. crop mixes, can bias the analysis of the growth in economic size between two farm censuses. Commodity price volatility also adds to this variability. For this study, we therefore chose UAA as the indicator of farm size. As a reminder, UAA is a statistical concept used to assess the quantity of land of each farm. The indicator takes into account the area of arable land (including set-aside land), areas of grassland and permanent crops; forestland is excluded.

This chapter⁴⁴ therefore proposes to analyse a set of factors that can explain the size of farms in terms of farmland and, more particularly, the phenomenon of growth as related to the characteristics of the farm, the farmer and the territorial integration of the farm. In this chapter, three complementary econometric models have been combined in order to identify factors that influence farm size and growth in farm size. This analysis is based on two surveys conducted by the Statistical and Prospective Studies Department of the Ministry for Agriculture, Food, Fisheries, Rural Areas and Local Development in 2000 and in 2007. We limited our analysis to the administrative region of Midi-Pyrénées, in south-western France, where the rate of farm size growth is close to the national trend. We therefore had a sample of over 5 000 permanent farms, i.e. farms that existed in both in 2000 and in 2007⁴⁵, which is representative of all professional farms, considering UAA and specialization, in this region, the largest farming region in France⁴⁶.

This chapter is organised as follows. The first section reviews the main findings in the literature concerning factors fostering farm growth in western countries. The second section presents the data and econometric methods used to explain the size and growth of farms, and the intensity of this growth. The results are presented and analysed in the third section.

3.1 Literature review: what are the main factors responsible for farm size growth?

From an historic point of view, the literature review by Eastwood et al. (2010) shows that the phenomenon of farm growth is a worldwide trend. However it emphasises that there are large discrepancies over time, usually caused by issues of property sharing rights. From an economic point of view, farm growth in France – and more broadly in western countries – can be explained by different concepts and factors that we propose to review here.

⁴⁴ A paper based on the findings exposed in this chapter is under review in the journal « Applied Economic Perspectives and Policy ».

⁴⁵ As in Butault and Delame (2005), by “permanent” farm we mean a farm that maintained its agricultural activity between 2000 and 2007, although the farmer may have changed in the meantime. We do not have exact statistical information on changes in farmers, as the surveys focus primarily on the farms rather than on the people. Also, according to other studies, e.g. Blanc (2005), most of these changes correspond to successions within the same family.

⁴⁶ The interest of studying a single region is that it allows a better control of regional effects. Not all of the regions of France have the same historic development or distribution of different types of farms: farming types are largely region-dependent and have a key effect on farm size.

3.1.1 Farm mechanization and specialization

Chavas (2001) explains that farm growth is primarily due to rapid mechanization and specialization in order to generate economies of scale. Farm specialization and mechanization are two of the main drivers of farm structural change. Moreover, these changes have been accelerated by farmer early-retirement policies introduced by the CAP in 1992 (Butault & Delame, 2005). Young farmers, who are better trained in new farm technologies and are backed by public modernization policies and investment supports, thus contribute greatly to the mechanization and capitalization of French agriculture. In this respect, the increase in the number of farmers leaving the sector, the decrease in those entering it and the resulting release of land boost farm growth capacity (Gale Jr., 1994, 2003). Faced with this modernization and intensification of farms, authors questioned whether there might be a convergence of farms towards an equilibrium size.

3.1.2 Is there a farm equilibrium size?

The theoretical question of whether there is an equilibrium farm size continues to generate much debate in the literature on farm structural change (Eastwood et al., 2010). Gibrat's law of proportionate effects states that the farm growth phenomenon is unrelated to the initial farm size and that the probability of its occurrence can be represented by a simple random phenomenon. This hypothesis would imply that no equilibrium size exists towards which the growth process is moving. Shapiro et al. (1987) tested this hypothesis using indicators of physical size and economic size on a sample of Canadian farms, i.e. representing 5% of the farms in the farm census, between 1966 and 1981 and they finally rejected this hypothesis. A similar survey was conducted on a panel of 40 000 Austrian farms between 1979 and 1990, using two indicators of physical farm size (Weiss, 1999) and also concluded by rejecting Gibrat's hypothesis. Both studies showed that farm size growth depends on farm initial size: smaller farms grew more quickly than larger ones. However Butault and Delame (2005) did not confirm such a result for French farms. These authors found that there is no evidence that farm sizes converge towards an equilibrium size. In fact, it has been shown that, within the size distribution of farms in a given region, there can be several equilibrium points (Weiss, 1999). Therefore, farm size growth is not thought to be a linear function of farm size. Finally, the "L" shape of the empirically-observed farm size distribution curve might be explained by the accessibility of numerous and varied technologies and by the economies of scale and

economies of scope that farmers manage to make (Boussard, 1986; Chavas, 2001). Thus, without coming to the conclusion that there is an equilibrium size, these findings may suggest that farms grow until they reach a minimum size. However, given the diversity of farm types and low mobility of the land factor, despite an underlying growth trend, farm sizes remain highly variable. This variability may appear all the greater in that the literature also shows the influence of other factors.

3.1.3 Human capital factors

Farm size is also affected by the decision-making process of farmers (Patrick & Eisgruber, 1968; Huffman, 1974; Eastwood et al., 2010). As a general rule, farmers' decisions are influenced by their knowledge, skills, know-how and the level of information to which they have access, all of which correspond to the concept of human capital (Schultz, 1975). Human capital has a multiplying effect on the productivity of capital and labour production factors and could therefore be considered as an economic growth factor (Huffman, 1974; Lucas Jr, 1988). In the United States, a study of dairy farms using an indicator of physical size (herd size) showed that the human capital of farmers was positively correlated with the size of their farm⁴⁷ (Summer & Leiby, 1987). In France, Butault and Delame (2005) also observed a significant correlation between the economic size of farms and the initial training level of farmers. In the agricultural sector, Huffman et al. (2001) showed that farmers' human capital was negatively correlated with their production costs and positively correlated with the yields they achieved. This can be explained by the dynamic nature of human capital: the state of knowledge and know-how of farmers can increase over time through learning and notably through learning by doing (Arrow, 1962; Schultz, 1975). Rodgers (1994) proposes a distinction between specific and general human capital in order to explain the structure and the lingering poverty within the agricultural sector in the United States. Weiss (1999) thus observes that while initial general and agricultural trainings are both positively correlated with an increase in farm size, initial agricultural training has a smaller impact on farm size growth than the level of general education. It also appears that farmer age is positively correlated with increases in farm size when farmers are young, but negatively when they are old (Weiss, 1999; Butault & Delame, 2005; Fall et al., 2010). However, the link between human capital

⁴⁷ Four human capital variables were tested: farmers' age, their experience in the agricultural sector, their level of initial school training and the management techniques used. The "management techniques" variable was a measure of whether four techniques were used on the farm or not (herd performance tests, use of artificial insemination, feed trials and formulation tests and grouping of production).

and farm size growth may seem ambiguous. An increase in human capital implies an increase in farmers' skills and therefore the greater ease of finding a job outside farming, which may not foster farm size growth (Glauben et al., 2006).

3.1.4 Other classical factors

Other factors could also be significantly correlated with farm size growth. These include farm legal status, type of farming or the existence of a non-farming activity conducted by the farmer. For example, a farmer with a main activity outside agriculture may not devote as much time to his on-farm activity as a farmer for whom it is the main source of income, and is therefore likely to have a smaller farm. On the other hand, non-farming income generated by the farmer's spouse could represent an additional source of income dedicated to investment and notably to investment in land.

The general economic context (demography, employment, interest rates) may also influence farm size growth. This context is likely to influence decision making by farmers and therefore affect farm size (Eastwood et al., 2010). It is possible to identify three categories of factors influencing farm size growth: market factors affecting prices of inputs and outputs, technological factors affecting the ability of farmers to make economies of scale and scope and institutional factors affecting the range of choices available to farmers (laws, farming policies, vertical relations within the sector) (Boehlje, 1992).

3.1.5 Territorial factors

Paradoxically, despite the increasing pressure on farming generated by the demand for land – particularly in France and Europe – few studies have looked into the links that might exist between local area and farm size. Cavailhes and Wavresky (2003) show that farm size is strongly influenced by the size of neighbouring towns and the distance separating them: French farms located near towns are smaller in size. This difference in farm size is thought to be caused by the change in land rents near cities (Capozza & Helsley, 1989; Plantiga et al., 2002). Urban sprawl is also thought to be reorienting agricultural activity in periurban zones (Sinclair, 1967; Larson et al., 2001; Inwood & Sharp, 2012).

This chapter proposes to analyse the relation that is likely to exist between some of these factors and the farm size growth phenomenon in the Midi-Pyrénées region of France. The following section presents the data and methodology used.

3.2 Materials and econometric method

The database used is the result of a merger of the two surveys conducted in 2000 and 2007 by the French Statistical and Prospective Studies Department (SSP) of the Ministry for Agriculture. The first survey is the farm general census (FGC), carried out every ten years to collect information on all farms. The most recent available data are still that of the census conducted in 2000⁴⁸. This survey provides information about farm structure, farmers (age, experience) and farm location. The second survey is the farm structure survey (FSS), covering the same information as the FGC but only for a representative sample of farms⁴⁹. This survey provides more recent data (even if less detailed) in order to study trends occurring between 2000 and 2007. The last census was carried out in 2010 and the results will only be available at the end of 2012. Therefore, this survey sample allows us to take account of changes on farms, notably the changes in UAA between 2000 and 2007. We selected the data for the Midi-Pyrénées region in south-western France (figure 7). This dataset is composed of a little more than 5 000 professional farms, which are representative of the 30 000 professional farms in the region in terms of size and activity. Midi-Pyrénées is the largest farming region in France by UAA and is divided into eight “departments”, the equivalent of counties in the United States. This region also offers highly diverse geographical areas and a wide variety of farming systems.

⁴⁸ We used data from the 2000 FGC. Data from the 2010 FGC will only be available at the end of 2012.

⁴⁹ Sampling takes into account farm economic sizes (in European Size Units - ESU) and farm types. This survey is presented on the official website of the statistics of the French Agriculture Ministry: <http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/enquetes/structure-des-exploitations/>

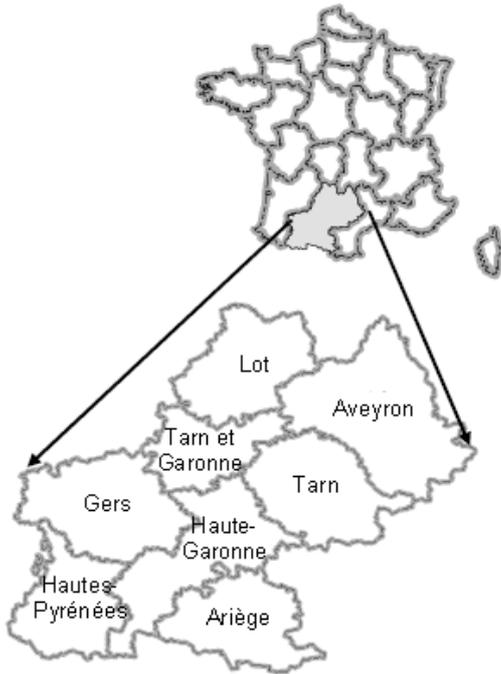


Figure 7: Localisation of the Midi-Pyrénées region and its eight departments (1/1600000)

3.2.1 Regional trends in professional farms

The evolution of professional farms in Midi-Pyrénées follows the same trend as at a national level. In the Midi-Pyrénées region, the number of farms decreased by 18%, from 36,399 farms in 2000 to 29 941 farms in 2007. Over the same period, the regional UAA remained approximately constant (-0.8%). However, the average UAA of professional farms in the Midi-Pyrénées region increased from 75 ha to 83 ha between 2000 and 2007 (+11%). More than 60% of professional farms increased their UAA, while less than one-third reduced it. However, for 20% of professional farms, this variation did not exceed 2% of their initial size (table 5)⁵⁰. Considering only farms whose size varied by more than 2%, a little over half of the farms grew while less than one fourth reduced their area. As regards farms that grew in size by more than 2% compared to their area in 2000 (table 6), most of them grew by less than half and one third increased by at most 10% of their original size. Very few farms experienced very large expansion (greater than 100% or more than twice the initial area); these are mainly corporate farms. Thus, for the purposes of this study, the size of the farm is considered to remain constant if the variation in farm size is not greater than plus or minus 2%.

⁵⁰ This precaution is taken to avoid any bias created by: i) changes to the area declaration system, formerly based on declarations but currently based on aerial photographs; and ii) the change in the projection standard for CAP references between 2000 and 2007. Furthermore, the exclusion of variations in farm size of less than 2% improves the normality of the distribution of these data when specified in the econometric models.

Table 5: Estimation of the variations in farm size between 2000 and 2007 in the sample of farms

Number of farms observed	5 637
Share of farms that have reduced in size	32%
Average farm size decline (ha)	9.5
Share of farms that have expanded	63%
Average farm size growth (ha)	16.7
Proportion of variations in size \leq 2%	20%

Data source: FGC 2000 and FSS 2007

Table 6: Size growths exceeding 2% between 2000 and 2007 in the sample of farms

Number of farms that grew by more than 2%	3 006
Growth rate]2% , 10%]	34%
Growth rate]10% , 25%]	28%
Growth rate]25% , 50%]	10%
Growth rate]50% , 100%]	11%
Growth rate > 100%	7%

Data source: FGC 2000 and FSS 2007

This change in farm size resulted in the concentration of the farming sector in Midi-Pyrénées, with a small number of production units producing the majority of the regional output. A Gini indicator can be used to assess the inequality of land distribution between farms. It takes a value between 0 (no inequality, low concentration) and 1 (maximum inequality, high concentration). For our sample, this indicator was 0.387 in 2000 and 0.392 in 2007, indicating a trend towards farm concentration in the region.

The Midi-Pyrénées region is also characterized by a high level of urban sprawl (mostly around the regional capital of Toulouse), resulting in the irreversible urbanization of farmland (EEA, 2006; Bergez et al., 2011). Between 1999 and 2007, the population of Toulouse and its peripheral municipalities⁵¹ increased annually by an average of over 19 000 inhabitants. This demographic growth created a strong pressure on the land market: the area of urbanized land in the periphery of Toulouse increased by more than 27% between 1990 and 2003⁵². This represents almost 7 000 ha of agricultural land that turned artificial in the region between 2000 and 2006⁵³.

⁵¹ In France, a town and its peripheral area form what is known as an “urban area”, the definition of which is based on demographic size and number of jobs.

⁵² AUAT, 2010, Evolution démographique 1999-2007 L’aire urbaine de Toulouse un territoire attractif, Perspectives Villes Toulouse aire urbaine from http://www.auat-toulouse.org/IMG/pdf/Perspectives_Villes_pop_2010.pdf

⁵³ CGDD, 2011, L’artificialisation des sols s’opère aux dépens des terres agricoles”, Observation et Statistiques 75

3.2.2 Econometric models

We tested three econometric models aiming to explain, respectively, the following dependent variables presented in table 7:

- (1) The logarithm of farm size observed in 2000, expressed in terms of UAA⁵⁴: noted $\ln(UAA_{2000})$;
- (2) The change in farm size (extension or reduction beyond the threshold of |2%|) between 2000 and 2007: noted $\Delta UAA_{2007-2000}$ with $\Delta UAA_{2007-2000} = UAA_{2007} - UAA_{2000}$;
- (3) The logarithm of the intensity of growth between 2000 and 2007, when growth occurred: noted $Inc_{UAA_{2007-2000}}$.

The use of logarithms improves the normality of the distribution of the variables in models (1) and (3) and leads to a better fit with the explanatory variables used.

Table 7: Descriptive analysis of the dependant variables of the three econometric models

	Dependant variable	Type of variable	Mean	Standard deviation	Min	Max	Regression Model
1	$\ln(UAA_{2000})$	Numeric	83	68	0	952	Ordinary Least Square
2	$\Delta UAA_{2007-2000}$	Polytonic 1 decrease 2 constant 3 increase	Distribution 1: 21.9% 2: 24.8% 3: 53.3%	-	-	-	Multinomial Logistic Model
3	$Inc_{UAA_{2007-2000}}$	Truncated	1.5	1.6	0	8.1	Tobit

Source: FGC 2000 and FSS 2007

The purpose of these three models is to compare the effect of the explanatory variables on three concepts of size and its evolution. The first regression allows the effect of various factors that may explain the size of a farm to be assessed, while the second regression attempts to capture different effects on the dynamics of enlargement or reduction in size, in terms of the characteristics of the farms in 2000. The third regression identifies the effects of these factors on the intensity of the expansions.

In the light of the literature and the sample at our disposal, we selected three sets of factors to explain the size of farms and the change in farm size:

⁵⁴ As explained in section 1, in a context of high demand for land and in order to avoid bias created by changes in crop rotation made between 2000 and 2007, UAA seemed to us to be a more appropriate variable than an indicator of economic size, such as that used by Butault and Delame (2005), for instance.

-
- (1) *farm structural characteristics*: initial size categories, legal status and type of farming;
 - (2) *farmer characteristics*: age of the farmer, existence of a known successor for farmers aged 50 or over, farmer gender, conduct of a non-farming activity by the farmer or their spouse and initial training level of the farmer, distinguishing between agricultural training and general education;
 - (3) *territorial characteristics* linked to the different departments in the region and the degree of demographic density of the areas where the farms are located. This last category is based on the distinction between urban, periurban and rural spaces⁵⁵.

The typology used to create the explanatory variables is presented in table 8.

⁵⁵ See Torre and Traversac (2011) for a detailed explanation of these spaces and their application in farming questions.

Table 8: Typology of the independent variables used in the econometric models

Variable Name	Class	Rules
Farm size (ha)	<i>UAA<10</i>	Value of the UAA (FGC 2000). The variable takes the value 1 for the corresponding farm size class, 0 otherwise.
	<i>UAA[10-50]</i>	
	<i>UAA[50-100]</i>	
	<i>UAA[100-200]</i>	
	<i>UAA>200</i>	
Legal status	<i>Individual</i>	Farm legal status (FGC 2000). The variable takes the value 1 for the corresponding legal status class, 0 otherwise.
	<i>Collective</i>	
Farm type	<i>Cash-crop</i>	Farm types (FGC 2000). The variable takes the value 1 for the corresponding farm type class, 0 otherwise. 13 and 14: Cash-crop 28 to 38: Market garden cropping, horticulture and wine 39: Fruit and other permanent crop 41 to 43: Dairy and cattle 44: Other grazing livestock 50 and 72: Poultry 60: Mixed crops 71: Mixed livestock 81: Cash-crop and grazing livestock 82: Other association
	<i>Market garden cropping</i>	
	<i>Fruit and other permanent crop</i>	
	<i>Dairy and cattle</i>	
	<i>Other grazing livestock</i>	
	<i>Poultry</i>	
	<i>Mixed crop</i>	
	<i>Mixed livestock</i>	
	<i>Cash-crop and grazing livestock</i>	
	<i>Other association</i>	
Sex of the farmer	<i>Woman</i>	The variable takes the value 1 if the farmer is a man (FGC 2000), 0 otherwise.
	<i>Man</i>	
Age of the farmer (year)	<i>Age<30</i>	Age of the farmer (FGC 2000). For farmers older than 50 years old, the age class is subdivided in two classes: farmers with a successor (ks) and farmers without a successor (us). The variable takes the value 1 for the corresponding age class, 0 otherwise.
	<i>Age[30-40]</i>	
	<i>Age[40-50]</i>	
	<i>Age[50-60]ks</i>	
	<i>Age[50-60]us</i>	
	<i>Age>60ks</i>	
	<i>Age>60us</i>	
Off-farm job of the farmer	<i>Yes</i>	The variable takes the value 1 if the farmer has an off-farm activity (FGC 2000), 0 otherwise.
	<i>No</i>	
Off-farm job of the farmer's spouse	<i>Yes</i>	The variable takes the value 1 if the farmer's has an off-farm activity (FGC 2000), 0 otherwise.
	<i>No</i>	
Level of agricultural education of the farmer	<i>Primary</i>	Level of the highest diploma in agricultural education passed by the farmer (FGC 2000). The variable takes the value 1 for the corresponding education level class, 0 otherwise.
	<i>High-school</i>	
	<i>University</i>	
Level of general education of the farmer	<i>Primary</i>	Level of the highest diploma in agricultural education passed by the farmer (FGC 2000). The variable takes the value 1 for the corresponding education level class, 0 otherwise.
	<i>High-school</i>	
	<i>University</i>	
Department	<i>Ariège</i>	Department where the farm head office is located (RGA2000). The variable takes the value 1 for the corresponding department class, 0 otherwise.
	<i>Aveyron</i>	
	<i>Haute-Garonne</i>	
	<i>Gers</i>	
	<i>Lot</i>	
	<i>Hautes-Pyrénées</i>	
	<i>Tarn</i>	
<i>Tarn et Garonne</i>		
Type of area	<i>Urban</i>	Location of the farm head office in different types of area (INSEE classification of urban and space areas 1999) (RGA 2000). The variable takes the value 1 for the corresponding type of area class, 0 otherwise.
	<i>Périurban</i>	
	<i>Rural</i>	
	<i>Deep rural</i>	

The statistics describing the variables are presented in table 9.

Table 9: Descriptive analysis of the variables used in the econometric variables (reference year 2000)

Variable	Class	Number of farms	% of farms	Mean UAA (ha)
Farm size	<i>UAA<10</i>	190	3.4	4
	<i>UAA[10-50]</i>	1 992	35.3	32
	<i>UAA[50-100]</i>	2 173	39.6	72
	<i>UAA[100-200]</i>	1 067	18.9	137
	<i>UAA>200</i>	215	3.8	289
Legal status	<i>Individual</i>	3 460	61.4	59
	<i>Collective</i>	2 177	38.6	100
Farm type	<i>Cash-crop</i>	1 452	25.8	101
	<i>Market garden cropping</i>	315	5.6	36
	<i>Fruit and other permanent crop</i>	298	5.3	36
	<i>Dairy and cattle</i>	1 226	21.8	70
	<i>Other grazing livestock</i>	834	14.8	81
	<i>Poultry</i>	264	4.7	44
	<i>Mixed crop</i>	397	7.0	64
	<i>Mixed livestock</i>	151	2.7	65
	<i>Cash-crop and grazing livestock</i>	560	9.9	82
	<i>Other association</i>	140	2.5	54
Gender of the farmer	<i>Man</i>	4 805	85.2	77
	<i>Woman</i>	832	14.8	62
Age of the farmer	<i>Age<30</i>	493	8.8	77
	<i>Age[30-40]</i>	1 742	30.9	79
	<i>Age[40-50]</i>	1 972	35.0	75
	<i>Age[50-60]ks</i>	493	8.8	81
	<i>Age[50-60]us</i>	714	12.7	61
	<i>Age>60ks</i>	126	2.2	79
	<i>Age>60us</i>	97	1.7	70
Off-farm job:				
- farmer	<i>Yes</i>	791	14.0	80
	<i>No</i>	4,846	86.0	74
- spouse	<i>Yes</i>	2,031	36.0	79
	<i>No</i>	3,606	64.0	73
Agricultural schooling of the farmer	<i>Primary</i>	2,301	40.8	67
	<i>High-school</i>	2,813	49.9	80
	<i>University</i>	523	9.3	85
General schooling of the farmer	<i>Primary</i>	1,968	34.9	71
	<i>High-school</i>	3,342	59.3	77
	<i>University</i>	327	5.8	76
Department	<i>Ariège</i>	498	8.8	85
	<i>Aveyron</i>	896	15.9	77
	<i>Haute-Gar.</i>	665	11.8	108
	<i>Gers</i>	778	13.8	88
	<i>Lot</i>	774	13.7	65
	<i>Hautes-Pyr.</i>	594	10.5	47
	<i>Tarn</i>	666	11.8	74
	<i>Tarn et Gar.</i>	766	13.6	57
	<i>Urban</i>	215	3.8	73
Type of area	<i>Periurban</i>	1,271	22.6	84
	<i>Rural</i>	382	6.8	60
	<i>Deep rural</i>	3,769	66.9	74

Source: FGC 2000

It should be noted here that the explanatory variables used concerned the year 2000. They are the initial characteristics likely to explain the variation in size and most particularly its growth, these two variables being observed in 2007. The estimation methodologies of these three models are explained below.

3.2.2.1 Regression on farm size: model 1

The first model used to test a set of factors explaining farm size (UAA) in 2000 is an ordinary least square regression: the explanatory variables used are very close to the specification used by Butault and Delame (2005). The logarithmic form improves the normality of the distribution and it is also the most appropriate form, as size differences between very large farms are likely to be less significant than differences between small farms. Our estimation model is therefore the following (equation 1):

$$\ln(UAA_{2000}) = X\alpha + \gamma \quad (1)$$

where X represents the matrix of the explanatory factors used in our study, α the matrix of the coefficients of the explanatory variables and γ the term of error under normal law.

3.2.2.2 Regressions on the variation in farm size: models 2 and 3

Next, we set about determining the factors that explain the change in farm size (expansion or reduction in size), followed by the intensity of any such growth. First, in order to study the three types of change in farm size (reduction, stability or growth), we used a multinomial logistic model. This model tests whether explanatory factors differently influence growth, on the one hand, and the reduction in farm size, on the other hand, these two alternatives being compared to the alternative “farm size remains constant”. In other words, this model allows us to identify the different effects of the explanatory variables, depending on whether the farm has increased or reduced in size.

Second, we attempt to define the effects of the explanatory variables, specifically for the farms that have increased in size. However, to estimate this intensity of growth, we need to use a tobit model that controls the selection effect induced, as the sample is no longer randomly selected (since the intensity of growth is estimated only for farms that have grown). Furthermore, the intensity of growth is expressed as the logarithm of the percentage of farm

growth. The advantage of the logarithmic form has been explained above. In this case, it also allows a better representation of data, assuming that the intensity of growth is related to the cost of expansion that can be assumed to be increasing and decreasing marginally with the extent of growth⁵⁶. The detailed estimation methodology for both models is presented below.

Estimation using a multinomial logistic model (model 2)

The occurrence of one of the three following alternatives – growth, remaining at constant size, or reduction in size – can be considered to be the realisation of a latent (non-observable) variable u_m^* indicating a certain level of utility derived from this choice and linearly depending on a set of observable determinants X . As the relation is not purely deterministic, an error term (ε) is introduced into the relation. The distribution law of the error term defines the model used to estimate the probability of occurrence of the alternative in question. The probability of choosing modality m over j is (equation 2):

$$pr(\Delta UAA_{2007-2000} = m) = pr(u_m^* > u_j^* \quad \forall j \neq m) \quad \text{with} \quad u_m^* = X\beta + \varepsilon \quad (2)$$

In the classical case of a choice model with two modalities, the estimation of the probability of occurrence of the alternative at stake is performed using a *probit* or *logit* model. Where several alternatives are possible, without a predefined order, the probability of each alternative should be estimated jointly in relation to one alternative, taken as reference. The economic model required for this is a *multinomial* of the *logit* or *probit* type according to the law of distribution chosen for the terms of error (Long, 1997).

We consider the following three modalities that characterise a variation or no change in farm size between 2000 and 2007:

- $m=1$ if the size of the farm has decreased;
- $m=2$ if the size of the farm has remained constant;
- $m=3$ if the size of the farm has increased.

⁵⁶ In addition, we also note that the tobit model assumes a simultaneous choice for the farmer between growth and the intensity such growth. Where an assumption is made regarding the timing of that decision, a Heckman-style two-stage model could be used.

The multinomial logistic model is used to estimate the probabilities of the three modalities in relation to the modality taken as a reference. We estimated the probabilities of modalities 1 and 3 with reference to modality 2. See appendix A3 for a further explanation of the method used to interpret the coefficients estimated by the multinomial logistic model.

Estimation using a Tobit model (model 3)

To study the intensity of growth of the farm, we use a censored simple tobit model that controls the non-random selection of the sample. The censor point corresponds to farms that have not grown, i.e. that have remained the same size or have decreased in size. As in the previous model, this growth is linked to a (non-observable) latent variable v_m^* representing the utility associated with the choice made by the farm to grow and increase its area by a certain percentage $Inc_{UAA2007-2000}$ which is the observable variable. Under the condition of maximisation of utility, the farm grows by $Inc_{UAA2007-2000}$ if the utility attached to this choice is strictly positive. This utility is explained by a set of variables X (equation 3):

$$Inc_{UAA2007-2000i}^* = X\chi + \theta, \text{ with}$$

$$\begin{cases} Inc_{UAA2007-2000i}^* = Inc_{UAA2007-2000i} & \text{if } Inc_{UAA2007-2000i} > 0 \\ Inc_{UAA2007-2000i}^* = 0 & \end{cases} \quad (3)$$

and θ is the term of error following normal law with zero expectation and variance σ_{θ}^2 .

We assimilated parameter vector χ as that of the explanatory variables of $Inc_{UAA2007-2000}$ (latent regression).

The logarithm of the variable of interest helps to improve the normality of the distribution and also corresponds to the hypothesis that the percentage of growth in the farm area is a *proxy* of the cost of that growth and that this cost is marginally increasing and decreasing with the

extent of growth, which is to say: $\frac{\partial c(Inc_{UAA2007-2000})}{\partial Inc_{UAA2007-2000}} > 0$ and $\frac{\partial^2 c(Inc_{UAA2007-2000})}{\partial (Inc_{UAA2007-2000})^2} < 0$. This

could justify the use of the logarithm of growth variation.

The estimation procedure we used is more robust than that of maximum likelihood. We wrote the log-likelihood function of the tobit model directly from the combination of the

probabilities of events $Inc_{UAA2007-2000i} = 0$ and $Inc_{UAA2007-2000i} > 0$ (Long, 1997), in other words (equation 4):

$$\begin{aligned} & \ln L(X, \gamma, \sigma_\theta) \\ = & \sum_{i: Inc_{UAA2007-2000i}=0} \ln \left[1 - \Phi \left(\frac{X_i \gamma}{\sigma_\theta} \right) \right] - \frac{N_1}{2} \ln(2\pi\sigma_\theta^2) - \frac{1}{2\sigma_\theta^2} \sum_{i: Inc_{UAA2007-2000i} > 0} (Inc_{UAA2007-2000i} - X_i \gamma)^2 \end{aligned} \quad (4)$$

with N_1 designating the number of observations for which $Inc_{UAA2007-2000i} > 0$.

It should be pointed out that the estimated coefficients correspond to the sensitivity of the latent variable to the corresponding explanatory variable: $\frac{\partial E(Inc_{UAA2007-2000i}^* | X_i)}{\partial x_{ik}} = \hat{\gamma}_k$.

3.3 Results of the econometric models

Results of the three estimated models are presented in table 10. We chose to interpret the three estimation models simultaneously, before focusing on the complementary analysis suggested by the results as a whole.

Table 10: Results of the estimations of the econometric models in Midi-Pyrénées between 2000 and 2007

		Model 1: OLS		Model 2: Multinomial Logit			Model 3: Tobit				
		ln(UAA ₂₀₀₀)		$\Delta UAA_{2007-2000}$			Inc _{UAA 2007-2000}				
		beta	t	beta	t	UAA stable	beta	t			
				UAA decreases		UAA increases					
STRUCTURAL VARIABLES	Farm size	UAA[10-50]		ref.			ref.				
		UAA<10		-0.860***	-3.80		-0.734***	-3.84	0.053	0.22	
		UAA[50-100]		0.088	0.85		-0.106	-1.24	-0.331***	-3.33	
		UAA[100-200]		0.170	1.29		-0.217**	-1.97	-0.595***	-4.58	
		UAA>200		0.769***	3.61		-0.292	-1.47	-1.286***	-5.46	
	Legal status	Individual		ref.				ref.			
		Collective	0.535***	26.16	-0.201**	-2.18		0.063	0.82	0.114	1.27
	Farm type	Cash-crop		ref.				ref.			
		Market garden cropping	-1.450***	-31.65	0.690***	3.46		0.163	0.92	-0.336	-1.63
		Fruit and other permanent crop	-1.070***	-21.30	0.314	1.54		-0.348*	-1.89	-0.877***	-3.97
		Dairy and cattle	-0.206***	-6.35	0.203	1.45		0.479***	4.12	0.524***	3.90
		Other grazing livestock	-0.139***	-3.82	-0.016	-0.10		0.200	1.60	0.362**	2.42
		Poultry	-1.163***	-23.65	0.321	1.50		0.140	0.79	0.201	0.95
		Mixed crop	-0.454***	-10.99	0.685***	3.84		0.456***	2.90	0.120	0.70
		Mixed livestock	-0.308***	-4.93	0.328	1.16		0.499**	2.15	0.507**	2.01
Cash-crop and grazing livestock		-0.102***	-2.82	-0.033	-0.21		0.226*	1.80	0.274*	1.84	
Other		-1.037***	-16.35	0.417	1.62		-0.007	-0.03	-0.294	-1.09	
FARMERS' CHARACTERISTICS	Sex	Woman		ref.			ref.				
		Man	0.208***	7.48	-0.227**	-2.00		-0.001	-0.01	0.156	1.36
	Age	Age<30		ref.				ref.			
		Age[30-40]	0.074**	1.99	-0.320*	-1.71		-0.703***	-4.84	-0.784***	-5.33
		Age[40-50]	0.069*	1.84	-0.189	-1.01		-0.854***	-5.82	-1.140***	-7.63
		Age[50-60]ks	0.237***	4.87	-0.115	-0.51		-0.718***	-3.90	-0.904***	-4.61
		Age[50-60]us	0.046	1.01	-0.152	-0.74		-1.456***	-8.56	-2.178***	-11.71
		Age>60ks	0.324***	4.32	-0.279	-0.86		-0.834***	-3.06	-0.836***	-2.73
	Agr. Edu.	Primary		ref.				ref.			
		High-school	0.161***	7.14	-0.079	-0.84		0.072	0.91	0.106	1.13
		University	0.182***	4.85	0.012	0.08		-0.043	-0.32	-0.051	-0.33
	Gen. Edu.	Primary		ref.				ref.			
		High-school	0.018	0.80	-0.050	-0.52		-0.100	-1.25	-0.092	-0.98
		University	-0.038	-0.85	0.019	0.11		-0.071	-0.45	-0.101	-0.55
	Off-farm	Farmer	No	ref.	ref.			ref.	ref.		
Yes		-0.025	-0.90	0.003	0.03		0.012	0.13	0.146	1.27	
Spouse	No	ref.		Ref			ref.	ref.			
	Yesi	0.049**	2.43	-0.019	-0.22		0.028	0.39	0.130	1.57	
LOCATION VARIABLES	Department	Gers		ref.			ref.				
		Ariège	-0.127***	-2.83	0.445**	2.39		0.196	1.24	-0.034	-0.19
		Aveyron	-0.221***	-5.31	-0.240	-1.38		-0.423**	-2.98	-0.517***	-3.00
		Haute-Gar.	-0.045	-1.10	0.191	1.13		0.063	0.44	-0.003	0.01
		Lot	-0.195***	-5.04	0.257	1.52		0.515***	3.68	0.489***	3.09
		Hautes-Pyr.	-0.561***	-13.70	0.397**	2.24		0.364***	2.45	-0.011	-0.06
		Tarn	-0.119***	-3.03	-0.121	-0.76		-0.352***	-2.65	-0.457***	-2.79
		Tarn et Gar.	-0.247***	-6.28	0.359**	2.18		0.256*	1.83	0.070	0.43
Type of area	Deep rural		ref.				ref.				
	Urban	-0.246***	-4.79	0.575***	2.70		0.398**	2.03	0.220	1.03	
	Periurban	0.021	0.80	-0.033	-0.31		0.005	0.05	-0.013	-0.13	
	Rural	-0.110***	-2.82	0.267	1.57		0.422***	2.90	0.512***	3.23	
Constant		3.950***	67.70	0.012	0.04		1.417***	6.48	1.554***	6.33	
R2		37%									
Sigma								2.683***			
chi2				435.018***				367.299***			
aic		12183						18484.829			
N		5637		5637				5637			
N non censored								3006			

Legend: * p<0,10; ** p<0,05; *** p<0,01

Data source: FGC 2000 and FSS 2007

3.3.1 The influence of farm structure variables

First of all, the type of farming activity is a major determinant of farm size. Model 1 indicates that arable crop farms are the largest in size, *all other things being equal*, followed, in descending order, by crop/stock farming (cereals and herbivores), non-cattle herbivore stock farming, cattle farming, mixed stock farming and mixed farming. Since the added value per hectare of arable crops is lower than that of vegetable crops and taking into account the machinery available for arable crops, crop farms have larger areas due to scale economies. Arable crop farms have also benefited from structural assistance, which has accelerated their mechanisation and concentration. Concerning changes in size, the effects differ according to the level of specialization. In mixed farming, a significant number of farms reduced their UAA while a significant number of farms also increased their UAA, compared to farms whose size remained constant. In addition, significantly fewer farms specializing in permanent crops grew in size. It was shown that the farms of which the largest number showed growth (model 2) and those which grew the most (model 3) were, in order of size (of the estimated coefficients): mixed livestock farming, cattle farms and mixed farming, i.e. farms combining arable crops and herbivores. The greater growth in specialized cattle and mixed farms in the region can be explained by more intensive restructuring associated with a general unfavourable situation for livestock farming over the last ten years. This is especially in non-specialized regions like the Midi-Pyrénées⁵⁷ where more farms cease activity and their land is taken over by neighbouring farms, which therefore grow in size and/or diversify into arable crops⁵⁸.

Results of model 2 show that growth in size appears to be more frequent for farms of intermediate size, in other words between 10 ha and 50 ha (or even farms of between 50 ha and 100 ha, since the coefficient of this variable is not significantly different). Conversely, reductions in size mainly concern large farms. As in the study of all French farms carried out by Butault and Delame (2005), which shows the significant effect of initial farm size⁵⁹, we found a substantial effect, confirmed by model 3, showing that growth intensity is less strong

⁵⁷ Institut de l'élevage, 2011, La production de viande bovine en France, Qui produit quoi, comment et où ?, Dossier Economie de l'Élevage

⁵⁸ Unfortunately, political or economical variables impacting specifically on the livestock sector have not been computed in our data basis, with the result that we were unable to econometrically test the impact of these variables on farm restructuring. Our interpretation relies more on a general context for the region, which has been rather unfavorable to livestock in recent years.

⁵⁹ Their study assumed a continuous relation, whereas we are considering size categories for the purposes of this study.

for large farms. This result could signify that, in the general farm growth trend, it is the smallest farms that are growing most (catch-up effect). This phenomenon could be explained by the need for farmers to work on a farm where they can generate a minimum level of income, the size of which therefore exceeds a viability threshold. In this respect, our results tend to converge with those in the international literature reviewed in section 1.2.

Finally, farm legal status also seems to be an important explanatory factor of farm size (model 1). Corporate farms (GAEC, EARL) are significantly larger than individually owned farms. However, the intensity of growth is not significantly greater than that of individually owned farms, which have also grown (model 3). A corporate status would therefore not appear to provide farmers with additional financial resources to allow the extension of the farm, as their growth would appear to be neither more frequent nor greater in its extent⁶⁰.

3.3.2 Empirical results concerning the influence of the characteristics of farmers

The data sample contained farms that had maintained their activity between 2000 and 2007, referred to as "permanent farms". However, these farms may have experienced changes in farmer and our data does not provide us with the date between 2000 and 2007 when this change may have occurred. In this analysis, we have therefore taken only the farmer human capital variables observed in 2000 which are likely to have favoured continuity on the farm, even if the farmer may have changed in the meantime. Likewise, as we stated previously, most of these changes of farmer are merely successions within the same family. First, we observe that men tend to run larger farms (model 1) and fewer men are running farms that have reduced in surface area (model 2). However, there would appear to be no significant difference in intensity of growth according to farmer gender.

The age of the farmer in 2000 appears very significant and the related results are particularly interesting. First, the oldest farmers possess larger farms (all other things being equal), all the more so when they declared that they had a known successor in 2000. However, their farms have shown the least growth (models 2 and 3) compared with farms owned by very young farmers (under 30). The search for a minimum farm size therefore seems to operate according to the age of the farmer. While there are perhaps more young people setting up on smaller farms, most of them then undertake extension operations, which are often supported by public

⁶⁰ SSP, 2006, L'agrandissement va de pair avec l'essor des formes sociétaires, Agreste Primeur 181

organisations (SAFER⁶¹ policy favouring young farmers in the allocation of land). However, we are unable to verify this result precisely because we do not have any data on the amount of subsidies that each farm may have received. Furthermore, it can be noted among farms run by farmers over the age of fifty year old, that those who declared that they had a known successor managed larger extension operations than those without a known successor. It therefore seems that, age aside, it is above all the possibility of a return on investment (either for the farmer himself or for a known person to whom the farm is being passed on) that comes into play. Non-farmers who, in addition to their new farming activity, do not leave their former employment are making more and more acquisitions. They acquire farms that tend to be smaller and then extend them, a trend confirmed by our results for the intermediate age categories⁶².

As we pointed out in section 2, the literature has often shown a large effect of farmer human capital in the development of the farm. In our study, we did not observe a major effect. We noted only that farms where the farmer has agricultural training tend to be larger (model 1). The results suggest that farmers with a higher level of agricultural training have the skills to manage larger farms. Furthermore, activities outside the farm did not play a large role in this instance. Only farms where the farmer's spouse has an outside activity seem to be larger (model 1), however it does not contribute to growth operations⁶³.

3.3.3 Empirical results concerning the influence of territorial variables

First of all, within the region, we observed significant differences between the counties (as mentioned in section 3.2, the region is divided into eight counties). Midi-Pyrénées is a region of contrasts in terms of relief, climate and access to water. Given their natural factors, the counties are more or less specialized in certain types of agriculture. However, once the specialization variable has been controlled (variable linked to the type of farm), the county effect remains (model 1). The local policies implemented by public authorities and the urbanization processes probably differ for all counties, leading to significantly different relative average sizes today.

⁶¹ A SAFER is a non-profit limited company under the supervision of the Ministries for Agriculture and for Finance, the main purpose of which is local development in rural areas.

⁶² SSP, 2005, Des emplois non-agricoles avant l'installation, Agreste Primeur 160

⁶³ It is reasonable to think that these two variables are not significant in the choice to expand farms, as we have no precise indications regarding changes of farmer coupled with a change in these two characteristics between 2000 and 2007.

For example, farms in Haute-Garonne and Gers (with Gers county taken as reference) – the two counties most specialized in arable crops – tend to have larger farms than the rest of the region, *all other things being equal*. Farms are smallest in the county of Hautes-Pyrénées, in comparison with other farms in the region (after control of the production system effect). However, although this might lead us to expect the results of models 2 and 3 to indicate a generalized catch-up effect, only the counties of Lot, Hautes-Pyrénées and Tarn et Garonne showed a more frequent tendency towards growth than in Gers. Furthermore, the scale of this growth only appeared significantly different for Haute-Garonne and Lot, the latter also being the county that experienced the strongest concentration trend (model 3). In contrast, significantly fewer farms have grown in Aveyron and Tarn, especially in Aveyron. This latter result may be a sign of a lower rate of farming restructuring.

Concerning the variables characterizing both the level of urbanization and density of territorial activity (from most to least dense: urban, periurban, rural, deep rural), results ultimately tend to reflect the effects of public policies. First, concerning urban areas, while farm size in these areas obviously tends to be smallest on average, we also observe that it is here that size growth or reduction changes tend to be the most frequent. This can be perceived as the will of urban communities to maintain the presence of agricultural activity within their territory, however in very clearly defined zones. It is the case, therefore, that some farms are growing to the detriment of other agricultural land, which is being reduced. Farms located in periurban areas (intermediate areas between urban and rural areas) did not have a significantly different effect for our sample compared with the effect caused by those located in rural areas⁶⁴. However, within rural areas, very different trends were observed between farms located in “simple rural” zones and those in “deep rural” zones. While farms in rural zones tended to be smaller in size compared to those in deep rural zones (although larger than those in urban areas, model 1), more of them had undergone growth (model 2) to a much greater extent (model 3). Rural areas therefore appear to be particularly affected by a concentration trend that can also be explained by the new dynamics of these areas where more and more small centres of housing and infrastructures are emerging to the detriment of farming land. In many cases of expropriation, not all of the plots are turned artificial and the remainder is then purchased by another farmer.

⁶⁴ When we took as our reference variable all rural territories and not just “deep rural” areas, we did not observe a significant effect of the “periurban” variable in any of the estimated models.

Conclusion

The purpose of this chapter is to test a set of factors likely to explain farm size and growth in farm size between 2000 and 2007 in the south-western region of France. Three categories of factors have been distinguished: factors relating to farm structure, factors characterizing the farmer and spatial factors linked to the territories where farms are located. The results of the three estimated econometric models highlight the significant influence of farm structure variables (mainly initial size and type of farming) and territorial variables (location in a department and location in an urban or non-urban area). However, contrary to that suggested by the literature, the human capital characteristics of the farmer do not play a significant role in our sample. Age and the existence or not of a successor does, however, seem to play a highly significant role in farm size growth. Furthermore, while some variables have a significant impact on the initial stage of farm size, they do not influence, or they have a different influence on the increase in farm size, and vice versa: this is particularly the case for the structural characteristics of farms – such as legal status – and the spatial variables showing different geographical dynamics in the growth path of farm size.

It is interesting to note the significant influence of urban areas on changes in farm size in our sample. We observed that farms located near urban areas were those for which both the probability of growth and the probability of a reduction in size were the most pronounced. This result may be due to a context of strong urban sprawl, with the result that farms located in urban areas experience a more pronounced concentration phenomenon, even if these farms ultimately remain significantly smaller (compared to those located far away from urban areas). With urban sprawl, farming land located near towns has become a key focus for the development of housing and shopping facilities, resulting in a sharp increase in the value of land rents in recent years. These results also highlight that the value of land rents does not solely depend on the agricultural quality of land. The rise in the price of farmland and its low mobility as a production factor could then influence the farm growth process, more specifically in urban areas.

Conclusion de la première partie

Dans cette partie, une première revue des littératures économique et géographique a permis de définir l'acception de la périurbanisation retenue dans le cadre de cette thèse. Celle-ci a été définie comme un phénomène d'expansion spatiale rapide et peu dense des métropoles provoqué par une hausse démographique, conjointement à une consommation accrue de foncier avec la généralisation de l'habitat individuel de type villa. Provoquant une artificialisation des terres aux dépens des espaces agricoles, la périurbanisation est à la fois source de contraintes pour les agriculteurs (hausse du prix du foncier, rétention des terres) et source d'opportunités (diversification des sources de revenu) induisant des dynamiques structurelles spécifiques aux exploitations périurbaines.

Toujours grâce à une revue de la littérature économique, nous nous sommes ensuite attachés à définir, dans le cadre d'une analyse sur le long terme, la structure des exploitations comme leur dotation en facteurs de production (foncier, capital, travail). Le changement structurel, alors défini comme l'évolution des dotations en facteurs de production, se caractérise par un phénomène de dépendance au chemin provoqué par des coûts irrécouvrables et des phénomènes d'apprentissage. La hausse du prix du foncier pourrait alors renforcer le phénomène de dépendance au chemin en réduisant les capacités d'investissement des agriculteurs, limitant de fait leurs capacités d'adaptation. Pour analyser ces phénomènes, nous avons ensuite choisi une approche méthodologique, reposant sur le couplage d'une approche microéconomique à une approche multi-agents, qui permet de s'intéresser au changement structurel des exploitations agricoles tout en tenant compte les spécificités des espaces périurbains.

Une première analyse empirique a ensuite révélé des facteurs influençant la taille et le changement en taille des exploitations agricoles dans la région Midi-Pyrénées entre 2000 et 2007. Nos résultats montrent que différents déterminants classiques de la taille des

exploitations ont un impact sur la taille et la croissance en taille des exploitations (statut juridique de l'exploitation, taille initiale, OTEX, âge de l'agriculteur) et que d'autres, au contraire, n'en ont pas ou peu (capital humain). Résultat primordial, la localisation d'une exploitation dans une zone urbaine ou non influencerait sa dynamique structurelle, ici approximée par la taille et le changement en taille, conformément à la définition de la structure identifiée préalablement.

Afin de mettre en évidence les mécanismes de l'évolution structurelle des exploitations agricoles périurbaines, nous proposons maintenant i) de sélectionner un outil de simulation du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines et ii) de l'adapter à notre zone de recherche.

PARTIE 2

SIMULER LE CHANGEMENT STRUCTUREL DES EXPLOITATIONS AGRICOLES PERIURBAINES AVEC LE SYSTEME MULTI-AGENTS AGRIPOLIS

Introduction de la deuxième partie

Dans une analyse prospective, des scénarios sont élaborés avec l'objectif d'envisager des futurs possibles et, en fin de compte, de permettre aux acteurs d'anticiper l'émergence d'opportunités et de contraintes (Lacombe, 2002; Chaumet et al., 2009; Bergez et al., 2011). Pour autant, la scénarisation se limite souvent à une analyse qualitative. L'absence d'indicateurs quantitatifs limite dès lors l'utilisation de ces travaux en tant qu'outils d'aide à la décision (Bergez et al., 2011). La quantification d'indicateurs identifiés lors de la construction des scénarios, apporte alors un complément à l'analyse prospective scénarisée.

Dans cette perspective, nous souhaitons maintenant simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines de grande culture de la région Midi-Pyrénées. La littérature recense de nombreux outils de simulation du changement structurel des exploitations agricoles (Zimmermann et al., 2009). Dans le cadre d'une analyse spécifique aux espaces périurbains, deux éléments orientent notre choix. D'une part, la concurrence entre agriculteurs et agents non-agricoles pour l'accès au foncier se traduit par des interactions sur le marché du foncier entre des agriculteurs, producteurs de biens agricoles, et des non-agriculteurs, consommateurs de foncier. Pour cette raison, l'outil sélectionné devra permettre de simuler des interactions entre ces agents mûs par des systèmes de décision différents. D'autre part, l'accès au foncier est déterminé par des facteurs différents chez les agriculteurs (proximité du siège d'exploitation) et les agents non-agriculteurs (proximité des sources d'aménités). Leur prise en compte nécessitera une représentation spatiale virtuelle de la zone simulée.

Le premier objectif de cette partie sera de sélectionner un outil adapté à l'analyse du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. Notre attention se portant sur le modèle multi-agents AgriPoliS, le second objectif de cette partie sera d'adapter ce modèle à notre zone de recherche.

Cette partie sera composée de deux chapitres. Le quatrième chapitre de cette thèse proposera une revue de la littérature destinée à identifier un outil de simulation. Suite à cette analyse comparative des hypothèses sous-jacentes à leur utilisation, notre attention se portera sur le modèle multi-agents AgriPoliS, initialement développé pour simuler le changement structurel des exploitations agricoles. Les modèles multi-agents étant généralement relativement complexes, ce chapitre se terminera par une analyse détaillée du fonctionnement d'AgriPoliS et des hypothèses sous-jacentes. Dans le cinquième chapitre, nous exposerons les résultats des quatre étapes préliminaires à l'utilisation du modèle AgriPoliS : l'upscaling, la classification des agents virtuels en trois classes structurelles, le calibrage du modèle et sa validation.

Chapitre 4

Un système multi-agents pour simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines

Introduction

Sur le long terme, l'adaptation des exploitations agricoles à leur environnement se traduit par des changements structurels modifiant leur dotation en facteurs de production (foncier, capital, travail). L'analyse économétrique conduite au chapitre 3 confirme, qu'entre 2000 et 2007, l'intensité de la périurbanisation pourrait être un facteur significatif du changement de taille, et donc du changement structurel, des exploitations agricoles de la région Midi-Pyrénées. Cette restructuration foncière serait simultanément déterminée par des comportements spéculatifs sur le prix du foncier et de sécurisation de l'accès au foncier. L'impact de la périurbanisation sur la structure des exploitations agricoles confirmé, l'objectif de ce chapitre est maintenant de sélectionner une méthode appropriée pour simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines de grandes cultures dans la région Midi-Pyrénées en adoptant une démarche prospective.

Dans la littérature, cinq principales méthodes d'analyse du changement structurel des exploitations agricoles coexistent : l'analyse de cohortes, les régressions économétriques, les chaînes de Markov, la programmation mathématique et les Systèmes Multi-Agents (SMA). L'analyse comparative des hypothèses sous-jacentes à leur utilisation montrerait que l'emploi d'un SMA en complément de la programmation mathématique pourrait présenter de

nombreux avantages pour simuler l'évolution du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. L'utilisation conjointe de ces outils permettrait en effet de modéliser les interactions des agriculteurs et des non-agriculteurs sur le marché du foncier et de distribuer spatialement terres agricoles et terres artificialisées. Le SMA AgriPoliS conçu par l'équipe de l'IAMO⁶⁵ de Halle pour simuler l'impact de scénarios de politique agricole sur le changement structurel des exploitations agricoles pourrait ainsi être utilisé.

L'objectif de ce chapitre sera de statuer sur le choix d'un outil de simulation du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. Ce quatrième chapitre est organisé en trois sections. La première section proposera une analyse comparative des méthodes utilisées dans la littérature pour simuler le changement structurel des exploitations agricoles. La deuxième section exposera plus particulièrement les caractéristiques des SMA utilisées pour répondre à notre question de recherche. Finalement, la troisième section détaillera le fonctionnement du SMA AgriPoliS.

4.1 Analyse comparative des méthodes utilisées pour modéliser le changement structurel des exploitations agricoles

Cinq méthodes sont couramment utilisées pour modéliser le changement structurel des exploitations (Zimmermann et al., 2009). L'examen des hypothèses sous-jacentes à leur utilisation montre qu'un SMA utilisé en complément de la programmation mathématique pourrait être la méthode la plus appropriée pour répondre à notre question de recherche. Dans cette section, une analyse critique de ces différentes méthodes sera réalisée.

4.1.1 Les modèles de type économétrique

Dans leur revue de la littérature, Zimmermann et al. (2009) regroupent sous le nom de modèles économétriques les méthodes reposant sur une analyse et une projection des tendances historiques (chaînes de Markov, modèles de régression économétrique et analyses de cohorte). Dans cette sous-section, ces trois méthodes sont passées en revue.

⁶⁵ Institut pour le Développement Agricole de l'Europe Centrale et Orientale

Les chaînes de Markov sont utilisées pour analyser l'évolution de la structure d'une population répartie en N classes (par exemple des classes de taille économique, de SAU, ou encore d'âge) caractérisées par le nombre d'individus $n_{j,t}$ appartenant à la classe j à la date t . Le passage d'un individu d'une classe i à une classe j entre $t-1$ et t est considéré comme un évènement stochastique pour lequel il est nécessaire de déterminer une probabilité de transition $p_{i,j}$ (probabilité qu'un individu de la classe i à la date $t-1$ soit dans la classe j à la date t). Cette dernière est estimée sur la base de données historiques (Zimmermann et al., 2009). Une analyse de cohorte consiste ainsi à étudier l'évolution des N classes en résolvant l'équation 5⁶⁶.

$$n_{j,t} = \sum_{i=1}^N n_{i,t-1} * p_{i,j} \quad (5)$$

Sous contraintes :

$$p_{i,j} \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^N p_{i,j} = 1$$

Avec les chaînes de Markov, l'état d'un individu lors de la période t est uniquement conditionné par son état lors de la période $t-1$. Cette spécificité des chaînes de Markov rappelle le phénomène de dépendance au chemin (chapitre 2) sans pour autant le simuler convenablement. D'une part, parce que les déterminants de la dépendance au chemin trouvent leurs origines à une date antérieure à la période $t-1$. D'autre part, parce que la dépendance au chemin est un phénomène irréversible, ce qui n'est pas le cas avec les chaînes de Markov. Les chaînes de Markov ont été employées pour étudier les modes de propriété du foncier (Reiss et al., 1963), l'évolution du nombre d'exploitations agricoles (Butault & Delame, 2007; Fall et al., 2010) ou encore les effets d'agglomération au sein du secteur laitier (Ben Arfa et al., 2009). Grâce à des chaînes de Markov, Butault et Delame (2007) évaluent qu'en France, entre 2005 et 2015, le nombre d'exploitations pourrait diminuer de 30%, c'est-à-dire que nous pourrions assister à une inflexion du nombre des cessations d'activité dans les années à venir.

⁶⁶ L'équation 5 est la forme typique de l'équation d'un modèle de chaînes Markov stationnaires (les probabilités de transition n'évoluent pas avec le temps). C'est pourquoi le temps n'apparaît pas en indice dans l'équation. Dans le cas de chaînes de Markov non-stationnaires, le temps apparaîtrait.

Pour sa part, l'analyse de cohortes est une technique particulièrement utilisée en démographie qui, tout comme les chaînes de Markov, propose de simuler le comportement de classes d'individus (Pressat, 1981). Une cohorte est un groupe d'individus qui partagent une même caractéristique, par exemple, l'âge. Le nombre d'individus dans la cohorte de tranche d'âge a au temps t est $H_a(t)$. Pour déterminer $H_{a+1}(t+1)$, il est nécessaire d'évaluer $ps_{a,a+1}$, la probabilité de survie d'un individu lors de son passage de la cohorte d'âge a à la cohorte d'âge $a+1$, et $pe_{a,a+1}$, la probabilité de conserver ses caractéristiques (hors l'âge) constantes (par exemple, la quantité de facteurs de production). Ces deux probabilités représentent l'influence des paramètres dits autonomes, des facteurs démographiques tels que le vieillissement, la mortalité, la retraite. L'impact des paramètres non-autonomes (nouveaux arrivants, changement d'activité) sur la taille d'une cohorte lors du passage de a à $a+1$ entre les temps t et $t+1$ est représenté par la variable $NA_{a,a+1}(t,t+1)$. Un modèle d'analyse de cohortes vérifie la relation de l'équation 6 (Zimmermann et al., 2009) :

$$H_{a+1}(t+1) = H_a(t) * ps_{a,a+1} * pe_{a,a+1} - NA_{a,a+1}(t,t+1) \quad (6)$$

En économie agricole, les analyses de cohortes ont été utilisées pour étudier l'évolution du nombre des exploitations (Gale Jr., 1996), le comportement des employés agricoles (Cooper et al., 2006) ou encore pour comprendre le phénomène de croissance et de diversification des exploitations agricoles (Melhim et al., 2009). Gale Jr. (1996) met en évidence un déséquilibre croissant entre le nombre d'installations et de cessations d'activité qui pourrait provoquer, à terme, une baisse du prix des actifs, entraînant à son tour une modification de la propriété des terres (exploitations plus grandes), des modes de valorisation (contractualisation) et des modes de financement. Ces résultats sont en partie confirmés par Melhim et al. (2009) qui mettent en évidence que les installations se font sur des exploitations en moyenne plus grandes que celles des exploitants déjà installés. Ces résultats pourraient toutefois être différents pour les exploitations périurbaines (chapitre 1), d'autant plus que ces résultats ne tiennent pas compte du caractère périurbain des exploitations.

Les modèles de régression économétrique permettent d'identifier des corrélations entre une variable à expliquer Y_i (valeur de la variable à expliquer pour l'individu i et N variables

explicatives $X_{j,i}$ (valeurs de la variable explicative j pour l'individu i ⁶⁷). Le terme d'erreur globale e_i tient compte de l'erreur associée à la mesure de Y_i et de l'erreur provoquée par l'omission de variables explicatives dans le modèle (Gujarati, 2004). Seuls, ces modèles empiriques indiquent les degrés de corrélation entre variables dépendantes et indépendantes, sans donner d'éléments d'analyse des liens de causalité. Les modèles de régression économétrique prennent la forme suivante (équation 7) :

$$Y_i = \sum_{j=1}^N X_{j,i} + e_i \quad (7)$$

A notre connaissance, seuls Summer et Leiby (1987) ont utilisé cette méthode pour réaliser des projections temporelles de la taille des exploitations. Le tableau 11 présente une sélection des travaux de recherche utilisant des modèles économétriques.

Tableau 11 : Description non-exhaustive de travaux en économie agricole utilisant des modèles économétriques

Variable dépendante	Référence	Variables indépendantes	Echantillon	Période
Taille des exploitations et taux de croissance en taille	Shapiro et al. (1987)	Taille initiale	5% des exploitations canadiennes	1966/1981
	Summer et Leiby (1987)	Capital humain	2 705 exploitations laitières de 11 états des US	1977/1987
	Gale Jr. (1994)	Age de l'exploitant Valeur du foncier Territoire	Exploitations de grande culture (Dakota du Nord et Illinois) et laitières (Wisconsin)	1978/1987
	Weiss (1998)	Taille initiale	40 000 exploitations autrichiennes	1980/1990
Taux d'entrée et de sortie des exploitations	Butault et Delame (2005)	Structure de l'exploitation Caractéristiques du ménage Territoire	Exploitations françaises en activité entre 1988 et 2000	1988/2000
	Goetz et Debertin (2001)	Idem + Soutiens publics	Exploitations agricoles de 2 999 comtés des US	1987/1997
Flexibilité	Glauben et al. (2006)	Structure de l'exploitation Caractéristiques du ménage Territoire	Exploitations agricoles de 326 comtés d'Allemagne de l'Ouest	1991/1999
	Weiss (2001)	Structure de l'exploitation Caractéristiques du ménage Territoire	40 000 exploitations agricoles autrichiennes	1980/1990
Exercice d'un emploi non-agricole	Alasia (2009)	Structure de l'exploitation Caractéristiques du ménage Territoire	69 797 exploitations canadiennes	2001

⁶⁷ Les variables explicatives peuvent être transformées mathématiquement (forme exponentielle, logarithmique, carré) afin d'identifier des relations non-linéaires entre la variable à expliquer et la variable explicative.

L'utilisation de données historiques pour réaliser des projections temporelles suppose de prolonger les tendances et interdit l'observation d'éventuelles ruptures de tendances, limitant par conséquent la portée d'une analyse sur le long terme. Seules les chaînes de Markov non-stationnaires lèvent partiellement cette limite dans la mesure où les probabilités de transition sont des probabilités dynamiques. Ces outils ne sont pas non plus adaptés pour tenir compte des interactions entre agents. Pour l'ensemble de ces raisons, ces outils ne sont pas choisis pour simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines.

4.1.2 La programmation mathématique

En économie agricole, les modèles de programmation mathématique peuvent être utilisés pour modéliser l'organisation des systèmes bioéconomiques tels que les exploitations agricoles (Boussard, 1987; Boussemart et al., 1994). La théorie microéconomique sous-jacente considère que les décisions du chef d'exploitation peuvent se comprendre soit comme les décisions d'un manager agricole (modèles de production), soit comme les décisions d'un chef de famille conciliant son activité agricole avec ses contraintes familiales (chapitre 2). Ces modèles ont été utilisés pour simuler l'impact des politiques agricoles sur les systèmes d'exploitation (Blaskovic & Lefer, 1994; Lefer et al., 1997; Ridier, 2001) et celui des exploitations agricoles sur l'environnement (Carpy-Goulard, 2001; Semaan et al., 2007; van Ittersum et al., 2008) ou encore pour modéliser les décisions de commercialisation des exploitants pour se prémunir du risque prix (Turvey & Baker, 1990; Ricome, 2012).

Les modèles de programmation mathématique permettent soit de déterminer la quantité optimale de facteurs de production x_i à utiliser pour atteindre une certaine valeur de la fonction-objectif Y , soit de déterminer la valeur optimale de la fonction-objectif Y qu'il est possible d'atteindre avec la quantité de facteur de production X_i à disposition de l'exploitant (équation 8) :

$$\max Y = f(x_i) \quad (8)$$

Sous contrainte :

$x_i \leq X_i$, avec X_i la ressource en facteurs de production utilisable à disposition de l'exploitant.

La programmation mathématique permet de simuler les décisions de production de l'agriculteur en tant qu'agent rationnel. Cette méthode ne permet pas la modélisation des interactions entre agriculteurs et non-agriculteurs sur le marché du foncier.

4.1.3 Les systèmes multi-agents

Dans la littérature, les SMA sont utilisés pour modéliser le fonctionnement des organisations (Chang & Harrington, 2006) ou encore d'écosystèmes (Bousquet, 2001; Bousquet & Le Page, 2004). En économie agricole, ils ont été plus spécifiquement appliqués à la gestion des ressources en eau (Le Bars, 2002) et foncières (Filatova et al., 2011) ou encore au changement structurel des exploitations agricoles (Happe, 2004; Sahrbacher, 2011).

La majorité des SMA est composée d'un modèle cellulaire (modélisation de l'espace) et d'un modèle multi-agents (modélisation des règles de décision et des interactions des agents) (Ferber, 1995). Relativement à notre question de recherche, les SMA offrent plusieurs avantages. Ils permettraient, d'une part, de modéliser l'hétérogénéité des structures des exploitations agricoles en considérant plusieurs types d'agents et, d'autre part, de simuler les interactions sur le marché du foncier entre agriculteurs périurbains et non-agriculteurs (par exemple, promoteurs immobiliers). Enfin, la représentation spatiale explicite permettrait de modéliser les préférences des agents agriculteurs pour des parcelles proches de leur exploitation et celle des agents non-agriculteurs pour des parcelles à proximité des villes ou des axes de communication.

L'analyse des différentes méthodes employées dans la littérature pour modéliser le changement structurel des exploitations agricoles montre que le recours à un SMA en complément de la programmation mathématique permet de modéliser les décisions d'agents hétérogènes tout en tenant compte de leurs interactions, et d'intégrer la dimension spatiale de la périurbanisation dans les processus de décision des agents. La prochaine section développera les avantages spécifiques de l'outil SMA pour répondre à notre question de recherche.

4.2 Les Systèmes multi-agents, des outils complexes au potentiel intéressant

Dans le chapitre 2, nous avons vu que l'approche multi-agents permet de modéliser la complexité du phénomène de changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. Cette approche rend possible la modélisation simultanée d'agents hétérogènes avec des systèmes de décision différents, tout en prenant en compte leur localisation grâce à une représentation plus ou moins stylisée de l'environnement dans lequel ils évoluent. En tant qu'outils, les modèles multi-agents sont caractérisés par des avantages et des contraintes spécifiques que nous préciserons dans cette section.

4.2.1 Des laboratoires virtuels

Les systèmes multi-agents peuvent être considérés comme des laboratoires virtuels dans lesquels des expériences sur les systèmes sociaux sont réalisés. En ce sens, ils ouvrent de larges possibilités en termes d'analyse (Janssen & Ostrom, 2006; Varenne, 2011). D'une part, les simulations permettent de faire évoluer des agents dans des conditions hypothétiques (situations extrêmes non-observables dans le monde réel). Ils permettent également de se libérer de contraintes spatio-temporelles en utilisant des pas de temps discrets, par exemple pour la culture des végétaux (Janssen & Ostrom, 2006). Enfin, la programmation des agents permet de spécifier autant de variables de sortie que nécessaire à l'analyse des résultats. Toutefois, cette possibilité est également une contrainte majeure puisque chaque variable doit alors être définie par des équations et quantifiée par des données dont la formalisation et la collecte peuvent être extrêmement difficiles (Gilbert, 2005).

4.2.2 Des outils flexibles pouvant être couplés à d'autres outils

Outre les caractéristiques spécifiques développées précédemment, les SMA sont également des outils suffisamment flexibles pour être couplés à d'autres modèles ou base de données. Tout d'abord, les SMA peuvent être couplés à des SIG afin d'obtenir des représentations spatiales fines, ce qui est particulièrement intéressant pour modéliser l'activité agricole. Le couplage d'un SMA avec un SIG a, par exemple, été utilisé pour étudier l'érosion pluviale au Burkina Faso (Guillobez et al., 2000) ou encore pour analyser l'impact des politiques publiques sur les paysages (Lifran et al., 2003). Les SMA peuvent également être couplés à d'autres modèles, dans une optique dynamique pour échanger des informations tout au long de la simulation. C'est par exemple le cas du modèle MagmaS dans lequel un SMA, MENS,

a été couplé au modèle Magma qui modélise les dynamiques internes des systèmes d'élevage porcin (Guerrin, 2000; Courdier et al., 2002). Enfin, différentes plateformes (CORMAS, GEAMAS, NETLOGO) permettent de programmer des modèles multi-agents (Railsback et al., 2006).

4.2.3 Des outils complexifiant la diffusion des résultats

Dans un modèle, les objets ne sont pas représentés dans toute leur complexité et seules les caractéristiques nécessaires à la modélisation du phénomène étudié sont conservées (Chalmers, 1990; Bommel, 2009). Dans un SMA, la difficulté est de ne pas spécifier outre mesure le comportement des agents afin que ceux-ci conservent une autonomie réelle (Happe, 2004; Pontius Jr et al., 2004; Bommel, 2009) et de trouver les bases de données nécessaires à la création des agents (Möhring et al., 2010). Néanmoins, il est possible de distribuer aléatoirement certaines caractéristiques lorsque l'information nécessaire n'est pas disponible (Berger & Schreinemachers, 2006; Valbuena et al., 2008). Toutefois un nombre trop élevé de processus aléatoires peut nuire aux performances du modèle ainsi qu'à l'analyse des résultats (Happe, 2004; Pontius Jr et al., 2004).

Ainsi, la multitude des données, des équations et des processus aléatoires introduits dans les SMA en fait souvent des modèles complexes. Afin d'en faciliter la compréhension, il est possible de recourir à des standards de formalisation (UML, ODD). Le langage UML (Unified Modelling Language) est un langage de conceptualisation (Barbier, 2005; Nugroho, 2009). Les protocoles ODD (Overview, Design concepts, and Details) ont pour objectif de faciliter la présentation du fonctionnement des SMA (Grimm et al., 2006; Grimm et al., 2010). Au final, l'utilisation d'un SMA nécessite une présentation détaillée du modèle (description du processus de simulation, des agents, des interactions entre agents et des processus aléatoires).

4.3 Modéliser le changement structurel des exploitations avec AgriPoliS

AgriPoliS a été développé pour modéliser le changement structurel des exploitations agricoles sous différents scénarios de politiques agricoles (Happe, 2004; Kellermann et al., 2008). Dans AgriPoliS, le changement structurel des exploitations résulte des décisions individuelles des agents « exploitation agricole » (production, investissements fonciers et matériels, cessation d'activité) ainsi que de leurs interactions sur le marché du foncier (unique possibilité

d'agrandissement). Le fonctionnement d'AgriPoliS peut se décomposer en deux étapes, l'étape d'initialisation et celle de simulation (figure 8): Lors de l'étape de simulation, les agriculteurs i) enchérissent sur le marché du foncier, ii) investissent dans du matériel en fonction de la capacité de financement dégagée au cours de la période passée, iii) produisent en fonction des coûts et des prix observés de la saison écoulée en respectant une contrainte de liquidité, et iv) décident de poursuivre ou non leur activité agricole

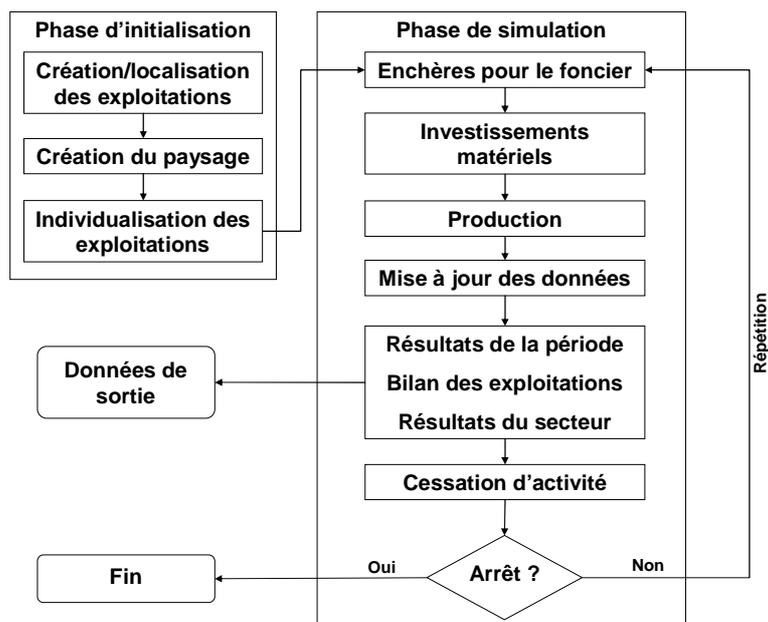


Figure 8 : Description du fonctionnement du modèle AgriPoliS, adapté de Happe (2004)

Cette section présentera tout d'abord la phase d'initialisation. Les quatre étapes de la phase de simulation seront ensuite détaillées (enchères pour le foncier, investissements matériels, production, et cessation d'activité). Enfin, le rôle des paramètres exogènes sera expliqué.

4.3.1 La phase d'initialisation : créer un territoire virtuel

Lors de la phase d'initialisation, deux étapes sont nécessaires pour créer le territoire simulé : la création des objets et l'individualisation des agents.

Lors de la phase de création des objets, les agents exploitations agricoles⁶⁸ sont dotés en facteurs de production (foncier, capital – bâtiments et équipements - et travail). Une typologie des exploitations de la région simulée est élaborée en utilisant une procédure automatisée de

⁶⁸ Dans la suite de cette section, les agents exploitation agricole seront dénommés agents.

sélection et de pondération d'exploitations représentatives (Sahrbacher & Happe, 2008)⁶⁹. Cette typologie permet de limiter la quantité d'informations nécessaire pour représenter la région simulée. Tous les agents d'un même type sont alors identiques.

L'étape suivante consiste à « individualiser » les agents, c'est-à-dire, au sens d'AgriPoliS à les différencier en distribuant aléatoirement trois caractéristiques non-renseignées dans les bases de données utilisées précédemment : les compétences managériales du chef d'exploitation, l'âge du capital et la localisation du siège de l'exploitation et des parcelles (Happe, 2004; Kellermann et al., 2008).

A la fin de l'étape d'initialisation, les agents sont localisés dans la région virtuelle qui prend la forme d'un damier (une grille de cellules de taille identique). Par défaut, les parcelles non-utilisées par les agents sont considérées comme des espaces artificialisés (villages, routes) et des espaces naturels non-agricoles (forêts, rivières). Enfin, les côtés opposés deux à deux du damier sont contigus, donnant au damier une forme de torus. Ce choix méthodologique permet de s'assurer que chaque parcelle est soumise au même degré de compétition sur le marché du foncier. Dans notre cas, chaque cellule est différenciée soit en parcelle de terre arable de plaine ou de coteaux, soit en parcelle de prairie.

La représentation virtuelle de la zone simulée dépend de quatre facteurs : le facteur d'échelle, la taille des parcelles, la part relative de terres non-agricoles et le chargement des parcelles. Le *facteur d'échelle* est un facteur de proportionnalité utilisé pour réduire le temps de simulation lorsque la région simulée est trop grande. Le poids relatif des agents est alors divisé par le facteur d'échelle afin de préserver la structure agricole de la région simulée⁷⁰. La *taille des parcelles* est constante. Elle peut être fixée pour correspondre à la taille moyenne des parcelles dans la région simulée. Etant donné que nous projetons de faire intervenir des agents non-agricoles qui achètent des parcelles en vue de leur artificialisation, une taille d'un hectare est un bon compromis entre des parcelles agricoles en moyenne plus grandes et des parcelles artificialisées en moyenne plus petites. La *part relative des terres agricoles* peut également être ajustée. Enfin, dans la mesure où l'élevage est quasiment inexistant et prend la forme d'ateliers complémentaires à des productions de grandes cultures ou de polyculture, le paramètre *chargement maximal*, qui définit un chargement maximal pour les parcelles de

⁶⁹ Les résultats de cette procédure pour notre zone d'étude seront détaillés dans le chapitre 5.

⁷⁰ Dans notre cas, le temps de simulation étant d'un peu moins d'une heure, ce facteur n'a pas été utilisé.

prairie, n'a pas été utilisé. Une fois la phase d'initialisation terminée, les exploitations agricoles évoluent : c'est la phase de simulation.

4.3.2 La phase de simulation : simuler le fonctionnement des exploitations agricoles

Durant la phase de simulation, les agents interagissent sur le marché du foncier, investissent, produisent et éventuellement cessent leur activité. Dans cette sous-section, nous présenterons successivement la règle de décision d'investissement et de production des agents, le fonctionnement du marché du foncier, et les règles de sortie du système des agents.

4.3.2.1 Règle de décision d'investissement et de production

Un modèle d'investissement et de croissance des exploitations agricoles est à la base du fonctionnement des agents. Leur règle de décision pour engager des investissements et réaliser des choix de production repose sur une maximisation du revenu familial espéré. Le revenu familial est le résultat du travail agricole des membres du ménage et tient compte de leurs revenus non-agricoles. Les choix du matériel et des productions sont réalisés simultanément en résolvant le problème mathématique de l'équation 9.

$$\max Y^e \Leftrightarrow \max \sum_i [x_i(p_i^e - c_i)] - MC - D - IC - OV - HW - RE - TC + S + IR + W \quad (9)$$

Sous contraintes :

$$b_j \geq \sum_{i,j} x_i * r_{i,j} \text{ et } x_i \geq 0$$

Avec :

Y^e : revenu espéré du ménage

x_i : volume (hectare, tête) de l'activité de production i

p_i^e : prix de vente espéré de l'activité de production i

c_i : coût de production de l'activité de production i

MC : coûts de maintenance du matériel

D : coûts d'amortissement du matériel

IC : intérêts des prêts contractés par l'agriculteur

OV : frais généraux d'exploitation

HW : salaires des employés agricoles

RE : loyers payés pour la location des terres

TC : coûts de transport pour accéder aux parcelles

S : primes PAC perçues par l'agriculteur

IR : intérêts de l'épargne

W : revenus non-agricoles

b_j : dotation en facteur de production i

$r_{i,j}$: demande en facteur de production j pour l'activité de production i

Cinq contraintes affectent les décisions de production et d'investissement des agents : une contrainte de travail, une contrainte foncière, une contrainte de liquidité, une contrainte de crédit et une contrainte de rotation. La **contrainte de travail** est liée à la quantité de main d'œuvre disponible. La ressource en travail est constituée de la main d'œuvre familiale qui peut être soit allouée à l'activité agricole, soit louée sur le marché du travail (emploi non-agricole). Si la main d'œuvre est insuffisante, l'agent peut louer de la main d'œuvre agricole non-qualifiée sur le marché du travail. La **contrainte foncière** est fixée par la surface des terres à disposition de l'agent (l'agent ne peut produire que sur les terres en faire-valoir direct ou en location). La **contrainte de liquidité** (CC_k) de l'agent k représente son besoin en fonds de roulement. Par hypothèse, la demande en fonds de roulement de la culture i est égale à 30% de son coût variable c_i et proportionnelle à la surface $x_{i,k}$ qu'elle occupe dans la sole de l'agent (équation 10) :

$$CC_k = \sum_i 0,3 * x_{i,k} * c_i \quad (10)$$

L'agent peut emprunter à court terme pour faire face à un manque de liquidité. La valeur maximale de l'emprunt de court terme BC_s pouvant être réalisé par l'agent k est fixée à 70% de la valeur des terres en propriété (LA) et à 30% de la part autofinancée A_{ec} des équipements i (machines, bâtiments) (équation 11).

$$BC_{s,k} \leq 0,7 * LA_k + 0,3 \sum_{l=1}^L A_{ec,l,k} \quad (11)$$

La *contrainte de crédit* est indirectement déterminée. Lorsque des bâtiments ou du matériel atteignent leur limite d'âge, l'agent doit les remplacer pour maintenir sa capacité de production. Les montants empruntés ne sont pas limités tant que les investissements sont rentables. Etant donné que le choix des cultures s'opère en comparant les marges brutes, une *contrainte de rotation* est introduite afin de limiter les monocultures (choix de la culture ayant la marge brute la plus élevée). Les contraintes de rotation sont estimées à partir des temps de retour⁷¹ fournis par l'INRA (tableau 12).

Tableau 12 : Contrainte rotationnelle des différentes cultures introduite dans les simulations

Culture	Blé (dur et tendre)	Mais	Orge	Triticale	Sorgho	Colza	Soja	Tournesol	Pois
Retour (années)	2	2	3	3	3	5	3	3	5

Source : INRA

Le revenu espéré des agents tient compte des revenus agricoles issus du travail des agents ainsi que de leurs revenus non-agricoles. L'annexe A5 présente les déterminants du revenu en détails.

4.3.2.2 Le marché du foncier

Pour s'agrandir, les agents participent au marché du foncier sur lequel ils peuvent louer des parcelles libres. Le marché du foncier est modélisé par un système séquentiel d'enchères au plus offrant. Lors de chaque séquence d'enchères, chaque agent détermine la parcelle qui a le plus de valeur pour lui et calcule l'enchère associée. L'agent proposant l'enchère la plus élevée reçoit la parcelle en jeu. Les enchères continuent jusqu'à ce que toutes les parcelles soient louées ou que plus aucune enchère positive ne soit émise. Ce système d'enchères évite ainsi le biais de « l'avantage du précurseur » qui pourrait être introduit si les parcelles étaient mises aux enchères aléatoirement par le commissaire-priseur (Happe, 2004; Sahrbacher, 2011). Les équations de formation des enchères sont détaillées en annexe A7.

4.3.2.3 Décision de sortie

Une fois les étapes d'investissement et de production effectuées, chaque agent réalise un bilan économique de l'année en cours et décide ou non d'arrêter son activité agricole. Un agent est supposé économiquement viable lorsque la capacité d'investissement est plus élevée que la somme de ses emprunts. La capacité d'investissement des agents évolue selon un processus

⁷¹ Le temps de retour est le temps avant qu'une culture ne soit cultivée à nouveau sur une parcelle.

d'accumulation (annexe A5). Toutefois, la capacité d'investissement du ménage diminue lorsque le revenu du ménage ne permet pas de couvrir les prélèvements privés. Si la capacité d'investissement de l'agent est nulle, alors l'agent cesse son activité agricole

Un agent cesse également son activité si la rentabilité des actifs engagés est faible. A la fin de chaque année de production, les actifs de l'agent sont évalués au coût d'opportunité de son utilisation dans le secteur agricole par rapport à son utilisation dans le secteur non-agricole. Si la somme des coûts d'opportunité est plus élevée que le revenu du ménage, alors l'agent cesse son activité agricole : il est économiquement rationnel pour l'agent d'arrêter l'activité agricole et de valoriser ses actifs dans un autre secteur (tableau 13).

Tableau 13 : Critères d'évaluation des coûts d'opportunité des facteurs de production dans AgriPoliS

Facteur de production⁷²	Coûts d'opportunité évalués par
Main d'œuvre familiale	Revenu potentiel hors agriculture
Travail du successeur	Salaire non-agricole augmenté de 25%
Epargne	Intérêts à long terme
Foncier (en possession)	Rente régionale moyenne

Source Happe (2004)

Enfin, les agents peuvent également cesser leur activité s'il n'y a pas eu de transmission des actifs. Pour cela, il est posé par hypothèse que les exploitations agricoles sont transmises à un successeur tous les vingt-cinq ans (une fois par simulation). Pour cela, un âge strictement inférieur à vingt-cinq ans est distribué aléatoirement à chaque agent lors de la phase d'initialisation. Lorsque l'agent atteint la vingt-cinquième année, il doit transmettre son exploitation. Un repreneur potentiel évalue alors les coûts d'opportunités des actifs exactement comme dans la procédure précédente à ceci près que les coûts d'opportunité du travail sont majorés de 25%⁷³. Si l'agent transmet son exploitation, les coûts d'opportunité sont ensuite évalués normalement, c'est-à-dire au taux de salaire horaire dans le secteur non-agricole. Sinon, l'agent cesse son activité et sort du système.

L'analyse du fonctionnement du SMA AgriPoliS montre que ce dernier semble adapté pour simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. Le modèle AgriPoliS n'est pas un modèle de ménage comme le recommandait le chapitre 2. Néanmoins AgriPoliS modélise certains aspects des décisions des ménages (allocation de la main d'œuvre

⁷² Etant donné l'hypothèse de coûts irrécouvrables faite pour le matériel agricole, celui-ci n'est pas pris en compte dans le calcul des coûts d'opportunité.

⁷³ Cette hypothèse permet de représenter la difficulté des agriculteurs à trouver des successeurs du fait de la non-attractivité de la profession agricole.

familiale, revenus non-agricoles des membres du ménage) et à comme horizon le long terme (les simulations se déroulent sur vingt-cinq ans). Tout en tenant compte de facteurs traditionnels de changement structurel (économies d'échelle, coûts de transport), il permet d'intégrer dans l'analyse des facteurs propres aux exploitations périurbaines (localisation des parcelles par rapport à la ville, modéliser des agents non-agriculteurs). Une étape complexe d'adaptation d'AgriPoliS à notre région d'étude doit maintenant être réalisée.

Conclusion

Dans ce chapitre, un outil permettant de simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines a été sélectionné. Son fonctionnement a ensuite été détaillé. Sa sélection a été réalisée en deux temps. Dans un premier temps, une analyse comparative des méthodes d'analyse du changement structurel des exploitations agricoles utilisées dans la littérature a été réalisée. Cette analyse a permis de conclure que coupler un SMA à une analyse microéconomique offre la possibilité de tenir compte de plusieurs caractéristiques spécifiques à l'analyse du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. D'une part, l'hétérogénéité des agents en jeu et leurs interactions peuvent être simulées. D'autre part, la dimension spatiale des problématiques agricoles (coûts de transport, économies d'échelle, localisation des parcelles et de des villes) peut être intégrée à l'analyse. Ces outils font également office de véritables laboratoires virtuels qui permettent de réaliser des expériences sur des phénomènes sociaux et de se libérer des contraintes d'observation et de simuler l'évolution des systèmes dans des environnements théoriquement intéressants mais empiriquement inexistantes. Toutefois ces modèles sont complexes. D'une part, la collecte des données est difficile. D'autre part, l'analyse des résultats et leur diffusion peut être difficile étant donné la complexité des modèles.

AgriPoliS, un modèle de croissance et d'investissement, a ainsi été choisi pour modéliser le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. Dans AgriPoliS, le changement structurel est simulé à partir des décisions de production individuelles des agents mais également en tenant compte de leurs interactions sur le marché du foncier. Sans être un modèle de ménage, AgriPoliS considère des facteurs tels que l'allocation de la main d'œuvre familiale et l'existence de revenus non-agricoles. En outre, la représentation spatiale explicite permet de prendre en compte les coûts de transport et les économies d'échelle à l'origine des

changements structurels. Le fonctionnement de ce SMA peut se décomposer en deux étapes : une étape d'initialisation, lors de laquelle les objets utilisés lors de la simulation sont créés et distribués, et une phase de simulation, lors de laquelle les agents virtuels interagissent provoquant des changements dans leur dotation en facteurs de production. La flexibilité offerte par les SMA est également la source d'une complexité non négligeable. Préalablement à l'utilisation d'AgriPoliS, les résultats des étapes nécessaires à son adaptation à notre région d'étude seront détaillés dans le chapitre suivant.

Chapter 5

Adaptation of the agent-based model AgriPoliS to a subregion of Midi-Pyrénées (Lauragais)

Introduction

Since the beginning of the 1990's, Toulouse the capital city of the Midi-Pyrénées region, registered a strong demographical increase evaluated at 19 200 new inhabitants per year in average between 1999 and 2007 (AUAT, 2008, 2010). In the same time, the demand for individual housings raised between 2004 and 2007. The combination of both factors resulted in a rapid growth of urban areas (AUAT, 2005, 2011). Indeed, urban areas occupied 30 737 ha in 2003 and extended by 2 070 ha between 1999 and 2003, that is to say an annual growth of 1,8% (AUAT, 2007). Moreover the amount of farmland bought by non-farmers increased significantly and reached 550 ha in 2004 in Toulouse urban area (AUAT, 2005).

In the Midi-Pyrénées region, Lauragais is a wide agricultural area, which lies down at the South-East of Toulouse. Lauragais is a cash-crop producing area crossed by two highways and one railway linking Toulouse to Marseille and Barcelona (figure 9). These communication axes make inhabitants commute easily from residential areas to work places. Moreover, they enable periurban inhabitants to enjoy urban amenities (health services, cultural services) while living close to the countryside (landscapes, living environment). As a consequence, these locations are especially attractive for inhabitants. Actually, this preference

of consumers for periurban housings is embedded in the catchphrase of a real estate agent, “Still the city, yet the countryside⁷⁴”.

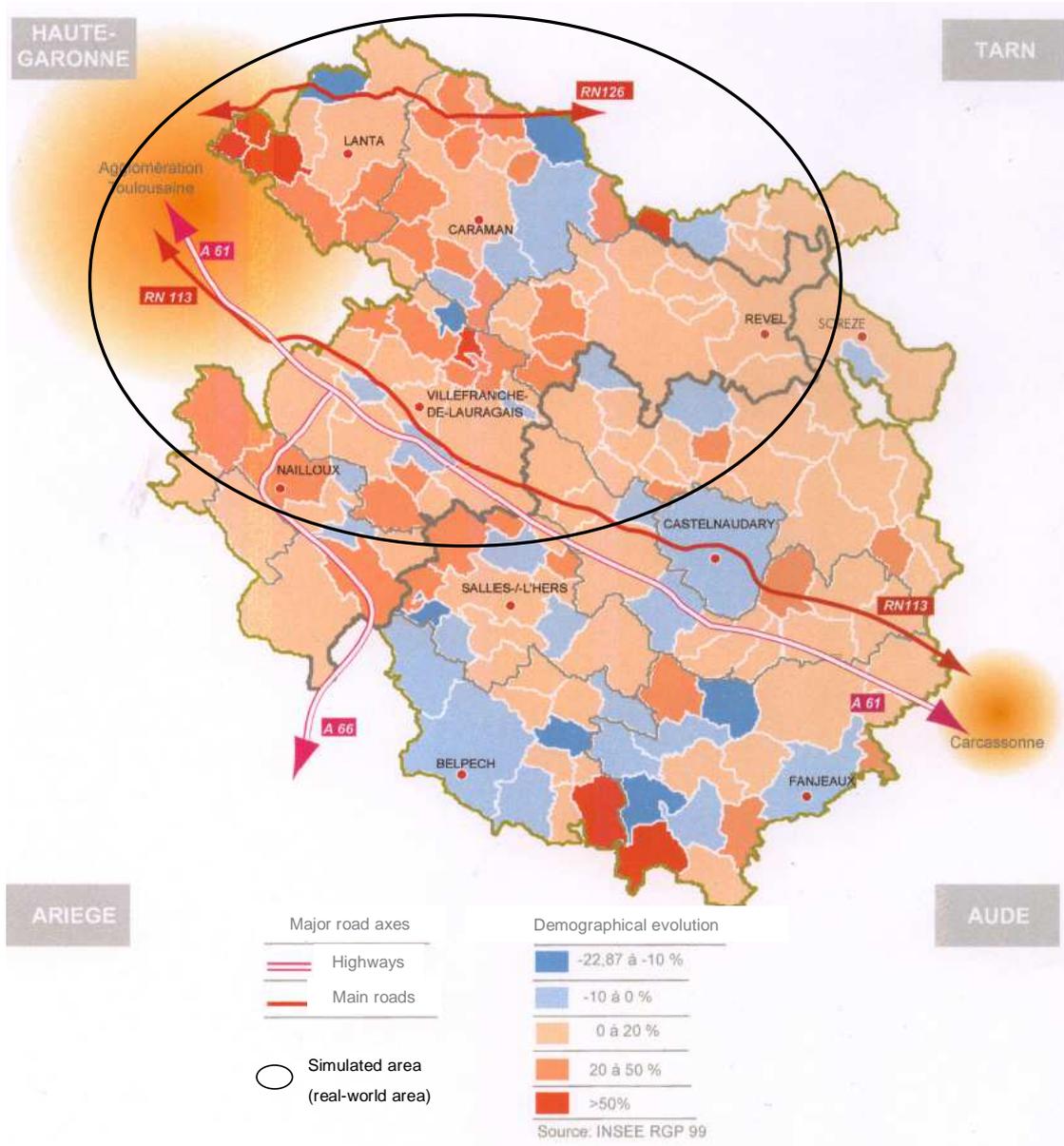


Figure 9: Demographical evolution of Lauragais municipalities between 1990 and 1999, source: Direction des Affaires Economiques et du Développement Local (Association du Pays Lauragais, 2002)

Fast growing municipalities (coloured in red) are mainly located in the close periphery of Toulouse or in-between road axes, where they can benefit from a rapid access to downtowns without being too close from the communication axes.

An area located in Lauragais and composed of six contiguous cantons⁷⁵ (Caraman, Castanet-Tolosan, Lanta, Montgiscard, Revel, and Villefranche-de-Lauragais) has been chosen as our

⁷⁴ « Encore la ville, déjà la campagne ».

⁷⁵ Cantons are administrative subdivisions of “départements” that are similar to the county level administrative division in the US.

case study region⁷⁶. These six cantons belong to the same administrative region (Midi-Pyrénées), what facilitates data collection.

Using the Agent-Based Model (ABM) AgriPoliS for simulating farm structural change in Lauragais requires beforehand going through four different steps. This fifth chapter is organized in four subsections. First, the “upscaling” procedure consists in creating a virtual region based on individual farms by introducing the soil heterogeneity characterizing the Lauragais area. Second, Farm agents are classified in order to account for the impact of urban sprawl on homogeneous categories of farm structures. Third, the “calibration” aims at adjusting the results of the model to historical data. Fourth, the validation procedure aims at understanding the behaviour of the model given the numerous interactions between variables.

5.1 The upscaling procedure: creating a virtual region based on individual farms

In this thesis, the ABM AgriPoliS is used to simulate farm structural change in Lauragais. A first approach would consist in modelling each individual farm and aggregate the results. This would require collecting a vast amount of data and getting access to computing capabilities well beyond to those at our disposal. As a consequence, a virtual region is created using a small number of farms selected and weighted using an automatic procedure: the “upscaling” procedure (Sahrbacher & Happe, 2008). Following Stanislaw (1986), the virtual region is distinguished from the real region by calling the former the *Simuland* and the latter the *real-world area*. In this section, the methodology and data used during the upscaling procedure are first described. Then, results of the upscaling procedure are presented. Third, the soil heterogeneity characterizing the real-world area is introduced by distinguishing “Terreforts” and “Boulbènes” soils.

5.1.1 Selecting individual farms from the French FADN dataset: method and data

The upscaling procedure simultaneously selects a set of typical farms from a sample of farms, e.g. the FADN dataset, and derives a weight for each selected farm in order to scale up farm production capacities, e.g. grassland, arable land, and irrigated land, as well as the regional

⁷⁶ Appendix A9 displays visual evidences of an intense urban sprawl in Lauragais.

farm structure, e.g. the number of farms. Farm and regional data are thus required. The derivation of farm weights is done by minimizing the quadratic deviation between the sum of weighted farm characteristics and corresponding regional values of goal criteria. This procedure is automated by solving an optimisation problem. (Sahrbacher & Happe, 2008). This subsection details first the optimisation problem that permits to solve the procedure. Then, farm regional data are presented.

5.1.1.1 An algorithm for an automated selection

In the upscaling procedure, selecting individual farms and giving them a weight are made simultaneously. A column-matrix of weighting coefficients is determined so as to minimize the quadratic deviation between the sum of weighted farm characteristics and the respective regional goal criteria (Sahrbacher & Happe, 2008). Let i be the farms and k the upscaling parameters. W_k is the weight of parameter k , V_k is the value of parameter k in the real-world area, $v_{k,i}$ is the value of parameter k for farm i and w_i is the weight of farm i . The upscaling procedure consists in figuring out vector w_i that solves the following mathematical problem under constraint that $w_i \geq 0$ (equation 12).

$$\text{Min} \left[\sum_k W_k * \left(\sum_i [V_k - w_i * v_{k,i}] \right)^2 \right] \quad (12)$$

If $w_i = 0$, farm i is not selected. If $w_i > 0$, farm i is selected as a typical farm and w_i is its weight coefficient.

5.1.1.2 Regional data

Real-world area data are mainly picked up in databases from Midi-Pyrénées agricultural extension services (CRAMP). In order to generate canton-scaled datasets, CRAMP uses information provided by farm general censuses (FGC) and updates them using farm structure surveys (FSS). FGC provides exhaustive data on regional farms whereas the FSS concerns only a sample of farms from Haute-Garonne (approximately ten percent) selected based on their economic size⁷⁷ and farm type⁷⁸ (Desbois & Pollet, 2002). Furthermore, a few

⁷⁷ The economic size of farms (expressed in European Size Units –ESU) is calculated thanks to the Standard Gross Margins (SGM) of a crop or livestock is defined as the value of output from one hectare or from one

complementary indicators are extracted from other databases such as the 2007 national CAP “Relevé Parcellaire Graphique” (RPG), which provides the information gathered in CAP declarations, and directly from the 2000 FGC.

The 2007 update of the CRAMP database suggests that the real-world area is composed of 901 farms mostly specialized in cash-crop productions. Farm sizes and levels of specialization are however heterogeneous. Furthermore, information provided by the CRAMP and FADN databases are slightly different and a first adjustment of the information is necessary. The initial sample of 901 farms is reduced to 587 professional farms⁷⁹ since only professional farms are included in the FADN dataset. Among them, 525 are cash-crop farms⁸⁰ (89%) and 35 are mixed-crop farms⁸¹ (6%). The rest represents only 5% of the total number of farms from the real-world area. It is composed of “special-crop” farms (11 farms), dairy and beef cattle farms (7 farms) or sheep farms (9 farms). Thus, only cash-crop farms and mixed-crop farms are selected. At the end of the adjustment, the goal criterion for the number of farms reaches 560 farms.

Appropriate structural indicators, i.e. goal criteria, such as the number of farms (given their farm type, legal form, and size class), indicators of land use (arable land, grassland, and irrigated land) are chosen in order to obtain a satisfying representation of the farm structure in the Simuland:

- the farm type (number of cash-crop and mixed-crop farms)
- the farm legal form (number of individual farms and other legal forms)
- the farm size (number of farms in each size)
- the land use (area occupied by arable land, grassland, and irrigated land)
- the land use given the farm type (area occupied by cash-crop and mixed-crop farms)

animal less the cost of variable inputs required to produce that output (http://ec.europa.eu/agriculture/rica/methodology1_en.cfm).

⁷⁸ Types of farming are defined in terms of the relative importance of the different enterprises on the farm. Relative importance is itself measured quantitatively as the proportion of the SGM of each enterprise in the farm total SGM

(http://ec.europa.eu/agriculture/rica/methodology2_en.cfm).

⁷⁹ Professional farms are defined as farms with an economic size unit larger than 8 ESU and employing more than 0.75AWU.

⁸⁰ Farm type 13-14: 2/3 of the SGM are provided by cereals, oil crops or protein crops, vegetables in open fields or tobacco.

⁸¹ Farm type 60: 2/3 of the SGM are provided half by at least by 1/3 of two of the following crops: cash-crops, permanent crops, or horticulture.

Table 14 details indicators used for the upscaling procedure, databases used to estimate them, and the resulting estimation. Some inconsistencies might result from the selection of several databases. First, sampling methods used for FGCs and for RPGs are different. Indeed, FGCs survey every farm with a farmstead located in the Midi-Pyrénées region whereas RPGs survey every farm applying for CAP subsidies with at least one plot in the Midi-Pyrénées region. Second, three indicators, e.g. the share of arable land, grassland and irrigated land, are extracted from the 2000 FGC. Since 2007 values are looked for, the inconsistency due to different time-periods is expected to induce errors in the representation of the real-world area. They are discussed below when the representation of the Simuland is analyzed.

Table 14: Regional data used for the upscaling procedure and results⁸²

	Indicator	Source	Year	Adjusted value
Number of farms	Total	CRAMP	2007	560
	Cash-crop farms	CRAMP	2007	525
	Mixed-crop farms	CRAMP	2007	35
	Individual farms	RPG	2007	458
	Other than individual farms	RPG	2007	102
	UAA between 20 and 50ha	RPG/CRAMP	2007	177
	UAA between 50 and 100ha	RPG/CRAMP	2007	180
	UAA between 100 and 200ha	RPG/CRAMP	2007	150
	UAA larger than 200ha	RPG/CRAMP	2007	53
Land use (ha)	Total	CRAMP	2007	56058
	Arable land	RGA	2000	54823
	Grassland	RGA	2000	1235
	Irrigated land	RGA	2000	8804
	Occupied by cash-crop farms	CRAMP	2007	53544
	Occupied by mixed-crop farms	CRAMP	2007	2514

5.1.1.3 Farm data

Modelling farms in AgriPoliS requires both structural and farm accountancy data available in the French FADN⁸³. Since this is the only database providing both information, the Midi-Pyrénées 2008 FADN database is used to select the set of typical farms. The sample of farms surveyed in the FADN is basically stratified using three criteria⁸⁴: farm economic size, farm type, and farm location (region). Moreover only farms with an economic size larger than 8 economic size units (ESU) are surveyed (Boussard & Foulhouze, 1980; Pétry & Rimkine, 1980). Additionally, the FADN dataset is representative at the regional scale (Midi-Pyrénées)

⁸² Values for the real-world area, the adjusted real-world area and the Simuland are given in table 5.4 with match scores.

⁸³ FADN (Farm Accountancy Data Network) is the European name for the RICA (Réseau d'Information Comptable Agricole). In this thesis, French FADN is used for RICA to facilitate the understanding of the European readership.

⁸⁴ http://ec.europa.eu/agriculture/rica/methodology2_fr.cfm

but not at the real-world area scale. Thus, the FADN dataset is filtered in order to select farms that have high probabilities to be located in the real-world area or which structure is plausible in the real-world area.

The Midi-Pyrénées region is characterized by heterogeneous landscapes, e.g. high mountains, mountains, hillsides, plains, and other kind of landscapes. Since specific payments are distributed to farms located in less favoured areas, a specific variable, i.e. ZDEFA, is used to indicate whether farms are located in such areas or not⁸⁵. Since the ZDEFA indicator of farms located in the real-world area cannot take values characterizing high mountains, mountains and hillsides, farms located in such areas are excluded. However filtered farms are not necessarily representative of the real-world area. Nevertheless, given the dataset at our disposal, the likelihood of selecting a farm located in the real-world area is maximized. Moreover, selected farms are characterized by plausible structures for the real-world area. Originally, the 2008 FADN dataset is composed of 490 farms from the Midi-Pyrénées region among which 157 are cash-crop farms and 26 are mixed-crop farms. After selecting farms with the right ZDEFA indicator, 168 farms remain in the sample.

5.1.2 Results of the upscaling procedure

Results of the upscaling procedure are exposed in two steps. First, the selected individual farms are presented. Then, the resulting Simuland is described.

5.1.2.1 *The selected individual farms*

Concerning the expected results of the upscaling procedure, Sahrbacher (2011) notes that a set of farms composed of 20/25 farms is satisfying. This author also adds that three factors might affect the number of farms. First, the availability of data determines significantly the number of farms selected during the upscaling procedure. FGCs and FSSs provide a lot of information about farm structure. Nevertheless the smallest scale is the department, which significantly exceeds the six cantons from our real-world area in Lauragais. Considering the lower scale of the real-world area, less information is available. Second, the regional structure of the real-world area is a significant determinant of the number of farms necessary to obtain a good representation. Indeed, if farms are heterogeneous, the number of farms necessary to represent the region increases. On the contrary, the less heterogeneous the regional farm structure, the

⁸⁵ Less favoured areas are high-mountain areas, mountain areas, hillside areas or another less favoured area.

lower the number of farms. Since the real-world area is homogeneous, i.e. most farms are cash-crop farms, less farms should be selected at the end of the upscaling procedure. Third, the availability of farm data is also a significant determinant since more numerous the FADN farms, more representative the selected typical farms. In our case, 168 farms are available in the FADN dataset, what should represent the heterogeneity of real-world area farms.

Table 15 details the characteristics of the 25 FADN farms selected during the upscaling procedure. The 560 farms of the adjusted real-world area are represented by a set of 25 typical farms that are mainly individual farms (83%). The rest are partnership farms⁸⁶ (8%) and corporate farms⁸⁷ (10%). Additionally, mixed-crop farms are represented by only one type of farm (7%) whereas the rest of the farms are cash-crop farms. A more detailed description of farms is presented in appendix A10.

⁸⁶ Partnership farms: the ownership of the farm belongs to several farmers.

⁸⁷ Corporate farms: farms belong to legal entities.

Table 15: Typical farms selected during the upscaling procedure

Farm No.	Legal form ⁸⁸	Farm type ⁸⁹	Number of simulated farms	UAA (ha)	Arable land (ha)	Grassland (ha)	Irrigated land (ha)
1	IF	FC	110	33	25	8	0
2	IF	FC	11	50	50	0	0
3	IF	FC	11	53	53	0	0
4	IF	FC	12	54	54	0	0
5	IF	FC	13	56	56	0	0
6	IF	FC	15	75	75	0	0
7	IF	FC	16	84	84	0	0
8	IF	FC	3	147	147	0	0
9	IF	FC	8	176	176	0	0
10	PARTN	FC	11	302	302	0	0
11	CORP	MC	42	39	39	0	21
12	IF	FC	25	42	42	0	38
13	IF	FC	16	56	56	0	20
14	IF	FC	13	68	68	0	0
15	IF	FC	19	79	79	0	14
16	IF	FC	15	80	80	0	0
17	IF	FC	16	83	83	0	0
18	IF	FC	22	90	90	0	21
19	IF	FC	90	111	108	3	0
20	IF	FC	5	113	113	0	27
21	IF	FC	20	114	114	0	93
22	IF	FC	23	130	130	0	93
23	IF	FC	2	137	137	0	0
24	CORP	FC	12	211	211	0	0
25	PARTN	FC	32	416	416	0	17

Source: FADN (2008)

5.1.2.2 The upscaled Simuland

Sahrbacher (2011) states that the quality of the representation of the upscaled Simuland depends on three factors. The first one is the quality of the regional structural data. Indeed as more indicators are available, the more refine is the representation of the Simuland. In our case, mainly two types of indicators are used, the number of farms, e.g. by farm type, by farm legal form, and by farm size, and the land use, e.g. by soil type and by farm type, what might be restrictive. Nevertheless, no other indicator is available at the real-world area scale. Second, the consistency of data also influences significantly the fitness of the representation. Indeed, if datasets refer to different years or different sampling methods, the fitness of the representation of the real-world area will decrease. In our case, datasets have been chosen to represent the real-world area in 2007 but the FADN dataset surveys farms in 2008. Since farm

⁸⁸ FC: Cash-crop farms (types 13/14); MC: Mixed-crop farms (type 60)

⁸⁹ IF: Individual farms, PARTN: Partnership farms, CORP: Corporate farms

structure evolves slowly, it is reasonable to assume that farm structure is quite similar in 2007 and 2008. On the other hand, some values of land uses, e.g. arable land, grassland, and irrigated land, are extracted from the 2000 FGC. This choice is much more debatable since land use can change much more rapidly, i.e. theoretically every year. Table 16 recapitulates differences existing between these two sources. In the 2000 FGC, only professional farms are considered, whereas in the 2007 RPG every farm applying for CAP subsidies and cultivating at least one plot in the real-world area is considered. First, the use of the 2000 FGC results in an overestimation of both the share of grassland and the share of arable land. Given methodologies used to collect the information, it is expected that results obtained using the RPG are overestimated. Whereas the share of arable land in the 2007 RPG is 4.5% larger than in the 2000 FGC, the difference reaches 139% for grassland. Thus, the use of the 2000 FGC instead of the 2007 RPG induces a first bias, which is relatively small in the overall representation of the real-world area. Concerning irrigated land, it has to be noticed that the 2000 FGC measures the overall land that can be irrigated whereas the 2007 RPG measures irrigated land. Values of the 2000 FGC are preferred since Farm agents are endowed with irrigation systems that represent their capacities to irrigate.

Table 16: Difference observed between land use values extracted from the 2000 RPG and the 2007 RPG

	Arable land	Grassland	Irrigated land
2000 FGC	54 823 ha	1 235 ha	8 804 ha
2007 RPG	57 313 ha	2 751 ha	4 629 ha

The last source of error is the number of farms in the initial sample of the FADN dataset. Indeed, the larger the sample of FADN farms, the better the fitness of the structure of the Simuland with the structure of the real-world area. Our sample of FADN farms is satisfying since it is composed of 168 farms.

Figure 10 illustrates the loss of information concerning the number of farms and the share of land occupied by the upscaled farms. Results suggest that the number of farms is badly represented as breeding farms, special-crop farms and non-professional farms are excluded. Nevertheless, their exclusion provokes only a very small loss of information concerning the regional land use. Indeed, whereas non-professional farms are quite numerous, they do not occupy a large share of land. Moreover, the production decisions of non-professional farmers are not properly modelled by the current version of AgriPoliS (Sahrbacher, 2011).

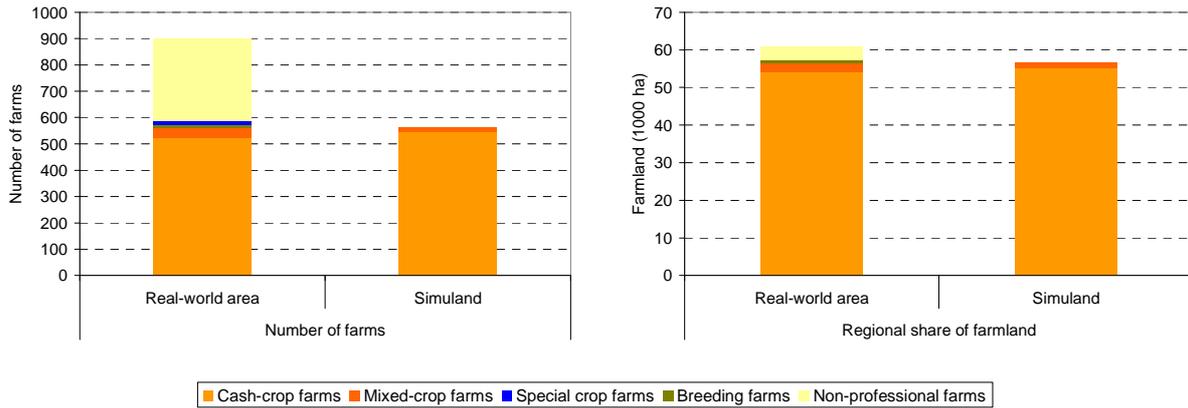


Figure 10: Loss of information about the real-world agricultural structure occurring during the upscaling procedure (Source: CRAMP)

The number of farms is significantly different in the real-world area and in the Simuland when considering non-professional farms. Nevertheless non-professional farms only represent a small share of the total cash-crop production in the real-world area. Thus they are not taken into account in the simulation. Moreover, their decision rules are not clearly explicated in the literature.

Results concerning the representation of the real-world area are presented in table 17. The upscaling procedure results in significant deviations between the Simuland and the real-world area data. The first main deviations concern indicators involving special-crop farms, breeding farms, and non-professional farms, e.g. number of farms and land use, due to the selection of cash-crop farms and mixed-crop farms only. There is also a bias in the representation of the mixed-crop farms probably due to the fact that the automatic procedure resulted in the selection of only one mixed-crop farm type. Since this farm also contributes to the amount of irrigable land, deviations are observed for both criteria.

Table 17: Adjustment of the characteristics of the virtual area to the characteristics of the real-world area

General characteristics	Values in the real-world area	Considered (adjusted) data	Simuland	Deviation to considered data [(4-3)/3] (%)	Coverage of the regional data [4/2] (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Number of farms	901 ¹	560	562	0.4	62.2
UAA(ha)	60 424 ¹	56058	56199	0.3	92.8
Farm type					
Cash-crop farms (type 13-14)	525 ¹	525	520	-1.0	99.0
Mixed-crop farms (type 60)	35 ¹	35	42	20.0	120.0
Special crop farms	11 ¹	0	0	-	0.0
Breeding farms	14 ¹	0	0	-	0.0
Non-professional farms	314 ¹	0	0	-	0.0
Size class					
20/50 ha	269 ²	177 ³	177	0.0	65.8
50/100 ha	274 ²	180 ³	179	-0.6	65.3
100/200 ha	228 ²	150 ³	151	0.7	66.2
>200 ha	81 ²	53 ³	55	3.8	67.9
Legal forms					
Individual farms	659 ²	458 ³	465	1.5	70.6
Partnership farms	147 ²	102 ³	97	-4.9	66.0
Area (ha)					
Arable land	54 823 ⁴	54 823	55049	0.4	-
Grassland	1 235 ⁴	1 235	1150	-6.9	-
Irrigated land	8 804 ⁴	8 804	9 586	8.9	-
Cash-crop farms	55 227 ¹	53 544	54561	1.9	98.8
Mixed-crop farms	4 136 ¹	2 514	1638	-34.8	39.6

Source: CRAMP 2007 (1), RPG 2007 (2), CRAMP 2007 and RPG 2007 (3)⁹⁰, FGC 2000 (4)

This table indicates in a first column the values of the indicators picked up in the databases. The second column shows the adjusted value of the indicator resulting from not considering breeding farms, special-crop farms, and non-professional farms as detailed in section 5.1.1.2. In a third column, the values of the variable in the Simuland are detailed. Finally, the last two columns show respectively the deviation of the value of the variable between the Simuland and the adjusted value (column 5) and the coverage of the value of the real-world area value by the Simuland value (column 6). These last two columns can be used to assess the quality of the representation of the real-world area by the Simuland.

Figure 11 provides an overview about the databases used during the upscaling procedure; the motivation for the selection of the study region. It also describes the main data adjustments.

⁹⁰ These data are provided by the 2007 RPG and adjusted with the CRAMP 2007 database

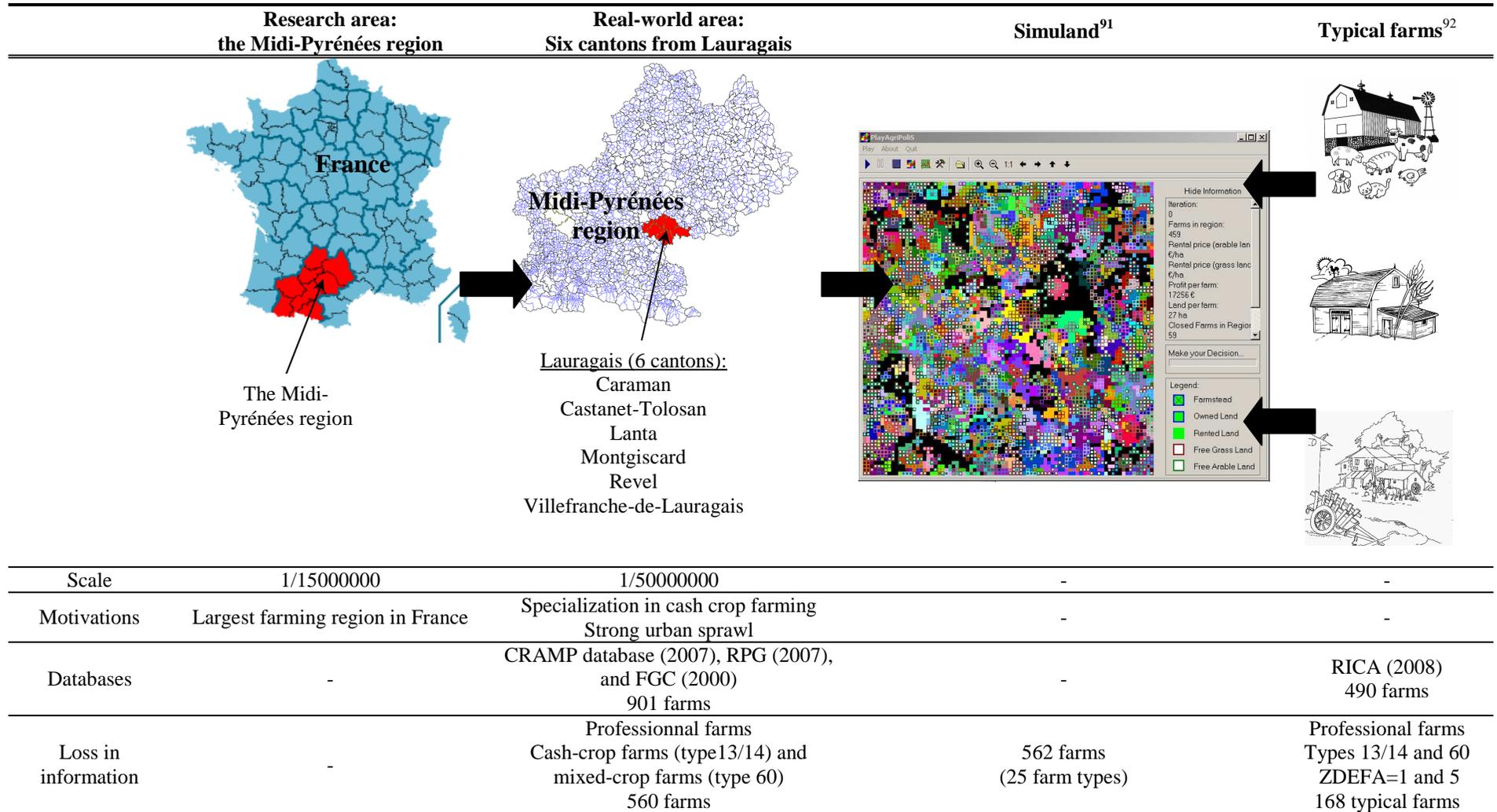


Figure 11: Synthesis of the upscaling procedure, selected databases and motivations

⁹¹ Simuland: <http://www.iamo.de/index.php?id=291>

⁹² Source of the pictures: Map of France : http://s1.e-monsite.com/2010/06/10/10/resize_550_550/MIDI-P1.png

Farm pictures: <http://www.dididou.fr>

5.1.3 Introduction of two arable soil types

In the Midi-Pyrénées region, two arable soil types can be distinguished, i.e. Boulbènes and Terreforts (Groupe régional de travail de Midi-Pyrénées, 2002). Both soil types are characterized by different biophysical characteristics⁹³ that significantly impact crop yields⁹⁴. However, only arable land and grassland are distinguished during the upscaling procedure. This section details how different qualities of arable land are introduced in order to take the soils heterogeneity into account.

In the CRAMP dataset, yields of crops are detailed for medium, large and extra large farms. Crop yields are significantly different on Boulbènes and Terreforts soils. For instance, the yield of irrigated maize cultivated on Boulbènes can reach 110 dt/ha, whereas the yields of durum wheat and sunflower cultivated on Terreforts respectively reach 55 dt/ha and 24 dt/ha. Based on these mean yields gaps, upscaled farms are endowed with Terreforts or Boulbènes plots by comparing the yields of crops extracted from the FADN dataset with the yields of crops from the CRAMP dataset.

The share of Boulbènes is overrepresented in the Simuland (+20%) (table 18). This bias might result first from the criterion used for discriminating farms endowed with Boulbènes from those endowed with Terreforts, e.g. mean crop yields. It can also result from methodological choices made during the upscaling procedure that consisted in selecting only cash-crop and mixed-crop professional farms from the FADN sample. Moreover, sampling methods are also significantly different inducing noticeable differences.

Table 18: Comparison of the estimated share of Boulbènes and Terreforts soil types in the real-world area and in the Simuland

	Real-world area	Simuland
Boulbènes soils	15 774 ha (27%)	26 212 ha (47%)
Terreforts soils	43 148 ha (73%)	28 837 ha (53%)

Sources: RPG (2007) and FADN (2008)

A sample of farms is yet selected and endowed with different soil qualities, e.g. Terreforts or Boulbènes. The consistency of datasets and their lack of interest concerning the distribution of

⁹³ Terreforts are calcareous clay soils, whereas Boulbènes are sandy clay soils.

⁹⁴ Moreover these two soils are not completely substituable and some crops cannot be cultivated .

soil types impede reaching a satisfying representation of the distribution of soil types in the real-world area⁹⁵. The next section consists in providing a classification of the selected farms using structural indicators.

5.2 A classification of the upscaled farms

Upscaled farms are now classified in order to figure out whether some types of farms are more resilient to urban sprawl or not. Analyses carried in chapter 6 are not conducted for each farm type since some of them are represented by few farms. Given the existence of stochastic processes, such analyses would not be robust. On the contrary, classifying farm types also permits to figure out farm types with homogeneous structures and thus limits the impact of stochastic processes⁹⁶. Moreover, since farm structural change is a path-dependant phenomenon, using structural farm classes is relevant for such an analysis. In AgriPoliS, five farm structure parameters provided by the FADN dataset are used to model farms: the UAA, the share of irrigated land, the amount of family labour, the share of owned land and the value of farm net worth. These five characteristics are presented in table 19.

Table 19: Description of the structure parameters used in AgriPoliS for the 25 typical farms

Variable	Minimum value	Maximum value
UAA	33 ha	416 ha
Family labour per hectare	0.5 AWU/100ha	3 AWU/100ha
Share of irrigated land	0%	90%
Share of owned land	0%	100%
Net worth per hectare	912€/ha	8 441€/ha

Source: FADN 2008

The classification relies on a typology used by CRAMP. CRAMP designs farm types in order to assess policy changes in Midi-Pyrénées. The typology is based on two structural indicators, farm sizes and the amount of family labour working on-farm. These indicators are closely linked to farm structural change (chapter 2). Furthermore the CRAMP is an extension service that gets accurate knowledge about Midi-Pyrénées farms. As a consequence the CRAMP typology is used to classify our farms using a distance index.

⁹⁵ Basically Terreforts are distinguished from Boulbènes. In the simulated area, the spatial distribution of Boulbènes is closely related to the one of plain soil types, whereas the spatial distribution of Terreforts is closely related to the one of hillside soil types. For more conveniency, since now on we talk about plain and hillside soil types.

⁹⁶ Classes are elaborated using the structural characteristics of farms at the beginning of the simulations. Once a farm is classified, the class of the farm is not modified by its structural adjustments during the simulations, e.g. farm size growth.

5.2.1 Implementation of the distance index

Following the CRAMP typology, three types of cash-crop farms exist in the Lauragais region, e.g. medium, large, and extra large farms, that are distinguished considering farm size (UAA) and the amount of family labour units per hectare. According to this classification, all the Lauragais representative cash-crop farms irrigate from 34% to 41% of their farmland. Using this typology a distance index is calculated for each farm selected in the upscaling procedure following equation 13. Let d_j be the distance between the CRAMP farm type j and a farm n selected during the upscaling procedure, $P_{i,n}^{UP}$ the value of the parameter i for the farm n selected during the upscaling procedure, $P_{i,j}^{CRAMP}$ the value of the parameter i for the CRAMP farm type j , and $\overline{P_i^{UP}}$ the average value of the parameter i for the sample of farms selected during the upscaling procedure.

$$d_{j,n} = \sqrt{\sum_i \left(\frac{P_{i,n}^{UP} - P_{i,j}^{CRAMP}}{\overline{P_i^{UP}}} \right)^2} \quad (13)$$

The family labour input per hectare ranges from 0.7 AWU/100ha to 2.4 AWU/100ha and the total UAA ranges from 33 ha to 302 ha. The distance index is calculated between the twenty-five upscaled farms and the three farms from the CRAMP typology. Each farm is grouped with the farm type which minimizes the distance index (figure 12).

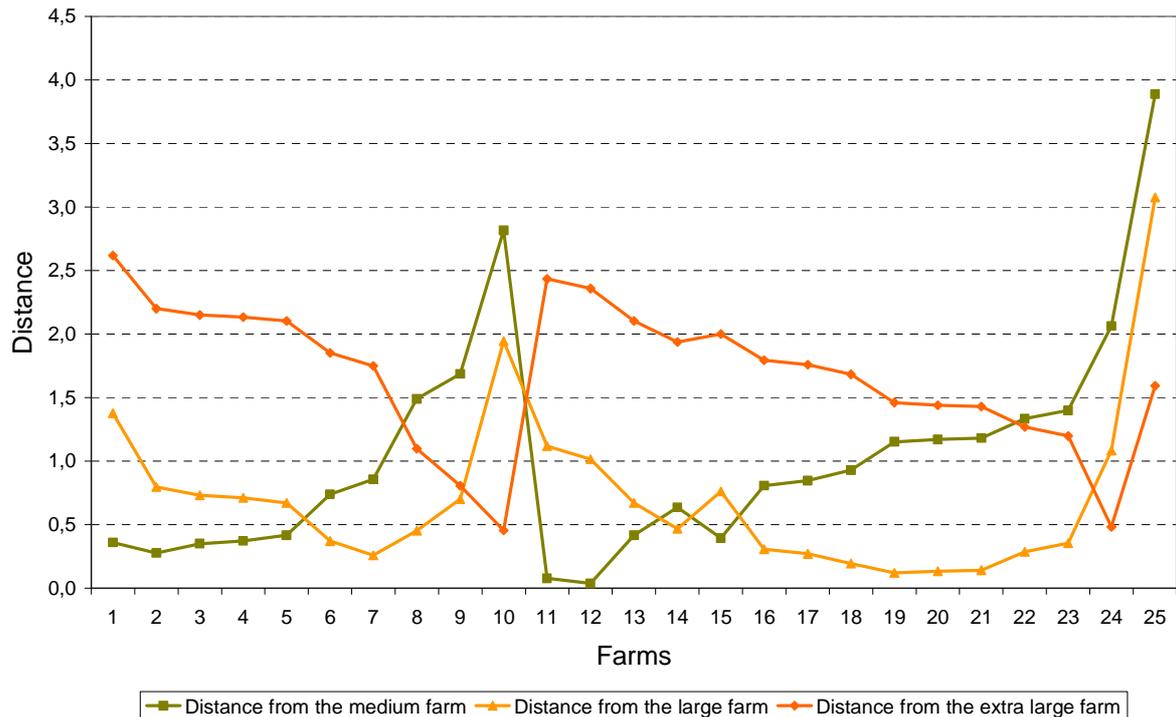


Figure 12: Evolution of the values of the distance indexes used to classify farm agents

A distance taking into account the size of farms and their labour input per hectare is calculated between each farm type selected during the upscaling procedure and the three farm types designed by the CRAMP for the Lauragais region. Each upscaled farm is connected with the CRAMP type that minimizes the distance.

5.2.2 Results of the classification

This classification discriminates the sample of farms into three classes. The first two classes (medium and large farms) are equally represented, i.e. 45% of the farms each. The third class is composed of extra large farms and is significantly smaller with only 10% of the farms.

The average UAA and the average family labour input per hectare of each class are closely related to values exhibited in the CRAMP typology. On the contrary, two results are significantly different from the CRAMP typology. The net worth per hectare is significantly higher for the medium farms, i.e. approximately 4 000 €/ha, than for the large and extra large farms, i.e. approximately 2 500 €/ha, whereas in the CRAMP typology, it is slightly increasing with the size of farms, i.e. respectively 938 €/ha, 1 044 €/ha and 1 138 €/ha. In addition, the share of irrigated land is also significantly different (table 20), what can be due to the representativeness of the initial FADN dataset that fits the Midi-Pyrénées region and not the real-world area. The share of irrigated land both for the medium and for the large farms are half the share of irrigated land for medium and large CRAMP farms, i.e. 21% and 16% instead of respectively 38% and 34%. Nevertheless the trend is satisfying since it is

decreasing with the size of farms since non-irrigating farms compensate lower yields with larger UAAs.

Table 20: Comparison of the share of irrigated land between the CRAMP farms and the farm agents

	Medium size farms	Large size farms	Extra large size farms
CRAMP farms	38%	34%	41%
Upscaling farms	21%	16%	2%

Source: CRAMP

The medium farm class is more labour intensive, i.e. 2.55 AWU/100 ha of family labour, and has a larger share of irrigated land, i.e. 21%. Irrigating farms also have a larger share of owned land. The average value of the ratios, e.g. share of owned land, level of family labour per hectare, decreases with farm size, except for the net worth per hectare that is almost the same for the large and the extra large farms, i.e. approximately 2 500 €/ha. Results and characteristics of the three classes are presented in table 21.

Table 21: Characteristics of the farm classes

Group		A	B	C
Name		Medium farms	Large farms	Extra large farms
Number of farms		259 (46%)	248 (44%)	55 (10%)
UAA (ha)	<i>Minimum</i>	33	75	302
	<i>Average</i>	43	104	348
	<i>Maximum</i>	79	137	416
Family labour per 100 hectare (AWU/ha)	<i>Minimum</i>	1.79	0.68	0.47
	<i>Average</i>	2.55	1.01	0.66
	<i>Maximum</i>	3.03	1.47	0.72
Share of irrigated land (%)	<i>Minimum</i>	0%	0%	0%
	<i>Average</i>	21%	16%	2%
	<i>Maximum</i>	90%	82%	4%
Share of owned land (%)	<i>Minimum</i>	0%	0%	0%
	<i>Average</i>	60%	24%	0%
	<i>Maximum</i>	100%	82%	0%
Net worth per hectare (€/ha)	<i>Minimum</i>	1666	912	2170
	<i>Average</i>	3978	2431	2552
	<i>Maximum</i>	6095	8441	2818

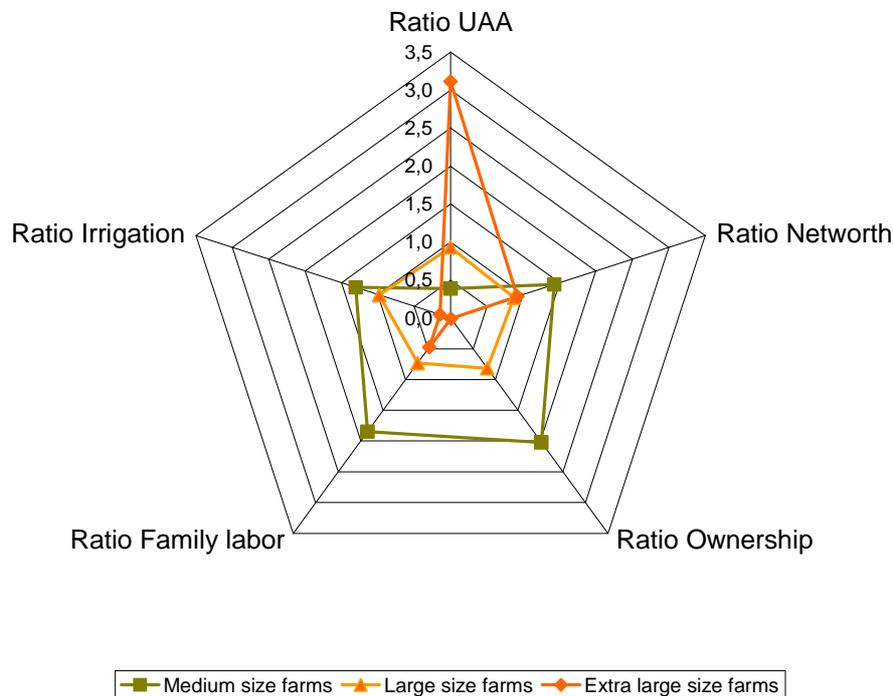
Source: RICA (2008)

Results of the classification exhibit three heterogeneous structural classes. The characteristics of the average farms from each class are exhibited on figure 13. The five structural indicators, e.g. UAA, family labour per hectare, share of irrigated land, share of owned land and net worth per hectare, are beforehand presented using ratios (table 22).

Table 22: Definitions of the ratios used in the radars in order to describe farm classes

Name of the ratio	Definition of the ratio	Unit of the numerator	Minimum value	Maximum value
UAA ratio	$\frac{FarmUAA}{AverageFarmUAA}$	ha	0.29	3.72
Family labour ratio	$\frac{FamilyLabourperHectare}{AverageFamilyLabourperHectare}$	AWU/ha	0.34	2.19
Irrigation ratio	$\frac{\%IrrigatedLand}{Average\%IrrigatedLand}$	%	0.00	5.62
Ownership ratio	$\frac{\%OwnedLand}{Average\%OwnedLand}$	%	0.00	3.35
Net worth ratio	$\frac{NetworthperHectare}{AverageNetworthperHectare}$	€/ha	0.33	3.03

On figure 13, the characteristics of three contrasting groups extracted from the CRAMP classification are presented. Medium size farms are characterized by a higher family labour input per hectare, a higher share of irrigated land, a higher share of owned land and a higher net worth per hectare. Then, every indicator decreases with the size of farms.

**Figure 13: Characteristics of the average farms obtained in the classification**

Three classes of farms are defined using the CRAMP typology. These groups correspond to medium size farms, large size farms and extra large size farms. These three classes are heterogeneously from one to the other. Medium farms use more labour and capital per hectare and also tend to own larger share of their land. On the contrary, extra large farms tend to use significantly less labour per hectare and own much smaller share of their land.

The classification based on the CRAMP farm types is more representative of the diversity of the farming systems of the real-world area. Moreover, they are used by extension services which get an accurate knowledge of farms in Lauragais. Nevertheless, this classification raises some questions concerning the net worth per hectare indicator which is significantly different from the values used by the CRAMP extension services. The classification of farms into three size classes is adapted to figure out the dynamics of farm structural change in periurban areas since the size is a structural indicator.

Yet, the results of the model have to be adjusted to a set of historical data, this is the calibration step, presented in the following subsection.

5.3 Calibration of AgriPoliS: adjusting data to reproduce observed trends

AgriPoliS aims at simulating farm structural change by modelling the productive behaviour of farmers and their interactions on the land market (chapter 4). Random processes distribute Farm agents' age and managerial abilities, the vintage of their equipment and the location of their farms. Given that some of the input data or global parameters might have inappropriate values, some of them are adjusted in order to mimic observed historical trends during the calibration step of AgriPoliS.

AgriPoliS is a two-step model (chapter 4) with an initialization phase resulting in the creation of the real-world area and a simulation phase during which Farm agents invest, produce, and eventually leave the farming sector. The calibration of the initialization phase is done simultaneously with the upscaling procedure, since this procedure aims at reproducing as closely as possible the regional agricultural structure. This section details the three steps implemented to calibrate the results of the simulation phase (table 23). Three indicators are used to lead the calibration:

- i) the regional crop mix of the first iteration ($t=0$) (based on the decisions of Farm agents);
- ii) the regional average labour per hectare consumed at $t=0$ (resulting from the crop mix of Farm agents);
- iii) the relative decline of farms (calibration of the farm structure dynamics)

Table 23: Characteristics of the calibration procedures

Indicator	Calibrated parameters	Methodology used	Period	Historical reference
Regional crop mix	Gross margin of crops	Sensitivity analysis	Static model	2007
Regional average labour input per hectare	Labour input per one hectare of crop (depending on farming operations)	Sensitivity analysis	First iteration	2007
Relative decline of farms	Private withdrawals	Sensitivity analysis	First eight iterations	2000-2007
	Interest rates			1988-2007
	Managerial capacities			1988-2000
	Transport costs			
	Changes in CAP payments			

5.3.1 Calibrating the share of crops in the Simuland

In AgriPoliS, Farm agents are assumed to choose crop mixes that maximize their expected household incomes. The farm model (chapter 4) and the upscaled regional farm structure (section 5.1) bring out a gap between the regional crop mix of the Simuland and of the real-world area. The regional crop mix is calibrated thanks to a sensitivity analysis carried out by varying the gross margins of crops. The resulting error is assessed thanks to an indicator of Percentage of Absolute Deviation (PAD) exposed in equation 14.

The farm model used during the simulation phase is deterministic, i.e. the expected household income is maximized without accounting for price or yield risks. Mean values for prices, yields and variable costs are extracted from Midi-Pyrénées regional references collected by INRA and ARVALIS (appendix A6). In this deterministic approach, results concerning crop mixes are sensitive to price and yield variability. In addition, the agronomic benefits from cultural associations, e.g. breaking the reproduction cycle of pests, positive impact of protein crops on the quantity of nitrogen, are not taken into account in a first approach. This methodological choice often results in the underestimation of the share of rotation-heading crops, e.g. sunflower, since these crops are cultivated for their positive impacts on the yields of the following crops and not only for their own economic results. In order to test the sensitivity to price and yield variations, the gross margins of the twenty-four crops are varied from -100€/ha to +100€/ha. Moreover, some crops are identified as “priority crops” since they occupy a large share of the agricultural area and they are more or less “traditional” in the region, i.e. durum wheat, sunflower, pea, and maize. These crops are assumed to be better handled by farmers than the other crops. Thus, the variation of their gross margin is not constrained by the 100€/ha constraint.

A PAD indicator is then used to evaluate the representativeness of the crop acreage in the Simuland. Let i be the crops, let x be the values of the virtual share of crops in the Real-world area and X be the observed values of the share of crops in the Real-world area, the PAD indicator is then calculated given the equation 14 (Hazell & Norton, 1986):

$$PAD(\%) = \frac{\sum_i |X_i - x_i|}{\sum_i X_i} * 100 \quad (14)$$

Hazell et Norton (1986) suggest that a satisfying PAD should not be larger than 15%. However, Flichman & Louhichi (2009) consider that improving a PAD is rather subjective and depends on the complexity of the model and of the objectives of modellers. In our case the PAD reaches 18%. This result is a little higher than the advised 15%. Nevertheless, it is satisfying since the typical crops from Lauragais (durum wheat and sunflower) are well represented. Moreover, non-irrigated pea with a high gross margin is over-represented due to the lack of consideration for risk (pea is very sensitive to climatic uncertainties) in the optimization problem of farm agents (table 24).

Table 24: Comparison of the share of crops in the real-world area and in the Simuland

Crops	Soft wheat	Maize	Barley	Other cereals ⁹⁷	Rape seed	Sun-flower	Soya	Pea	PAD (%)
Observed share	5%	2%	3%	53%	5%	27%	1%	4%	-
Virtual share	0%	3%	0%	53%	6%	28%	0%	10%	18%

Source: RPG (2007)

The resulting variations of the gross margins are broken down into a price effect and a yield effect (table 25). The price effect is assumed to be the same for crops cultivated on hillsides and in plains. The variability of gross margins can however be different on hillsides and in plains due to climatic risks and different soil qualities having different yield effects. The first four columns detail the values used for calculating the original gross margins (prices, yields, and variable costs) whereas the following columns present the “adjusted values” of gross margins induced by the calibration process. The column “ Δ Gross margins” indicates the modification of the original gross margin. The final values of the gross margins are shown in the column “Gross margins (Sim)”. The following four columns detail the adjusted values of yields and prices. The column “ Δ Prices” indicates the share of “ Δ Gross margins” that affects

⁹⁷ In the six simulated cantons, the other cereals category is mainly constituted by durum wheat.

prices. The column “ Δ Yields” indicates the share of “ Δ Gross margins” that impacts the yields. The yields and the prices used in the simulations are shown in the columns Prices(sim) and Yields(sim).

The main adjustments concern the gross margins of durum wheat and sunflower that have been significantly increased. These crops are traditional crops that are well handled by farmers who can easily supply their products to the well-structured regional supply chain. Sunflower is cultivated for its agronomical benefits on following crops. Thus, in order to account for these environmental benefits, it is reasonable to assume an increased value of the gross margin of sunflower. On the contrary, the gross margins of maize, pea, and rape seed have been significantly decreased. Maize and pea are sensitive to the lack of rainfalls and require irrigation to be profitable. The sensitivity to climatic risks, which our model does not account for, explains why these crops are less represented in the real-world area than in the Simuland. Finally, the approximation of the share of Terreforts and Boulbènes in the Simuland can also bias the results concerning the regional mix of crops. Results of the sensitivity analysis are shown in table 25

Table 25: Technial and economic values of calibrated data on crops used in the simulations

Soils	Crops	Original data				Adjusted data					
		Yields (t/ha)	Prices (€/t)	Variable costs (€/ha)	Gross margins (€/ha)	ΔGross margins	Gross margins(sim)	ΔPrices	Prices(sim)	ΔYields	Yields(sim)
Plains	Soft wheat	6,0	120	340	380	0	380	0	120	0	6,0
	Durum wheat	4,5	140	410	220	210	430	117	166	93	5,1
	Maize	6,5	130	504	341	0	341	0	130	0	6,5
	Barley	5,0	90	237	213	0	213	0	90	0	5,0
	Triticeous	6,0	90	250	290	0	290	0	90	0	6,0
	Sorghum	6,5	115	250	498	0	498	0	115	0	6,5
	Rape	3,0	290	416	454	-56	398	-56	271	0	3,0
	Soya	2,0	195	140	250	0	250	0	195	0	2,0
	Sunflower	2,4	250	220	380	103	483	103	293	0	2,4
	Pea	2,5	280	194	506	-63	443	-63	255	0	2,5
	Irrigated maize	11,0	130	702	728	-57	671	0	130	-57	10,6
	Irrigated sorghum	8,5	115	300	678	-90	588	0	115	-90	7,7
	Irrigated soya	3,6	195	219	483	0	483	0	195	0	3,6
	Irrigated pea	3,5	280	395	585	-77	508	-63	262	-14	3,4
Hillsides	Soft wheat	6,5	120	280	500	-64	436	0	120	-64	6,0
	Durum wheat	5,0	140	380	320	130	450	130	166	0	5,0
	Maize	5,5	130	504	211	0	211	0	130	0	5,5
	Barley	5,0	90	237	213	0	213	0	90	0	5,0
	Triticeous	6,5	90	250	335	0	335	0	90	0	6,5
	Sorghum	6,5	115	250	498	0	498	0	115	0	6,5
	Rape	3,0	290	352	518	-99	419	-56	271	-43	2,8
	Soya	2,0	195	140	250	0	250	0	195	0	2,0
	Sunflower	2,2	250	167	383	105	488	94	293	11	2,2
	Pea	2,5	280	194	506	-119	387	-63	255	-56	2,3

5.3.2 Calibrating the regional average labour input per hectare

Farm agents choose their crop mix according to a labour constraint. This constraint is crucial since i) the family labour that is not allocated to on-farm activities can generate an off-farm income by prospecting for an off-farm job on the labour market and ii) a lack of labour for on-farm activities can be overcome by hiring additional labour on the labour market. Thus, the parameters of average labour demand per hectare and per crop have to be adjusted since references do not consider management activities and other activities. Indeed, the collected data take the amount of time spent in the fields for the farming operations, e.g. tillage, fertilisation and pest treatments, irrigation, and harvesting, into account (appendix A6). Yet, farmers also spend time to other tasks such as equipment maintenance, and administrative tasks (accountancy, CAP declarations), that are also time consuming. During the calibration procedure, this extra time is assumed to be proportional to the “field time” devoted to the production activities. The sensitivity analysis consists in determining a proportionality coefficient to account for extra time that modifies the mean value of the labour demand per hectare and per crop.

The adjustment of labour demands per hectare and per crop is done comparing the resulting value of the regional labour input per hectare in the Simuland with the labour input per hectare in the real-world area. Table 26 indicates three different values for the labour input per hectare in the real-world area. The first two values (Arvalis, CRAMP) are calculated based on data provided by the 2000 FGC and the following FSS. The MSA (Mutualité Sociale Agricole⁹⁸) indicator is calculated based on the information provided by the social care contracts of farm employees. Since only partial information is provided concerning the amount of time spent by farmers for their on-farm activity, rough approximation have been made, thus explaining the significant difference between the MSA value and the two other values. Moreover Arvalis and CRAMP take the farm type into account that is a significant determinant of labour demand per hectare.

¹⁹MSA is a health care system for farm employees.

Table 26: Three estimations of the average labour per hectare in the real-world area

Source	Arvalis	CRAMP	MSA
Labour (AWU/100ha)	1,18	1,2	1,33
Comments	Only one typical farm in Lauragais	Indicator built thanks to the 2000 Farm General Census and the 2007 Farm Structure Survey	Indicator built using labour contracts with an estimation of the working time that farm achieves

The calibrated labour demand for crops (table 27) results in a labour input per hectare in the Simuland of 1.16 AWU/100ha, which is close to empirical values in table 26.

Table 27: Adjusted values of the labour input per hectare of crop

	Crops (labour input, hours/ha)	Soft wheat	Durum wheat	Maize	Barley	Triticeous	Sorghum	Rape	Soya	Sunflower	Pea
		Plain	Original	2.9	3.1	4.3	2.6	2.4	4.3	2.7	3.9
	Adjusted	16.7	17.8	24.6	14.7	13.8	24.6	15.4	22.6	22.6	14.2
Hillsides	Original	2.9	3.1	4.3	2.6	2.4	4.3	2.7	3.9	3.9	2.5
	Adjusted	16.7	17.8	24.6	14.7	13.8	24.6	15.4	22.6	22.6	14.2
Irrigated	Original	-	-	6.7	-	-	4.3	-	6.4	-	3.3
	Adjusted	-	-	38.7	-	-	31.6	-	36.7	-	18.9

Source: INRA

5.3.3 Calibrating the relative decline of farms

The indicator used in this part of the calibration is different from the previous two indicators since the exit rate of farms is a dynamic variable calculated over a period of time. In AgriPoliS, every farmland plot is occupied at the beginning of the simulations and viable farms are assumed to expand only when other farms quit the farming sector. Thus, the farm exit rate is a significant determinant of farm structural change. As a consequence, the third calibration procedure consists in adjusting the farm exit rate.

The farm exit rate is calculated between 2000 and 2007 based on the CRAMP databases. It reaches on average 3.4% per year. It is then assumed that the 2007/2014 trend of the farm exit rate in the real-world area is the same as the 2000/2007 trend. Consequently, the goal of this calibration step is to reproduce the 2000/2007 exit dynamics of farms during the first years of the simulation. Furthermore, the farm exit rate trend is not mimicked over the 25 years of the simulation in order not to constrain the model too much and let ruptures happen.

In AgriPoliS, Farm agents quit the farming sector if one of the three following events occurs (subsection 4.3.2.3):

- they run out of equity capital;
- opportunity costs of own labour, capital, and land are higher than the agricultural income expected for the next year;
- opportunity costs at the installation stage are too high (during generational changes, opportunity costs for labour are increased by 25% for the installation decision)

The calibration procedure on the exit rate parameter requires varying parameters affecting opportunity costs and equity capital. The adjusted parameters⁹⁹ are:

- the minimum withdrawals
- the interest rates (impact on the household income)
- the transport costs (impact on the household income and the opportunity costs)
- the variable costs are varied by different settings of the lower and upper border of the managerial ability (impact on the household income)

Table 28 indicates when the parameters selected above impact the equity capital.

Table 28: Financial indicators used in AgriPoliS

Indicator (end of period t)	Calculation
Equity capital	= Equity capital (t-1) + (Household income (t) – Withdrawals* (t))
Household income	= Profit (t) + Off-farm income (t)
Profit (farm income)	= Gross margin* (t) + Interest on working capital* (t) + Subsidies (t) - Rent paid (t) - Current upkeep of machinery and equipment (maintenance) (t) - Depreciation (t) - Farming overheads (t) - Transport costs* (t) - Interest paid* (t) - Wages paid (t)

Source: adapted from Happe (2004)

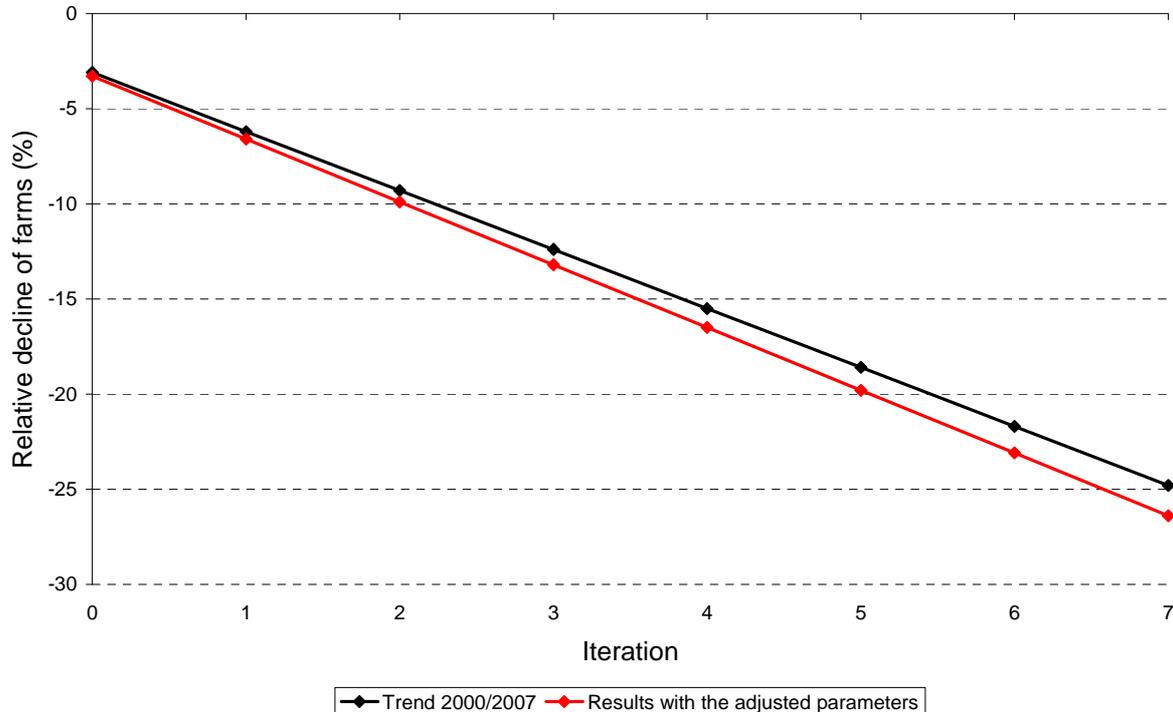
Table 29 indicates the ranges of values tested for each parameter and the incremental step used to test their impact on the relative decline of farms.

⁹⁹ Moreover, values of the average CAP payments received by farmers in the real-world area were given using ranges of values. Consequently, a sensitivity analysis was also carried on the values of the CAP payments in order to adjust them. Results of the sensitivity analysis are exhibited in appendix A7.

Table 29: Ranges of the parameter values tested for the adjustment of the value of the farm exit rate

Parameter	Minimum value	Maximum value	Step
Minimum withdrawals (€/AWU)	15 000	19 000	1 000
Interest rates			
- long term borrowed capital	3%	6%	1%
- short term borrowed capital	5%	8%	1%
- bank savings	1%	4%	1%
Transport costs	40	80	10
Managerial ability factor			
- lower border	75%	110%	5%
- upper border	85%	120%	5%

The amount of equity capital at period t is the remaining equity capital from period $t-1$ plus the household income that has not been consumed by the household at period t (table 28). The sensitivity analysis for the parameter “minimum withdrawals” is carried for values ranging from 15 000€ to 19 000€. Results show that the model is not sensitive to changes in this range of values. On the contrary the model is sensitive to the level of the interest rates and transport costs: decreasing interest rates provoke a decreasing farm exit rate. Furthermore, varying managerial abilities sometimes provoke an increasing farm exit rate and sometimes a decreasing farm exit rate¹⁰⁰. Results are exhibited in figure 14.

**Figure 14: Final value of the adjusted farm exit rate**

The calibration procedure of the farm exit rate results in the adjustment of four parameters in order to mimic the exit dynamics of farms observed in Lauragais between 2000 and 2007.

¹⁰⁰ Further explanations are detailed in chapter 6.

Finally, table 30 shows the adjusted values resulting from the calibration procedure.

Table 30: Adjusted values of the parameters selected for the calibration of the farm exit rate

Variables	Values
Household withdrawals	16 000€/AWU
Interest rates:	
- bank savings	2%
- short-term borrowed capital	5%
- long-term borrowed capital	7%
Managerial abilities	Values of the production costs
- lower border	- 85% of the production costs
- upper border	- 95% of the production costs
Transport costs	50

The next step before using the model is the validation. Results of the validation step are presented in the following subsection.

5.4 Validation of AgriPoliS: testing the behaviour of the model

Validating a model is often confused with calibrating a model, whereas a significant difference exists (Rykiel, 1996; Pontius Jr et al., 2004). Indeed, the latter consists in adjusting the results of the model to observed historical data whereas the former aims at figuring out the behaviour of a model. This step is of particular interest for ABMs since program structures of ABMs often make parameters interact with each others and generate unexpected results. This section aims at validating the use of AgriPoliS. It is built in three subsections. The first subsection highlights the differences between calibration and validation. The second subsection presents the methodology used for validating the model. In the third subsection, the results of the validation procedure are analyzed.

5.4.1 Complementarities and differences between calibration and validation

A significant difference exists between calibration and validation; which takes its origin in the difference between modelling and simulating (Caswell, 1988; Pontius Jr et al., 2004). Pontius Jr. et al. (2004) state that modelling aims at reproducing an observed phenomenon. On the contrary, simulations aim at anticipating the evolutions of a system. Moreover, such systems are, most of the time, not well documented based on statistical observations due to time-scale constraints, e.g. the growth of forests, or for practical reasons, e.g. incidents in nuclear plants. Though, Rykiel (1996) defends that it is necessary to introduce a difference between testing

modelling results (calibration) and simulating results (validation). For this author, calibration refers to comparing the results of a model to a set of empirical data¹⁰¹ whereas validation results in a discussion of the likelihood of the simulated results¹⁰². Complementarities of validation and calibration are of particular interest when analyzing results. Their variability can be broken down into two components: the “signal” and the “noise”. The signal is a fixed component that takes the same value for every sample whereas the noise is a random component that varies with the characteristics of the sample (Pontius Jr et al., 2004). Moreover, the authors state that modellers tend to make their models reproduce empirical results without distinguishing the signal from the noise, what can be detrimental to this analysis of the results.

Since scenarios can be simulated by modifying both input data and values of parameters, it is impossible to compare the results of simulations to empirical data. Understanding how the signal of AgriPoliS reacts to extreme values of parameters and input data is then required before analyzing results. Indeed, some unexpected interactions may occur among variables and may bias the results of the simulations since, in AgriPoliS, both the amount of input data and the number of interactions are huge.

5.4.2 Methodology for the validation of AgriPoliS

Validating a model aims at figuring out the behaviour of a model and discussing its capacity to give general results (Goodall, 1972). There is not one admitted validation procedure among the community of modellers but it should be designed in correlation with the objectives of the modeller (Rykiel, 1996) and all sources of errors must be censored (Pontius Jr et al., 2004). Kleijnen et al. (2003) suggest to use the method of design of experiment (DoE) to ABMs to make sensitivity analyses. It consists in quantifying systematically the impact of input parameters on the results of a model (Kleijnen, 1999). Basically, the values of parameters are varied one after the other.

Let consider a model with k parameters: 2^k different combinations of two parameters exist. Testing each combination would require a large amount of time. As a consequence, sensitivity

¹⁰¹ Rykiel (1996) defines calibrating as “the estimation and adjustment of the model parameters and constraints to improve the agreement between model output and a data set”

¹⁰² Rykiel (1996) defines validating as “a demonstration that a model within its domain of applicability possesses a satisfactory range of accuracy consistent with the intended application of the model”

analysis is often carried more or less randomly. For this reason, Sanchez and Lucas (2002) or Kleijnen et al. (2003) defend that DoE, consisting in varying only one parameter at a time, cannot exhibit the numerous interactions among the numerous parameters of ABMs. Kleijnen et Van Groenendaal (1992) suggest therefore to combine the method of DoE with that of metamodelling¹⁰³ in order to highlight the impact of interactions on the results of models.

Happe (2004) used this method. She tested the impact of five parameters of AgriPoliS (the technological change parameter, interest rates, managerial abilities, the adjusting factor of land shadow price and the size of the region) on the value of the economic land rent. She showed, on the one hand that the economic land rent is sensitive to the variation of the technological change parameter as well as the interest rates. On the other hand she also showed that the value of the economic land rent is not sensitive to variations of the adjusting factor of land shadow price and to the size of the region. Based on Happe (2004), the validation of AgriPoliS to our real-world area is done by testing five parameters: managerial abilities, interest rates, the size of the region, transport costs and the share of equity capital in the funding of investments (table 31).

- The managerial ability (MA) modifies the operational production costs of farm activities given a management factor assigned to each farm. Farm agents with low managerial abilities face higher production costs and vice versa. Since, the variation of the managerial ability is used in the next chapter, it is necessary to identify parameters interacting with the managerial abilities of Farm agents.
- Transport costs (TC) basically determine the location of activities. Farm agents have few interests in investing in farm plots that are located far away from the farmstead. Since transport costs drive farm size in the real-world (Chavas, 2001), it is necessary to test their impacts in AgriPoliS.
- Interest rates (IR) impact the investment decisions of farmers (long run loans) as well production decisions (short run loans). As a consequence, interest rates are of particular interests since they can impact the capacity to invest of farmers

¹⁰³ Metamodelling might consist in selecting an output variable and identifying its determinants using econometrical modelling. In this case, the output variable is used as the dependant variable and the parameters are used as independent variables.

- The share of equity capital (EC) necessary for paying investments also drives the investment decisions. If less equity capital is required, Farm agents may invest more and then increase their economic results
- The size of the region is also varied to exhibit whether introducing two arable soil types affect results.

Table 31: Parameters tested during the validation procedure

Parameters	Description	Low value (-)	High value (+)
MA	Heterogeneity of the managerial ability among Farm agents	90%	80%
	- Lower boundary (ma_{\min})	90%	80%
	- Upper boundary (ma_{\max})	90%	100%
IR	Interest rates		
	- long term	4%	7%
	- short term	6%	9%
	- bank savings	1%	4%
SR	Size of the region (% of the original area)	10%	100%
TC	Transport costs	0	100
EC	Share of equity capital in the funding of investments	0%	60%

The impacts of these five parameters are tested on four output variables: farm exit rates, household incomes; and values of the land rents (in plains and on hillsides). The design of the experiment is presented in table 32. The values of the five parameters are varied one at a time in order to observe possible periodic trends.

Table 32: Design of experiment matrix of the validation procedure

Scenario	Value of the factors ¹⁰⁴				
	MA	IR	SR	TC	EC
1	+	+	+	+	+
2	-	+	+	+	+
3	+	-	+	+	+
4	-	-	+	+	+
5	+	+	-	+	+
6	-	+	-	+	+
7	+	-	-	+	+
8	-	-	-	+	+
9	+	+	+	-	+
10	-	+	+	-	+
11	+	-	+	-	+
12	-	-	+	-	+
13	+	+	-	-	+
14	-	+	-	-	+
15	+	-	-	-	+
16	-	-	-	-	-
17	+	+	+	+	-
18	-	+	+	+	-
19	+	-	+	+	-
20	-	-	+	+	-
21	+	+	-	+	-
22	-	+	-	+	-
23	+	-	-	+	-
24	-	-	-	+	-
25	+	+	+	-	-
26	-	+	+	-	-
27	+	-	+	-	-
28	-	-	+	-	-
29	+	+	-	-	-
30	-	+	-	-	-
31	+	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-

5.4.3 Results of the validation step of AgriPoliS

Results shown in the following figures and tables are extracted at the end of the twenty-fifth iterations. First, the graphical analyses show different impacts of the parameters given the output variable at stake. Then, metamodelling is used to test the significance of the impact of each variable as well as the existence of interactions among the variables. Results show that interactions are not significant on the output variables analyzed.

5.4.3.1 Graphical analysis

The first graphical analysis consists in analyzing the impact of the parameters on the output variables without paying special attention to interactions. Figures 15, 16, 17 and 18 present

¹⁰⁴ MA : heterogeneity of the managerial ability, IR : interest rates, SR : size of the region : TC : transport costs, EC share of equity capital in the investments

the results for each output variable and for each experiment of the DoE. The X-coordinates correspond to the number of the experiment in table 32.

Each output variable is characterized by a periodic evolution. Farm exit rates increase and decrease every two experiments, whereas the other output variables increase and decrease every eight experiments. This periodic evolution suggests that farm exit rates are mainly driven by the values of the interest rates, whereas the other output variables are mainly driven by the values of the transport costs. Moreover infra-periodic evolutions also occur, e.g. for household incomes. Household incomes evolve regularly every two periods, suggesting that this variable is sensitive to changes in the values of interest rates. Moreover every average value is the mean of fifty observations. As the standard errors are relatively small, the analyses of simulations can rely on a limited number of experiments.

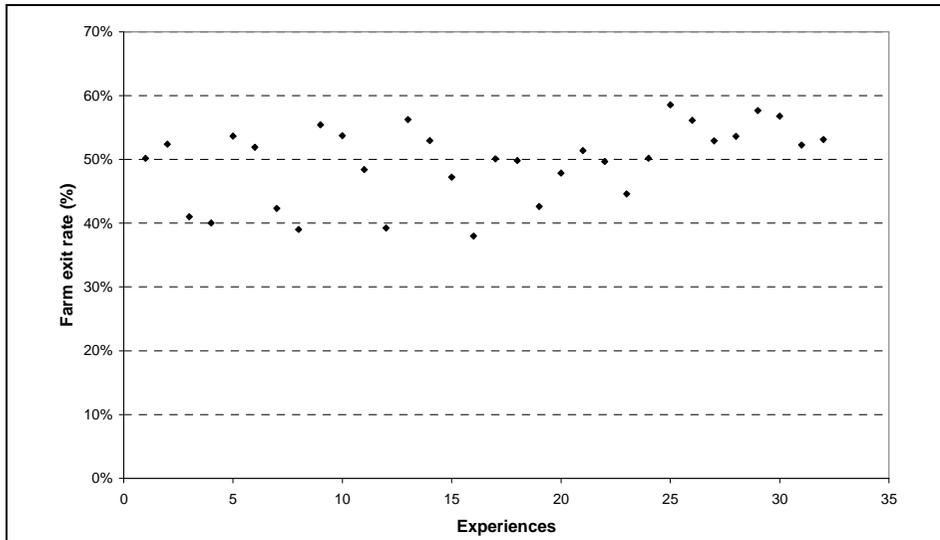


Figure 15: Evolution of the decline of farms in the validation procedure

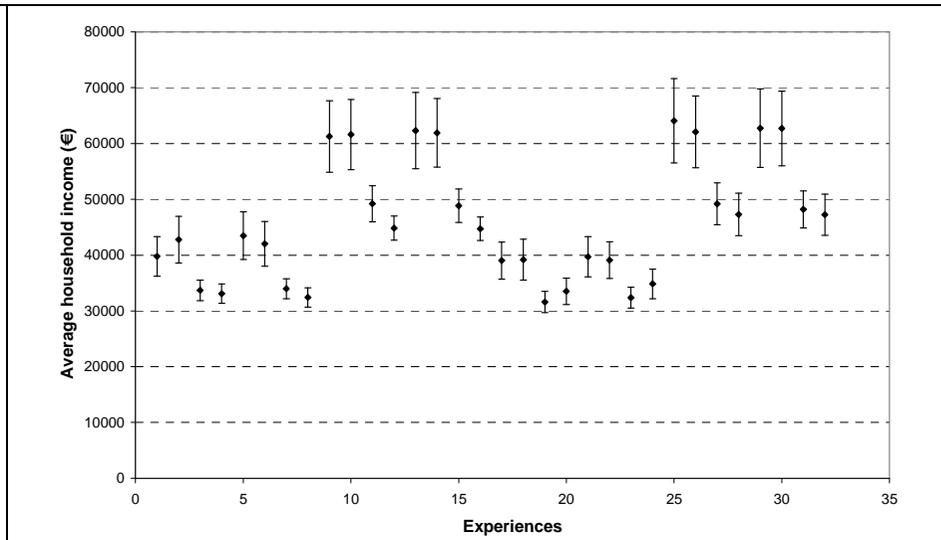


Figure 16: Evolution of the household incomes in the validation procedure

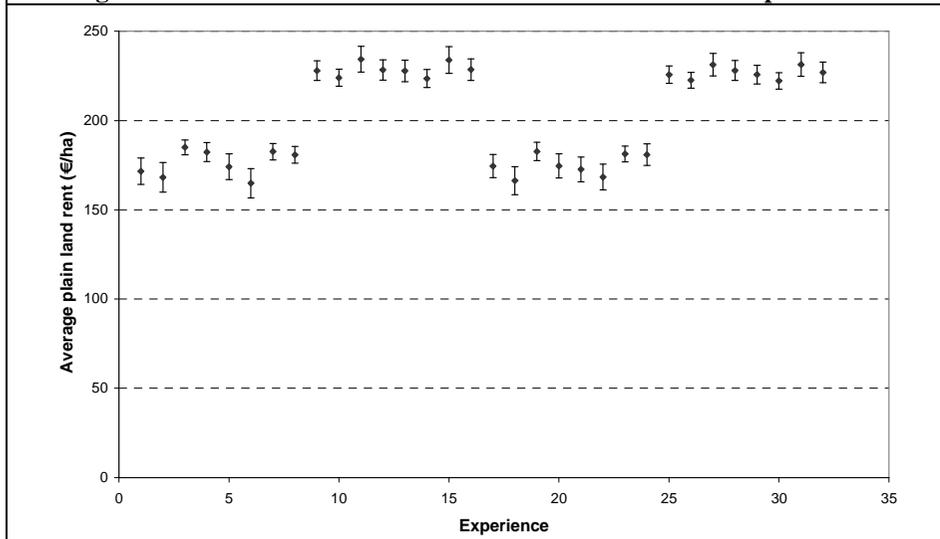


Figure 17: Evolution of the plain land rent in the validation procedure

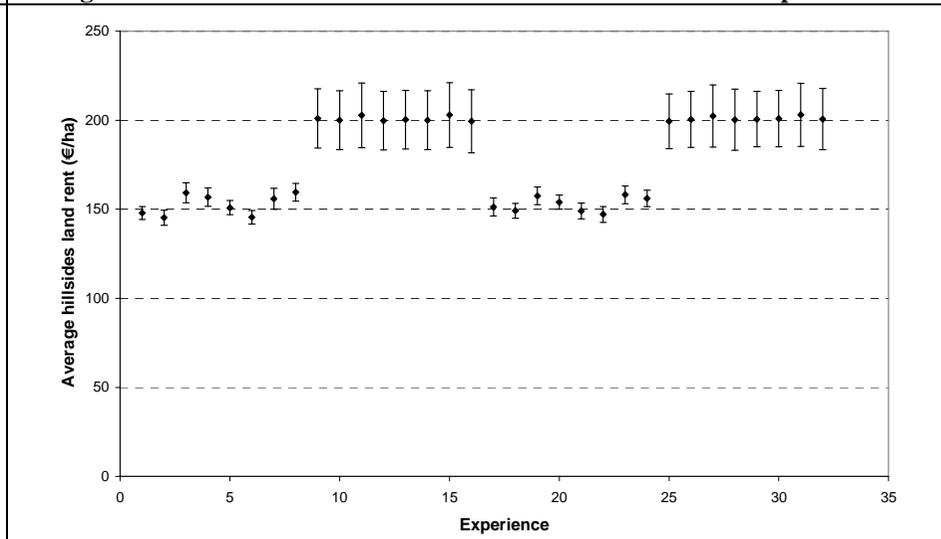


Figure 18: Evolution of the hillsides land rent in the validation procedure

In order to confirm these first graphical analyses, the average value of the output variables are calculated for the two values, i.e. (-) and (+), of the parameters. As a consequence, the effect of each parameter is isolated. Results are shown in figures 19, 20, 21 and 22.

Figure 19 suggests that every parameter determines the value of the farm exit rate. Nevertheless, a change in the value of the “region size” parameter has a much lower impact on the value of the farm exit rates than the other parameters. On the one hand, a change in the value of the heterogeneity of the managerial ability impacts softly the value of the farm exit rate. On the other hand, the value of the farm exit rate seems to be sensitive to changes in the value of the interest rates, the transport costs, and the share of equity capital. Figure 20 suggests the same results concerning the value of the household income, except that this output variable is not sensitive to the value of the share of equity capital needed to pay new investments. Finally figures 21 and 22 suggest that values of land rents (both for plains and hillsides) are mainly driven by the value of the transport costs. Especially the hillsides land rent that exhibit higher standard errors when transport costs are high.

These first graphical analyses give an overview of the relationships between some output variables of interest and five parameters selected to validate the model. Nevertheless the analysis is rather qualitative and a more accurate understanding of the impact of each parameter is required. Moreover, no clear interaction between the five parameters are figured out. In order to overcome these limits, results are now analyzed using an ordinary least-square regression, which permits distinguishing the effect of interactions between parameters from their independent effects.

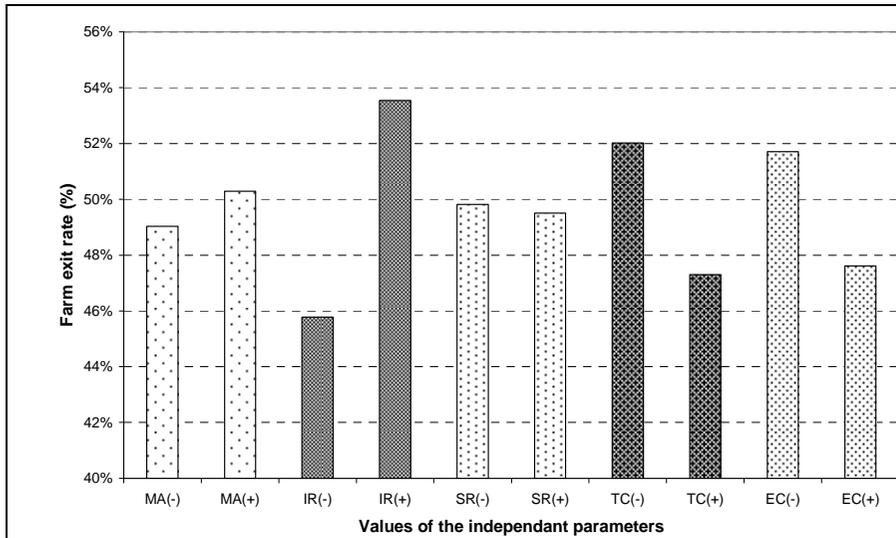


Figure 19: Relative declines of farms given the validation parameter values

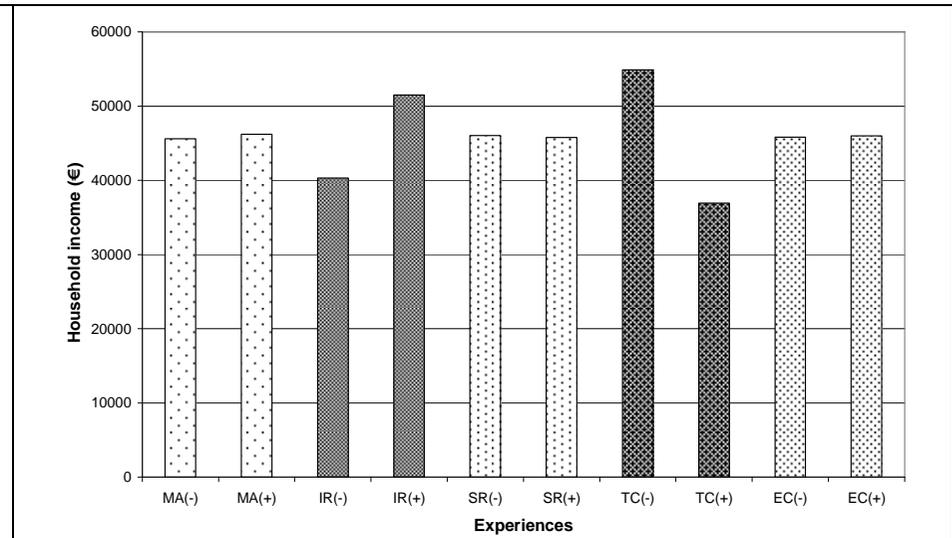


Figure 20: Evolution of household incomes given the validation parameters

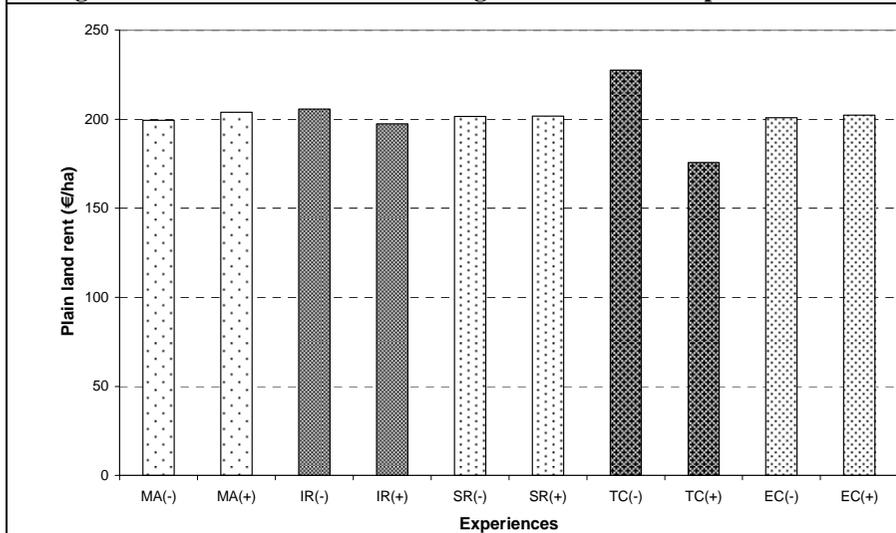


Figure 21: Evolution of plain land rents given the validation parameter values

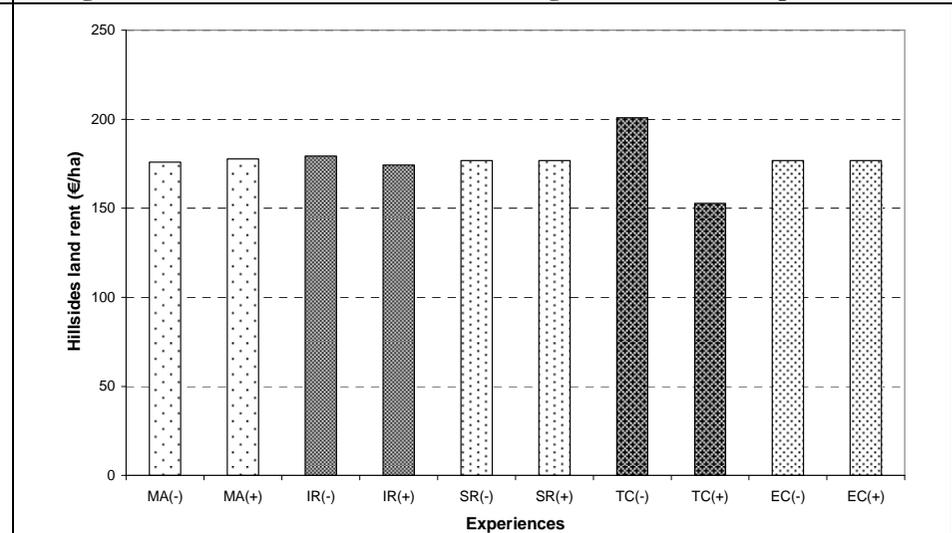


Figure 22: Evolution of hillsides land rents given the paramters

5.4.3.2 Econometric metamodelling

In order to confirm the first analysis based on graphical observations and to figure out the possible interactions between the parameters, the four output variables are tested using an ordinary least squares model (OLS). They are regressed using the five parameters used in the validation. Parameters take the value one when they get the higher (+) value. Econometric modelling also permits to create specific variables to shed light on interacting variables. Interaction variables take the value one when both variables take the higher (+) value, and zero otherwise. Y is the dependant variable, e.g. the farm exit rate, the household income, the plain land rent, the hillsides land rent, x the independent variables and i the indices characterizing each of the five independent variables, e.g. the managerial ability, the interest rates, the size of the region, the transport costs, and the share of equity capital (equation 15).

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^j \beta_i x_i + \sum_{i=1}^j \sum_{h>i}^j \beta_{ih} * x_i * x_h \quad (15)$$

First, results of the OLS regression (table 33) confirm the analyses carried out below. Interest rates, transport costs and the share of equity capital drive the farm exit rate and the household income. Results also suggest that there are significant interactions especially among the heterogeneity of the managerial ability, the transport costs and the interest rates, which could not be figured out previously. As figured out during the calibration step, the higher the transport costs and the interest rates, the higher the farm exit rate, the lower the household income and the land rents. Results also confirm that transport costs drive values of land rents since these values are based on the value of the bid, which decreases with higher transport costs. Moreover, results exhibit more drivers for plain land rents than for hillsides land rents. This is due to the fact Farm agents can grow irrigated crops in plains. Since Farm agents need make loans to buy irrigation systems to cultivate irrigated crops, interest rates and the share of equity capital required for investing impact the values of plain land rents, i.e. higher interest rates provoke decreasing investments resulting in less irrigated crops and thus lower land rents. On the other hand, irrigated crops are characterized by high operational production costs. By increasing and decreasing the operational production costs, the variable MA modifies the margin resulting from the cultivation of irrigated crops and thus the value of the plain land rent. Moreover, there exist two interactions between the interest rates and both the

transport costs and the share of equity capital that strengthen the validity of the specific investment explanation.

Table 33; Results of the OLS regression of the validation metamodel

	Farm exit rate		Household income		Plain land rent		Hillsides land rent	
	beta	t	beta	t	beta	t	beta	t
MA	0.015	1.40	1 885***	2.99	3.33***	2.88	-4.99	1.07
IR	0.044***	4.17	15 027***	23.82	-5.06***	-4.38	-6.54	-0.29
SR	0.009	0.88	711	1.13	-0.69	-0.60	-6.84	-0.56
TC	-0.041***	-3.90	-14 113***	-22.37	-48.79***	-42.20	-50.81***	-39.37
EC	-0.122***	-11.57	-2 093***	-3.32	2.06*	1.79	-5.75	0.40
MA*IR	-0.001	-0.06	-1 018*	-1;80	0.98	0.95	-12.84	-0.43
MA*SR	-0.009	-0.98	-409	-0.72	0.63	0.61	-11.91	0.49
MA*TC	-0.038***	-3.98	-2 099 ***	-3.72	0.55	0.53	13.07	0.65
MA*EC	0.043***	4.54	1 028*	1.82	0.18	0.17	12.66	0.25
IR*SR	-0.004	-0.40	-491	-0.87	0.16	0.15	-12.01	0.39
IR*TC	-0.002	-0.17	-7 463***	-13.22	-5.78***	-5.59	4.60	-7.70
IR*EC	0.073***	7.73	1 254**	2.22	-1.82*	-1.76	10.98	-1.41
SR*TC	-0.016	-1.65	-763	-1.35	-0.32	-0.31	12.53	0.12
SR*EC	0.004	0.41	-309	-0.55	1.13	1.09	12.32	-0.09
TC*EC	0.043***	4.53	2 597***	4.60	-0.79	-0.76	-12.38	0.02
Constant	0.521***	55.05	47 108***	83.47	227.45***	219.95	206.89***	198.00
R2	92.26		99.19		99.54		99.48	
p	0.000		0.000		0.000		0.000	
aic	-313		1095		288		609	
N	64		64		64		64	

Legend: * p<0,10; ** p<0,05, *** p<0,01

Source: Own design

Conclusion

In this chapter, four steps have been done in order to adapt AgriPoliS to our case study region. First, a virtual region, i.e. the Simuland, has been created by selecting twenty-five individual farms from the 2008 FADN dataset. Then the heterogeneity in soil types, e.g. “Terreforts” and “Boulbènes”, of the real-world area has been introduced. However, this is only an approximation based on yields of the farms as no database clearly connects farm structure to soil types. Second, the twenty-five farms have then been classified into three broader structural classes, e.g. medium size farms, large size farms, and extra large size farms in order to ease the analyses conducted in chapter 6. Third, results of a baseline scenario have been adjusted to observed data collected in the real-world area. The regional crop mix has been adjusted by modifying the gross margins of crops. The average regional labour input per hectare has been adjusted by modifying the labour input per hectare of crops. And the exit rate of farms has been adjusted by modifying the values of economic parameters that influence the exit rate of farms (household withdrawals, interest rates, managerial abilities, and transport costs). Finally, the model has been validated using graphical analyses and metamodelling. Results show that farm exit rates are very sensitive to the share of equity capital needed to invest. On the other hand, household incomes and plain land rental prices are sensitive to interest rates, transport costs and their interactions. Finally, hillsides land rental prices are mainly sensitive to transport costs. These results provide interesting insights concerning the parameters driving the output variables and exhibit interactions among some of them, e.g; transport costs and interest rates.

The calibrated model can now be used to simulate farm structural change in periurban areas such as Lauragais. The next chapter presents a set of simulations carried out with AgriPoliS and aiming at analyzing the long run dynamics of farm structural change in periurban areas.

Conclusion de la deuxième partie

Dans cette partie, la revue de la littérature conduite dans le quatrième chapitre a permis de sélectionner AgriPoliS, un système multi-agents, comme outil de simulation adapté à l'analyse du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines. Développé par une équipe de l'IAMO, AgriPoliS est destiné à modéliser le changement structurel des exploitations agricoles. Il couple un modèle multi-agents, intégrant une représentation stylisée de l'espace, avec un modèle de décision de production et d'investissement, qui sert de règle de décision aux agents. Bien que le modèle de décision soit assez éloigné du modèle de ménage initialement préconisé dans le deuxième chapitre, AgriPoliS peut néanmoins être utilisé pour mener une analyse à long terme (vingt-cinq ans). AgriPoliS se caractérise de plus par l'emprunt de quelques éléments aux modèles de ménage : existence d'opportunités d'emploi non-agricole avec une possible allocation de la main d'œuvre familiale au marché de l'emploi non-agricole. La décision de sortie des agents en partie provoquée par l'estimation des coûts d'opportunité à maintenir leur activité agricole.

Ce modèle a ensuite été adapté à notre zone de recherche constituée de six cantons du Lauragais, une région agricole spécialisée dans les grandes cultures et soumise à l'influence urbaine de la métropole toulousaine. L'adaptation d'AgriPoliS a été réalisée en quatre étapes. Dans un premier temps, vingt-cinq exploitations du RICA ont été sélectionnées et leur représentativité a été pondérée grâce à une procédure automatisée d'upscaling qui permet d'ajuster la capacité productive de la zone simulée (real-world area) à la zone virtuelle (Simuland). Dans un deuxième temps, les vingt-cinq exploitations sélectionnées ont été classées structurelles selon des critères de taille et de main d'œuvre employée par hectare en trois catégories utilisées par la chambre régionale d'agriculture de Midi-Pyrénées. Trois classes ont été identifiées (exploitations de moyenne, grande et très grande taille) Dans un troisième temps, le modèle a été calibré en ajustant i) la sole régionale grâce à une analyse de sensibilité sur les marges brutes des cultures, ii) la demande régionale moyenne en main

d'œuvre par hectare grâce à une analyse de sensibilité sur les demandes en main d'œuvre des cultures et iii) le taux de sortie des exploitations du système grâce à des analyses de sensibilité sur les valeurs des paramètres consommations privées, taux d'intérêts, coûts de production et coûts de transport. Finalement, le modèle a été validé selon la méthode utilisée par Happe (2004) avec pour objectif de connaître le comportement du modèle lors de variations extrêmes des paramètres. AgripoliS est maintenant prêt à l'emploi et les simulations du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines peuvent commencer.

PART 3

**THE STRUCTURAL ADJUSTMENT OF PERIURBAN CASH-
CROP FARMS IN LAURAGAIS**

Introduction of the third part

In periurban areas, some farmers make their activity evolve given new opportunities and constraints, e.g. income diversification, increases in land prices, whereas some others keep up their agricultural activity without modifying their farming system. Some farmers also decide to leave the agricultural sector (chapter 1). Each of these adaptations induces different structural change dynamics, that is to say changes in the on-farm availability of factors (chapter 2). In our case, periurban farmers have to adapt to different intensities of urban sprawl given their location from city centres and the initial structure of their farms (chapter 3).

The analysis of structural change dynamics is done using the agent-based model (ABM) AgriPoliS (chapter 4). In chapter 5, AgriPoliS was adapted to the case study region of Lauragais. In chapter 6, different scenarios are simulated considering an increasing intensity of urban sprawl. It is assumed that a 10% increase in operational production costs corresponds to a marginal change in the intensity of sprawl, following results presented by Nehring et al. (2006). This methodological choice is probably to induce higher than real-world impacts of urban sprawl on farm structures, what can make trends be exacerbated. Moreover, the sensitivity of farms to sprawl and their adaptation capacities are examined using the structural classes elaborated in chapter 5. Nevertheless some other aspects of sprawl, e.g. land speculation and opportunities to diversify the activity, are not taken into account given the characteristics of the current version of AgriPoliS. In order to overcome these limits, chapter 7 proposes some modifications of the model. First, new landscapes could be introduced to model specifically urban areas. Second, an agent modelling real-world non-farming agents could be introduced and a decision rule could be designed to model the growth of urban areas. Third, the decision rule of Farm agents could be modified to integer speculative decisions. Fourth, non-professional farms could be introduced since they impact structural dynamics of other farms.

The objectives of this third part are first to identify the structural dynamics of periurban cash-crop farms. Second, given the accumulated knowledge about the model AgriPoliS, propositions are designed to make AgriPoliS model urban sprawl more specifically in order to overcome its limits. This part is thus divided into two chapters. Chapter 6 presents the results of the simulations of the structural change of cash-crop periurban farms in Lauragais. Then, chapter 7 proposes a set of modifications designed to make AgriPoliS model the specificities of farm structural change in periurban areas.

Chapter 6

Cash-crop farm structural change in Lauragais: a prospective analysis

Introduction

Assessing farm structural change requires answering to questions such as “Who produces?”, “What is produced?”, “How is it produced?”, or even “Where is it produced?” (Boehlje, 1992; Goddard et al., 1993; 1997). In our case, the location of production units is a key issue since farm structural change in periurban areas is driven by a set of drivers whose effects are spatially distributed given the distance of farms from city centres (chapitre 1). Indeed, land prices, urban influenced roads, e.g. roads with roundabouts that disrupt the traffic of machineries such as harvesters, as well as opportunities provided by urban markets, decline with increasing distances to city centres. This chapter examines results of simulations of the structural change of cash-crop farms in Lauragais. Every periurban constraints and opportunities are not simulated due to the current structure of the model. Special interest is paid to structural changes induced by the increasing operational production costs characterizing periurban areas.

The objectives of this chapter are to highlight farm structural change dynamics of cash-crop periurban farms in Lauragais. The first section details the methodological choices made in order to design scenarios and presents the results of the simulations. The second section

examines the results and provides explanations of the different dynamics of structural change observed in the simulations focusing on the evolutions of cumulated farm exit rates. The third section discusses the results obtained with AgriPoliS comparing them with the econometric results of chapter 3.

6.1 Methodology used for simulating periurban farm structural change

This section details the design of experiment (Doe) used to simulate cash-crop farm structural change in Lauragais. Doe consists in simulating four scenarios. First, scenarios are described. Details concerning technical issues for parameterizing scenarios in AgriPoliS are provided. Second, results are analyzed in order to identify the causes of farm exits. Third results are discussed.

6.1.1 Scenarios for assessing the impact of sprawl

Scenarios consist in varying the intensity of sprawl in order to highlight whether different farm structural change dynamics emerge in periurban areas. A proxy is identified since the current structure of AgriPoliS does not permit to parameter directly the intensity of sprawl. Since results from Nehring et al. (2006) show that variable production costs of urban-influenced cash-crop farms increase by 10% compared to rural-influenced farms, variable production costs are modified in the simulations.

Fixed production costs and variable production costs characterize short run analyses. In short run analyses, some factors can be considered as fixed whereas others vary given the amount of production. Thus, variable production costs as understood by Nehring et al. (2006), namely transport costs, pesticide and fertilizer costs, are similar to operational production costs from long run analyses, whereas fixed production costs tend to be close from structural production costs. This distinction is made in order to differentiate the short term analysis carried by Nehring et al. (2006) from our long run analysis.

Four scenarios are elaborated. Scenario “Reference” consists in maintaining the current trend. In our case, parameterizing scenario “Reference” is done using the values of the parameters identified during the calibration step (chapter 5). In this scenario operational production costs are not modified. In scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2”, the intensity of sprawl is increased.

It is assumed that each increase of the intensity of sprawl corresponds to an increase of 10% of the operational production costs. Thus, operational production costs are increased by 10% in “Sprawl 1”.and by 20% in “Sprawl 2”. Finally, a scenario “No sprawl” is simulated. In this scenario, the intensity of sprawl is decreased, that is to say operational production costs are decreased by 10%. This situation is strictly hypothetical since sprawl is irreversible. This scenario can nevertheless result in exacerbating some trends and could ease analyses.

Naturally, increasing and decreasing operational production costs could be driven by other phenomena than sprawl. Moreover, the current structure of AgriPoliS does not permit to simulate all the factors affecting farm structural change in periurban areas, e.g. speculation on land prices, land retainments, and opportunities from urban markets. Nevertheless, varying parameters one at a time eases the implementation of a rigourous analysis since all the phenomena observed in the simulations result from the variation of operational production costs. It would not be the case if several parameters were varied simultaneously. Given the current structure of the model, one has to consider that modelled farms i) cultivate land that cannot be sold for urban projects, i.e. they are located in agricultural areas, ii) are affected by constraints that make operational production costs increase, e.g. urban-influenced roads that constrain access to plots or constraints concerning the use of fertilizers and pesticides.

6.1.2 Parctical considerations

Parameter “managerial ability” is used to modify the values of the operational production costs of Farm agents (appendix A5). AgriPoliS is also characterized by random processes aiming at distributing individual characteristics, e.g. age, vintage of assets, of Farm agents that are not available in the FADN database used to create Farm agents (chapter 5). In order to take these random processes into account in the analyses, each scenario is replicated ten times. Results are actually the average value of the ten values of each output variable. Ten replications may seem not enough. Nevertheless, standard errors are low¹⁰⁵. Ten replications is also the standard used by the designers of AgriPoliS. The design of experiment is summed up in table 34.

¹⁰⁵ Results show little standard-errors. Moreover it is not possible to make mean-tests since we do not have the 30 necessary observations.

Table 34: Design of experiment for simulating farm structural change

Scenarios	Modification of the operational production costs (%)	Number of replications
« No sprawl »	-10%	10
« Reference »	0%	10
« Sprawl 1 »	10%	10
« Sprawl 2 »	20%	10

6.1.3 Description of results

In the following analysis, evolutions of the cumulated farm exit rate are explained. Special attention is paid to this indicator since Farm agents can only grow in size as some others Farm agents leave the sector: the higher the number of Farm agents leaving the sector, the more available the land for other Farm agents to expand. Consequently, this is a pertinent indicator for evaluating changes in the overall sector. Results are exhibited in figure 23.

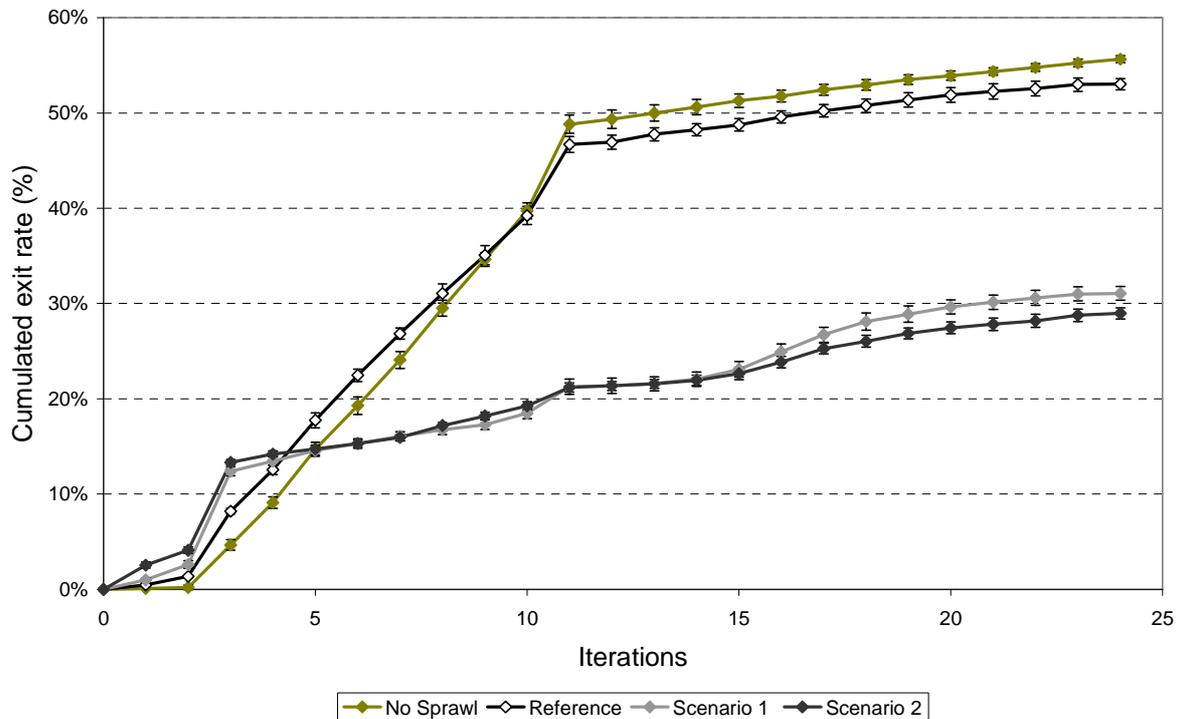


Figure 23: Evolution of cumulated farm exit rates during the simulations in the four scenarios

Graphs show the evolution of cumulated farm exit rates in the four scenarios. Slopes thus correspond to farm exit speeds.

Four noticeable evolutions are observed.

- 1) Farm exit rates increase during iteration 3. Moreover, the higher the operational production costs, the higher the farm exit rate: +9% in scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2”, +7% in scenario “Reference” and +5% in scenario “No sprawl”.

- 2) During iteration 3 a trend breakdown strikingly slows down farm exits in scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2”, with farm exit rates falling respectively down to 1%. Nevertheless, until iteration 4, cumulated farm exit rates in scenarios “No sprawl” (9%) and “Reference” (13%) are lower than those in scenarios “Sprawl 1” (13%) and “Sprawl 2” (14%).
- 3) Since iteration 4, cumulated farm exit rates in scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2” increase slowly until the end of simulations. A reversal in trends makes the cumulated farm exit rate of scenario “Sprawl 1” be higher than the one of scenario “Sprawl 2” during iteration 15.
- 4) Cumulated farm exit rates go on increasing by approximately 5% per iteration during scenarios “No sprawl” and “Reference” until iteration 11. A reversal in trends also appears in iteration 10, i.e; the cumulated farm exit rate in scenario “No sprawl” is then higher than the one of scenario “Reference”.

In the following section, results are analyzed in order to identify the causes of these exit dynamics.

6.2 Identification of the drivers of Farm agents' exit rates

Farm exit rates are correlated to increases in operational production costs until iteration 4. The analysis carried in this section aims at identifying drivers that make farm exit rates evolve as described in figure 23. The first section identifies the change in agricultural policy as the cause of the speed up of farm exits in iteration 3. The second section shows that the trend breakdown happening during iteration 4 for scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2” is due to a change in crop mixes. The third section examines the trend reversals of cumulated farm exit rates in scenarios “No sprawl” and “Reference”, as well as those in scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2”.

6.2.1 A farm exit rate speeding up due to a decrease in subsidies

The speed up of farm exits observed in iteration 3 could be explained by a change in the agricultural policy happening during iterations 2 and 3. Indeed, reforms from the CAP health check, i.e. a complete decoupling of subsidies, are introduced between iterations 2 and 3. In

the simulations, this reform provokes a decrease of the values of subsidies received by Farm agents since the total agricultural area remains unchanged in the same time (figure 24).

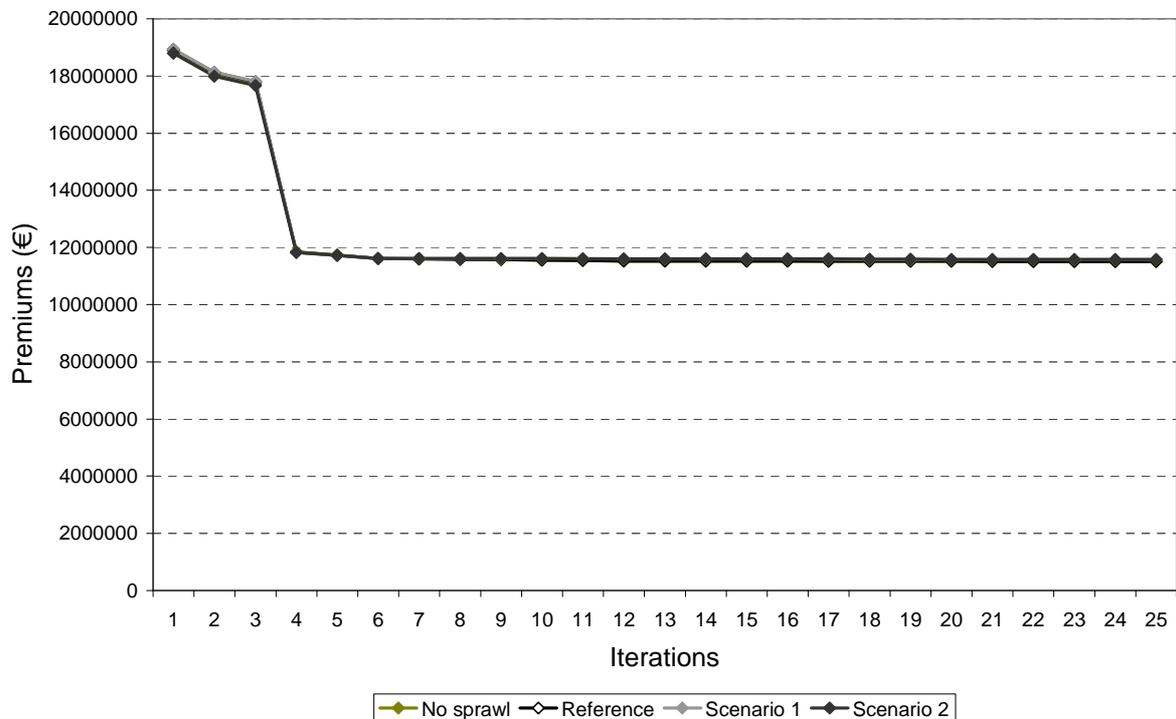


Figure 24: Total values of subsidies received by Farm agents in the four scenarios

Other things being equal, a decrease in subsidies received by Farm agents make their household incomes decrease, what can make farm exit decisions increase since opportunity costs could then be uncovered (equation 9). In order to test this assumption, complementary simulations without the policy change are made. In these simulations, farm exits are constant during iterations 2 and 3 (table 35).

Table 35: Influence of the policy change on farm exit rates in the four scenarios in iterations 2 and 3

Scenario	"No sprawl"	"Reference"	"Sprawl 1"	"Sprawl 2"
Scenarios with policy change	0%	-4%	-1%	-7%
Scenarios without policy change	0%	0%	-1%	-1%

6.2.2 Modification of investment and production decisions

The second singularity is a severe slow down of farm farm exits in iteration 3 in scenarios "Sprawl 1" and "Sprawl 2". Whereas farm exit rates are constant in scenarios "No sprawl" and "Reference" between iterations 2 and 11, i.e. approximately 5%, those in scenarios "Sprawl 1" and "Sprawl 2" fall down to 1% and 2% after iteration 3. This sudden collapse

provokes a trend breakdown with the cumulated farm exit rates of scenarios “No sprawl” and “Reference” higher than those “Sprawl 1” and “Sprawl 2” (figure 23). The evolution of crop mixes and the amount of family labour allocated oof-farm could drive this change.

6.2.2.1 Selection of lower labour demand crop mixes with increasing operational costs ...

At the beginning of iterations, each Farm agent figures out the crop mix that makes him maximize his household income. This decision is taken under constraint of the availability of land and labour. A rotational constraint for crops is also introduced. Finally, a liquidity constraint is also taken into account (chapter 4).

Beforehand, one can notice that the regional agricultural area is constant while the number of Farm agents decreases. The average size of farms thus increases in every scenario. Since the higher the operational production costs the lower the number of farm exits, the average size of farms increases with decreasing operational production costs (figure 25).

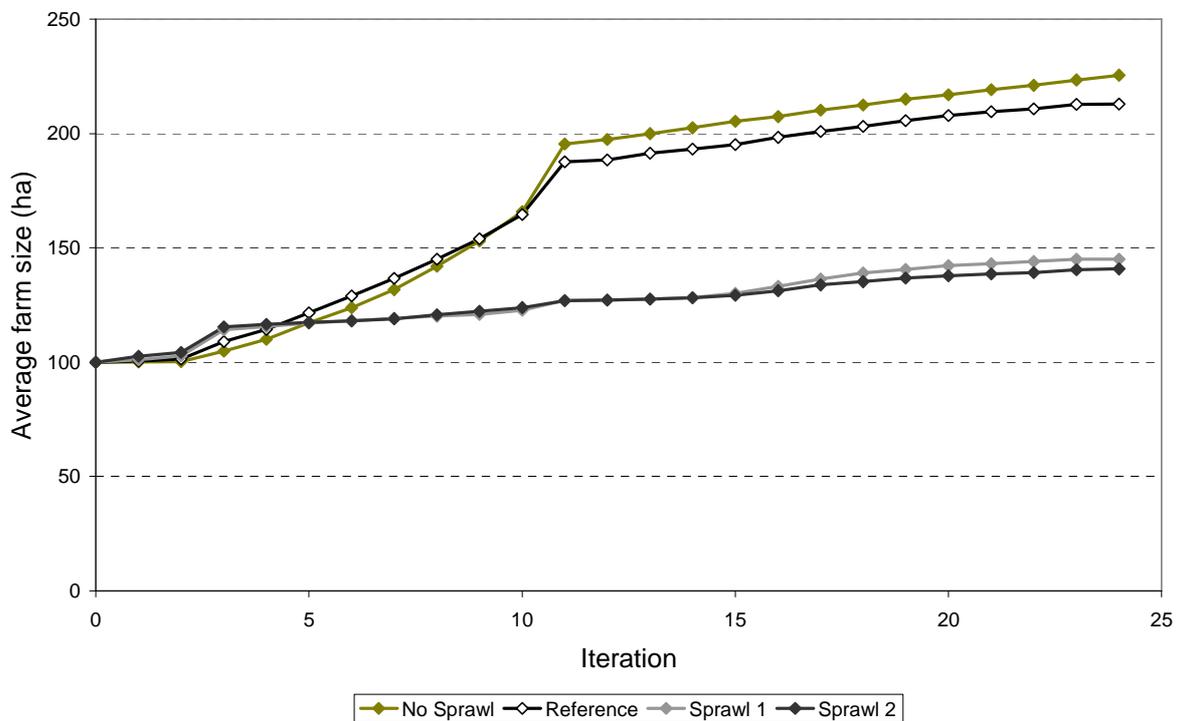


Figure 25: Farm size growth during the simulations in the four scenarios

Three noticeable trends affect the evolution of crop mixes (figure 26). First, the relative share of crops in the initial crop mixes (itération 0) does not evolve significantly, except for irrigated crop mixes:

- the total irrigated area decreases as operational costs increase, i.e. -9% in scenario “Sprawl 1”; -48% in scenario “Sprawl 2” relatively to the total irrigated area in scenario “Reference”.
- the total share of irrigated crops is characterized by a substitution of irrigated maize by irrigated sorghum in scenario “Sprawl 1” and “Sprawl 2”.

Second, an adjustment of crop mixes systematically takes place between iterations 2 and 3. Finally, in every scenario the total irrigated area decreases slowly and irrigated crops are substituted by non-irrigated crops, except in scenario “No sprawl”

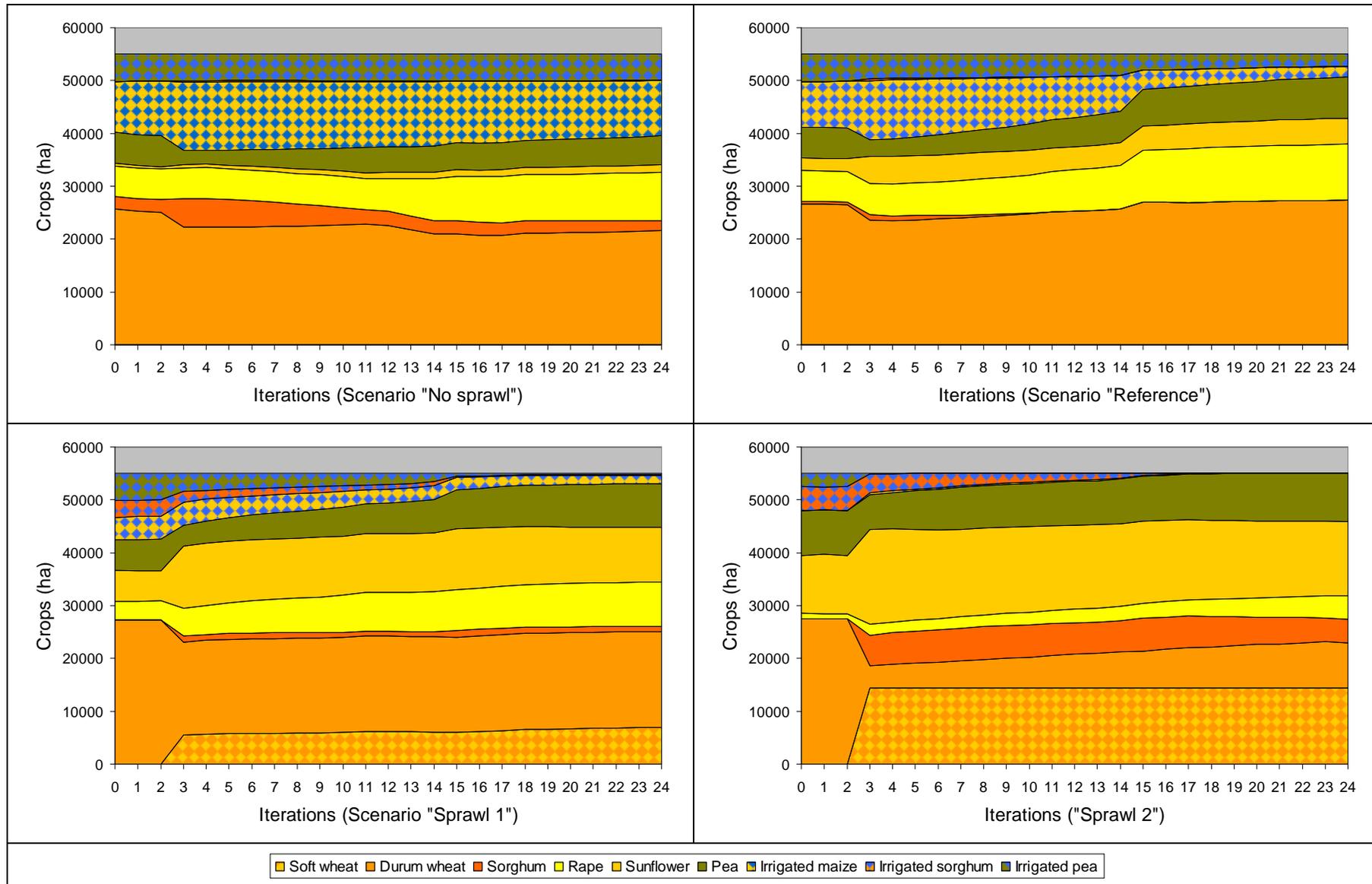


Figure 26: Evolution of the regional crop mix during the simulations in the four scenarios

The evolution of crop gross margins could explain the evolution of the initial crop mix under constraint of the resource of land and labour, taking into account rotational constraints (table 36).

Table 36: Crop gross margins in the four scenarios¹⁰⁶

Crops	Additional premium (€/ha)	Labour demand (h/ha)	Gross margins in the scenarios					
			“No sprawl”	“Reference”	“Sprawl 1”	“Sprawl 2”		
Plain crops	Irrigated maize	30	38,7	776	706	636	566	
	Irrigated sorghum	30	31,6	633	603	573	543	
	Irrigated pea	70	18,9	567	528	488	449	
	Sorghum	0	24,6	535	510	485	460	
	Sunflower	0	22,6	516	494	472	450	
	Irrigated soya	30	36,7	516	494	472	450	
	Pea	40	14,2	472	453	433	414	
	Durum wheat	80	17,8	492	451	410	369	
	Rape	0	15,4	460	419	377	336	
	Soft wheat	0	16,7	431	397	363	329	
	Maize	0	24,6	417	366	316	265	
	Triticeous	00	13,8	328	303	278	253	
	Soya	0	22,6	271	257	243	229	
	Barley	0	14,7	249	225	201	177	
	Hillside crops	Sorghum	0	24,6	535	510	485	460
		Sunflower	0	22,6	513	496	480	463
Durum wheat		80	17,8	507	469	431	393	
Soft wheat		0	16,7	478	450	422	394	
Rape		0	15,4	472	437	401	366	
Pea		40	14,2	416	397	377	358	
Triticeous		0	13,8	373	348	323	298	
Soya		0	22,6	271	257	243	229	
Maize		0	24,6	287	236	186	135	
Barley	0	14,7	249	225	201	177		

In scenarios “No sprawl” and “Reference”, irrigated maize is chosen preferentially since this is the crop with the highest gross margin; even if the labour demand is higher (extra labour demand is covered hired labour). The protein crop additional premium of 40€/ha and the lower labour of pea, i.e; pea labour demand per hectare being lower than the one of sorghum of 12,7 h/ha, make the rest of the regional irrigated crop mix be composed of irrigated pea. Other plain crops are pea, rape and durum wheat. Once again the comparisons of crop gross margins and crop labour demand explain Farm agents’ production decisions. Except sorghum

¹⁰⁶ Crops cultivated during the iteration 0 are highlighted in yellow.

and sunflower, characterized by relatively high labour demand, cultivated crops are those with the highest gross margins, taking into account the additional premiums, i.e; pea, durum wheat, and rape. Production decisions for hillside crops are also driven by crop gross margins and crop labour demand. Moreover, the existence of rotational constraints impedes the selection of soft wheat due to the preference of durum wheat. The assumption that gross margins drive the production decisions of Farm agents is thus confirmed.

The evolution of the values of crop subsidies occurring between iterations 2 and 3 modifies the hierarchy of gross margins, i.e. subsidies are included in gross margins, could explain the sudden adjustments of crop mixes (table 37).

Table 37: Evolution of the values of subsidies during the policy reform

Crops	Values of subsidies until iteration 2	Values of subsidies since iteration 3
Non-irrigated crops	Decoupled subsidy 225€/ha Coupled subsidy 60€/ha	Total decoupling
Irrigated crops	Decoupled subsidy 225 €/ha Coupled subsidy 90€/ha	
Soft wheat additional premium	Coupled premium 80€/ha	-
Protein plant additional premium	Coupled premium 40€/ha	-

In every scenario the shares of durum wheat and pea in the regional crop mixes decrease between iterations 2 and 3 relatively to the ending of protein plant and durum wheat additional premiums. This assumption also explains the emergence of soft wheat during iteration 3. Complementary simulations carried previously, i.e. consisting in simulating no policy reform during iterations 2 and 3, do not highlight such changes in crop mixes during iteration 3, what confirms our assumption.

The last striking evolution concerning crop mixes is the trendy decrease of total irrigated areas. The total irrigated area increases first in scenarios “No sprawl” and “Reference” between iterations 2 and 3 before decreasing softly. In scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2”, the total share of irrigated crops starts decreasing between iterations 2 and 3. Moreover, irrigated maize is progressively substituted by irrigated sorghum.

The increase of irrigated crops in scenarios “No sprawl” and “Reference” between iterations 2 and 3 is provoked by the relative lower profitability of durum wheat associated to the ending of the durum wheat additional premium during the policy reform. The substitution of irrigated

maize by irrigated sorghum is provoked by the reversal of the relative position of their gross margins (tableau 36). Finally, the soft decline of irrigated areas is explained by the increasing labour costs. Complementarily to a relatively higher labour demand for irrigated crops, the increase of labour costs make irrigated crops become less profitable than non-irrigated crops.

6.2.2.2 ... *higher shares of family labour allocated off-farm*

The increase of operational labour costs provokes an evolution of the regional crop mixes characterized by a substitution of high labour demand crops by lower labour demand crops. This adjustment makes the share of family labour unemployed on-farm increase. Since family labour can be allocated to an off-farm activity, Farm agents should modify their labour allocation in order to benefit from a complementary off-farm income without investing. In case of increasing operational costs, off-farm incomes are not affected, what could improve the viability of farm agents.

The evolution of labour allocations in the four scenarios (figure 27) show that the amount of family labour allocated to an off-farm activity decline in every scenario in connection with the decreasing total labour. The share of family labour allocated to an off-farm job falls from 10% to 2% between iterations 0 and 8 in scenario “No sprawl” and from 10% to 2 % between iteration 0 and 6 in scénario “Reference”. On the contrary, in scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2”, the share of family labour allocated to an off-farm activity respectively stabilizes around 2% and 4%.

Whereas in scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2” the share of labour allocated to an off-farm activity stabilizes, it decreases until it disappears in scenarios “No sprawl” and “Reference”. Moreover, the share of family labour allocated to an off-farm activity in scenario “Sprawl 2” is higher than in scenario “Sprawl 1”. The persistence of a share of off-farm incomes in total household incomes in scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2” is another possible explanation of the better viability of Farm agents in these two scenarios despite the increase of operational production costs.

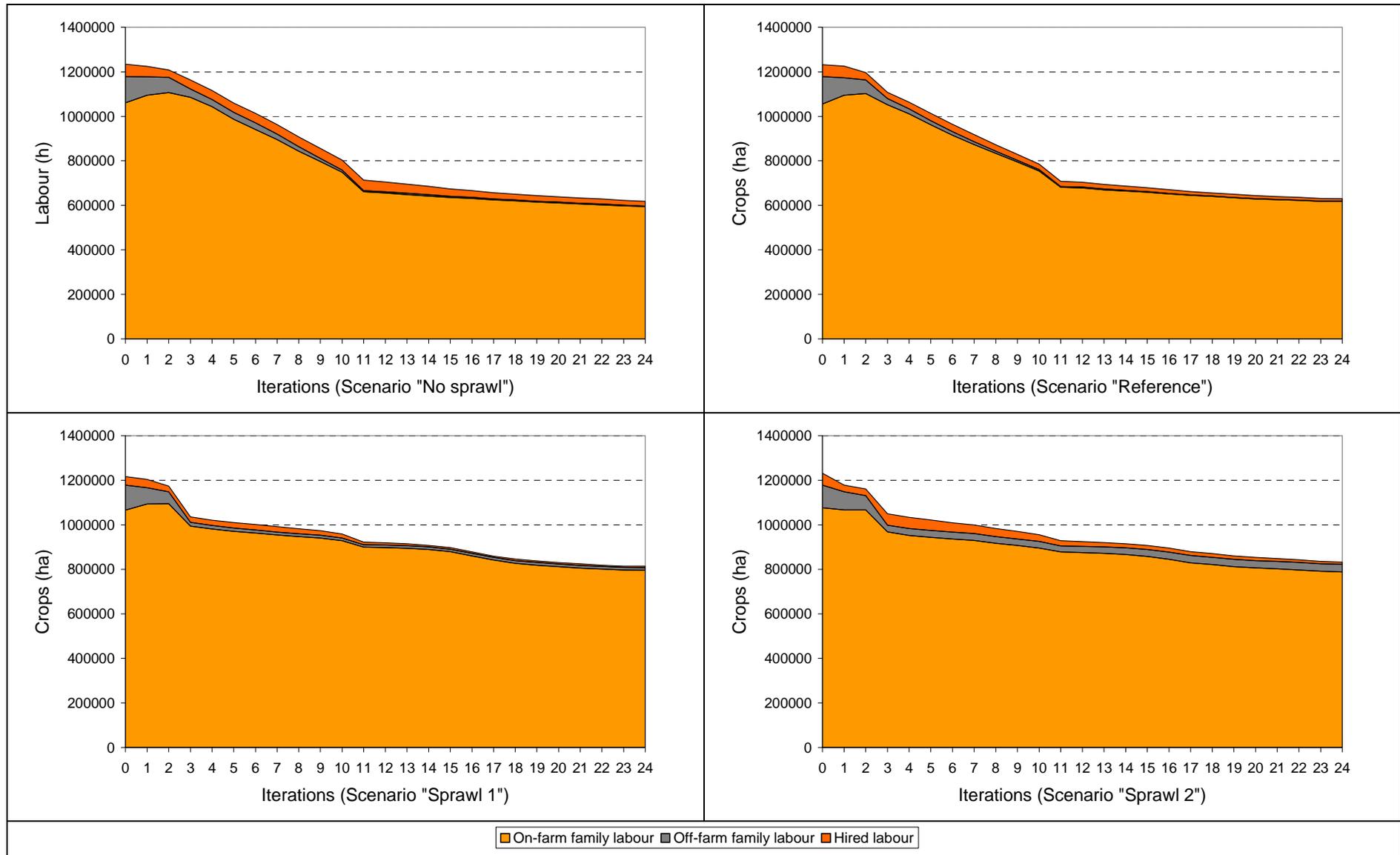


Figure 27: Evolution of the relative shares of labours during the simulations in the fourth scenarios

6.2.3 A loss of competitiveness for hillside farms

The last striking evolution concerning cumulated farm exit rates is two reversals of the hierarchy of the cumulated farm exit rates in scenarios “Reference” and “No sprawl” during iteration 11 on the one hand and in scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2” during iteration 15 on the other hand. In order to identify the causes of these two phenomena, exiting farm types are identified. In scenario “No sprawl” exiting farm types are farm types 1, 3, 4, 5, 6, 10, 14, 18, and 19. In scenario “Sprawl 1” exiting farm types are farm types 2, 3, 5, 6, 11, 12, 13, 15, and 18. Most of these farm types are endowed with hillside plots (appendix A10).

Whereas the value of the plain land rent remains almost constant during the simulations, the hillside land rent increases by more 50% between iterations 0 and 16 in the four scenarios (figure 28). The reversal takes place when both land rents reach 192€/ha. Moreover, this rise is probably due to significantly positive land dual values¹⁰⁷.

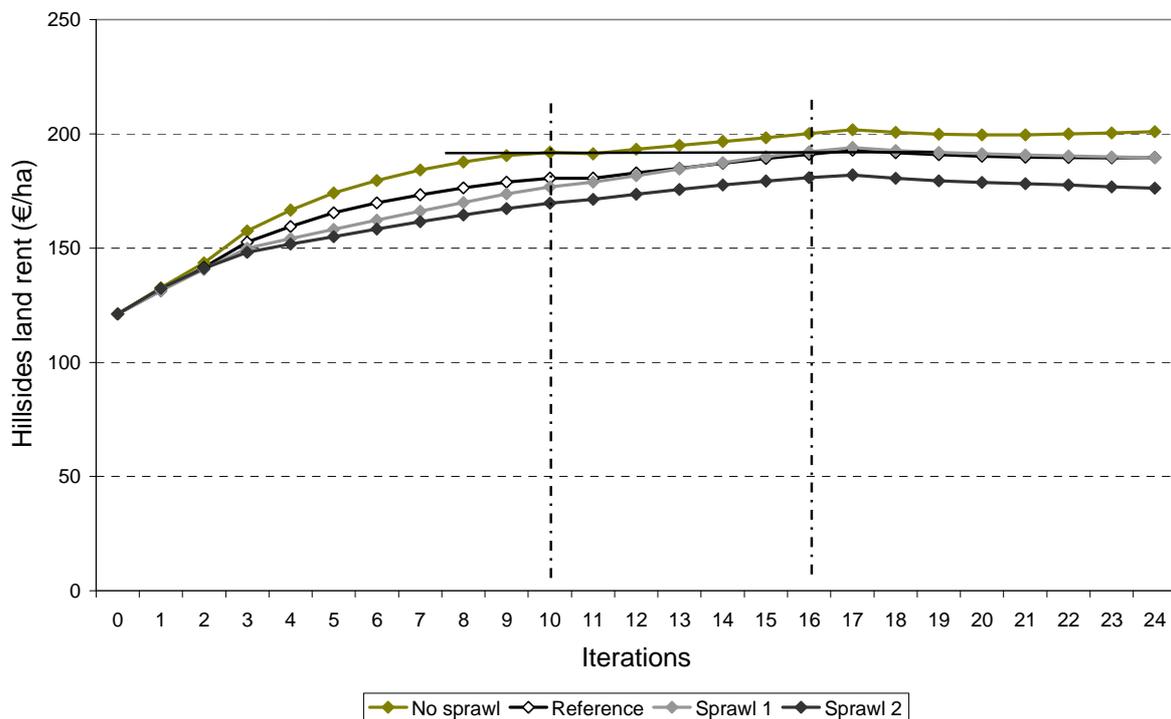


Figure 28: Evolution of the hillside land rent during the simulations in the four scenarios

¹⁰⁷ The optimisation problem is solved using the software Excel that does not exhibit dual values.

Other things being equal, the rise of the land rent induces an increase of opportunity costs. Indeed, since land opportunity costs of Farm agents owning hillside land increase, they may not cover their opportunity costs anymore, thus exiting the agricultural sector.

6.3 Discussion

This section discusses the consistency of the results of the simulations with the results of the econometric models. First, the existence of a catch-up effect in the results of the simulations is discussed. Finally, results from the simulations are discussed from a prospective point of view.

6.3.1 Absence of a size catch-up effect

Analyses carried in chapter 3 showed that the intensity of farm size growth is driven by the initial size of farms suggesting the existence of a size catch-up effect, that is to say that the smaller the initial size of farms the higher the intensity of farm size growth. The consistency of this result in the simulations is first discussed.

The classification made in chapter 5 discriminated farms given i) their size and ii) their amount of family labour per hectare and resulted in the creation of three farm classes, the medium size farms with an average size of 43 ha, the large size farms with an average size of 104 ha, the extra large size farms with an average size of 348 ha. This classification is actually close to the classification used in the econometric modelling, at the exception of one class¹⁰⁸. Farm agents are distributed in the three classes given their size and labour characteristics indicated in the FADN database (chapter 5). Moreover, Farm agents belonging to a class at the beginning of the simulations do not change from class during the simulations, even if they grow in size. This methodological choice is made since it is assumed that farm structural change is a path-dependant phenomenon (chapter 2)¹⁰⁹.

In scenarios “No sprawl” and “Reference”, the average Farm size growths at the end of iteration 24 are almost similar, i.e. between 100 ha and 110 ha, for Farm agents belonging to

¹⁰⁸ This classification is used to highlight the influence of the initial size of Farm agents on their size growth dynamics, comparably to what has been done with the variable “initial size” in the econometric modelling.

¹⁰⁹ Given the characteristics of the farms included in the “large size” class, it can be considered that this class corresponds to the size classes [50 ha ; 100 ha[and [100 ha ; 200 ha [in the econometric modelling.

“middle size” and “extra large size” classes. On the contrary, farm size growth is slightly lower, i.e. between 60 ha and 70 ha, for Farm agents initially belonging at the “large size” class. In scenarios “Sprawl 1” and “Sprawl 2”, the average farm size growth at the end of iteration 24 is on the one hand lower for the three classes and more homogeneous, i.e. approximately 40 ha, except for the “extra large size” class in scenario “Sprawl 2” with an average farm size growth of 50 ha (figure 29).

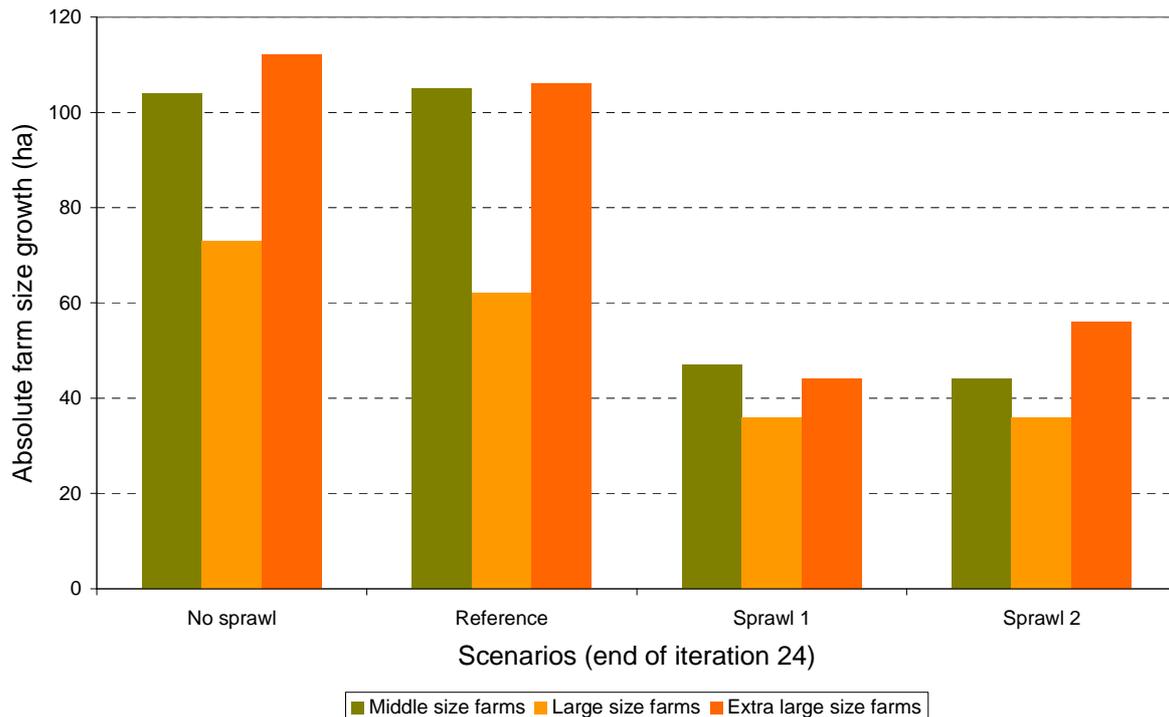


Figure 29: Average farm size growths in the three classes during the simulations in the four scenarios (iteration 24)

Results show that classes do not exhibit at first sight heterogeneous growth dynamics (absolute values). This homogeneity can be provoked by the use of the classification.

Chapter 3 highlighted the existence of a size catch-up effect of lower size farms, i.e. their size growths are larger than for larger size farms. Farmers holding smaller farms make the size of their farms increase until it reaches a threshold size that would induce satisfying incomes. Once this satisfying income is reached, size growths are less important. In the simulations with AgriPoliS, farms classified as “medium farms”, i.e. the smallest class, do not seem to have a growth dynamic significantly different in any scenario. This statement must nevertheless be moderated since the three size classes might hide individual differences among the twenty-five types.

6.3.2 A prospective discussion of the AgriPoliS results

In the literature, new job opportunities are considered to emerge in periurban areas (Lopez et al., 1988; Inwood & Sharp, 2012), i.e; valuing production directly to consumers (DRAAF Midi-Pyrénées, 2009; SSP, 2012; Paul & McKenzie, 2013), creating activities complementary to the agricultural activity (Benjamin, 1994; DRAAF Midi-Pyrénées, 2009), or to find a part time off-farm job (DRAAF Midi-Pyrénées, 2006).

In AgriPoliS, off-farm activities are taken into account in a simple manner assuming that Farm agents can allocate family labour to an off-farm unqualified job remunerated 8.5 €/h. In order to understand farm structural change in the simulated area, it could be interesting to introduce more detailed off-farm opportunities or to analyze case studies in order to identify off-farm job opportunities of periurban farmers in Lauragais. This discussion is developed in the critical analyses of the general discussion.

On the other hand, results show that the growth rate of “medium size” farms reaches on average 100% in scenarios “No sprawl” and “Reference”. This means that labour and materials have to be adjusted to the new farm sizes (Boussard, 1986). Once again many opportunities exist. Farmers can decide to i) invest in machineries that can make them cultivate larger areas, i.e. mechanization, ii) hire extra labour, or iii) externalize some production activities contracting with firms providing agricultural services, i.e. ETA. Externalizing production activities is also a mean to benefit from scale economies (Brocard & de Guyenro, 2005).

Conclusion

The agent-based model AgriPoliS was used to simulate cash-crop farm structural change in Lauragais. Nevertheless this model has not been created to model periurban farm structural change. Consequently a strong assumption was made based on results from Nehring et al. (2006). This assumption consisted in considering that constraints affecting farms in periurban areas can be approximated by increasing operational production costs.

Results show that increasing operational production costs induce a substitution of high labour demand crops by relatively lower labour demand crops, what then makes Farm agents allocate

more family labour to an off-farm activity. This evolution results in lower farm exit rates as operational production costs increase since i) smaller farms with lower land capital induce lower opportunity costs and ii) more off-farm labour may also induce lower opportunity costs. Results are not consistent with the results of the econometric modelling since the size catch-up effect observed in chapter 3 is not happening here.

In a prospective approach, these analyses have induced considering in a more detailed way i) the role of off-farm job opportunities and activities complementary to the agricultural activity as well as ii) the role of agricultural services in the adaptation process of farms. Nevertheless the model could be improved in order to model urban sprawl so that periurban farm structural change could be analyzed.

Chapter 7

Extending AgriPoliS to simulate urban sprawl

Introduction

In chapter 6, the impact of urban sprawl on the structural change of Lauragais cash-crop farms has been simulated using AgriPoliS. Results suggest that urban influenced farms characterized by increasing operational production costs exhibit different sensitivities to sprawl given their initial structure, suggesting path dependency. Their adaptation results from adjustments of crop mixes, farm sizes and labour inputs. Moreover, adjustments consisting in increasing size and generating scale economies tend to be favoured by lower operational production costs. On the contrary, adjustments consisting in diversifying farm incomes tend to be favoured by higher operational production costs. Nevertheless, using AgriPoliS in its current version requires assuming that urban sprawl only impact operational production costs. This strong assumption neglects the speculative behaviour of periurban farmers (chapter 1). In this section, an extension of AgriPoliS is proposed in order to carry out more realistic analyses¹¹⁰.

Extending AgriPoliS to model urban sprawl implies to add a set of parameters in order to make the model mimic the dynamics of urban sprawl. Following analyses carried out in chapter 1, urban sprawl can be defined as a competition for land between farmers, who

¹¹⁰ The extension has not been implemented yet in AgriPoliS. Only the framework and the required assumptions are detailed in this chapter.

basically use land to produce agricultural output, and non-farmers, who buy land for non-farming activities such as residential activities, commercial activities, or leisure activities. In such a context farmers can speculate on land prices since a significant difference exists between agricultural land prices and urban land prices. The extension basically aims at introducing an agent City that buys farmland plots to speculative Farm agents. Additionally, in the extension, non-professional farms have to be modelled. First, because speculation can make non-professional farmers remain in the agricultural sector, slowing the adjustment of other farms. Second because the share of land they occupy can also be considered as a buffer zone for professional farms.

In this chapter¹¹¹, an extension of AgriPoliS consisting in introducing an agent City that simulates the behaviour of non-farming agents who buy farmland for non-farming purposes is presented. This extension introduces urban landscapes, an agent City, and modifies the behaviour of Farm agents to make them react to the actions of the agent City¹¹². The first section presents the goals and the general structure of this urban sprawl extension. The second section explains how cities and artificial land are located in the landscape grid of AgriPoliS. The third section details the behaviour of the agent City. Finally, the fourth section exposes how the behaviour of Farm agents is modified to make them react to the actions of the agent City.

7.1 General structure of the urban sprawl extension

As presented in chapter 4, AgriPoliS is divided into two phases, the “initialisation” phase and the “simulation” phase (figure 30). The initialisation phase aims at creating and locating the objects interacting during the simulation phase. During the simulation phase, a set of actions are repeated by the Farm agents. First, they bid on the land market. Then, they decide whether they invest or not in new equipments and choose the products they cultivate. Finally, they assess their financial results and decide whether to quit or not the farming sector (Happe, 2004; Kellermann et al., 2008).

¹¹¹ A communication based on the results exposed in this chapter was made during the 51st European Congress of the Regional Science Association International.

¹¹² In this chapter, what would be done in the extension and what is actually implemented in the current version of AgripoliS have to be clearly distinguished. Thus, in this chapter, AgriPoliS stands for what is implemented in the current version of AgriPoliS whereas extension stands for what would be implemented in the extension.

In order to make AgriPoliS model urban sprawl, an agent City is introduced in AgriPoliS. This modification implies modifying both the initialisation phase and the simulation phase. Indeed, during the initialisation phase, an urban landscape has to be located to represent the artificial land occupied by the agent City. Then, during the simulation phase, the agent City has to compete on the land market with Farm agents for acquiring new plots and convert them into urban land plots.

An UML (unified modeling language) class diagram shows how the agent City is linked with the objects of AgriPoliS (figure 30). Basically, the extension consists in adding the agent City and making him interact with three objects, the program manager, the region and the auctioneer. First, the program manager “calls” the agent City when it has to accomplish actions, e.g. buying land plots. Then, the agent City looks for plots in the Simuland. Finally, the agent City competes with Farm agents to buy plots.

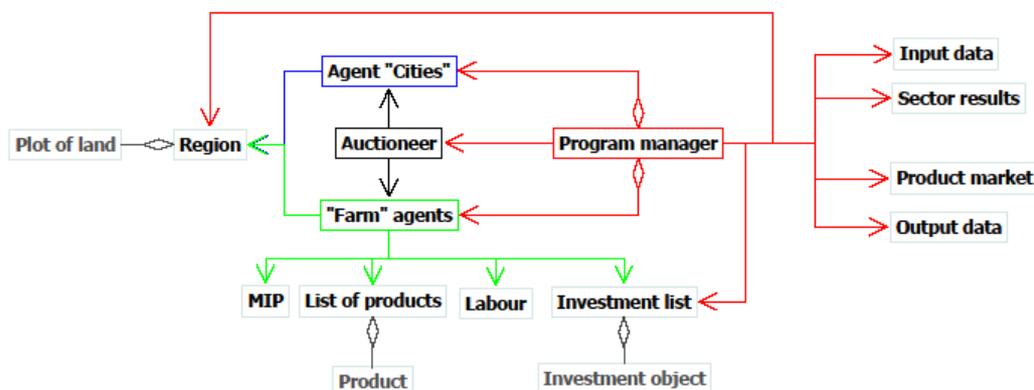


Figure 30: Conceptual UML class diagram of the proposed AgriPoliS extension

Source: adapted from Happe (2004)

Links starting from the same object are coloured with the same colour. “Arrow” links indicate that the pointed object furnishes information to the object of origin, e.g. the object “auctioneer” needs to collect the bids of Farm agents. “Losange” links indicate that the pointed object is composed of several basic objects, e.g. the agglomeration of plots result in the object region.

Due to technical constraints and a lack of information, this conceptual version of the extension cannot be implemented as described above. So a set of assumptions are taken in order to make the extension be implementable.

- In the real world, urban land use is heterogeneous as it can be residential land, industrial land, infrastructure land, e.g. roads. In the extension, the demand for agricultural land of the agent City agglomerates all the individual demands for agricultural land of non-farmers, e.g. residents, firms, public services. In order to keep

the model simple, it is thus assumed that urban land is an aggregate amount of homogeneous non-agricultural land called urban land. This assumption is detailed in section 7.2.

- In the real world, land artificialization, e.g. the amount of artificial land and the price of urban land, is negatively correlated to the distance of plots from Toulouse. Thus, it is assumed that the agent City is composed of two objects, an urban pole, e.g. the city of Toulouse, and communities, e.g. towns where agricultural land is converted into urban land. Figure 31 describes the relationships between the objects Land plots, the agent City, the urban pole and the communities using UML. An object is described using three variables: its class (name), its attributes (characteristics) and its methods (the actions he can do) (Rumbaugh et al., 1999). Figure 31 does not provide the lists of methods since only the urban pole makes actions. This assumption is detailed in section 7.3.

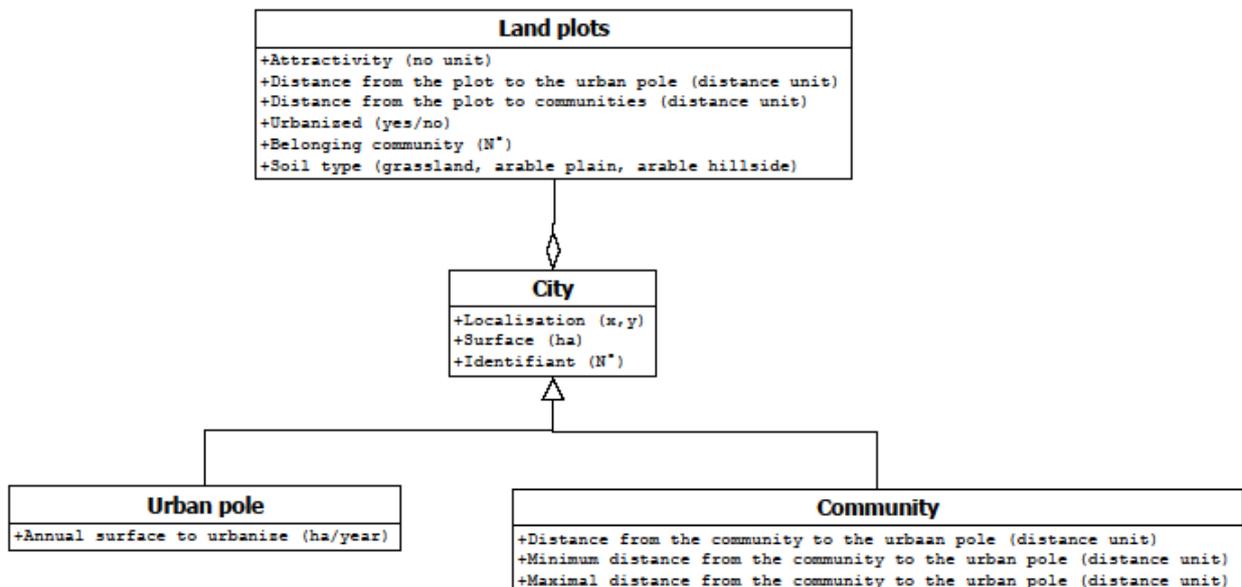


Figure 31: Attributes of objects introduced in the proposed extension

The agglomeration of urban land plots result in the creation of Cities. Basically there exists two kind of Cities, the urban pole and the communities, which have some common attributes described with the object City and specific attributes described with the objects Urban pole and the Community.

- In the real world, non-farmers compete with farmers on the land market to buy new plots of land. In AgriPoliS, since Farm agents only rent land (chapter 4), the agent City cannot compete directly with them on the land rental market. Indeed, Farm agents do not articialize land, they only modify the agricultural use of land, i.e. cultivated

crops. The assumption that Farm agents only rent land is thus plausible considering that the capitalised rent equals the sales price of a unit of land. On the other hand, since the agent City grows by converting irreversibly agricultural land into urban land, this agent cannot only rent land but has to buy land. Given huge differences between the price of farm land and the price of agricultural land, it is assumed that if the agent City decides to buy a plot of land, Farm agents will automatically accept to sell the plot. Thus, Farm agents and the agent City do not compete on the land rental market implemented in AgriPoliS but on a non-explicit land retail market. This assumption is detailed in section 7.4.

Figure 32 sums up the different steps of the extension. The location of urban land is made during the initialisation phase. Then the choice of plots and the payment of plots to Farm agents are done during the simulation phase. A new process called the “urban sprawl” process is introduced.

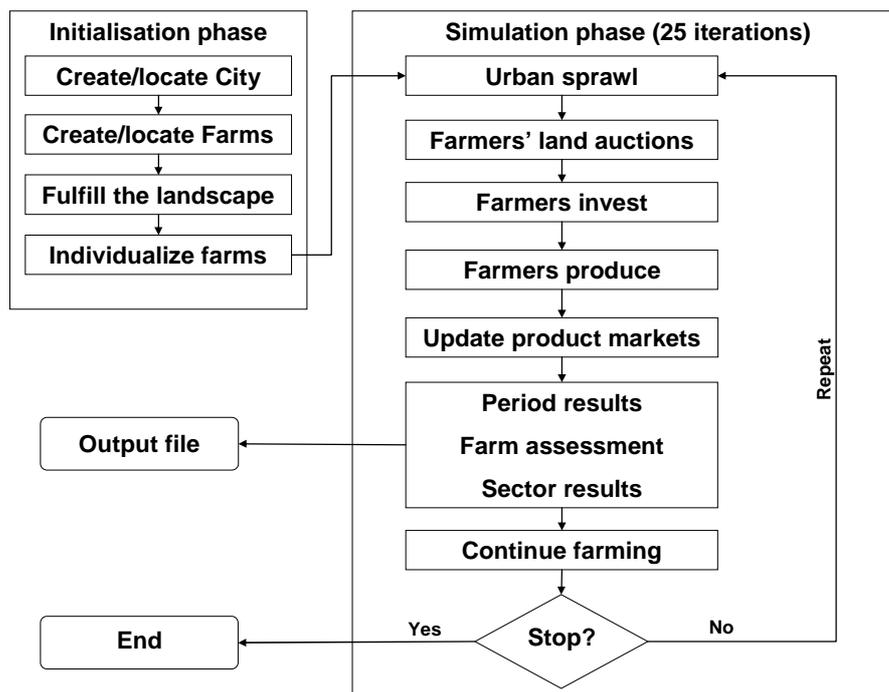


Figure 32: General process of simulation for the proposed extension of AgriPoliS

AgriPoliS goes through two phases, the initialisation phase and the simulation phase. During the initialisation phase, objects are created. This phase is thus modified to integrate the process for creating Cities. During the simulation phase, Farm agents cultivate land, invest, and eventually leave the agricultural sector. This phase is thus modified to integrate the process simulating urban sprawl during which the agent City buys land.

This first section presented the general framework of the urban sprawl extension of AgriPoliS. These modifications are now presented in more details. The following section presents how urban landscapes can be introduced in the extension.

7.2 Introduction of urban landscapes

In AgriPoliS, different soil types can be considered. They define land of a specific quality, e.g. high, medium, or low. Depending on its quality, i.e. type of soils, land can only be used for specific production activities and generate a particular yield. Thereby, it is indirectly differentiated between arable land, grassland, and non-agricultural land, e.g. settlements, roads, rivers, lakes, and forests that cannot be used for agriculture. During the initialisation phase, farmsteads are located in a virtual landscape and are then endowed with agricultural land plots randomly located. Finally, remaining free plots are considered as non-agricultural land, which are not further differentiated into settlements, roads, rivers, lakes, or forests. The location of the urban pole and communities is not considered in AgriPoliS. In the extension, non-agricultural land are differentiated into urban land and other non-agricultural land, e.g. rivers and forests. Moreover in AgriPoliS, the spatial representation of landscape is a grid which takes the form of a torus so that each Farm agents faces the same intensity of competition on the land market (chapter 4). Due to this technical specificity no GIS is coupled to AgriPoliS. As a consequence, the spatial distribution of urban land in the extension is an approximation of its distribution in the real-world area. This section specifies how urban land is located in the virtual landscape.

In the real world, the dynamics of urban sprawl (the evolution of land prices and the evolution of the amount of land bought by the urban pole) are correlated with the distance of plots to Toulouse¹¹³. In order to analyze these dynamics, several types of distances, e.g. as-the-crow-flies distances, road distances, off-peak time distance and rush-hour time distance¹¹⁴, have been regressed to explain the amount of land bought by the agent City as well as the price of urbanized land¹¹⁵. The road distance gives the best results for describing the dynamics of urban sprawl considering the R^2 -adjustment of data. Nevertheless, roads are not represented in

¹¹³ The dynamics of urban sprawl are explained in more details in the following section 6.3

¹¹⁴ Source: Odomatrix 2011, INRA UMR 1041 CESAER, Dijon; d'après Route 500@ IGN.

¹¹⁵ Specific methodologies are used to assess the behaviour of the agent City and understand the role of distances in its land choices and willingness to pay for land. Methodologies are detailed more specifically in section 6.3.

the landscape of AgriPoliS. Since the road distance is not significantly different from the as-the-crow-flies distance, the latter one is used to approximate the location of the urban landscape in the extension. Basically, the real-world area is located south-east of Toulouse and looks like a rectangle adjacent to Toulouse (figure 33).

Using the as-the-crow-flies distance requires modifying the landscape of the Simuland. Basically the grid takes the form of a torus. Locating the urban pole at the upper left corner of the grid would induce its location at every corner. So the urban pole is located at the centre of the grid. Then, considering that the urban pole is located at the centre of the grid, the surrounding land plots have to be located respectively to their as-the-crow-flies distance to the urban pole. The real-world area is then assumed to be composed of several “rings” surrounding the urban pole. The surface of each ring is calculated assuming that each municipality belongs only to the ring where its administrative centre is located. Thus, even if the main part of a municipality is located in a more distant ring than its administrative centre, the land of the municipality will be included in the same ring as the administrative centre. In the extension, the real-world area is thus transformed into a square with the urban pole at its centre and several surrounding rings (figure 33).

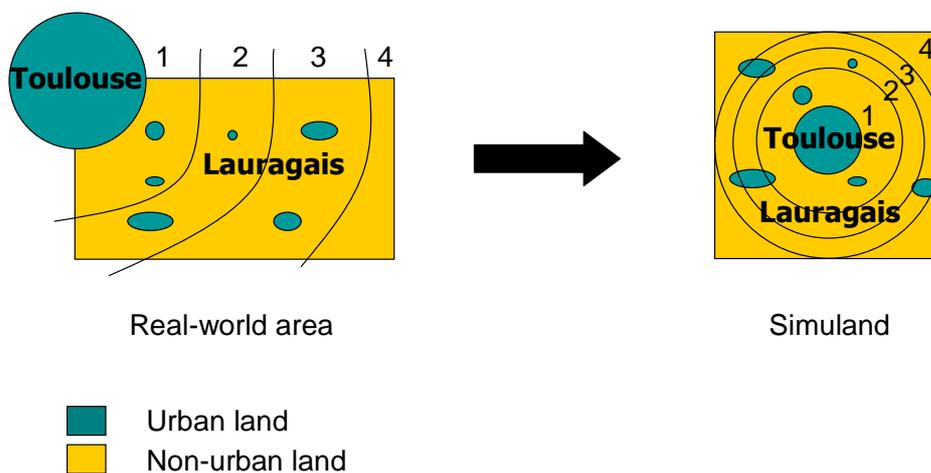


Figure 33: Transformation of the real-world area into a squared area

Given the landscape is a torus, the urban pole Toulouse is located at the centre of the grid. Then, the real-world area is divided into factual rings (noted 1, 2, 3, and 4). Their surface is then calculated and virtual rings with the same surface are implemented in the extension.

Table 38 details the virtual distances used in the Simuland in order to create rings with the same surface as the areas in the real-world area they stand for. A strong deviation appears in

the dimensions of the external square. Since the deviation between the size of the real-world area and the size of the Simuland is 108%, the overall size of the real-world area is satisfying.

Table 38: Calculation for radiuses used to transform the « real » Lauragais into a circular region

	Real-world area surface (ha)	External radius Side of the square (km)	Surface in the Simuland (ha)	% of the total area	Deviation
Toulouse	1 302	2.0	1 256	1	98%
1st ring	24 249	9.0	24 178	25	100%
2nd ring	27 936	13.0	27 632	29	99%
3rd ring	23 083	15.5	22 373	23	97%
4th square	12 492	31.0	20 661	21	165%
Total	89 062		96 100		108%

Yet, communities have to be spatially distributed. This is done using a stochastic process that distributes randomly communities into the surrounding rings. The process takes into account their distance to the urban pole and their size in the real-world area (table 39). No database gives access to the share of urban land of municipalities. As a consequence, it is assumed that the virtual size of the urban part of communities is proportional to the number of inhabitants living in the real municipalities¹¹⁶. The population of municipalities is extracted from the general population census carried in 2007¹¹⁷. Four classes of towns are created given their population. Moreover, it is assumed that 50% of the “other land” area would be dedicated to municipalities, the rest being the share of other non-agricultural land, i.e. forests and rivers.

Table 39: Values used for the initialization of towns in the urban area

Municipalities			Number of towns given their distance to Toulouse (as-the-crow-flies distance - km)				
Real population (inhabitants)	Virtual population (inhabitants)	Virtual size of one town (ha)	<20	<30	<40	>40	Simuland
<200	100	13	0	12	11	1	-
<500	350	45	4	13	10	3	-
<1000	750	97	13	3	1	0	-
>1000	2 900	376	16	6	3	2	-
Real-world towns (ha)	103 950	13 460	7 457	3 288	1 818	900	13 463
Total area of rings (ha)	-	-	24 178	27 632	22 373	20 661	96 100
Share of land occupied by towns in the urban area (%)	-	-	31%	12%	8%	4%	14%

Source: Population General Census (2007) and Odomatrix (2011)

The virtual population and size of communities in the Simuland are deduced from the total population and size of municipalities in the real-world area. Then, based on the distribution of municipalities given their distance to Toulouse, the share of urban land in each ring is calculated.

¹¹⁶ The density of population is assumed to be the same for each town.

¹¹⁷ <http://www.recensement.insee.fr/home.action>.

Doing this way induces that the closer the ring from the urban pole, the higher the share of urban land in this ring. This result matches with the observed dynamics of urban sprawl presented in chapter 1. Indeed European cities have an historical dense downtown since they were built at a time during which people tend to favour agglomeration economies (Antrop, 2004; EEA, 2006). Moreover, it is assumed that the urban pole and the communities created defining a random point on the map. Then, the nearest free plots are converted into urban land.

Farmsteads and farm plots are located using the existing AgriPoliS location process. Finally, in the extension, the rest of the landscape is fulfilled with other non-agricultural land. In the end, little differences remain between the landscape of the real-world area and the landscape of the Simuland (table 40). Deviations are mainly due to the upscaling procedure that approximates the regional farm structure, and to the squared grid that induces a large share of other non-agricultural land in the fourth square.

Table 40: Area occupied by the different landscapes in real-world area and in the Simuland

Type of land	Source	Real-world area (ha)	Simuland (ha)
Agricultural land (1)	CRAMP	60 424	59 504
- Professional farms		56 922	56 199
- Non-professional farms		3 502	3 305
Non-agricultural land	(2)+(3)	28 638	36 596
- Urban pole (Toulouse) (2)	INSEE	1 302	1 282
- Other land (3)	INSEE	27 336	35 314
- <i>Communities</i>	50% other land	13 668	13 463
- <i>Other non-agricultural land</i>	50% other land	13 668	21 851
Total	(1)+(2)+(3)	89 062	96 100
Area for urban sprawl (ha/year)	SAFER	209	206

Source: CRAMP, INSEE, and SAFER

First, the size of the real-world area is extracted from INSEE databases and the size of the agricultural area extracted from CRAMP databases. Thus the share of other land is deduced. It is assumed that 50% of the other land is used by communities, the rest being other non-agricultural land. Finally the size of the urban pole is added.

This section presented a specific methodology to be implemented in AgriPoliS in order to locate the agent City. During the initialisation phase, the differentiation of non-agricultural land into urban land and other non-agricultural land as well as the transformation of the real-world area into a square with the urban pole located at its centre permit to model urban sprawl. The following section explains how the behaviour of the agent City is modelled.

7.3 Modelling the behaviour of the agent City

The agent City represents all the non-farmers, e.g. residents, firms, public services, who buy agricultural land for non-farming purposes. As a consequence the agent City has to interact with Farm agents on the land market. Nevertheless Farm agents only rent land, whereas the agent City has to buy land since the conversion of agricultural land into urban land is not reversible. In the extension it is assumed first that the agent City chooses plots given their locations to communities, and second that farmers always accept to sell their land plots since there exists a significant difference between agricultural land prices and urban land prices. This section details the modifications to be implemented in the current version of AgriPoliS in order to simulate the behaviour of the agent City.

7.3.1 Characteristics of the land market in the real-world area

In order to figure out the behaviour of the agent City, the SAFER notifications¹¹⁸ of land transactions made between 2005 and 2010 in the real-world area have been analyzed. They provide:

- municipalities where the transactions are made
- jobs of land sellers and buyers
- plot sizes
- previous and future uses of plots
- plot prices

It is assumed that the distance between a plot and the urban pole is equal to the distance between the municipality where the plot is located and the urban pole. Thanks to Odomatrix¹¹⁹, several distances have been used: the as-the-crow-flies distance, the road distance, the off-peak time-distance and the rush hour time-distance (Hilal, 2004, 2007). In this sub-section, the main characteristics of the land market in the real-world area described.

Basically, transactions for undeveloped plots bought by non-farmers represent 195 transactions for a total area of 209 ha. Notifications have been processed in order to only keep up with the transactions for undeveloped sites bought by non-farmers. Symbolic transactions

¹¹⁸ Notifications are collected by SAFER Gascogne Haut-Languedoc

¹¹⁹ Odomatrix 2011, INRA UMR 1041 CESAER, Dijon ; d'après Route 500@ IGN

which do not reflect the market price, e.g. some plots are sold for one euro, are kept away by introducing a threshold of 50 000 €/ha concerning the price of land transactions. Transactions on plots valued more than 50 000 €/ha concern in average smaller plots whereas symbolic transactions concern larger plots. Finally 131 transactions remain in the sample for a total area of 71 ha. The number of transactions and the area sold are almost constant. Moreover, both the number of transactions and the amount of land sold on the land market have decreased in 2008 and 2009 probably due to the knock-on effect of the decreasing number of investments in new housings. On the other hand, prices seem to register a trendy increase. Nevertheless, land prices collapsed in 2009 probably due to the crisis (figure 34).

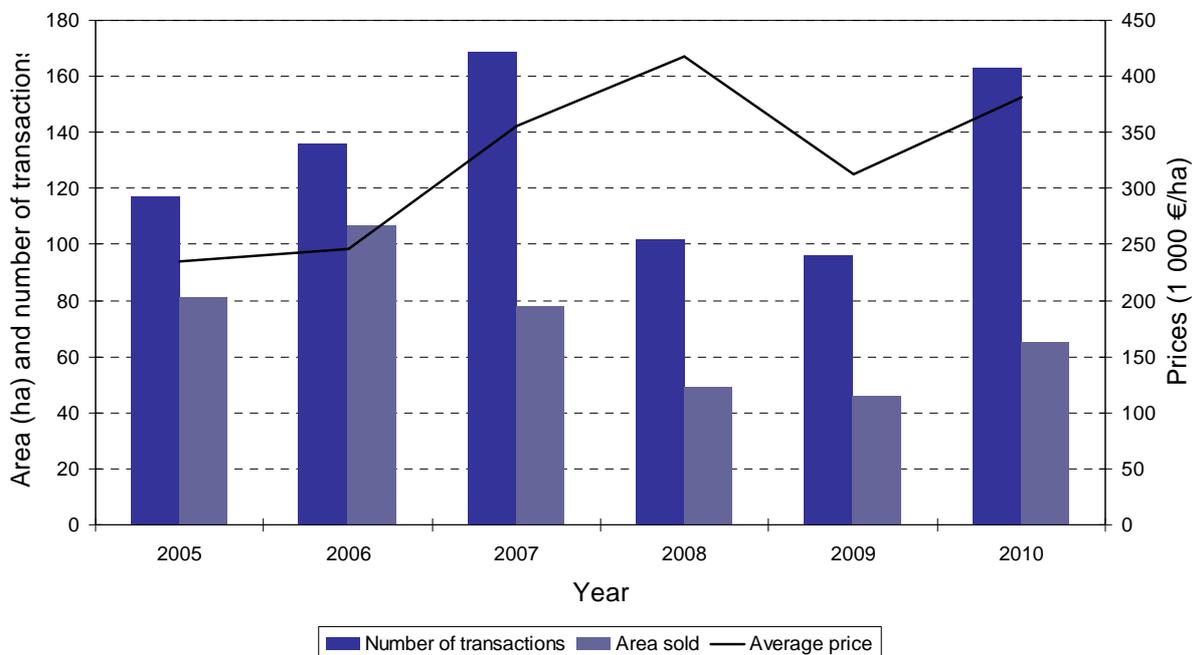


Figure 34: Characteristics of the farmland market in the simulated area from 2005 to 2010 in the simulated area

Source: SAFER notifications from 2005 to 2010

Histograms indicate the number of transactions and the total area sold in the real-world area. The graph shows the evolution of land prices. Years 2008 and 2009 are impacted by the crisis affecting the real estate market.

Figure 35 shows the spatial evolution of land prices from 2005 to 2010. First, the trendy increase in land prices reaches +57% between 2005 and 2010. Second, prices decline sharply given the distance to Toulouse. Except in 2009, price trends are almost parallel suggesting that land prices evolve homogeneously given the distance to Toulouse.

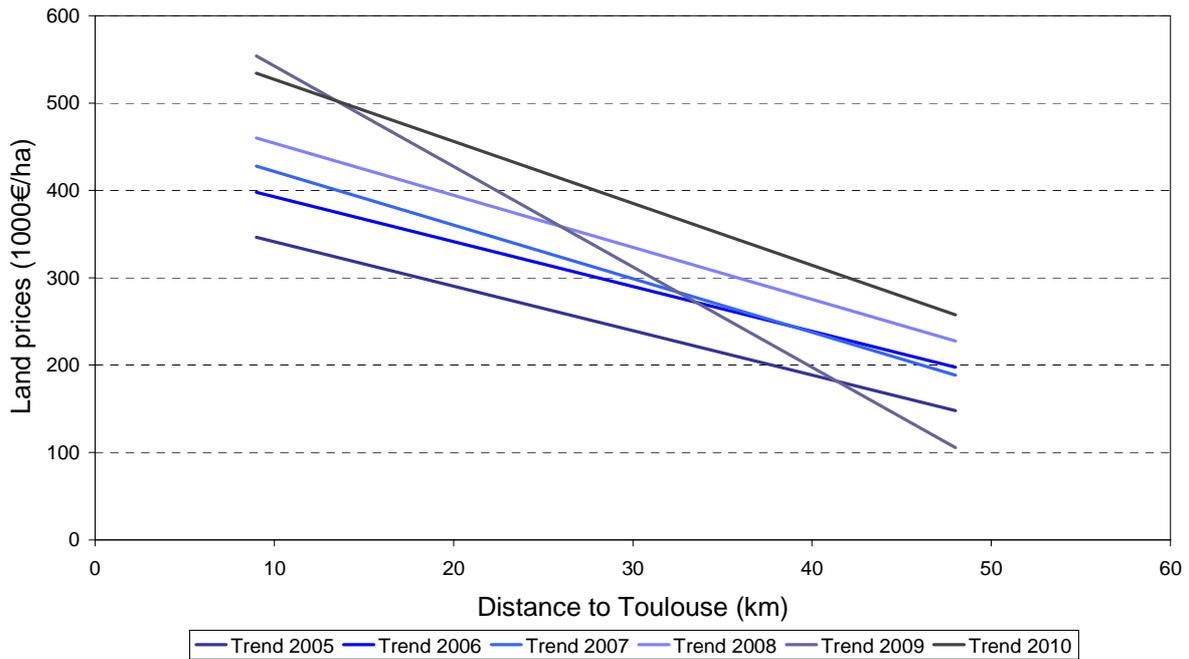


Figure 35: Farmland prices for development projects between 2005 and 2010 in the simulated area

Source: CRAMP notifications from 2005 to 2010

Trends in land prices are calculated given the as-the-crow-flies distance to Toulouse. Except in 2009, trends are almost parallel suggesting an homogeneous evolution of land prices given the distance to Toulouse.

The analysis of SAFER notifications suggests that the amount of land and the number of transactions are almost stable, whereas land prices have sharply increased. This rise in land prices is nevertheless homogeneous and the distance to Toulouse explains quite well the trend in farmland prices.

7.3.2 Modelling the behaviour of the agent City

This subsection explains how the behaviour of the agent City can be modelled using the information provided by SAFER notifications. The behaviour of the agent City requires first to figure out the amount of land bought every year and then its willingness to pay for plots as a function of the distance to the urban pole of Toulouse. Finally a stochastic process is implemented to make the agent City choose plots.

7.3.2.1 The willingness to pay of the agent City

A relationship between land prices and the distance of plots to the urban pole is calculated (figure 36). Land prices are extracted from the SAFER notifications and distances between Toulouse and the municipalities are taken in Odomatrix. Appendix A12 presents the resulting equations of the trend of the evolution of land prices. The equation that best explains

variations of land prices is chosen by comparing the R^2 of each trend equation. Since the road distance in the polynomial equation trend gets the highest R^2 (12.94%), this equation should be selected. However the current version of AgriPoliS does not take into account roads in the spatial representation. So it is not possible to model such distances. Using the as-the-crow-flies distance is then the only solution. Moreover, substituting road distances by as-the-crow-flies distances does not induce a significant loss of information due to similar R^2 (12.74% instead of 12.94%).

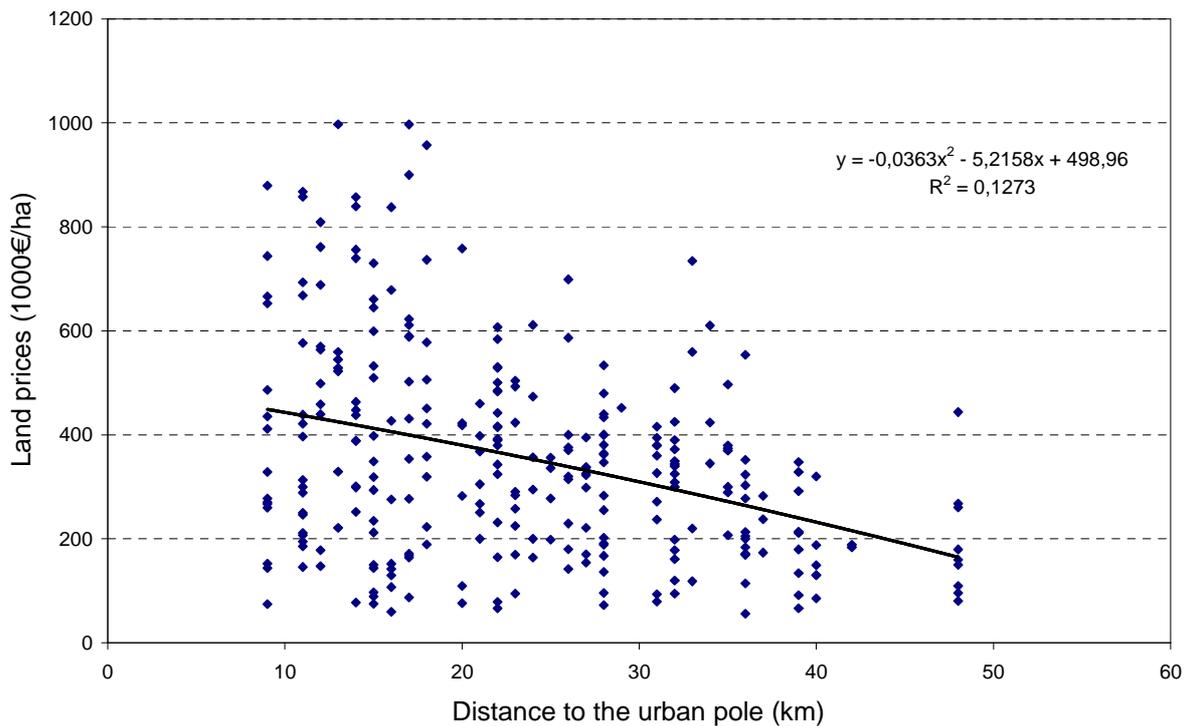


Figure 36: Average land prices given the as-the-crow-flies distance to the urban pole in the simulated area
 Source: SAFER notifications from 2005 to 2010
 The trend in land prices observed between 2005 and 2010 is calculated as a function of the distance to Toulouse. Results show a decreasing correlation between land prices and the distance of plots to Toulouse.

As explained in chapter 1, other factors also drive the formation of land prices, e.g. the size of plots. However in the current version of AgriPoliS plots are characterized by the same size and commuting time cannot be calculated. Moreover, the torus makes the introduction of other kind of distances very difficult. Finally the as-the-crow-flies distance explains quite well the variation of land prices given the location of plots. As a consequence, the trend in land prices calculated using the as-the-crow-flies distance is kept. Moreover results of appendix A13 shows that secondary urban poles such as Villefranche-de-Lauragais do impact significantly the values of land prices.

So land prices (P) are driven by the distance of plots to the urban pole (d) as indicated by the equation 16. The agent City is assumed to afford buying the plots he chooses.

$$P = -0,0363d^2 - 5,2158d + 498,96 \quad (16)$$

7.3.2.2 Preferences of the agent City for land plots

The next step is to find out the relative preferences of the agent City for plots given their distance to Toulouse. The relationship between the amounts of land bought by the agent City given the distance of plots to Toulouse is thus figured out. The size of plots is extracted from the SAFER notifications and distances are extracted from Odomatrix. Moreover transactions are agglomerated using six classes of distance (0 to 10 km, 10 to 20km; 20 to 30 km; 30 to 40 km; 40 to 50 km.; and distances greater than 50 km). Nevertheless, the number of transactions made in municipalities located from 0 to 10 km has been merged with the 10 to 20 km class. Figure 37 shows the relationship between the amount of land bought by the agent City and the distance of plots to Toulouse.

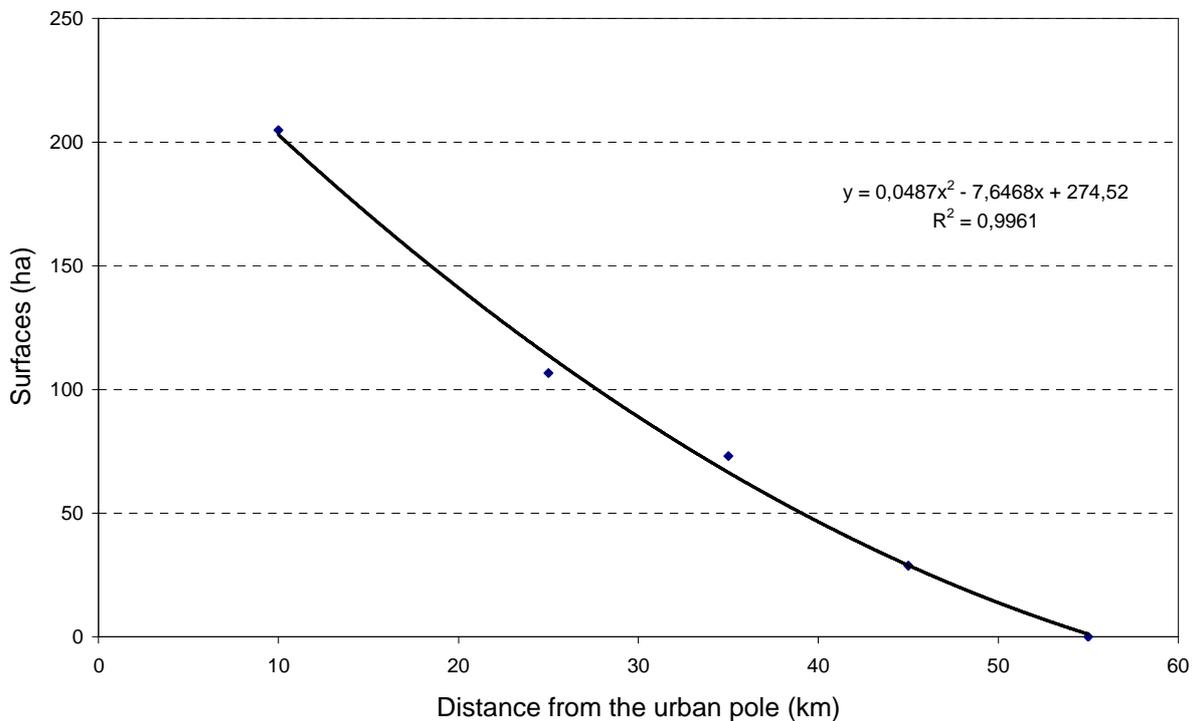


Figure 37 : Amount of land bought by non-farmers for non-farming purposes between 2005 and 2010 in the simulated area

Source: SAFER notifications from 2005 to 2010

Land prices are analyzed given the distance of plots to Toulouse. Average land prices are calculated based on categories using the distances used for segregating the real-world area into rings. Results show a decreasing relationship between the amount of land bought by the agent City and the distance of plots to Toulouse.

Results suggest that the relationship between the amount of land bought by the agent City N and the distance of plots to the urban pole d is the equation 17.

$$N(\text{ha}) = 0,0857 * d(\text{km})^2 - 9,5422 * d(\text{km}) + 287,12 \quad (17)$$

Table 41 shows the amount of land bought each year by the agent City given the distance of plots to Toulouse. It represents only a small share of the total area.

Table 41: Location and area consumed by urban sprawl every year in the proposed extension of AgriPoliS

Distance to Toulouse	(km)	<20	20-30	30-40	40-50
Land bought by urban pole every year	(ha)	103	55	36	15
Surface of the ring	(ha)	24 178	27 632	22 373	20 661
Share of land bought by the urban pole every year in the ring	(%)	0.42	0.20	0.16	0.07

Using the distances used for segregating the real-world area into rings, the amount of land bought by the agent City is calculated for each ring. Results suggest that only a small share of agricultural land in each ring is bought every year by the agent City.

7.3.2.3 A stochastic process for selecting land plots bought by the agent City

The last step consists in figuring out a process which makes the agent City choose a set of agricultural land plots. As explained in chapter 1, urban plots are evaluated given their distance to a set of amenities (Gottlieb, 1995; Partridge et al., 2010; Lefebvre & Rouquette, 2012). Nevertheless the location of amenities is not represented in the current version of AgriPoliS. As a consequence the process is simplified using transition probabilities. Transition probabilities are commonly used in the literature to model the attraction of cities (Poelmans & Van Rompaey, 2009). It is relatively low demanding in data and allows building spatial constraints. In our case, transition probabilities agglomerate the information concerning amenities necessary to the agent City to decide which plots are bought.

Poelmans and Van Rompaey (2009) used a gravity-based formula to determine the transition probabilities of a model dedicated to locate plots that are going to be urbanized in the Flanders-Brussels region. They assumed inhabitants settle close to cities where probabilities of employment are higher. They calculated E_i , the employment potential of pixel i , using J_j , the number of jobs in town j , and D_{ij} , the distance of pixel i to town j (equation 18).

$$E_i = \sum_{j=1}^n \frac{J_j}{D_{ij}^2} \quad (18)$$

In our case, plots would be bought by the agent City which represents non-farming agents who buy farmland for non-farming purposes, e.g. residential activities, service or industrial activities. Nevertheless, periurban development is mostly linked to residential activities since most of activities settling in periurban areas are service activities, e.g. retail stores or doctors, and public services, e.g. schools, library, and sport halls. As a consequence, it is assumed that the consumption of land is driven by the flow of residential settlers.

In our case, non-farmers are looking for the proximity of amenities. As presented above, the spatial distribution of amenities is not represented in AgriPoliS. Nevertheless, it could be assumed that services, e.g. post offices, primary schools, and shops, are preferentially located in more populated municipalities. The idea behind is that these services settle where the demand is stronger. As a consequence, an attractiveness index of plots is calculated based on the formula of Poelmans and Van Rompaey (2009). It is assumed that the attractiveness index is proportional to S_j , the size of community j evaluated by its number of inhabitants. Due to transportation costs, inhabitants are less attracted by plots located far away from communities and the attractiveness index would be decreasing with D_{ij} , the distance between plot i and community j . Thus it is also assumed that plots located close to several municipalities are more attractive.

A_i , the attractiveness of each plot would thus be the sum of the attraction resulting from all surrounding communities as shown in equation 19. This formula implies that a community has no attraction power on a plot located far away from the centre of the municipality. Thus, it is assumed that a plot is only attracted by communities whose centres are located within a range of three kilometres. First, because the attractiveness of a plot located far away from a community is almost equal to zero. Second, because it also decreases the computation time.

$$A_i = \sum_{j=1}^n \frac{S_j}{D_{ij}^2} \quad (19)$$

Finally, the transition probabilities are valued using the attractiveness indices. The probability is equal to the attractiveness value of the plot divided by the value of the attractiveness of the plot with the highest attractiveness on the grid. To keep the process stochastic, the probability is finally multiplied by a random figure valued between zero and one. The result is called the

urban score. It is assumed that the agent City buys the plots with the highest urban scores (figure 38).

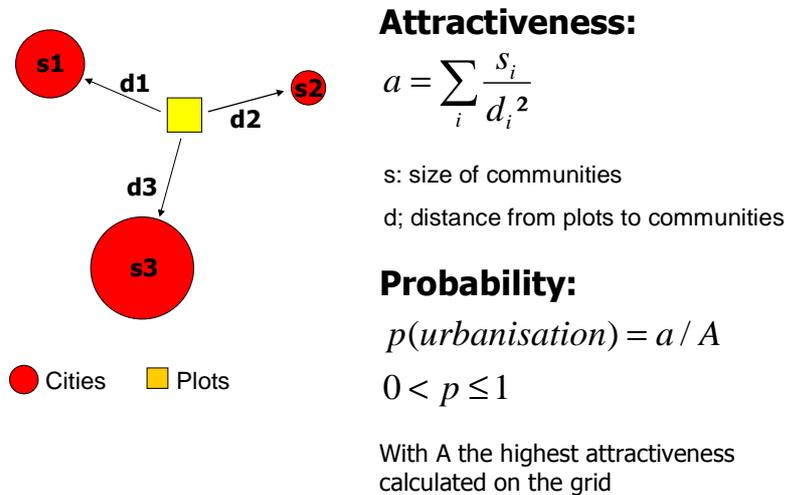


Figure 38 : Method to calculate the values of the transition probabilities used in the proposed extension

An attractiveness index based on gravitation formulas is first calculated assuming that plots are attracted by communities where more services are provided, e.g. the more populated communities. Then, a probability is calculated and used by the stochastic process which makes the agent City selects plots.

This subsection presented how the behaviour of the agent City can be modelled in AgriPoliS. An equation of land prices and an equation of the amount of land bought by the agent City have been figured out as functions of the distance of plots to Toulouse. These equations would permit to evaluate the willingness to pay of the agent City and its preferences for land plots given the distance of plots to Toulouse. Finally, a random process would be introduced to take into account the random factors driving the choices of the agent City. The following section explains how Farm agents react to the decisions of the agent City.

7.4 Introducing speculation in the behaviour of Farm agents

The previous section explained how the behaviour of the agent City can be modelled using AgriPoliS. Yet in AgriPoliS, Farm agents can only rent free plots. In the extension, the agent City should buy land plots. As a consequence, when the agent City wants to buy a plot owned by a Farm agent, it has to propose an amount of money to the owner. Then, Farm agents have to decide whether they accept or not the transaction. This subsection details first how the decision rule of Farm agents can be modified to assess the proposition of the agent City. Then, the speculative behaviour of non-professional farmers is discussed.

7.4.1 Introduction of a speculative factor in the profit function of Farm agents

Periurban farmers can speculate on land prices (chapter 1). Speculators are agents who anticipate price fluctuations and who buy or sell goods in order to benefit from this fluctuation (chapter 2). Thus, in our case, farmers do not only produce food stuffs, they also decide whether they sell land in order to get a benefit from the increase of land prices or not. As a consequence, a trade-off between producing farm outputs and speculating on land should exist. In AgriPoliS, the decision rule of Farm agents makes them maximize their household incomes (equation 9). In the extension, an additional parameter $K(x)$ is introduced in order to make them speculate on land prices.

$K(x)$ is assumed to be the estimated benefits from land capitalisation ($K(x) = P_x * x$, where $P(x)$: is the expected future price of an agricultural plot converted to urban uses). The new profit function ($Y(x)$) would be the sum of $K(x)$ and $\Pi(x)$, the basic profit function of Farm agents in AgriPoliS (equation 20):

$$Y(x) = \alpha\Pi(x) + \beta K(x) \quad (20)$$

In this profit function, $S(x)$ is the amount of payments received by Farm agents and $RE(x)$ is the land rent paid by Farm agents. Both are x-dependant (equations 21 and 22).

$$S(x) = \sum_i x_{i,ref} * s_i \quad (21) \qquad RE(x) = x * re \quad (22)$$

With

$x_{i,ref}$: the surface of crop i during the reference years

s_i : the payment for one hectare of crop i

With

re : the rent paid for one hectare of land

Moreover, in this subsection it is assumed that farmers receive a decoupled payment which is independent from the cultivated crops during the reference year. This payment (s_r) is a payment per hectare and is assumed to be the same for every farmer in the region (equation 23).

$$S(x) = x * s_r \quad (23)$$

The introduction of the speculation parameter in the profit function of Farm agents should modify their behaviour. The equilibrium solution of the profit function is calculated assuming that Farm agents are rational agents who maximize a profit function (equations 21 to 24):

$$\text{Max}[Y(x)] \Leftrightarrow \frac{\partial Y(x)}{\partial x} = 0 \quad (24)$$

$$\Leftrightarrow \alpha \left[\sum_i (p_i - c_i) + s_r - re \right] + \beta P_x = 0^{120} \quad (25)$$

$$\Leftrightarrow \alpha = \frac{-\beta P_x}{\sum_i (p_i - c_i) + s_r - re} \quad (26)$$

$$\Rightarrow Y(x) = \beta \left[K(x) - \frac{P_x}{\sum_i (p_i - c_i) + s_r - re} \Pi(x) \right] \quad (27)$$

Ceteris paribus, the trade-off between agricultural production and speculation is driven by the price of urban land, the gross margin of farm outputs, the value of payments, and the rental price of land. First, when $P(x)$ the price of urban land increases, the trade-off is not in favour of output production and Farm agents tend to sell their land. Then, when $\sum_i (p_i - c_i)$ the gross margin of farm output and the amount of payments increase, farmers tend to favour producing agricultural output. Nevertheless, when re the rental prices of agricultural land increase, producing food stuff is a less beneficial activity and Farm agents tend to favour the speculation strategy.

Speculative farmers are characterized by $\beta \neq 0$. In this case, β can be considered as a discount interest, which represents farmers' propensity to retain land and speculate. Chapter 3 showed that the age of farmers, the existence of a successor, the original size of farms or their location in a department drive farm size adjustments. Thus this discount rate should depend on specific factors such as farmers' characteristics, e.g. the age of farmers, the forecast legacy of the farm to a future holder, or even to regional characteristics, e.g. the proximity of an urban pole, or even the proximity of an urbanized plot, and finally to structural characteristics of farms, e.g. the type of farming, the values of sunk costs.

¹²⁰ $x_i = x - \sum_{\substack{j \\ j \neq i}} x_j$

7.4.2 The speculative behaviour of non-professional farmers

In the real-world area, professional farms, i.e. production-oriented farms, coexist with non-professional farms, which production is not necessarily significant or do not require much labour. A methodological choice consisting in modelling only professional farms was made in chapter 5. First because the behaviour of non-professional farms has been little explored by the literature and is not really well-known. And second because the share of non-professional farms in the cash-crop production of the real-world area is marginal. In the extension this is no more the case.

The decision rules of non-professional farms are not well understood and little literature exists on this topic (Chatellier et al., 2004). The ongoing decrease in the number of non-professional farms has been confirmed by the 2010 Farm General Census (SSP, 2011b). Nevertheless, the exit rate of non-professional farms in the real-world area is lower than the national exit rate of non-professional farms and is even lower than the exit rate of professional farms in the real-world area (table 42). As a consequence, non-professional farms of the real-world area must remain in the agricultural sector for specific reasons linked to their location in a periurban area such as better opportunities to generate off-farm incomes or land speculation.

Table 42: Comparison of the evolution of the number of farms between 2000 and 2007

	Source	2000	2007	Average exit rate per year (%)
Professional farms (real-world area)	CRAMP	362	314	-1.9%
Non-professional farms (real-world area)	CRAMP	852	687	-2.8%
Non-professional farms (France)	Agreste	269 832	180 701	-3.3%

In 2007 in the real-world area, non-professional farms occupied 4 095 ha, that is to say 6% of the agricultural land of the real-world area, i.e. 65 216 ha whereas they represented 35% of the total number of farms. Speculating on land is an opportunity for non-professional farmers suggesting that non-professional farms have to be taken into account in the extension. First, because the agricultural land retained by non-professional farms cannot be used by professional farms to grow in size. Second, because non-professional farms also occupy some land that might be bought by the agent City. In this case their land can be considered as a kind of buffer zone for professional farms that favour an agricultural output production strategy. Non-professional farmers can also have an off-farm job and keeping their farmland for hobby farming. In this case, off-farm jobs decrease the production constraints induced by the need to

generate an income. To our knowledge, the literature does not suggest any information about the behaviour of non-professional farmers facing urban sprawl, whether they tend to speculate on land prices or not. The behaviour of non-professional farmers has to be studied in further details. In the experiments carried in chapter 6, non-professional farms are not taken into account in the simulations since their agricultural output is marginal. Nevertheless in the extension, it would be assumed that non-professional farmers are speculative Farm agents as professional farmers.

Conclusion

In this chapter an extension designed to make AgriPoliS model urban sprawl more explicitly was presented. It relies on the introduction of an agent City, which models all the non-farming agents buying farmland for non-farming purposes.

In order to implement this extension, the initialisation phase would first be modified in order to introduce urban landscapes which represent the urban pole and the surrounding municipalities. Since the current structure of AgriPoliS uses a torus for modelling the landscape of the Simuland, the spatial location of the urban pole results in a squared Simuland with the urban pole located at the centre of the square. Then, the behaviour of the agent City has been designed using the notifications collected by SAFER. The willingness to pay of the agent City and its preferences for plots have been deduced as a function of the distance of plots to the urban pole using the as-the-crow-flies distance. Finally, the behaviour of Farm agents was discussed in order to take into account their speculative behaviours. It resulted in the introduction of a speculation factor that induces a trade-off between incomes generated by the on-farm activity and incomes generated by the speculation on land. The willingness to speculate on land is introduced using an exogenous parameter that has to be estimated using characteristics of the household and of the farmer, as well as structural characteristics of the farm.

Conclusion of the third part

In this part, simulations using the agent-based model AgriPoliS were made in order to assess the impact of urban sprawl on farm structure. We focused on the sensitivity of farms to urban sprawl and their adaptation capacities. Results show that increasing operational production costs induce a decreasing number of Farm agents' exits. Farm agents adapt their farming systems to increasing operational production costs by modifying crop mixes and the amount of labour allocated on-farm. Indeed as operational production costs increase, high labour demand crops are substituted by lower labour demand crops and more family labour is allocated to an off-farm activity. Nevertheless results from AgriPoliS exhibit some differences with the econometric results from chapter 3. Indeed, the catch-up effect in farm size observed in the econometric models is not observed in AgriPoliS

These results must nevertheless be considered given the current structure of the program and the potential constraints resulting from the assumptions made in AgriPoliS. In order to overcome these limits, propositions have been presented in chapter 7 in order to introduce missing aspects of urban sprawl in AgriPoliS. First, urban land can be introduced in order to model cities. It is distributed in order to represent both the urban pole and the surrounding municipalities. The torus made the municipalities be distributed given their distance to Toulouse on a hypothetical squared landscape. Second, a decision model can be created in order to make cities grow to model urban sprawl. A system based on transition probabilities can be introduced in order to simplify data collection. Third, the decision rules of Farm agents can be modified in order to make them speculate on land prices. It can be done by introducing a new factor in their decision rule that represents expected speculative benefits. Fourth, non-professional farms can be introduced since they are major actors that retain land.

Focusing on the explaining power of the model, we aimed at providing insights why some farms tend to better adapt to urban sprawl whereas some others exit rapidly the system. In a prospective approach, it could be interesting to favour the predictive power of AgriPoliS and improve some of its components.

DISCUSSION GENERALE : ANALYSE CRITIQUE

Dans une perspective d'analyse des dynamiques du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines et de ses déterminants, ce travail de recherche s'est intéressé à mettre en évidence les impacts de la périurbanisation sur la structure des exploitations de grande culture. Pour cela une approche économétrique et une approche multi-agents ont successivement été mobilisées. Ces deux approches se sont révélées complémentaires. L'approche économétrique a permis d'identifier les déterminants de la taille et du changement en taille des exploitations agricoles midi-pyrénéennes. Les résultats de cette analyse s'inscrivent dans la lignée des travaux sur les déterminants du changement structurel des exploitations agricoles. L'analyse a de plus permis de montrer qu'une variable de localisation permettant de discriminer les zones urbaines des zones rurales ou périurbaines, est un déterminant de la taille et du changement en taille des exploitations midi-pyrénéennes. Ensuite, des simulations ex-ante ont été réalisées avec le modèle multi-agents AgriPoliS pour analyser les dynamiques structurelles des exploitations périurbaines de grande culture du Lauragais. L'approche multi-agents a été privilégiée car elle permet de simuler l'évolution simultanée et interconnectée de plusieurs types d'exploitations agricoles ainsi que d'intégrer l'hétérogénéité des structures dans les analyses. En outre, la majorité des déterminants du changement structurel des exploitations identifiée dans l'analyse économétrique a été prise en compte dans AgriPoliS (taille initiale, forme juridique et spécialisation des exploitations, âge et capital humain spécialisé des exploitants).

Dans cette partie, nous mènerons une analyse critique des choix méthodologiques réalisés dans cette thèse. Alors que certains d'entre eux résultent de contraintes auxquelles nous avons

dû nous soumettre, d'autres ont été réalisés délibérément. Nous discuterons notamment la genericité de la méthode employée et proposerons des alternatives aux choix méthodologiques réalisés. Dans un premier temps, la complémentarité des approches économétriques et multi-agents sera discutée. La représentation du paysage a été fortement contrainte par la forme de torus du « monde virtuel » d'AgriPoliS. Elle sera l'objet, dans un deuxième temps, de propositions spécifiques. Dans un troisième temps, des alternatives pour affiner le comportement des agents seront proposées. Finalement, dans un quatrième temps, les alternatives aux choix réalisés pour représenter l'étalement urbain seront examinées.

Complémentarité des approches économétrique et multi-agents

La complémentarité des approches économétriques et multi-agents réside dans la possibilité de pouvoir identifier ex-post des facteurs affectant le changement structurel des exploitations entre 2000 et 2007 puis d'en tenir compte dans des simulations ex-ante. Nous discuterons tout d'abord les résultats de l'analyse économétrique. Puis, nous nous pencherons sur les spécificités des résultats des simulations réalisées avec AgriPoliS. Enfin, nous analyserons la complémentarité de ces deux approches.

- Identification ex-post des déterminants du changement structurel des exploitations

L'utilisation d'un modèle économétrique a permis de conduire une analyse ex-post des déterminants du changement structurel des exploitations agricoles en utilisant les bases de données du recensement général agricole 2000 et de l'enquête sur la structure des exploitations 2007. Trois types de variable ont été testés. Premièrement, des variables concernant la structure des exploitations ont été sélectionnées : « taille initiale », « forme juridique » et « spécialisation technico-économique ». Ces variables sont classiquement utilisées pour expliquer le changement structurel des exploitations agricoles. Dans nos analyses, ces variables ont eu un effet significatif de même nature que ceux mis en évidence dans la littérature sur la taille des exploitations agricoles.

Deuxièmement, des variables concernant les caractéristiques du chef d'exploitation ont été testées : « âge », « existence d'un successeur », « genre », « emploi non-agricole », « formation agricole » et « formation générale ». Alors que les résultats concernant les

variables « genre », « âge », « existence d'un successeur » et « capital humain spécifique » ont été convergents avec ceux de la littérature, l'influence de la variable « emploi non-agricole exercé par le chef d'exploitation » n'a pas eu l'effet significatif escompté sur la taille ou l'évolution en taille des exploitations. L'influence des variables de capital humain n'ont également pas eu d'effet significatif sur les variables de croissance en taille des exploitations. Dans la mesure où l'agrandissement est un phénomène dynamique, il aurait été intéressant de pouvoir tester des variables caractérisant l'apprentissage des agriculteurs (par exemple, les formations suivies par les agriculteurs). Cependant la disponibilité de telles données contraint les possibilités de les prendre en compte. D'une part, peu d'information est disponible sur les apprentissages des agriculteurs. Les enquêtes mentionnent ainsi le nombre d'heures de formation suivi mais n'en précisent pas le contenu. D'autre part, les enquêtes utilisées ayant pour objectif le suivi des exploitations, et non des exploitants, les données concernant ces derniers ne sont pas nécessairement fiables (il n'est pas garanti que ce soit le chef d'exploitation qui réponde au questionnaire).

Troisièmement, des variables de localisation spatiale des exploitations ont été testées (départements et localisation en fonction du zonage INSEE ZAUER). La variable localisation périurbaine a été construite à partir de la classification INSEE des communes. Dans cette classification, la différenciation des communes est réalisée en fonction i) du nombre d'emplois dans chaque commune et ii) du nombre d'habitants ayant un emploi dans les pôles urbains (Cavailhès, 2009). D'un point de vue agricole, la localisation périurbaine des exploitations peut affecter les dynamiques structurelles via le prix du foncier et les opportunités de diversification des revenus (chapitre 1). Or l'évolution de ces deux facteurs pourrait ne pas correspondre exactement au zonage défini par l'INSEE. Des effets de bordure pourraient affecter les résultats. Néanmoins, les résultats obtenus montrent l'existence de dynamiques urbaines de restructuration cohérentes avec les résultats de la littérature.

Bien que de nombreuses variables soient disponibles dans les bases de données utilisées, la difficulté d'accéder à des données individuelles et l'impossibilité de suivre l'évolution de la structure des exploitations sur plus de huit années (2000/2007) limitent la portée de cette analyse. D'une part, le changement structurel est une évolution sur le long terme. Ainsi, il aurait été intéressant d'analyser les déterminants du changement structurel sur une période plus grande en utilisant plusieurs recensements agricoles consécutifs. Toutefois, il n'est pour le moment pas possible d'identifier une même exploitation entre plusieurs recensements

agricoles¹²¹. Cette contrainte devrait cependant être levée dans les années à venir avec l'attribution d'un numéro SIRET¹²² à toutes les exploitations agricoles.

- AgriPoliS, un modèle au potentiel élevé mais à la structure contraignante pour répondre aux questions posées dans cette thèse

Dans AgriPoliS, le secteur agricole est défini comme un système complexe (Happe, 2004), dans lequel le changement structurel s'analyse comme le résultat i) des décisions individuelles de production et d'investissement des agents et ii) de leurs interactions sur le marché du foncier. Dans AgriPoliS, la quantité d'information nécessaire pour modéliser les exploitations agricoles et leurs interactions est très importante. D'une part, de nombreux paramètres peuvent être modifiés afin de simuler des scénarios différents. D'autre part, de nombreuses variables de sortie peuvent être extraites pour conduire l'analyse des résultats. Des extensions du modèle peuvent également être mises au point pour traiter de nouvelles problématiques telles celles se rapportant aux services écosystémiques (Brady et al., 2009).

Néanmoins, l'adaptation d'AgriPoliS à une région requiert beaucoup de temps. Premièrement, la multiplicité des variables et des paramètres du modèle nécessite la collecte d'une quantité importante de données. Il est d'ailleurs souvent nécessaire d'utiliser plusieurs bases de données dont l'homogénéité en termes de méthodologie et d'année de collecte n'est pas garantie. Les données collectées demandent alors a minima des ajustements. Deuxièmement, la structure du modèle, bien que modifiable, n'est pour le moment pas adaptée à la simulation du changement structurel des exploitations agricoles périurbaines et des hypothèses fortes ont dû être réalisées avant de réaliser les simulations. Troisièmement, les interactions entre les nombreuses variables du modèle peuvent compliquer l'analyse des résultats dans la mesure où il est parfois difficile d'identifier les causes des phénomènes observés. La mise en évidence des déterminants de la valeur de la rente des parcelles de plaine a par exemple été permise par l'utilisation d'un métamodèle économétrique. Enfin, les décisions des agents basées sur une maximisation du revenu du ménage sont calculées à l'aide du solveur Excel qui ne permet pas d'accéder aux valeurs duales des facteurs de production. Ainsi, la procédure de décision des agents pourrait être écrite avec le logiciel GAMS afin de pouvoir accéder aux valeurs duales, particulièrement utiles lors de l'analyse des résultats.

¹²¹ Pour le moment, il n'est possible d'identifier une exploitation qu'entre un recensement agricole et les trois enquêtes sur la structure suivantes.

¹²² Le numéro SIRET est un identifiant d'établissement qui prend la forme d'un nombre de 14 chiffres.

- Cohérence des résultats de l'analyse économétrique avec la structure d'AgriPoliS

L'utilisation d'AgriPoliS a été motivée par la possibilité de modéliser l'évolution simultanée d'exploitations aux caractéristiques structurelles hétérogènes et de tenir compte des distances entre parcelles, exploitations agricoles et pôles urbains (dans le cas de l'extension d'AgriPoliS). De plus, AgriPoliS intègre la majorité des déterminants du changement structurel des exploitations identifiés dans l'analyse économétrique (tableau 43).

Tableau 43: Déterminants du changement structurel identifiés dans l'analyse économétrique et pris en compte dans AgriPoliS

Déterminants identifiés dans l'analyse économétrique	Nom du paramètre dans AgriPoliS	Distribution	Etape de prise en compte	Critères de sélection
Taille initiale Forme juridique Spécialisation technico-économique	Taille initiale Forme juridique Spécialisation technico-économique	Représentation des exploitations simulées	Upscaling	Maximisation de la représentativité du territoire simulé
Emploi non-agricole Capital humain spécifique	Emploi non-agricole Capacités managériales	Décision des agents Distribution aléatoire	Décision de production	Maximisation du revenu espéré du ménage
Age de l'exploitant	Age	Distribution aléatoire	Décision de sortie	-
Existence d'un successeur	Succession	Décision des agents	Décision de reprise ou non de l'exploitation tous les 25 ans	Comparaison des coûts d'opportunité

Les paramètres de structure des exploitations sont pris en compte pendant l'étape d'upsaling. La minimisation de l'écart entre le nombre d'exploitations par classe de taille, de forme juridique et de spécialisation technico-économique dans la région simulée et dans la région virtuelle assure une représentativité satisfaisante de ces facteurs. D'autre part, la plupart des caractéristiques des chefs d'exploitation déterminant les dynamiques de changement structurel sont également prises en compte dans AgriPoliS (âge, capital humain spécifique, emploi-non-agricole et existence d'un successeur). Alors que l'emploi non-agricole et l'existence d'un successeur résultent d'une prise de décision des agents, l'âge et le capital humain spécifique des agents sont des paramètres distribués aléatoirement. Les résultats économétriques montrent que la taille des exploitations est significativement corrélée à l'âge et au capital humain des exploitants. Par conséquent, leur distribution aléatoire lors de la phase d'initialisation pourrait être à l'origine d'un biais. De plus, l'indépendance des distributions

de l'âge des agents et de l'âge de leur matériel pourrait exacerber ce biais dans la mesure où l'âge du matériel est en général corrélé à celui des agriculteurs : les jeunes agriculteurs investissant dans du matériel neuf ou héritant d'un matériel récemment renouvelé alors que les agriculteurs âgés sans successeur ne renouvellent pas leur équipement dans la perspective de leur départ à la retraite. Les conséquences des distributions aléatoires de certaines caractéristiques des agents seront discutées ultérieurement.

Représentation du paysage dans AgriPoliS

Dans le cadre de l'analyse économétrique des déterminants de l'agrandissement des exploitations agricoles de la région Midi-Pyrénées, nous avons vu que les variables de localisation et, par conséquent, les distances à la ville sont un facteur déterminant des décisions d'agrandissement des agents. Pour réaliser ces simulations, nous avons dû sélectionner un modèle prenant en compte les distances entre parcelles, sièges des exploitations et pôles urbains dans les décisions des agents. De plus, étant donné la configuration pédoclimatique de la région Midi-Pyrénées (deux types de sol très différents en plaine et en coteau), il était très important, du point de vue de la pertinence agronomique, d'introduire deux types de sol arable dans la représentation du paysage. Dans l'optique d'améliorer la représentation du paysage, le couplage d'AgriPoliS à un Système d'Information Géographique (SIG) pourrait être une première alternative à envisager. D'autre part, l'introduction de différents types de sol pourrait également être réalisée différemment de la façon dont nous avons procédé, par exemple en distinguant les exploitations en fonction des types de sol préalablement à la réalisation de la typologie. Enfin, nous nous intéresserons aux conséquences de l'utilisation de distributions aléatoires pour individualiser les agents.

- Couplage d'AgriPoliS avec un système d'information géographique : la contrainte du torus

Dans la version actuelle d'AgriPoliS, le paysage est représenté à l'aide d'une grille composée de cellules carrées de taille identique représentant les parcelles. Cette grille prend la forme d'un torus (chaque bord de la carte rectangulaire représentant le territoire simulé est en réalité contigu au bord opposé). Ce choix a été réalisé par les concepteurs pour que l'intensité de la concurrence sur le marché du foncier soit comparable pour chaque parcelle. Néanmoins ce choix implique i) que les exploitations soient localisées aléatoirement et ii) que les distances

dans le monde réel (distances routières) soient approximées par des distances à vol d'oiseau. Ces simplifications contraignent fortement la possibilité de prendre en compte les ressources naturelles spatialement localisées dans les territoires simulés. Pour améliorer cette représentation du paysage, deux solutions peuvent être envisagées. La première consiste à utiliser un SIG. La seconde consiste à trouver un compromis entre la représentation actuelle du paysage et l'utilisation d'un SIG.

Les systèmes multi-agents (SMA) peuvent généralement être couplés à des SIG pour une représentation spatiale non-biaisée des territoires simulés (chapitre 4). Les distances réelles seraient alors accessibles et pourraient être prises en compte dans les décisions des agents. Le couplage d'AgriPoliS avec un SIG ne peut pas être réalisé en l'état à cause de la représentation du paysage sur un torus. Au préalable, il serait nécessaire de déconnecter les bords opposés de la grille. Afin de ne pas diminuer excessivement la pression foncière exercée sur les parcelles en bordure de la carte, une zone réelle plus grande pourrait alors être simulée. Toutefois, l'analyse porterait uniquement sur le changement structurel des exploitations de la zone d'intérêt.

Un compromis entre la représentation actuelle du paysage et celle résultant d'un couplage d'AgriPoliS avec un SIG pourrait consister à utiliser la grille actuelle sans que celle-ci ne prenne une forme de torus. Une zone plus grande serait également simulée pour maintenir la pression foncière sur les parcelles en bordure de la carte. L'élargissement de la zone simulée serait réalisé en créant une marge autour de la carte initiale dont les caractéristiques (proportion des types d'exploitation et des types de sol) seraient similaires à celles de la zone initiale (figure 39). Cette seconde possibilité permettrait de substituer la localisation aléatoire des exploitations et des ressources naturelles par une représentation spatiale prenant en considération la localisation relative des ressources naturelles (localisation d'un cours d'eau, de forages), de reliefs (coteaux) ou encore la proximité de certaines exploitations (exploitations de coteaux entre elles).

La principale contrainte de ces deux alternatives serait une augmentation du temps de simulation provoquée par l'existence d'un plus grand nombre d'agents dans les simulations. Dans la seconde alternative, la configuration du territoire nécessiterait de plus un temps de préparation plus important.

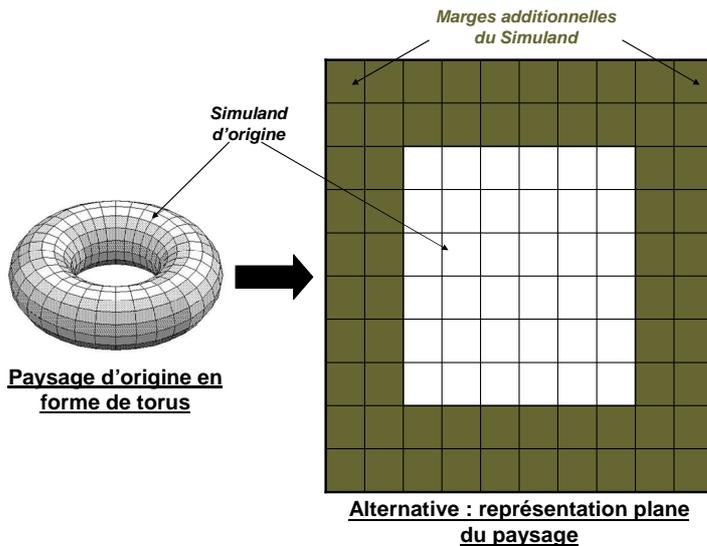


Figure 39 : Modification de la forme de représentation du paysage dans AgriPoliS¹²³

Une alternative pour localiser les ressources naturelles relativement les unes aux autres serait de modifier la représentation du paysage et en utilisant une représentation plane et non plus en torus.

- Introduction de types de sol hétérogènes : le cas des Terreforts et des Boulbènes

L'introduction de terres arables de qualité hétérogène a nécessité de différencier les exploitations sélectionnées durant la procédure d'upscaling en fonction des terres dont elles disposent. Cette distinction a été réalisée en comparant les rendements des types d'exploitation élaborés par la CRAMP à ceux accessibles dans les données FADN. Cette méthode a généré un biais significatif entre la part relative des reliefs dans le monde réel et celle représentée dans le monde virtuel. Ce biais peut avoir été provoqué i) par le faible degré de précision des données utilisées pour évaluer la part relative des différentes terres arables et ii) par l'estimation de leur proportion après la procédure d'upscaling.

Une alternative à la méthode employée pourrait consister à distinguer les exploitations en fonction des terres dont elles disposent lors de la procédure d'upscaling, en tant que critère typologique. Il serait alors possible d'introduire deux critères supplémentaires dans la procédure d'upscaling (les surfaces de Boulbènes et celles de Terreforts) en lieu et place du seul critère de surface des terres arables. Néanmoins, la représentativité de ce critère risque de ne pas être respectée dans l'échantillon d'exploitations FADN. De plus, la réalisation de cette alternative est conditionnée à l'évaluation des surfaces des deux types de sol dans le monde

¹²³ http://www.math.cornell.edu/~mec/2008-2009/HoHonLeung/page6_knots.htm

réel. L'annexe A14 détaille les résultats d'une méthode employée pour estimer ces surfaces fondée sur l'estimation des sols majoritaires dans les communes de la zone simulée.

- Différenciation des agents virtuels : le biais introduit par le recours à des distributions aléatoires

Durant la phase d'initialisation, des processus aléatoires sont utilisés pour distribuer certaines caractéristiques des agents : leur âge, l'âge de leur équipement et la localisation de leur exploitation sur la grille. Ces caractéristiques sont déterminées en utilisant une distribution aléatoire suivant une loi uniforme. D'une part, la localisation spatiale des exploitations est biaisée. D'autre part, la distribution aléatoire de l'âge des agents modifie la distribution démographique réelle caractérisée par une majorité d'exploitants âgés. De plus, dans le monde réel, l'âge des équipements est souvent corrélé à l'âge des agents ou à l'existence d'un successeur. Ceci n'est également pas le cas dans le monde virtuel dans la mesure où les distributions de ces deux variables sont indépendantes.

Pour remédier à ces biais, une alternative consisterait à estimer la loi régissant la distribution de l'âge des chefs d'exploitations dans le monde réel et à modifier celle utilisée dans AgriPoliS. Introduire une corrélation entre l'âge des équipements et celui des agents est plus délicate. Un facteur de proportionnalité lié à l'âge des exploitants pourrait même être introduit pour déterminer l'âge des équipements. La conjonction des facteurs aléatoires et des interactions entre les variables aurait pu induire une faible robustesse des résultats et des écarts-types importants. Toutefois, comme l'a déjà noté Happe (2004), les résultats obtenus avec AgriPoliS sont plutôt robustes et les écarts-types sont relativement faibles.

Le comportement des agents exploitations agricoles

Nous nous intéressons maintenant aux hypothèses relatives à la modélisation des agents exploitations. Dans AgriPoliS, la règle de décision de production et d'investissement des agents est, par hypothèse, une maximisation du revenu espéré du ménage. Cette hypothèse permet de modéliser de manière relativement satisfaisante les décisions de producteurs agricoles professionnels dont les revenus sont en grande partie issus de leur activité agricole. Néanmoins, une première limite apparaît du fait de l'absence de prise en compte du risque dans les décisions des agents. De plus, dans les espaces périurbains où des stratégies

patrimoniales peuvent être élaborées, notamment par les exploitants non-professionnels, cette hypothèse limite les possibilités de représenter d'autres types d'agents. La règle de décision de maximisation du revenu du ménage pourrait ne pas correspondre aux règles de décision de tous les agents (par exemple, les exploitations non-professionnelles). Dans un premier temps, nous analyserons les limites concernant l'utilisation des données FADN pour créer les agents. Dans un deuxième temps, nous aborderons les critères choisis pour arbitrer la décision de sortie des agents. Dans un troisième temps, nous nous intéresserons aux possibilités d'introduire de nouvelles opportunités d'emploi non-agricole.

- Sélection des agents exploitations agricoles : partialité des données FADN

La méthode de sélection des agents utilisée dans cette thèse suit la procédure d'upscaling développée par Sahrbacher et Happe (2008). Celle-ci permet une sélection automatique d'un échantillon représentatif d'exploitations à partir des données FADN. La méthode est reproductible à d'autres régions (Sahrbacher, 2011). Les données FADN sont en effet disponibles au niveau européen à l'échelle NUTS 2 qui, en France, correspond au découpage administratif régional. La procédure d'upscaling est utilisable à une échelle inférieure à l'échelle régionale mais alors des difficultés peuvent être rencontrées lors de l'étape de collecte des données. Dans notre cas, une collaboration avec la CRAMP a permis d'accéder aux informations nécessaires.

Néanmoins cette étape d'upscaling présente des limites dès lors que la représentativité des paramètres utilisés comme critères de sélection n'est pas bonne dans les bases de données. Lors de l'étape d'upscaling, des critères de sélection sont choisis, par exemple la valeur des surfaces irriguées dans notre cas. L'échantillon FADN utilisé était cependant caractérisé par une majorité d'exploitations qui n'irriguent pas. Un premier biais est introduit par le manque de représentativité des bases de données FADN concernant cet indicateur. Un second est provoqué par l'hétérogénéité des sources utilisées. Ainsi, la généralité de la méthode est limitée par les contraintes liées aux choix des critères de sélection et à la qualité des données disponibles.

Les données FADN donnent accès à des informations concernant uniquement des exploitations professionnelles. D'une manière générale, le biais introduit par l'absence des exploitations non-professionnelles est minime du fait que l'objectif d'AgriPoliS est de

modéliser le changement structurel des exploitations contribuant significativement à la production agricole d'une région et à l'occupation de son territoire. Dans les espaces périurbains, les exploitations non-professionnelles jouent toutefois un rôle non-négligeable (Chatellier et al., 2004). D'une part, elles contribuent à la rétention des terres agricoles et empêchent les autres exploitations de s'agrandir. D'autre part, leur capacité à « tamponner » l'expansion urbaine réduit l'impact de la périurbanisation sur les exploitations professionnelles. Il pourrait être intéressant de collecter des informations sur les caractéristiques structurelles de ces exploitations afin de mieux en tenir compte dans la typologie.

- Des décisions de sortie intégrant les coûts irrécouvrables

Dans AgriPoliS, les agents quittent le secteur agricole si i) ils n'ont plus de liquidité, ii) les coûts d'opportunité à maintenir une activité agricole par rapport à une activité non-agricole sont trop faibles et iii) les coûts d'opportunité liés à la reprise d'une exploitation sont trop faibles.

Les coûts irrécouvrables modifient la perception des coûts d'opportunité (chapitre 2). Par conséquent, les décisions de sortie pourraient être modifiées de manière à ce que les coûts d'opportunité des agents prennent en compte les coûts irrécouvrables liés aux investissements. D'après les résultats de la littérature, les agents ayant réalisé des investissements importants sont plus réticents à cesser leur activité agricole à cause des coûts irrécouvrables (Chavas, 1994; Balmann, 1999). Par conséquent, une alternative pourrait consister à introduire un calcul de coûts d'opportunités intégrant les coûts irrécouvrables liés aux investissements. Cette fonction serait d'ailleurs particulièrement utile lors de l'étape de calibrage pour ajuster le taux de sortie des exploitations.

- Introduire d'autres opportunités de productions agricoles ou des activités non agricoles

Dans AgriPoliS, les cultures simulées sont en général les cultures historiques observées dans la région. Il est néanmoins restrictif de simuler durant les vingt-cinq années de simulation les mêmes productions sans considérer la potentialité d'en introduire de nouvelles (Happe, 2004). Dans notre cas, des entretiens avec des professionnels de la filière grandes cultures nous ont

permis d'identifier des cultures (triticale, féverole¹²⁴) dont le potentiel pourrait se développer dans les années à venir.

De la même manière, il serait possible d'introduire de nouvelles opportunités d'emploi non-agricole. Pour le moment, les opportunités d'emploi non-agricole sont uniquement des emplois non-qualifiés. Dans l'optique de simuler le changement structurel des exploitations périurbaines, d'autres opportunités pourraient être introduites : transformation de la production, emplois dont la rémunération dépendrait du niveau de qualification des agents, ou mise en place de vente directe. Ces alternatives sont relativement délicates à introduire car elles supposent d'adapter l'échelle du modèle, en intégrant d'autres équilibres que celui du marché foncier. Il faudrait alors estimer l'offre d'emplois non-agricoles ainsi que la demande pour les produits et services non-agricoles. Sans coupler AgriPoliS à un modèle d'équilibre qui modéliserait l'évolution de l'offre et de la demande relatives à ces nouvelles activités, il serait possible de conditionner l'accès à ces activités aux agents dont le siège de l'exploitation est situé dans un certain périmètre de l'agent ville.

A propos de la représentation de l'étalement urbain

Dans le chapitre 6, l'impact de l'étalement urbain a été simulé en modifiant le niveau des charges opérationnelles des activités agricoles. Ce choix méthodologique ne prend en compte ni le comportement spéculatif des agents, ni la consommation foncière par des agents non-agriculteurs. Toutefois, la modification simultanée de plusieurs paramètres aurait compliqué de façon significative l'analyse des résultats en augmentant le nombre de causes possibles pour expliquer les phénomènes observés. Dans le chapitre 7, un ensemble de suggestions ont été faites pour simuler de manière endogène l'étalement urbain et remédier à ces limites. Ces propositions sont maintenant discutées. Nous nous intéresserons tout d'abord à la consommation foncière d'origine non-agricole. Puis nous discuterons l'introduction de terres urbaines hétérogènes.

¹²⁴ Les caractéristiques technico-économiques de la féverole étant très proches de celles du pois, la féverole n'a pas été introduite dans les simulations.

- Compétition foncière et rôle des villes

Dans les propositions d'extension présentées dans le chapitre 7, la consommation foncière serait provoquée par une demande en foncier agricole émanant d'agents non-agricoles qui souhaiteraient artificialiser des terres en vue de leur installation dans des communes à proximité du pôle urbain. Par conséquent, l'agent ville croîtrait en surface en achetant chaque année un certain nombre de parcelles aux agents exploitations agricoles.

Dans notre proposition, la quantité de foncier consommée par l'agent ville n'est pas dynamique. Pratiquement, une valeur dynamique pourrait être estimée à partir des notifications SAFER. Alors que nous avons calculé les moyennes sur six ans les prix des terres urbaines et les volumes des surfaces artificialisées, nous aurions pu définir une équation permettant d'estimer une valeur annuelle de ces paramètres. Cette modification nécessiterait néanmoins de disposer de prévisions sur les consommations futures de foncier sur le territoire (par exemple, les prospectives de l'AUAT). Cette modification permettrait en outre de tester des scénarios portant sur les politiques de régulation (densification de l'habitat) ou de dérégulation du marché foncier (mitage exacerbé).

- Hétérogénéité des terres artificialisées : différenciation de la contrainte périurbaine

Dans notre proposition, la demande en foncier exprimée par l'agent ville agglomèrerait les demandes des agents non-agriculteurs qui achètent du foncier agricole en vue de son artificialisation. Cette demande ne tiendrait pas compte des usages urbains futurs des terres agricoles alors que les externalités affectant l'activité agricole sont significativement différentes selon que l'usage des parcelles à proximité est de type résidentiel, commercial ou industriel. Ainsi, la nature des usages urbains des parcelles pourrait être affinée mais là encore l'information est difficile d'accès, d'un point de vue quantitatif. En fonction de l'usage des parcelles non-agricoles, des opportunités et des contraintes différentes pourraient affecter les agents. Par exemple, les exploitations proches de zones résidentielles pourraient être davantage contraintes dans leur usage des pesticides ou des fertilisants. Elles pourraient également avoir un parcellaire plus difficile d'accès augmentant les coûts de transport. A des usages différents du sol sont également associées des valeurs différentes de la rente foncière qui affectent les capacités d'investissement et d'innovation des agriculteurs. Ainsi la rente

foncière associée aux parcelles non-agricoles pourrait être différenciée selon qu'il en est fait un usage résidentiel ou non.

Une autre proposition pourrait être faite dans le cas où la représentation spatiale du territoire serait modifiée et que les contraintes liées à l'utilisation du torus soient dépassées. Elle consisterait à représenter les mesures de zonage propres à la régulation du marché du foncier français. On pourrait ainsi déterminer des espaces où les terres agricoles sont protégées et d'autres où les terres agricoles peuvent être artificialisées. Ceci permettrait alors de modéliser les interventions de la SAFER en envisageant, par exemple, de diminuer les coûts d'opportunité à la reprise des exploitations situées au sein d'espaces agricoles protégées.

La majorité des discussions conduites dans cette analyse critique vise à améliorer le degré de précision des résultats des simulations réalisées avec AgriPoliS en s'attachant plus particulièrement à la représentation des agents exploitations (localisation, règles de décision), du paysage et du phénomène d'étalement urbain. Ces améliorations devraient contribuer à améliorer le pouvoir prédictif du modèle grâce à une modélisation plus fine des caractéristiques spatiales des régions simulées (localisation des ressources, localisation de la ressource en eau).

CONCLUSION GENERALE

Dans cette thèse, nous nous sommes attachés à comprendre comment les exploitations agricoles de grande culture modifient leur structure pour s'adapter, sur le long terme, à certaines contraintes de leur environnement. Nous avons exemplifié notre étude sur le cas des exploitations du Lauragais confrontées à la périurbanisation de la métropole toulousaine. La littérature relate, d'une part, que la périurbanisation est, pour les exploitations agricoles, source de contraintes avec notamment une hausse du prix du foncier, une hausse des coûts variables de production et l'existence de comportements spéculatifs sur le prix des terres et, d'autre part, qu'elle peut également être source d'opportunités en permettant, par exemple, de faciliter la valorisation en vente directe de la production, de développer des ateliers de transformation ou des activités complémentaires à leur exploitation, voire de trouver un emploi non-agricole. La conceptualisation du changement structurel des exploitations périurbaines a nécessité de mobiliser le champ disciplinaire de l'économie agricole, qui explique le changement structurel des exploitations par l'existence d'économies d'échelle et de gamme, de coûts irrécouvrables et de phénomènes d'apprentissage. Ce cadre d'analyse a été complété par d'autres types de coûts évoqués en économie spatiale (les coûts de transport), qui permettent de comprendre les décisions des agents agriculteurs et non-agriculteurs en fonction de la configuration de leur parcellaire et de leur proximité à la ville.

En nous plaçant dans une approche de long terme, notre analyse a consisté à quantifier, grâce à i) des modèles économétriques et ii) un outil de simulation, le changement structurel des exploitations de grande culture qui représentent un secteur majeur de l'agriculture midi-

pyrénéenne. Plus spécifiquement, nous nous sommes attachés à mettre en évidence l'évolution de leurs dynamiques structurelles face à la périurbanisation de leur territoire.

Pour ce faire, nous avons procédé en trois étapes. Dans un premier temps, une revue de la littérature, nous a permis de déterminer l'acception de la périurbanisation utilisée dans cette thèse. La périurbanisation a ainsi été définie comme un processus d'artificialisation rapide des terres agricoles localisées à proximité directe des grandes métropoles, accéléré par la généralisation de l'habitat diffus. Cette revue de la littérature, nous a ensuite permis ii) de proposer une définition du changement structurel comme la variation sur le long terme des dotations en facteurs de production (capital, foncier, et travail) des exploitations et iii) de recenser les forces à l'origine du changement structurel en agriculture: économies d'échelle (agrandissement, mécanisation, spécialisation) et de gamme (diversification) consécutives aux investissements réalisés pour maintenir la compétitivité des exploitations. Ce faisant, les agriculteurs acquièrent de l'expérience (apprentissage) et immobilisent des capitaux (dont une partie représentent des coûts irrécouvrables) à l'origine d'un phénomène de dépendance au chemin contraignant la dynamique future de changement structurel des exploitations. L'influence de la périurbanisation sur la dynamique de changement structurel des exploitations midi-pyrénéennes a iv) été testée économétriquement. Nous avons alors mis en évidence des dynamiques d'agrandissement et de décapitalisation foncière spécifiques aux espaces urbains et périurbains.

Dans un deuxième temps, nous avons sélectionné un outil de simulation afin de simuler le changement structurel des exploitations périurbaines de grande culture. Pour cela, une revue de la littérature nous a permis d'identifier le système multi-agents AgriPoliS développée par des chercheurs de l'IAMO (Happe, 2004; Kellermann et al., 2008). Avec AgriPoliS, la structure agricole est considérée comme un système complexe adaptatif dont la dynamique est induite par les décisions individuelles d'investissement et de production des agriculteurs et par leurs interactions sur le marché du foncier. AgriPoliS a été adapté (upscaling, calibrage et validation) à une zone de six cantons du Lauragais, bassin de production de grande culture particulièrement affecté par la périurbanisation. La procédure d'upscaling a abouti à la sélection de vingt-cinq exploitations issues des bases de données FADN. Deux types de sol caractéristiques de la région ont également été introduits pour améliorer la représentation des caractéristiques agronomiques des sols de la région simulée. Enfin le modèle a été calibré pour reproduire, sur la période 2007/2014, la dynamique de sortie des exploitations de la

région simulée observée entre 2000 et 2007. Enfin le modèle a été validé afin d'identifier les interactions possibles entre des variables importantes pour notre étude.

Dans un troisième temps, le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines a été simulé sur vingt cinq ans avec AgriPoliS. L'objectif était de mettre en évidence les dynamiques structurelles des exploitations en fonction de l'évolution des charges opérationnelles de production (cette augmentation étant, dans nos hypothèses, induite par l'urbanisation). Les résultats montrent que les exploitations modifient principalement leur sole pour s'adapter à cette évolution des charges opérationnelles. Sur le long terme, cette évolution aboutit à des dynamiques de sortie et d'agrandissements différentes en fonction des scénarios. Alors que dans les scénarios à charges opérationnelles faibles (« No sprawl » et « Reference ») les sorties sont plus nombreuses et les agrandissements plus importants, c'est le contraire qui se passe dans les scénarios « Sprawl 1 » et « Sprawl 2 ». Toutefois, ces résultats sont à transposer avec précaution au cas du changement structurel périurbain. Une hypothèse forte sur l'évolution des charges opérationnelles est à l'origine de ces scénarios, les caractéristiques actuelles d'AgriPoliS ne nous permettant pas de modéliser l'impact de la périurbanisation de manière exhaustive. Des extensions d'AgriPoliS ont alors été proposées dans le chapitre 7 pour tenter de dépasser certaines limites induites par notre question de recherche. Elles concernent i) l'introduction d'un agent ville, ii) la modification des règles de décision des agents et iii) la prise en compte des exploitations non-professionnelles dans les simulations. Finalement les choix méthodologiques réalisés au cours de cette thèse ont été discutés et des alternatives ont été proposées. Les alternatives ont tour à tour discuté la complémentarité des outils utilisés dans cette thèse, la modification de la représentation du paysage actuellement contrainte par une forme en torus, la représentation des agents dans AgriPoliS et les propositions d'extension réalisées dans le chapitre 7.

Apports de la thèse

De fait, des apports tant théoriques qu'empiriques sont réalisés dans cette thèse. Ils apportent un complément à la littérature sur le changement structurel des exploitations en s'intéressant au cas spécifique des exploitations de grande culture des zones périurbaines.

Apports théoriques

La majorité des travaux relatifs au changement structurel en agriculture portent sur les déterminants de la taille des exploitations (Summer & Leiby, 1987; Weiss, 1999; Butault & Delame, 2005). D'autres ont mis en évidence que des déterminants structurels contribuent à la flexibilité des exploitations (Weiss, 2001). Le changement structurel des exploitations agricoles a également été simulé dans plusieurs régions européennes (Happe, 2004; Sahrbacher, 2011). Toutefois, en économie, les approches quantitatives de modélisation de la production n'ont pas donné lieu, à notre connaissance, au développement de cadres méthodologiques spécifiques à la question des exploitations périurbaines.

Le cadre d'analyse adopté nous a permis d'intégrer partiellement les problématiques particulières posées par le contexte d'urbanisation dans lequel évoluent les exploitations de grande culture du Lauragais midi-pyrénéen. Le cadre explicatif classique du changement structurel en agriculture repose sur l'existence d'économies d'échelle et de gamme, de coûts irrécouvrables et de phénomènes d'apprentissage. Il a été complété afin de tenir compte des comportements des agents induits par la proximité de la ville. Le concept de rente marshallienne a alors été mobilisé, d'un point de vue théorique, pour comprendre la distribution spatiale de l'usage agricole et urbain des sols. En reprenant les concepts de rente de longue durée, de rente de situation, de quasi-rente et de rente transitoire, la rente marshallienne permet de prendre en considération les déterminants de la valeur du foncier périurbain. Cette analyse a ensuite permis d'identifier des facteurs explicatifs du comportement des agents en milieu périurbain et de les introduire dans les modèles utilisés par la suite.

Apports méthodologiques

Des apports méthodologiques contribuent également à l'originalité de cette thèse. Dans un premier temps, trois modèles économétriques ont été utilisés parallèlement pour déterminer ex-post les déterminants de la taille et de la croissance en taille des exploitations agricoles midi-pyrénéennes. A notre connaissance, aucun modèle économétrique ne propose, pour le moment, d'identifier les déterminants de la croissance en taille physique des exploitations. Relativement à notre intérêt pour la question foncière, l'indicateur de taille retenu a été la taille physique en hectare des exploitations. Dans l'analyse économétrique, nous avons alors

approché le phénomène d'urbanisation par, une variable caractérisant le degré d'urbanisation sur la commune de l'exploitation. Cette variable a été construite en utilisant la classification ZAUER. Grâce à deux indicateurs (le nombre d'emplois et le nombre d'habitants ayant un emploi dans le pôle urbain), cette classification permet de distinguer les communes selon leur localisation dans une zone urbaine, périurbaine ou rurale. L'introduction de cette variable a permis d'identifier i) que la taille des exploitations est significativement plus petite dans les zones urbaines, ii) que des dynamiques de restructuration très importantes se produisent dans les zones urbaines, et iii) que l'intensité d'agrandissement est plus forte dans les espaces ruraux profonds. Cette variable pourrait toutefois être contrainte par une définition assez peu restrictive, d'un point de vue agricole, des espaces périurbains (communes polarisées et multipolarisées). L'aire urbaine toulousaine s'étend, par exemple, au-delà du département de Haute-Garonne. Pour sa part, les aires urbaines d'Auch et de Cahors englobent des communes dont la densité de population est très faible (entre 10 et 20 habitants/km²). Générique, il nous faudrait alors envisager la possibilité d'avoir à affiner ce zonage afin qu'il tienne mieux compte de la distribution spatiale des contraintes et des opportunités caractéristiques des espaces urbains, périurbains et ruraux affectant l'activité agricole.

Dans un second temps, l'analyse des résultats des simulations réalisées avec AgriPoliS a tenu compte de l'hétérogénéité structurelle des exploitations. Les analyses conduites dans AgriPoliS sont classiquement menées en fonction de l'orientation technico-économique des exploitations (Happe, 2004; Sahrbacher, 2011). Dans notre cas, le territoire simulé est caractérisé par une très forte homogénéité des orientations technico-économiques avec une spécialisation dominante des exploitations en grande culture. La typologie réalisée avec une procédure automatisée d'upscaling (Sahrbacher & Happe, 2008) a abouti à la sélection de vingt-cinq types d'exploitations qui in fine ont permis de créer un territoire virtuel dont la structure agricole est proche de celle du territoire réel. La sélection de ces exploitations pourrait néanmoins être améliorée en affinant les critères de sélection utilisés dans la procédure d'upscaling et en disposant de bases de données homogènes en termes de méthodologie de collecte et d'année de collecte des données.

Dans un troisième temps, malgré des dispositions notables du modèle AgriPoliS pour modéliser le changement structurel des exploitations agricoles, sa structure actuelle ne permet pas de modéliser explicitement le phénomène de périurbanisation. Ainsi, le comportement spéculatif des agents qui explique en partie le phénomène de rétention du foncier dans les

zones en cours d'urbanisation (Géniaux & Napoléone, 2007) n'a pas pu être introduit, pas plus que l'artificialisation des terres agricoles. Pour répondre à notre question de recherche, une extension du modèle AgriPoliS a été proposée. Cette dernière introduit un nouvel agent, l'agent ville, représentant l'ensemble des agents non-agricoles qui achètent du foncier agricole en vue de son artificialisation. Celui-ci achète chaque année une quantité de terres à un prix fixé en fonction de la distance des parcelles au centre ville. La création de cet agent a été possible en analysant les notifications SAFER des communes de la zone simulée. Le comportement des agents agriculteurs a également été modifié afin d'intégrer dans le processus de décision leur comportement spéculatif. Pour cela, un terme évaluant les profits futurs espérés liés à la vente anticipée des terres a été rajouté à l'équation du revenu des ménages. Ce terme est associé à un coefficient qui pourrait être évalué en fonction des caractéristiques individuelles des agents. Finalement, les exploitations non-professionnelles ont été introduites car les terres qu'elles occupent constituent un enjeu majeur dans les zones périurbaines. Ces terres peuvent être considérées à la fois comme des espaces « tampons » qui limitent l'impact de la périurbanisation sur les exploitations agricoles professionnelles, mais également comme des stocks de foncier qui pourraient permettre l'agrandissement des autres exploitations.

Apports empiriques

Plusieurs résultats contribuent à alimenter la réflexion sur l'agriculture périurbaine. L'analyse économétrique montre, à l'échelle de la région Midi-Pyrénées, que la localisation des exploitations agricoles sur des territoires urbains modifie non seulement leur taille mais également leur dynamique d'agrandissement. L'adaptation d'AgriPoliS à un territoire de six cantons spécialisés en grande culture de la région Midi-Pyrénées montre ensuite que l'intensité de la périurbanisation, introduite à travers les charges opérationnelles, modifie les dynamiques d'agrandissement et de maintien dans la branche des agents. Dans les simulations, ces derniers s'adaptent à la modification de leur environnement en modifiant leur assolement. Celle-ci provoque alors un ralentissement des sorties des agents lorsque les charges opérationnelles sont élevées (scénarios « Sprawl 1 » « Sprawl 2 »). Ces résultats sont toutefois à considérer avec précaution puisque le modèle ne permet pas, pour le moment, de simuler la périurbanisation des espaces et ses conséquences sur les exploitations agricoles, ce qui nous avait d'ailleurs amené à réaliser l'hypothèse forte reliant intensité de la périurbanisation et charges opérationnelles.

Perspectives de recherche

Les résultats présentés dans cette thèse ouvrent de nouvelles perspectives de recherche qui, dans un premier temps, permettraient de confirmer certains résultats et de leur donner plus de robustesse. Dans le chapitre 2, nous avons fait l'hypothèse que, sur les territoires périurbains, le foncier est considéré soit comme un facteur de production, soit comme un bien patrimonial par les agriculteurs et comme un bien de consommation intermédiaire par les agents non-agricoles. Cette première hypothèse théorique concernant l'usage des terres pourrait être testée empiriquement. Les représentations des agriculteurs concernant l'usage et la valeur des terres pourraient être testées en empruntant à la géographie et à la sociologie des méthodes de schématisation mentale et spatiale. En révélant les perceptions des acteurs concernant l'usage et la valeur du foncier et la périurbanisation, il serait alors possible d'affiner i) le zonage en espaces urbains, périurbains et ruraux utilisé pour la construction de la variable « localisation dans un espace urbain » introduite dans les modèles économétriques, et ii) les règles de décision des agents en fonction de leur localisation par rapport à la ville. D'autre part, la fonctionnalité d'AgriPoliS de générateur de données n'a pas été réellement mise à profit dans cette thèse. Les données de sortie d'AgriPoliS, disponibles pour chaque exploitation tout au long des 25 années de simulation, n'ont été que peu exploitées. Tout comme pour l'étape de validation d'AgriPoliS, il serait possible d'utiliser les données de sortie pour identifier les facteurs responsables du maintien de l'activité des exploitations, en mobilisant des métamodèles économétriques, notamment des modèles de survie, qui donneraient plus de robustesse et de consistance à l'analyse menée dans le chapitre 6.

Dans un deuxième temps, certaines discussions méritent d'être examinées plus en détail. Dans cette thèse nous avons discuté le rôle des entreprises de travaux agricoles comme des facteurs de flexibilité concourant à la réduction des charges structurelles de l'exploitation tout en leur permettant de bénéficier d'économies d'échelle. Leur rôle dans le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines pourrait toutefois aller au-delà. Au sein des territoires périurbains, les exploitations agricoles sont parfois considérées comme un patrimoine par leurs propriétaires mais pas nécessairement comme des outils de production. D'autre part, la hausse du prix du foncier agricole périurbain se traduit, pour le moment, par des installations plus coûteuses sur des exploitations plus petites. Ainsi, entre d'une part des propriétaires terriens souhaitant conserver leur patrimoine et des agriculteurs pour qui l'accès au foncier représente une barrière à l'entrée parfois rédhibitoire, les entreprises de travaux agricoles

pourraient se développer. On assisterait alors à une évolution significative du secteur agricole des grandes cultures périurbaines mettant en jeu une dualisation de la propriété. D'un côté, des propriétaires terriens qui externalisent les opérations de production. De l'autre, des entreprises de travaux agricoles, possédant savoir-faire et équipement, qui seraient alors des cultivateurs de l'espace périurbain.

D'autre part, la question de l'élevage mérite également d'être soulevée. Les exploitations de grande culture périurbaines sont contraintes par i) un usage du sol qui rend parfois difficile leur accès aux parcelles et ii) leur faiblesse à bénéficier des opportunités du marché en développant des activités de vente directe. Le petit élevage (volailles) ou l'activité équestre pourraient ainsi représenter des activités complémentaires valorisant les productions de grande culture. Ces activités permettraient de valoriser les productions de grande culture en les utilisant pour l'alimentation animale et d'internaliser des externalités (effluents d'élevage). Elles permettraient également de valoriser des parcelles arables difficiles d'accès avec les machines agricoles en les transformant en pâturage pour les animaux. Dans ces conditions, l'élevage de granivores et le pensionnat équin sont des alternatives crédibles aux grandes cultures et pourraient prendre de l'ampleur dans le futur.

En résumé, cette thèse a abordé le changement structurel des exploitations agricoles en proposant un cadre d'analyse spécifique permettant d'appréhender les dynamiques structurelles particulières des exploitations périurbaines de grande culture. L'utilisation du modèle AgriPoliS a mis en évidence différents degrés de résistance des exploitations à la périurbanisation. Les résultats présentés dans cette thèse permettent d'envisager une suite à ces recherches. D'une part, en utilisant davantage les nombreuses possibilités offertes par les systèmes multi-agents, notamment en termes d'analyse des résultats. D'autre part, en confrontant ces résultats issus d'une approche économique à d'autres approches, notamment sociologiques et géographiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ackerman, E. B. 1977. Alternative to Rural Exodus: The Development of the Commune of Bonnières-Sur-Seine in the Nineteenth Century. *French Historical Studies* 10 (1): 126-148
- Agreste 2010. Recensement Général Agricole. Paris, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.
- Alasia, A., A. Weersink, R. D. Bollman and J. Cranfield. 2009. Off-Farm Labour Decision of Canadian Farm Operators: Urbanization Effects and Rural Labour Market Linkages. *Journal of rural studies* 25 (1): 12-24
- Alavoine-Mornas, F. and G. Giraud 2004. Quelles Adaptations Des Systèmes De Production Agricole Au Contexte Périurbain? Cas De La Communauté D'agglomération Du Pays D'aix (Bouches-Du-Rhône). Session SFER Systèmes de production agricole : performances, évolutions, perspectives. Lille, 20.
- Aldanondo Ochoa, A. M., V. Casanovas Oliva and C. Almansa Saez. 2007. Explaining Farm Succession: The Impact of Farm Location and Off-Farm Employment Opportunities. *Spanish Journal of Agricultural Research* 5 (2): 214-225
- Alonso, W. 1964. Location and Land Use: Toward a General Theory of Land Rent. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press
- Altieri, M. A. 1999. The Ecological Role of Biodiversity in Agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 19-31
- Altieri, M. A. 2002. Agroecology: The Science of Natural Resource Management for Poor Farmers in Marginal Environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93: 1-24
- Alvarez, A. and C. Arias. 2004. Technical Efficiency and Farm Size: A Conditional Analysis. *Agricultural Economics* 30 (3): 241-250
- Antrop, M. 2004. Landscape Change and the Urbanization Process in Europe. *Landscape and Urban Planning* 67 (1-4): 9-26
- Argyris, C. and D. A. Schön. 1996. Apprentissage Organisationnel, Théorie, Méthode, Pratique, Traduction De La Première Édition Américaine. De Boeck Université
- Arrow, K. J. 1962. The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economic Studies* 29 (3): 155-173

- Arthur, W. B. 1989. Competing Technologies, Increasing Returns and Lock-in by Historical Events. *The Economic Journal* 99: 116-131
- Arthur, W. B. 1990. Positive Feedbacks in the Economy. *Scientific American* 262: 92-99
- Association du Pays Lauragais 2002. Charte Du Pays Lauragais.
- AUAT. 2005. La Pression Foncière En Hausse Sur Le Territoire Rural. *Perspectives Villes Toulouse Aire Urbaine* 29:
- AUAT 2007. Situation 2004 - 2005. Observatoire Partenarial de l'Environnement, 136.
- AUAT. 2008. L'aire Urbaine De Toulouse : Un Territoire Toujours Très Attractif. *Perspectives Villes Toulouse Aire Urbaine* Juillet 2008:
- AUAT. 2010. Evolution Démographique 1999 - 2007 L'aire Urbaine De Toulouse Un Territoire Attractif. *Perspectives Villes Toulouse Aire Urbaine* Juin 2010:
- AUAT. 2011. Vers Une Stabilisation Du Marché Immobilier Résidentiel En 2011 ? *Perspectives Villes Toulouse Aire Urbaine* Octobre 2011:
- Audirac, I. 2005. Information Technology and Urban Form : Challenges to Smart Growth. *International Regional Science Review* 28 (2:): 119-145
- Baccaïni, B., F. Sémécurbe and G. Thomas. 2007. Les Déplacements Domicile-Travail Amplifiés Par La Périurbanisation. *INSEE Premières* 1129:
- Badouin, R. 1971. Economie Rurale. Paris: Librairie Armand Colin
- Balman, A. 1997. Farm-Based Modelling of Regional Structural Change: A Cellular Automata Approach. *European Review of Agricultural Economics* 24 (1): 85-108
- Balman, A. 1998. Path Dependence and the Role of Sunk Costs in Adoption Processes with Network Externalities. Mimeo.
- Balman, A. 1999. Path Dependence and the Structural Evolution of Family Farm Dominated Regions. IX European Congress of Agricultural Economists. Warsaw, 263-284.
- Barbier, F. 2005. Uml 2 Et Mde, Ingénierie Des Modèles Avec Études De Cas. Dunod
- Barbieri, C. and E. Mahoney. 2009. Why Is Diversification an Attractive Farm Adjustment Strategy? Insights from Texas Farmers and Ranchers. *Journal of rural studies* 25 (1): 58-66
- Barthélémy, D. 2002. Economie Patrimoniale Et Répartition Des Moyens De Production Dans L'agriculture Française. *Economie rurale* 268-269: 89-102
- Bedoussac, L. and E. Justes. 2011. A Comparison of Commonly Used Indices for Evaluating Species Interactions and Intercrop Efficiency: Application to Durum Wheat-Winter Pea Intercrops. *Field Crops Research* 124 (1): 25-36
- Beitone, A., A. Cazorla, C. Dollo and A.-M. Draï. 2010. Dictionnaire De Science Économique 3ème Édition Revue Et Augmentée. Paris: Armand Colin
- Ben Arfa, N., C. Rodriguez and K. Daniel. 2009. Dynamiques Spatiales De La Production Agricole En France. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine* 4: 807-834
- Benjamin, C. 1994. The Growing Importance of Diversification Activities for French Farm Households. *Journal of rural studies* 10 (4): 331-342
- Berger, T. 2001. Agent-Based Spatial Models Applied to Agriculture: A Simulation Tool for Technology Diffusion, Resource Use Changes and Policy Analysis. *Agricultural Economics* 25 (2-3): 245-260

- Berger, T. and P. Schreinemachers. 2006. Creating Agents and Landscapes for Multiagent Systems from Random Samples. *Ecology & Society* 11 (2): 54-71
- Bergevoet, R., M. Klopčič and A. Kuipers 2010. Examination of Slovenian Farmers' Strategies and Perceived Opportunities and Threats as Part of Rural Development. Producers and Consumers' Choices Regarding Cattle Farming Systems and Products - Surveys in Slovenia -. A. Kuipers, M. Verbic, J. Glavac, K.-S. Mira and M. Klopčič. Ljubijana, Ministry of Agriculture, Forestry and Food: 31-42.
- Bergez, J.-E., F. Carpy-Goulard, S. Paradis and A. Ridier. 2011. A Participation Foresight Analysis of the Cash Crop Sector at Regional Level: A Case Study for a Southwestern Region in France. *Regional Climate Change, Online First™, 16 May 2011*:
- Bergez, J.-E. and B. Lacroix. 2008. Gestion De L'irrigation : Du Stratégique Au Tactique. Quelques Apports De La Recherche. *Innovations Agronomiques* 2: 53-63
- Bergez, J.-E. and S. Nolleau. 2003. Maize Grain Yield Variability between Irrigation Stands: A Theoretical Study. *Agricultural Water Management* 60 (1): 43-57
- Bernard, Y. and J.-C. Colli. 1989. Dictionnaire Économique Et Financier Paris: Seuils
- Berry, D. 1978. Effects of Urbanization on Agricultural Activities. *Growth and Change* 9: 2-8
- Bezbakh, P. and S. Gherardi. 2008. Dictionnaire De L'économie Paris: Larousse
- Blaskovic, H. and H.-B. Lefer. 1994. Les Modèles De Simulation Technico-Economiques Comme Méthode D'analyse Des Différentes Politiques Agricoles. *Economie rurale*: 45-51
- Boehlje, M. 1992. Alternative Models of Structural Change in Agriculture and Related Industries. *Agribusiness* 8 (3): 219-231
- Boehlje, M. 1999. Structural Changes in the Agricultural Industries: How Do We Measure, Analyze and Understand Them? *American Journal of Agricultural Economics* 81 (5): 1028-1041
- Boinon, J.-P. 2012. Les Politiques Foncières Agricoles En France Depuis 1945. *Economie et Statistiques* 444-445: 19-37
- Boinon, J.-P. and A.-M. Dussol. 2005. Les Installations Sans Dja Une Contribution Significative À L'activité Agricole. *Agreste Cahiers* 3:
- Boisson, J.-M. 2005. La Maîtrise Foncière, Clé Du Développement Rural, Pour Une Nouvelle Politique Foncière. Conseil Economique et Social, Paris.
- Bommel, P. 2009. Définition D'un Cadre Méthodologique Pour La Conception De Modèles Multi-Agents Adaptée À La Gestion Des Ressources Renouvelables. Montpellier, Université de Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc. Thèse, 312.
- Bousquet, F. 2001. Modélisation D'accompagnement Simulations Multi-Agents Et Gestion Des Ressources Naturelles Et Renouvelables. Lyon, Université de Lyon 1. Mémoire pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches de l'Université de Lyon 1, 71p.
- Bousquet, F. and C. Le Page. 2004. Multi-Agent Simulations and Ecosystem Management: A Review. *Ecological Modelling* 176: 313-332
- Boussard, J.-M. 1987. Economie De L'agriculture. Paris: Economica
- Boussard, J.-M. and J.-J. Daudin. 1988. La Programmation Linéaire Dans Les Modèles De Production. Paris Milan Barcelone Mexico: Masson
- Boussard, J.-M. and I. Foulhouze. 1980. La Représentativité Du Rica. *Economie rurale*: 29-35

- Boussard, J. M. 1986. Hétérogénéité Technique Et Structurale Dans Les Exploitations Agricoles. *Economie rurale* 176 (1): 3-10
- Boussemart, J.-P., W. Briec, N. Peypoch and C. Tavéra. 2009. Returns to Scale and Multi-Output Production Technologies. *European Journal of Operational Research* 197: 332-339
- Boussemart, J.-P., G. Flichman, F. Jacquet and H.-B. Lefer 1994. L'évaluation Micro-Économique De La Reforme De La Pac Par Un Modèle Bio-Économique. Une Illustration Sur La Beauce Et La Région De Toulouse. 1 lèmes journées de micro-économie appliquée. Marseille, Greqam.
- Brady, M., K. Konrad, C. Sahrbacher and L. Jelinek. 2009. Impacts of Decoupled Agricultural Support on Farm Structure, Biodiversity and Landscape Mosaic: Some Eu Results. *Journal of Agricultural Economics* 60 (3): 563-585
- Braudel, F. 1987. Histoire Et Sciences Sociales : La Longue Durée. *Réseaux* 5 (27): 7-37
- Breschi, S. and F. Lissoni. 2001. Knowledge Spillovers and Local Innovation Systems: A Critical Survey. *Industrial and Corporate Change* 10 (4): 975-1005
- Brocard, P. and T. de Guyenro. 2005. Le Machinisme Agricole En France Au Coeur De La Mondialisation, L'innovation Au Service Du Développement Durable. *Le 4 pages des statistiques industrielles* 202:
- Brueckner, J. K. and N. Raymon. 1983. Optimal Production with Learning by Doing. *Journal of Economic Dynamics & Control* 6 (1/2): 127
- Brueckner, J. K., J.-F. Thisse and Y. Zenou. 1999. Why Is Central Paris and Downtown Detroit Poor? An Amenity-Based Theory. *European Economic Review* 45: 91-107
- Butault, J.-P. and N. Delame. 2005. Concentration De La Production Agricole Et Croissance Des Exploitations. *Economie et Statistiques* 390: 47-64
- Butault, J.-P. and N. Delame 2007. Combien D'exploitations En 2015 ? [Prospective "Agriculture 2013". Résultats Des Travaux Quantitatifs - Chaînes De Markov]. Rapport Final de contribution à l'action "Prospective Agriculture 2013". Paris, AgroParis Tech - Laboratoire d'Economie Publique, 22.
- Butault, J.-P., N. Delame and P. Lerouillois. 2005. Activité Extérieure Et Revenus Des Ménages Agricoles. *Économie rurale* 289-290: 75-90
- Cameron, I., T. J. Lyons and J. R. Kenworthy. 2004. Trends in Vehicle Kilometres of Travel in World Cities, 1960-1990: Underlying Drivers and Policy Responses. *Transport policy* 11: 287-298
- Capozza, D. R. and R. W. Helsley. 1989. The Fundamentals of Land Prices and Urban Growth. *Journal of Urban Economics* 26: 295-306
- Cardon, A. and Z. Guessoum 2000. Systèmes Multi-Agents Adaptatifs. JFIADSM 2000, 17p.
- Carpy-Goulard, F. 2001. Analyse Des Relations Agriculture-Environnement Par Couplage D'un Modèle Économique À Des Indicateurs Environnementaux. Montpellier, Université Montpellier 1. Thèse, 324p.
- Castel, J.-C. 2006. Les Coûts De La Ville Dense Ou Étendue. *Etudes Foncières* 119 (Janvier-février): 18-21.
- Caswell, H. 1988. Theory and Models in Ecology: A Different Perspective. *Ecological Modelling* 43 (1-2): 33-44
- Cavailhès, J. 2009. Analyse Économique De La Périurbanisation Des Villes. *Innovations agronomiques* 5: 1-12
- Cavailhès, J., M. Hilal and P. Wavresky. 2012. L'influence Urbaine Sur Le Prix Des Terres Agricoles Et Ses Conséquences Pour L'agriculture. *Economie et Statistiques* 444-445 (99-125):

- Cavailhes, J. and P. Wavresky. 2003. Urban Influences on Periurban Farmland Prices. *European Review of Agricultural Economics* 30 (3): 333-357
- Cavailhès, J. and P. Wavresky. 2006. Les Effets De La Proximité De La Ville Sur Les Systèmes De Production Agricoles. *Agreste Cahiers*:
- CGDD. 2011. L'artificialisation Des Sols S'opère Aux Dépens Des Terres Agricoles. *Observation et Statistiques* 75:
- Chalmers, A. 1990. Qu'est-Ce Que La Science ? Le Livre de Poche
- Chambre d'Agriculture de Haute-Garonne 2009. Réunion D'information Réforme De La Pac 2010 Septembre / Octobre 2009. Toulouse, Service économie.
- Chang, J. S. 2010. Assessing Travel Time Reliability in Transport Appraisal. *Journal of Transport Geography* 18 (3): 419-425
- Chang, M.-H. and J. J. Harrington 2006. Agent-Based Models of Organizations. *Handbook of Computational Economics*. Elsevier. 2: 1273-1337.
- Chaplin, H., S. Davidova and M. Gorton. 2004. Agricultural Adjustment and the Diversification of Farm Households and Corporate Farms in Central Europe. *Journal of rural studies* 20 (1): 61-77
- Chatellier, V., G. Bazin and P. Wavresky. 2004. Les Exploitations Agricoles Non Professionnelles En 2000. *Agreste-Cahiers* 2: 10p
- Chaumet, J.-M., F. Delpuech, B. Dorin, G. Gherzi, B. Hubert, T. Le Cotty, S. Paillard, M. Petit, J.-L. Rastoin, T. Ronzon and S. Treyer 2009. Agrimonde Agricultures Et Alimentations Du Monde En 2050 : Scénarios Et Défis Pour Un Développement Durable Deuxième Édition Note De Synthèse, INRA/CIRAD, 12.
- Chavas, J.-P. 1994. Production and Investment Decisions under Sunk Cost and Temporal Uncertainty. *American Journal of Agricultural Economics* 76 (1): 114-127
- Chavas, J.-P. 2001. Chapter 5 Structural Change in Agricultural Production: Economics, Technology and Policy. *Handbook of Agricultural Economics*. B. L. Gardner and G. C. Rausser, Elsevier. Volume 1, Part A: 263-285.
- Chavas, J.-P. and M. Aliber. 1993. An Analysis of Economic Efficiency in Agriculture: A Nonparametric Approach. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 18 (1): 1-16
- Chavas, J.-P., L. G. Bruce and C. R. Gordon 2001. Chapter 5 Structural Change in Agricultural Production: Economics, Technology and Policy. *Handbook of Agricultural Economics*, Elsevier. 1, Part 1: 263-285.
- Chavas, J.-P. and K. Kim. 2010. Economies of Diversification: A Generalization and Decomposition of Economies of Scope. *International Journal of Production Economics* 126: 229-235
- Cheshire, P. and S. Sheppard. 1995. On the Price of Land and the Value of Amenities. *Economica* 62 (246): 247-267
- Chicoine, D. L. 1981. Farmland Values and the Urban Fringe: An Analysis of Sale Prices. *Land Economics* 57 (3): 353-362
- Christaller, W. 1933. Die Zentralen Orte in Süddeutschland. Jena, Fischer.
- Ciolas, D. 2011. Un Nouveau Partenariat Entre L'europe Et Les Agriculteurs Discours De Présentation Des Propositions Législatives Sur La Réforme De La Politique Agricole Commune Au Parlement Européen. SPEECH/11/653. Bruxelles, Parlement européen.

- Colletis, G. and B. Pecqueur. 2005. Révélation De Ressources Spécifiques Et Coordination Située. *Revue Economie et Institutions* 6-7:
- Comby, J. 2010. Les Mille-Feuilles Du Foncier. *Etudes Foncières* 143: 21-41
- Cooper, S. P., K. E. Burau, R. Frankowski, E. M. Shipp, D. J. Del Junco, R. E. Whitworth, A. M. Sweeney, N. Macnaughton, N. F. Weller and C. L. Hanis. 2006. A Cohort Study of Injuries in Migrant Farm Worker Families in South Texas. *Annals of Epidemiology* 16 (4): 313-320
- Cotula, L., S. Vermeulen, R. Leonard and J. Keeley 2009. Land Grab or Development Opportunity? Agricultural Investment and International Land Deals in Africa. London/Rome, IIED/FAO/IFAD
- Coulomb, P. 1963. Réflexions Sur La Structure Des Groupements Agricoles D'exploitation. *Economie Rurale* 55: 61-69
- Coulomb, P. 1999. La Politique Foncière Agricole En France, Une Politique Foncière À Part ? *Cahiers options méditerranéennes*: 69-93
- Courcier, R., F. Guerrin, F. H. Andriamasinoro and J.-M. Paillat. 2002. Agent-Based Simulation of Complex Systems: Application to Collective Management of Animal Wastes. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 5 (3):
- CRAMP. (2012). "Midi-Pyrénées." from <http://www.mp.chambagri.fr/>.
- DATAR. 2002. Aménager La France De 2020. Mettre Les Territoires En Mouvement 2e Édition Augmentée. Paris: La Documentation française
- David, P. A. 1985. Clio and the Economics of Qwerty. *American Economic Review* 75 (2): 332-337
- David, P. A. 2001. Path Dependence, Its Critics and the Quest for 'Historical Economics. Evolution and Path Dependence in Economic Ideas. P. Garrouste and S. Ioannides. Cheltenham, Edward Elgar: 15-40.
- DDEA 2009. Guide Des Aides Accordées Aux Exploitations Agricoles. Service Economique et politiques Agricoles, Préfecture de la haute-Saone.
- de Janvry, A., M. Fafchamps and E. Sadoulet. 1991. Peasant Household Behaviour with Missing Markets: Some Paradoxes Explained. *The Economic Journal* 101 (49): 1400-1417
- Desbois, D. and P. Pollet. 2002. Evaluation Micro-Économique De La Marge Brute Standard Sur La Base Du Rica. *INSEE Méthodes* 2 (101):
- Deumier, J.-M., C. Jacquin, M. Berrodier, B. Lacroix and A. Bouthier. 2008. La Mise En Oeuvre De Pratiques Innovantes En Vue De Mieux Valoriser La Ressource En Eau Chez Les Agriculteurs. *Innovations Agronomiques* 2: 83-92
- DGEAF 2007. La Zone Agricole Du Plan Local D'urbanisme Guide Méthodologique. n. e. f. d. l. I. Observatoire des espaces agricoles.
- Dodson, C. 1996. Is More Credit the Best Way to Assist Beginning Low-Equity Farmers? U. S. D. o. Agriculture. Washington D.C., ERS. AIB-724-04.
- Domingo, C. and G. Tonella. 2000. Towards a Theory of Structural Change. *Structural Change and Economic Dynamics* 11: 209-225
- Dosi, G., L. Marengo, A. Bassanini, M. Valente, R. Nagel, N. J. Vriend, M. Mazzucato, W. Semmler, D. B. Audretsch, P. E. Stephan, J. Foster, P. Wild, E. Dinopoulos and P. Thompson. 1999. Economic Evolution, Learning, and Complexity. *Journal of Evolutionary Economics* 9 (1): 1-154

- DRAAF Midi-Pyrénées. 2006. Développement Des Activités Extérieures Des Femmes : Entre Indépendance Et Contraintes De Revenus. *Agreste Midi-Pyrénées Données* 36: 6p
- DRAAF Midi-Pyrénées. 2009. Diversification En Agriculture Et Circuits Courts. *Agreste Midi-Pyrénées Données* 54: 6p
- Eastwood, R., M. Lipton, A. Newell, P. Prabhu and E. Robert 2010. Chapter 65 Farm Size. *Handbook of Agricultural Economics*, Elsevier. Volume 4: 3323-3397.
- EEA 2006. Urban Sprawl in Europe, the Ignored Challenge. EEA report N°10/2006. Copenhagen.
- Ellis, F. 1988. Peasant Economics: Farm Households and Agrarian Development. Cambridge and New York:: Cambridge University Press
- Ellis, F. 2000. Rural Livelihoods and Diversity in Developing Countries. Oxford and New York: Oxford University Press
- Fall, M., L. Piet and M. Roger. 2010. Trends in the French Commercial Farm Population. *Review of Agricultural and Environmental Studies* 91 (5): 279-295
- Ferber, J. 1995. Les Systèmes Multi Agents: Vers Une Intelligence Collective. InterEditions
- Fernandez-Cornejo, J., C. M. G. Ii, J. G. Elterich and S. E. Stefanou. 1992. Dynamic Measures of Scope and Scale Economies: An Application to German Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics* 74 (2): 329-342
- Filatova, T., A. Voinov and A. van der Veen. 2011. Land Market Mechanisms for Preservation of Space for Coastal Ecosystems: An Agent-Based Analysis. *Environmental Modelling & Software* 26 (2): 179-190
- Flamant, M. 1954. Structure Économique Et Périodes Longues. *Revue économique* 5: 927-953
- Flichman, G. and K. Louhichi 2009. Calibrage Et Validation Des Modèles De Programmation Mathématique. Cours International : Programmation mathématique, économie agricole et environnement *Modélisation en langage GAMS*. Montpellier. 5, 18p.
- Florida, R. 2002. The Economic Development of Talent. *Annals of the Association of American Geographers* 92 (4): 743-755
- FNSafer 2012a. La Plus Grande Part Des Biens Et Surfaces Revendus Par Les Safer Est Consacrée À L'installation. Paris, Fédération Nationale des SAFER.
- FNSAFER. 2012b. Le Marché Immobilier Rural En 2011. 10p
- Franklin, S. and A. Graesser 1997. Is It an Agent, or Just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents Intelligent Agents Iii Agent Theories, Architectures, and Languages. J.-P. Müller, M. J. Wooldridge and N. Jennings, Springer Berlin / Heidelberg. 1193: 21-35.
- Frenot, S. 2009. Toulouse, Moteur De La Forte Poussé Démographique En Midi-Pyrénées. *6 pages de l'INSEE* 116:
- Fujita, M. 2012. Thünen and the New Economic Geography. *Regional Science and Urban Economics*:
- Fujita, M. and P. Krugman. 2004. The New Economic Geography: Past, Present and the Future. *Regional Science* 83 (139-164):
- Gale Jr., H. F. 1993. Why Did the Number of Young Farm Entrants Decline? *American Journal of Agricultural Economics* 75 (1): 138-146

- Gale Jr., H. F. 1994. Longitudinal Analysis of Farm Size over the Farmer's Life Cycle. *Review of Agricultural Economics* 16 (1): 113-123
- Gale Jr., H. F. 1996. Age Cohort Analysis of the 20th Century Decline in U.S. Farm Numbers. *Journal of rural studies* 12 (1): 15-25
- Gale Jr., H. F. 2003. Age-Specific Patterns of Exit and Entry in U.S. Farming, 1978–1997. *Applied Economic Perspectives and Policy* 25 (1): 168-186
- Galster, G., R. Hanson, M. R. Ratcliffe, H. Wolman, S. Coleman and J. Freihage. 2001. Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive Concept. *Housing Policy Debate* 12 (4): 681-717
- Gardner, B. L. 1994. Commercial Agriculture in Metropolitan Areas: Economics and Regulation Issues. *Agricultural and Economics Review* 15: 100-109
- Géniaux, G. and C. Napoléone. 2005. Rente Foncière Et Anticipations Dans Le Périurbain. *Economie & prévision* 2 (168): 77-95
- Géniaux, G. and C. Napoléone. 2007. La Constructibilité Anticipée Des Terres Agricoles. *Etudes Foncières* 125: 12-14
- Geroski, P. A. 2000. Models of Technology Diffusion. *Research Policy* 29: 603–625
- Ghorra-Gobin, C. 2005. De La Ville À L'urban Sprawl La Question Métropolitaine Aux Etats-Unis. *Cercles* 13: 14p
- Gilbert, N. (2005). "Agent-Based Social Simulation: Dealing with Complexity." from <http://www.complexityscience.org/NoE/ABSS-dealing%20with%20complexity-1-1.pdf>.
- Gilbert, N. and K. G. Troitzsch 2005. Simulation for the Social Scientist Second Edition. Maidenhead, Open University Press.
- Glaeser, E. L. and M. E. Kahn 2004. Chapter 56 Sprawl and Urban Growth. Handbook of Regional and Urban Economics. J. V. Henderson and J.-F. Thisse, Elsevier. Volume 4: 2481-2527.
- Glaeser, E. L., J. Kolko and A. Saiz. 2001. Consumer City. *Journal of Economic Geography* 1 (1): 27-50.
- Glaeser, E. L., J. A. Scheinkman and A. Shleifer. 1995. Economic Growth in a Cross-Section of Cities. *Journal of Monetary Economics* 36 (1): 117-143
- Glauben, T., H. Tietje and C. Weiss. 2006. Agriculture on the Move: Exploring Regional Differences in Farm Exit Rates in Western Germany. *Jahrbuch für Regionalwissenschaft/Review of Regional Research* 26 (1): 103-118
- Goddard, E., A. Weersink, K. Chen and C. G. Turvey. 1993. Economics of Structural Change in Agriculture. *Canadian Journal of Agricultural Economics* 41: 475-489
- Goetz, S. J. and D. L. Debertin. 2001. Why Farmers Quit: A County-Level Analysis. *American Journal of Agricultural Economics* 83 (4): 1010-1023
- Gold, C. S., M. A. Altieri and A. C. Bellotti. 1990. Direct and Residual Effects of Short Duration Intercrops on the Cassava Whiteflies *Aleurotrachelus Socialis* and *Trialeurodes Variabilis* (Homoptera: Aleyrodidae) in Colombia. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 32 (1&2): 57-67
- Goodall, D. W. 1972. Building and Testing Ecosystem Models. *Mathematical Models in Ecology*. J. N. J. Jeffers. Oxford, Blackwell: 173-194.
- Goodwin, B. K., A. K. Mishra and F. Ortalo-Magné. 2003. What's Wrong with Our Models of Agricultural Land Values? *American Journal of Agricultural Economics* 85 (3): 744-752

- Gottlieb, P. D. 1995. Residential Amenities, Firm Location and Economic Development. *Urban Studies* 32: 1413-1436
- Grimm, V., U. Berger, F. Bastiansen, S. Eliassen, V. Ginot, J. Giske, J. Goss-Custard, T. Grand, S. K. Heinz, G. Huse, A. Huth, J. U. Jepsen, C. Jørgensen, W. M. Mooij, B. Muller, G. Pe'er, C. Piou, S. F. Railsback, A. M. Robbins, M. M. Robbins, E. Rossmanith, N. Ruger, E. Strand, S. Souissi, R. A. Stillman, R. Vabø, V. U. and D. L. DeAngelis. 2006. A Standard Protocol for Describing Individual-Based and Agent-Based Models. *Ecological Modelling* 198: 115-126
- Grimm, V., U. Berger, D. L. DeAngelis, J. G. Polhill, J. Giske and S. F. Railsback. 2010. The Odd Protocol: A Review and First Update. *Ecological Modelling* 221: 2760-2768
- Groupe régional de travail de Midi-Pyrénées 2002 "Préparation Du Sol."
- Guerrin, F. 2000. Simulation of Actions to Help Animal Wastes Management At the Farm Level. 2nd Conference on Management and Control of Production and Logistics. Grenoble.
- Guichard, S. 2011. Marché Foncier Des Espaces Agricoles Et Naturels Périurbains : Les Paramètres Influent Sur Les Échanges Et La Valeur Des Terres. Le Cas De La Communauté De Communes Du Pays De Lunel. Politique et marchés de l'agriculture et des ressources (POMAR). Rennes, AGROCAMPUS OUEST. Diplôme d'Ingénieur Agronome, 87p.
- Guillobez, S., F. Lompo and G. De Noni. 2000. Le Suivi De L'érosion Pluviale Et Hydrique Au Burkina Faso : Utilisation D'un Modèle Cartographique. *Science et changements planétaires / Sécheresse* 11 (3):
- Gujarati, D. N. 2004. Econométrie. Bruxelles, De boeck Université.
- Hall, B. F. and L. V. E. Phillip. 1978. Farm Size and Economic Efficiency: The Case of California. *American Journal of Agricultural Economics* 60 (4): 589-600
- Happe, K. 2004. Agricultural Policies and Farm Structures: Agent-Based Modelling and Application to EU-Policy Reform. Halle, IAMO. Thesis, 267p.
- Hardaker, J. B., R. B. M. Huirne and J. R. Anderson. 1997. Coping with Risk in Agriculture. Oxon, U.K. and New York: CAB International
- Hayami, Y. and V. Ruttan. 1998. Agriculture Et Développement, Une Approche Internationale. Paris: INRA
- Hazell, P. B. R. and R. D. Norton. 1986. Mathematical Programming for Economic Analysis in Agriculture. New-York: Macmillan Publishing Co.
- Heimlich, R. E. and W. E. Anderson 2001. Development at the Urban Fringe and Beyond Impacts on Agriculture and Rural Land. E. R. S. USDA. Washington, 76p.
- Heimlich, R. E. and D. H. Brooks 1987. Metropolitan Growth and Agriculture: Farming in the City's Shadow U. S. Department of Agriculture. Washington D.C. , Economic Research Service
- Hellec, F. and A. Blouet. 2012. Technicité Versus Autonomie Deux Conceptions De L'élevage Laitier Biologique Dans L'est De La France. *Terrains & travaux* 20 (1): 157-172
- Hendry, D. F. 2000. On Detectable and Non-Detectable Structural Change. *Structural Change and Economic Dynamics* 11: 45-65
- Hilal, M. 2004. Accessibilité Aux Emplois En France : Le Rôle De La Distance À La Ville *Revue européenne de géographie* 293:
- Hilal, M. 2007. Temps D'accès Aux Équipements Au Sein Des Bassins De Vie Des Bourgs Et Petites Villes. *Economie et Statistiques* 402: 41-56

- Hill, B. 1999. Farm Household Incomes: Perceptions and Statistics. *Journal of rural studies* 15 (3): 345-358
- Hirczak, M., M. Moalla, A. Mollard, B. Pecqueur, M. Rambonilaza and D. Vollet. 2008. Le Modèle Du Panier De Biens Grille D'analyse Et Observations De Terrain. *Economie Rurale* 308: 55-70
- Hotelling, H. 1929. Stability in Competition. *Economic Journal* xxxix: 41-57
- Huffman, W. E. 1974. Decision Making: The Role of Education. *American Journal of Agricultural Economics* 56 (1): 85-97
- Huffman, W. E., L. G. Bruce and C. R. Gordon 2001. Chapter 7 Human Capital: Education and Agriculture. *Handbook of Agricultural Economics*, Elsevier. Volume 1, Part 1: 333-381.
- Inwood, S. M. and J. S. Sharp. 2012. Farm Persistence and Adaptation at the Rural/Urban Interface: Succession and Farm Adjustment. *Journal of Rural Studies* 28 (1): 107-117
- Janssen, M. and E. Ostrom. 2006. Empirically Based, Agent-Based Models. *Ecology & Society* 11 (2): 643-655
- Jarrige, F., A. M. Jouve and C. Napoleone. 2003. Et Si Le Capitalisme Patrimonial Foncier Changeait Nos Paysages Quotidiens ? *Courrier de l'environnement de l'INRA* 49: 13-29
- Kaldor, N. 1987. Spéculation Et Stabilité Économique (1939). *Revue française d'économie*: 115-164
- Kellermann, K., K. Happe, C. Sahrbacher, A. Balmann, M. Brady, H. Schnicke and A. Osuch. (2008). ""Agropolis 2.1 - Model Documentation, Technical Report. Iamo" Available At: [Http://Www.Agropolis.De/Documentation/Agropolis_V2-1.Pdf.](http://www.agropolis.de/documentation/agropolis_V2-1.pdf)"
- Kleijnen, J. 1999. Validation of Models: Statistical Techniques and Data Availability. Winter Simulation Conference. Phoenix, USA. 1, 647 - 654.
- Kleijnen, J. and W. van Groenendaal. 1992. Simulation: A Statistical Perspective. Chichester: John Wiley and Sons
- Kleijnen, J. P. C., S. M. Sanchez, T. W. Lucas and T. M. Cioppa 2003. A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments. CentER Discussion paper Tilburg University.
- Kleinen, J. P. C., S. M. Sanchez, T. W. Lucas and T. M. Cioppa 2003. A User's Guide to the Brave New World of Designing Simulation Experiments. CentER Discussion paper Tilburg University.
- Koenig, G. 1994. L'apprentissage Organisationnel : Repérage Des Lieux. *Revue française de gestion* 1: 76-83
- Krugman, P. 1991. Increasing Returns and Economic Geography. *Journal of Political Economy* 99 (3): 483-499
- L'Hostis, A. 2009. The Shrivelled USA: Representing Time-Space in the Context of Metropolitanization and the Development of High-Speed Transport. *Journal of Transport Geography* 17 (6): 433-439
- Lacombe, P. 2002. L'agriculture À La Recherche De Ses Futurs, Editions de l'aube.
- Laganier, J. and D. Vienne. 2009. Recensement De La Population De 2006 La Croissance Retrouvée Des Espaces Ruraux Et Des Grandes Villes. *INSEE Premières* 1218:
- Lamine, C. 2012. "Changer De Système" : Une Analyse Des Transitions Vers L'agriculture Biologique À L'échelle Des Systèmes Agri-Alimentaires Territoriaux. *Terrains & travaux* 20 (1): 139-156
- Larson, J. M., J. L. Findeis and S. M. Smith. 2001. Agricultural Adaptation to Urbanization in Southeastern Pennsylvania. *Agricultural and Resource Economics Review* 30: 32-43
- Le Bars, M. 2002. Un Simulateur Multi-Agent Pour L'aide À La Décision D'un Collectif : Application À La Gestion D'une Ressource Limitée Agro-Environnementale. UFR Sciences des organisations. Paris, Université Paris IX-Dauphine. Thèse, 234p.

- Le Jeannic, T. 1997. Trente Ans De Périurbanisation : Extension Et Dilution Des Villes. *Economie et Statistiques* 307: 21-41
- Lefebvre, L. and C. Rouquette. 2012. Les Prix Du Foncier Agricole Sous La Pression De L'urbanisation. *Economie et Statistiques* 444-445: 155-180
- Lefer, H.-B., F. Jacquet, G. Flichman, J.-P. Boussemart and J.-M. Boussard. 1997. Les Effets De La Réforme De La Pac Sur Les Exploitations De Grande Culture. *Economie rurale*: 20-29
- LegiFrance 2011. Loi N°60-808 Du 5 Août 1960 D'orientation Agricole
- Legifrance 2012a. Article L121-1 Du Code De L'urbanisme.
- Legifrance 2012b. Article L123-1 Du Code De L'urbanisme.
- Levesque, R., D. Liorit and G. Pathier. 2012. Les Marchés Fonciers Ruraux Régionaux Entre Dynamiques Des Exploitations Agricoles Et Logiques Urbaines. *Economie et Statistiques* 444-445: 75-98
- Levins, R. A. and W. W. Cochrane. 1996. The Treadmill Revisited. *Land Economics* 72 (4): 550-553
- Lien, G. and J. B. Hardaker. 2001. Whole-Farm Planning under Uncertainty: Impacts of Subsidy Scheme and Utility Function on Portfolio Choice in Norwegian Agriculture. *European Review of Agricultural Economics* 28 (1): 17-36
- Lifran, R., A. Hofstetter and P. Bommel 2003. Politiques Publiques Et Dynamique Des Paysages: Analyse De Leurs Rapports Par Un Modèle Multi-Agents Spatialisés. Politiques Publiques Et Dynamiques De Spaysages Au Sud Du Massif Central. R. Lifran. Montpellier, INRA, UMR LAMETA: 110-164.
- Lipton, M. 1968. The Theory of the Optimising Peasant. *Journal of Development Studies* 4 (3): 327-351
- Lloyd, R. 2002. Neo-Bohemia: Art and Neighborhood Redevelopment in Chicago. *Journal of Urban Affairs* 24 (5): 517-532
- Lobley, M. and C. Potter. 2004. Agricultural Change and Restructuring: Recent Evidence from a Survey of Agricultural Households in England. *Journal of rural studies* 20 (4): 499-510
- Long, J. S. 1997. Regression Models for Categorical and Limited Dependent Variables (Advanced Quantitative Techniques in the Social Sciences). London New-Delhi: Sage Publications
- Lopez, R. A., A. O. Adelaja and M. S. Andrews. 1988. The Effects of Suburbanization on Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics* 70 (2): 346-358
- Lordon, F. 1994. Modéliser Les Fluctuations, Le Changement Structurel, Et Les Crises. *Revue d'Economie Politique* 104 (2-3): 219-257
- Lösch, A. 1940. Die Raumliche Ordnung Der Wirtschaft Jena, Fischer.
- Lucas Jr, R. E. 1988. On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics* 22 (1): 3-42
- Malassis, L. and G. Gherzi 1996. Economie De La Production Et De La Consommation Méthodes Et Concepts Deuxième Édition. Traité D'économie Agroalimentaire. L. Malassis. Paris, Cujas: 392.
- Mancebo, F. 2008. Coping with Urban Sprawl toward a Sustainable Periurbanisation Giving Way to Residential Paths. *Les Annales de la Recherche Urbaine* 102: 51-57
- Mankiv, N. G. and M. P. Taylor. 2010. Principes De L'économie Adaptation Européenne. Bruxelles: De Boeck
- Mantzavinos, C., D. C. North and S. Shariq. 2004. Learning, Institution and Economic Performance. *Perspectives on Politics* 2 (1): 75-84

- Margo, R. A. 1992. Explaining the Postwar Suburbanization of Population in the United States: The Role of Income. *Journal of Urban Economics* 31: 301-310
- Markowitz, H. M. 1952. Portfolio Selection. *The Journal of Finance* 7 (1): 77-91
- Markowitz, H. M. 1991. Foundations of Portfolio Theory. *The journal of finance* 46 (2): 469-477
- Marshall, A. 1920. Principles of Economics (Revised Edition Ed.). London: Macmillan; reprinted by Prometheus Books. ISBN 1573921408.
- Martin, R. and P. Sunley. 2006. Path Dependence and Regional Economic Evolution. *Journal of Economic Geography* 6: 395-437
- Marx, k. 1872. Le Capital, Par Karl Marx, Traduction De M. J. Roy, Entièrement Revisée Par L'auteur. Paris: Maurice Lachatre et Cie
- Matulich, S. C. 1978. Efficiencies in Large-Scale Dairying: Incentives for Future Structural Change. *American Journal of Agricultural Economics* 60 (4): 642-647
- Meert, H., G. Van Huylenbroeck, T. Vernimmen, M. Bourgeois and E. van Hecke. 2005. Farm Household Survival Strategies and Diversification on Marginal Farms. *Journal of rural studies* 21 (1): 81-97
- Melhim, A., E. J. O'Donoghue and C. R. Shumway. 2009. What Does Initial Farm Size Imply About Growth and Diversification? *Journal of Agricultural and Applied Economics* 41 (1): 193-206
- Mishra, A. K. and H. S. El-Osta. 2008. Effect of Agricultural Policy on Succession Decisions of Farm Households. *Review of Economics of the Households* 6: 285-307
- Moalla, M. and A. Mollard. 2011. Le Rôle Des Cognitions Environnementales Dans La Valorisation Économique Des Produits Et Services Touristiques. *Géographie, économie, société* 13 (2): 165-188
- Möhring, A., A. Zimmermann, G. Mack, S. Mann, A. Ferjani and M.-P. Gennaio 2010. Modelling Structural Change in the Agricultural Sector _ an Agent-Based Approach Using Fadn Data from Individual Farms. 114th EAAE Seminar "Structural Change in Agriculture". Berlin, Germany.
- Moses, L. N. and H. Williamson Jr. 1963. Value of Time, Choice of Mode, and the Subsidy Issue in Urban Transportation. *Journal of Political Economy* 71 (3): 247-264
- Mosnier, C., A. Ridier, C. Képhaliacos and F. Carpy-Goulard. 2009. Economic and Environmental Impact of the Cap Mid-Term Review on Arable Crop Farming in South-Western France. *Ecological Economics* 68 (5): 1408-1416
- Napoléone, C. and G. Geniaux. 2009. Influences Urbaines Et Protection Des Espaces Naturels Et Agricoles. *Innovations Agronomiques* 5: 13-26
- Nechyba, T. J. and R. P. Walsh. 2004. Urban Sprawl. *Journal of Economic Perspectives* 18 (4): 177-200
- Nehring, R., C. Barnard, D. Banker and V. Breneman. 2006. Urban Influence on Costs of Production in the Corn Belt. *American Journal of Agricultural Economics* 88 (4): 930-946
- Nugroho, A. 2009. Level of Detail in Uml Models and Its Impact on Model Comprehension: A Controlled Experiment. *Information & Software Technology* 51 (12): 1670-1685
- OECD. 1994. Agricultural Policy Reform: New Approaches - the Role of Direct Income Payments. Paris:
- OECD. 1995. Adjustment in Oecd Agriculture - Issues and Policy Responses. Paris:
- Parker, D. C., S. M. Manson, M. A. Janssen, M. J. Hoffmann and P. Deadman. 2003. Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. *Annals of the Association of American Geographers* 93 (2): 314-337.

- Partridge, M. D., D. S. Rickman, K. Ali and M. R. Olfert. 2010. Recent Spatial Growth Dynamics in Wages and Housing Costs: Proximity to Urban Production Externalities and Consumer Amenities. *Regional Science and Urban Economics* 40 (6): 440-452
- Patrick, G. and L. Eisgruber. 1968. The Impact of Managerial Ability and Capital Structure on Growth of the Farm Firm. *American Journal of Agricultural Economics* 50 (3): 491-506
- Paul, V. and F. H. McKenzie. 2013. Peri-Urban Farmland Conservation and Development of Alternative Food Networks: Insights from a Case-Study Area in Metropolitan Barcelona (Catalonia, Spain). *Journal of Rural Studies* 30: 94-105
- Péres, S. 2009. La Résistance Des Espaces Viticoles À L'extension Urbaine. Le Cas Du Vignoble De Bordeaux. *Revue d'Economie Régionale & Urbaine* 1: 155-177
- Perloff, J. M. 1991. The Impact of Wage Differentials on Choosing to Work in Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics* 73 (3): 671-680
- Petit, M. 1975. Evolution De L'agriculture Et Caractère Familial Des Exploitations Agricoles. *Economie rurale*: 45-55
- Pétry, M. and P. Rimkine. 1980. A Propos De La Représentativité Du Rica. *Economie rurale* 139: 66-67.
- Plantiga, A. J., R. N. Lubowski and R. N. Stavins. 2002. Effects of Potential Land Development on Agricultural Land Prices. *Journal of Urban Economics* 52: 561-581
- Plantinga, A. J. and D. J. Miller. 2001. Agricultural Land Values and the Value of Rights to Future Land Development. *Land Economics* 77 (1): 56-67
- Poelmans, L. and A. Van Rompaey. 2009. Detecting and Modelling Spatial Patterns of Urban Sprawl in Highly Fragmented Areas: A Case Study in the Flandres-Brussels Region. *Landscape and Urban Planning* 93: 10-19
- Poirier, D. J. 1991. The Econometrics of Structural Change: A Retrospective View. *Structural Change and Economic Dynamics* 2 (2): 395-404
- Polèse, M. and R. Shearmur. 2005. Economie Urbaine Et Régionale - Introduction À La Géographie Economique Deuxième Édition. Paris:
- Pontius Jr, R. G., J. D. Cornell and C. A. S. Hall. 2001. Modeling the Spatial Pattern of Land-Use Change with Geomod2: Application and Validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 85 (1-3): 191-203
- Pontius Jr, R. G., D. Huffaker and K. Denman. 2004. Useful Techniques of Validation for Spatially Explicit Land-Change Models. *Ecological Modelling* 179 (4): 445-461
- Pressat, R. 1981. L'analyse Par Cohorte : Origine Et Champ D'application. *Population*: 634-640
- Quintin, P. 1998. De L'exode Rural À La Rurbanisation : Les Mouvements De Population Active Dans L'ouest Entre 1962 Et 1990. *Octant* 75:
- Railsback, S. F., S. L. Lytinen and S. K. Jackson. 2006. Agent-Based Simulation Platforms: Review and Development Recommendations. *Simulation* 82 (9):
- Rastoin, J.-L. and G. Gherzi. 2010. Le Système Alimentaire Mondial, Concepts Et Méthodes, Analyses Et Dynamiques. Paris: Editions Quae
- Rattin, S. and S. Cariotti. 2000. Un Agriculteur Sur Trois Est Retraité Ou Exerce Une Profession Principale Non Agricole. *Agreste Cahiers* 1:

- Reiss, F. J., R. C. Hughes and G. G. Judge. 1963. Changes in Farm Tenure: A Markov Process Analysis. *Illinois Agricultural Economics* 3 (2): 9-16
- Rejeb, L. 2005. Simulation Multi-Agents De Modèles Economiques Vers Des Systèmes Multi-Agents Adaptatifs. Reims, Université de Reims Champagne-Ardenne. Thèse, 165p.
- Requier-Desjardins, D. 1993. La Consommation Alimentaire À Garoua, Permanences Et Changements : Éléments Pour L'approche « Filières Courtes ». J. Muchnik. Paris, l'Harmattan: 53-93.
- Requier-Desjardins, D. 2009. Territoires – Identités – Patrimoine : Une Approche Économique ? *Développement durable et territoires [En ligne], Dossier 12: Identités, patrimoines collectifs et développement soutenable*:
- Ricardo, D. 1821. Principles of Political Economy and Taxation (Troisième Édition).
- Ricome, A. 2012. Analyse Économique Des Décisions De Commercialisation Et De Production Des Exploitants Agricoles Exposés À La Volatilité Des Prix Application Au Secteur Des Grandes Cultures En Région Midi-Pyrénées. Sciences Economiques. Toulouse, Université Toulouse 1 - Capitole. Doctorat de l'Université de Toulouse, 320.
- Ridier, A. 2001. Changements De Politique Agricole Et Décisions Des Producteurs De Viande Bovine Face Au Risque De Marché Application Dans Deux Régions Françaises. Montpellier, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. Doctorat en Sciences Economiques, 303.
- Rodgers, J. L. 1994. Differential Human Capital and Structural Evolution in Agriculture. *Agricultural Economics* 11 (1): 1-17
- Rouchier, J. and M. Requier-Desjardins. 2000. La Modélisation Comme Soutien À L'interdisciplinarité En Recherche-Développement. Une Application Au Pastoralisme Soudano-Sahélien. *Nature Sciences Sociétés* 8 (3): 61-67
- Rumbaugh, j., I. Jacobson and G. Booch 1999. The Unified Modeling Language Reference Manual. Reading, Massachusetts, Addison Wesley.
- Rykiel, E. J. J. 1996. Testing Ecological Models: The Meaning of Validation. *Ecological Modelling* 90 (3): 229-244
- Sadoulet, E. and A. de Janvry 1995. Chapter Six: Household Models. Quantitative Development Policy Analysis. Baltimore and London, The Johns Hopkins University Press: 31.
- Sahrbacher, C. 2011. Regional Structural Change in European Agriculture Effects of Decoupling and Eu Accession. Halle/Saale: Leibniz Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe IAMO
- Sahrbacher, C. and K. Happe 2008. A Methodology to Adapt Agripolis to a Region, 10p.
- Salamon, S. 1992. Prairie Patrimony: Family, Farming, and Community in the Midwest. Chapel Hill: University of North Carolina Press
- Sanchez, S. M. and T. W. Lucas. 2002. Exploring the World of Agent-Based Simulations: Simple Models, Complex Analyses. Paper presented at the Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, San Diego
- Sarker, A., H. Ross and K. K. Shrestha. 2008. A Common-Pool Resource Approach for Water Quality Management: An Australian Case Study. *Ecological economics* 68: 461-471
- SCEES. 2006. Actifs Familiaux Professionnels : Les Deux Tiers Sont Des Exploitants. *Agreste Cahiers* 4: 10p

- Schultz, T. W. 1975. The Value of the Ability to Deal with Disequilibria. *Journal of Economic Literature* 13: 827-846
- Semaan, J. p., G. Flichman, A. Scardigno and P. Steduto. 2007. Analysis of Nitrate Pollution Control Policies in the Irrigated Agriculture of Apulia Region (Southern Italy): A Bio-Economic Modelling Approach. *Agricultural Systems* 94 (2): 357-367
- Sencébé, Y. 2012. "La Safer" De L'outil De Modernisation Agricole À L'agent Polyvalent Du Foncier : Hybridation Et Fragmentation D'une Institution. *Terrains & travaux* 20 (1): 105-120
- Shapiro, D., R. D. Bollman and P. Ehrensaft. 1987. Farm Size and Growth in Canada. *American Journal of Agricultural Economics* 69 (2): 477-483
- Simon, C. J. and C. Nardinelli. 1996. The Talk of the Town: Human Capital, Information, and the Growth of English Cities, 1861 to 1961. *Explorations in Economic History* 33 (3): 384-413
- Sinclair, R. 1967. Von Thunen and Urban Sprawl. *Annals of the Association of American Geographers* 57 (1): 72-87
- Slak, M.-F. and J. L. Vivière. 1999. Vers Une Modélisation Du Mitage. Périurbanisation Et Agriculture. *Etudes foncières* 85: 33-38
- SSP. 2005. Des Emplois Non Agricoles Avant L'installation. *Agreste Primeur* 160:
- SSP. 2007a. Bilan 2006 Du Marché Des Terres Agricoles Libres. *Agreste Données Midi-Pyrénées* 42:
- SSP. 2007b. L'irrigation Du Maïs Mise À Mal Par Les Sécheresses. *Agreste Primeur* 194:
- SSP. 2008. 326000 Exploitations Professionnelles. *Agreste Primeur* 215:
- SSP. 2009a. Diversification En Agriculture Et Circuits Courts. *Agreste Données Midi-Pyrénées* 51:
- SSP. 2009b. La Maison Individuelle Grignote Les Espaces Naturels. *Agreste Primeur* 219:
- SSP. 2010. L'artificialisation Atteint 9% Du Territoire En 2009. *Agreste primeur* 246:
- SSP. 2011a. Les Productions Se Concentrent Dans Les Exploitations Spécialisées. *Agreste Primeur* 272: 4
- SSP. 2011b. Recensement Agricole 2010 Premières Tendances. *Agreste Primeur* 266:
- SSP. 2011c. Un Million D'actifs Permanents. *Agreste Primeur* 276:
- SSP. 2012. Un Producteur Sur Cinq Vend En Circuit Court. *Agreste Primeur* 275:
- Stanislaw, H. 1986. Tests of Computer Simulation Validity: What Do They Measure? *Simulation & Games* 17 (2): 173-191
- Stefanou, S. E. 1989. Learning, Experience, and Firm Size. *Journal of Economics & Business* 41 (4): 283
- Stigler, G. 1939. Production and Distribution in the Short Run. *The Journal of Political Economy* 47 (3): 305-327
- Stoate, C., A. Bãlău, P. Beja, N. D. Boatman, I. Herzon, A. van Doorn, G. R. de Snoo, L. Rakosy and C. Ramwell. 2009. Ecological Impacts of Early 21st Century Agricultural Change in Europe – a Review. *Journal of Environmental Management* 91 (1): 22-46
- Stolarick, K. and R. Florida. 2006. Creativity, Connections and Innovation: A Study of Linkages in the Montr,Al Region. *Environment and Planning A* 38 (10): 1799-1817
- Summer, D. A. and J. D. Leiby. 1987. An Econometric Analysis of the Effects of Human Capital on Size and Growth among Dairy Farms. *American Journal of Agricultural Economics* 69 (2): 465-470
- Sutherland, L.-A. 2011. "Effectively Organic": Environmental Gains on Conventional Farms through the Market ? *Land Use Policy* 28: 815-824

- Sutton, J. 1991. Sunk Costs and Market Structure : Price Competition, Advertising, and the Evolution of Concentration. London: MIT PRESS
- Taylor, J. E. and I. Adelman. 2003. Agricultural Household Models: Genesis, Evolution and Extensions. *Review of Economics of the Households* 1 (1-2): 33-58
- Tolley, G. S. 1970. Management Entry into U.S. Agriculture. *American Journal of Agricultural Economics* 52 (4): 485-493
- Tolron, J.-J. 2001. L'agriculture Périurbaine : Paradigme Et Paradoxes D'une Péri-Agriculture Illustration En Région Méditerranéenne *Ingénieries* 28: 65-74
- Turvey, C. G. and T. G. Baker. 1990. A Farm-Level Financial Analysis of Farmers' Use of Futures and Options under Alternative Farm Programs. *American Journal of Agricultural Economics* 72 (4): 946-957
- UNFPA. (2007). "Etat De La Population Mondiale 2007 Libérer Le Potentiel De La Croissance Urbaine." from http://www.unfpa.org/swp/2007/french/chapter_4/index.html.
- Vaillancourt, F. and L. Monty. 1985. The Effect of Agricultural Zoning on Land Prices. *Land Economics* 61 (1): 36-42
- Valbuena, D., P. H. Verburg and A. K. Bregt. 2008. A Method to Define a Typology for Agent-Based Analysis in Regional Land-Use Research. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 128 (1/2): 27-36
- van Ittersum, M. K., F. Ewert, T. Heckelei, J. Wery, J. Alkan Olsson, E. Andersen, I. Bezlepkina, F. Brouwer, M. Donatelli, G. Flichman, L. Olsson, A. E. Rizzoli, T. van der Wal, J. E. Wien and J. Wolf. 2008. Integrated Assessment of Agricultural Systems _ a Component-Based Framework for the European Union (Seamless). *Agricultural Systems* 96 (1-3): 150-165
- Vandecandelaere, E. and J.-M. Touzard 2005. Création De Ressources Territoriales Et Construction De La Qualité. Les Routes Des Vins. Proximités Et Changements Socio-Économiques Dans Les Mondes Ruraux. A. Torre and M. Filippi. Paris, INRA Editions: 59-72.
- Varenne, F. 2011. Modéliser Le Social Méthodes Fondatrices Et Évolutions Récentes. Paris: 233
- Varian, H. R. 1997. Introduction À La Microéconomie Traduction De La Quatrième Édition Américaine. Paris: De Boeck Université
- Vial, C., C. Soulard and P. Perrier-Cornet. 2010. Horse and Territory: Equidae Holders' Relationship with Space. Paper presented at the 61st Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Hérahion, Crète, Grèce
- Von Thünen, J. H. 1826. Der Isolierte Staat in Beziehung Auf Landwirtschaft Und Nationalökonomie. Hamburg: Perthes
- von Ungern-Sternberg, T. 1990. The Flexibility to Switch between Different Products. *Econometrica* 57 (227): 355-369
- Walras, L. 1896. Etudes D'economie Sociale Théorie De La Répartition De La Richesse Sociale. Lausanne: Imp. H. Volloton, Guex & Cie
- Weiss, C. R. 1998. Size, Growth, and Survival in the Upper Austrian Farm Sector. *Small Business Economics* 10: 305-312
- Weiss, C. R. 1999. Farm Growth and Survival: Econometric Evidence from for Individual Farms in Upper Austria. *American Journal of Agricultural Economics* 81: 103-116
- Weiss, C. R. 2001. On Flexibility. *Journal of Economic Behavior & Organization* 46: 347-356

-
- Wozniak, G. D. 1984. The Adoption of Interrelated Innovations: A Human Capital Approach. *Review of Economics & Statistics* 66 (1): 70-79
- Zeelenberg, M. and E. van Dijk. 1997. A Reverse Sunk Cost Effect in Risky Decision Making: Sometimes We Have Too Much Invested to Gamble. *Journal of Economic Psychology* 18 (6): 677-691
- Zimmermann, A., T. Heckelei and I. P. Domínguez. 2009. Modelling Farm Structural Change for Integrated Ex-Ante Assessment: Review of Methods and Determinants. *Environmental Science & Policy* 12 (5): 601-618

ANNEXES

Table des annexes

1.ANNEXE A1 : « La diminution des terres agricoles », transcription de l'émission Contre-expertise diffusée sur France Culture le 25/08/2011	253
2.ANNEXE A2 : Sur le plateau de Saclay, les derniers paysans de Paris	269
3.APPENDIX A3: Interpretation of the coefficients estimated by the multinomial logistic model	275
4.APPENDIX A4: Results of the multinomial logit estimation using odds ratios	277
5.ANNEXE A5: Déterminants du revenu familial des agents dans AgriPoliS	279
6.APPENDIX A6: AgriPoliS data	283
7.ANNEXE A7: Fonctionnement du marché foncier dans AgriPoliS	285
8.APPENDIX A8: Estimation of the CAP payments in the Lauragais region.....	287
9.APPENDIX A9: Visual evidences of urban sprawl in Lauragais	289
10.APPENDIX A10: Description of the Farm agents used in the simulations	291
11.APPENDIX A11: AgriPoliS economic variables.....	293
12.APPENDIX A12: Comparison of the trend equations for farmland prices as a function of the distance from Toulouse.....	295
13.APPENDIX A13: Comparison of the trend equations for farmland prices as a function of the distance from Villefranche-de-Lauragais	297
14.APPENDIX A14: Differentiation of Terrefort and Boulbène soil types.....	299

1. ANNEXE A1 : « La diminution des terres agricoles », transcription de l'émission Contre-expertise diffusée sur France Culture le 25/08/2011

Présentatrice : Julie Gacon (JG)
Invités : Valéry Elisseeff (VE), directeur de la SAF-agriculteurs de France
Philippe Collin (PC), porte-parole de la Confédération Paysanne
Robert Levesque (RL), directeur des études de la Fédération Nationale des SAFER
Intervenants : Henri Rouvières (HD), interviewé
reportage : Laurence Decherf (LD), journaliste

JG : Bonsoir Renaud Condelier et merci. Ce soir dans Contre-expertise un point sur la raréfaction des surfaces agricoles.

Générique

JG : Peut-on installer une médiathèque à Saint-Juire ? Au beau milieu des champs, Pascal Gregory et Arielle Domballe ne savent plus vraiment. L'Arbre, le maire et la médiathèque... Le film de Rohmer date de 93. Aujourd'hui à Saint Juire, il y a six exploitations agricoles. On dit que chaque jour, ce sont deux cents hectares qui disparaissent sous le béton. On dit que la France perd tous les dix ans l'équivalent des surfaces cultivées d'un département pour laisser la place à des lotissements, des parkings ou des magasins de meubles suédois. Cette urbanisation est-elle inéluctable ? Est-elle à ce point néfaste, si elle permet de se loger et de faire tourner l'économie française ? Quelles conséquences aux échelles locale, nationale et mondiale ? Pour en parler avec nous ce soir, bonsoir PC.

PC : Bonsoir

JG : Vous êtes le porte-parole de la confédération paysanne. Vous êtes par ailleurs producteur de céréales dans l'Yonne. Bonsoir VE, vous dirigez la Société des Agriculteurs de France, la SAF, une association fondée en 1867 devenue aujourd'hui un think-tank agricole français. Face à vous, RL. Bonsoir Monsieur. Vous êtes ingénieur agronome, directeur d'études à la fédération nationale des SAFER, les Sociétés d'Aménagement Foncier d'Etablissement Rural. Alors pour résumer, chaque région a une SAFER et toutes les ventes de terre agricole passent entre leurs, et donc entre vos mains. Entre autres, celles de cet agriculteur rencontré par les équipes de France 2 en juillet 2010.

LD : Henri Rouvières est en colère. Il va perdre une centaine de ces oliviers sur cette parcelle. Car à Manosque, la priorité c'est la construction, pas la production agricole.

HR : C'est impensable de détruire des arbres comme ça ! C'est impensable ! Moi, pour moi, les gens qui font ça, ce sont des assassins. Parce qu'il y a des gens qui sont là que pour faire de l'argent. Les oliviers ont en a rien à foutre. Il faut que ça passe ou que ça casse.

LD : L'argent, lui, ne l'intéresse pas. Ce qu'il veut c'est conserver son patrimoine. La municipalité a décidé de grignoter, d'ici une dizaine d'années, quatre-vingt dix hectares en périphérie de la ville. Objectif : la construction de cet hôpital, d'une école internationale mais aussi de nombreux logements sur ce quartier de Chanteprunier.

JG : Reportage de Laurence Decherf pour France 2 en 2010. VE, peut-être d'abord, un point sur les chiffres. On dit que chaque année, au sujet de ces terres agricoles, c'est sept fois la surface de Paris qui est coulée sous le béton. Peut-être vous, RL ? Est-ce que ce sont les chiffres dont on dispose ?

RL : Alors oui, j'avais dit un chiffre tout à l'heure qu'il fallait dix années d'urbanisation pour détruire un département.

JG : C'est ce qu'on entend, ce sont les chiffres qu'on lit.

RL : Oui mais, en fait, ce n'est pas exact. L'urbanisation est de plus en plus rapide. On était à un rythme de 40 000 hectares en 1960. On est passé à un rythme de 54 000 hectares dans les années 80, puis à 61 000 hectares. Et maintenant, sur la période 2006/2010, nous sommes à un rythme de 78 000 hectares par an. C'est-à-dire qu'en quatre ans, ce sont les surfaces agricoles d'un département qui disparaissent.

JG : Donc bien plus vite que ce qu'on ...

RL : Oui, ça disparaît beaucoup plus vite que ce qui est dit.

JG : PC ?

PC : Oui, c'est une réalité. C'est une des facettes du changement de l'usage des sols qu'est l'artificialisation. Il y a d'autres enjeux. Il ne faudrait pas poser la question de l'usage des sols uniquement par le biais de l'urbanisation, même si c'est un élément important dans la mesure où la caractéristique, c'est que la perte de cet usage à destination agricole est irréversible. Là où on a mis du béton, on ne remet plus de terre. Donc ça, il y a bien une spécificité de ce

problème-là. Mais la question de l'usage des terres se pose d'un point de vue plus général, et en France, et dans le monde.

JG : VE ?

VE : Alors le problème qui se pose, et qui est illustré par RL, est, en fait, aussi la conséquence de notre développement économique et de notre politique d'urbanisation. Donc nous avons besoin de surfaces pour effectivement développer des activités économiques et des infrastructures, mais également se loger. Le problème c'est qu'on est peut-être trop gourmand dans la manière de gérer cet espace. Il faut certainement revoir la manière dont on consomme l'espace rural car celui-ci est vraiment stratégique pour notre agriculture. Que ce soit à l'échelle nationale, européenne ou mondiale.

JG : Ca, PC, vous comprenez que les élus aient besoin de faire venir de nouveaux habitants avec des enfants ? Qu'ils aient besoin d'avoir des activités économiques ?

PC : Le besoin de se loger, d'avoir des voies de communication, je pense, n'est contesté par personne. La population de la France a augmenté d'environ 3% depuis 35 ans. Ca, c'est une réalité et ça génère un besoin d'habitat, un besoin d'infrastructures, qui est incontournable. En revanche, la question qu'on doit se poser, c'est pourquoi la France consomme 50% d'espaces de plus que l'Allemagne pour loger les mêmes populations (par habitant). Donc il y a bien dans ces chiffres-là quelque chose de spécifique : la France qui jusqu'à maintenant ne s'est jamais intéressée de très près à cette dilapidation des terres agricoles, ou on pourrait dire forestières puisque c'est des terres. Une terre agricole, ça peut être une forêt au départ. Ca peut le redevenir demain. Donc c'est à la fois un manque de soucis collectif et aussi le produit de politiques. Dans la mesure où certains ont un intérêt majeur à vendre le maximum de terres parce qu'il n'y a aucune taxation, il n'y a aucun contrôle, et il y a une inflation, une spéculation sur les terres agricoles et leur changement d'usage. En particuliers pour l'urbanisation, il y a des gens qui ont intérêt à ce qu'on consomme le maximum d'espace. C'est en particuliers les vendeurs de terres agricoles.

JG : Certains agriculteurs y ont un intérêt parce qu'ils les vendent très chères.

PC : Certains agriculteurs bien sûr parce qu'ils les vendent très chères et qu'ils ne sont pas taxés, ou à un niveau très faible, depuis la loi passée, qui est de 5% mais cela n'a aucun impact.

JG : Elle était voulue par la profession ?

PC : Même pas. Il y a une partie qui était contre cette taxation, considérant que c'est un impôt de plus qui allait être créé. Alors que de toute façon, une taxe de 5%, quand la valeur des terres est multipliée par 10 ou par 100 quand elles changent d'usage, on est vraiment dans la mesure gadget.

JG : VE, une mesure gadget ?

VE : Alors pour rebondir sur les propos de Monsieur Collin, effectivement, je crois que l'important c'est de trouver des bons mécanismes pour endiguer cette érosion de notre patrimoine sol. Alors effectivement, il y a des systèmes comme les taxes qui sont en train d'être mis en place et qui vont progressivement être augmentés en puissance. C'est un des outils mais je pense que ce n'est pas le seul. Il faut beaucoup plus porter ça à l'échelle des politiques urbaines et amener vraiment une réflexion de fond. Pourquoi ? Tout simplement parce qu'aujourd'hui on est sur un modèle de consommation des terres qui va dans le mur. On risque de se retrouver à terme, d'échéance 20-25 ans, avec peut-être des lotissements qui seront des errances parce qu'il n'y a plus d'habitants. Parce que les populations qui habitent donc dans ces nouveaux lotissements qui sont créés dans le rural, dit « profond » sans que ce soit péjoratif, mais c'est du rural qui est assez éloigné des bourgs centres, finalement ces lotissements attirent des populations à faible revenu parce que ne trouvant pas à se loger à proximité de leur lieu de travail. On repousse finalement cette population dans des endroits où, finalement, la terre agricole n'est pas suffisamment chère. Donc c'est un problème vraiment global. Il y a à la fois un problème de prix mais il y a aussi un problème de politique urbaine, et en fait, derrière, c'est tout un problème de société qu'il faut prendre conscience des mesures

JG : RL c'est un problème de société alors ? Politique en tout cas ?

RL : D'abord un point sur le problème de l'artificialisation. Il faut bien voir que c'est d'abord une position politique, c'est-à-dire c'est une position d'une commune, d'un département voire d'un état, pour des grandes infrastructures. Et il faut bien voir que l'artificialisation n'est pas décidée par les propriétaires. Les propriétaires peuvent être actifs pour essayer de profiter éventuellement de droits à bâtir, mais dans tous les cas de figure, ce sont bien des décisions politiques qui donnent droit à un changement d'usage des terres.

JG : Les élus locaux, en fait, ils ont la main sur le ...

RL : Notamment les élus locaux des communes. Donc il y a une responsabilité locale et comme on a 36 000 communes, on a effectivement 36 000 lieux de pouvoir pour décider de l'extension urbaine. Bon, au niveau des prix, c'est effectivement le fait que les mouvements, les documents d'urbanisme sont très malléables et peuvent pratiquement changer du jour au lendemain, qui fait que les prix des terres peuvent avoir un certain ... peuvent contenir des prix d'anticipation. C'est-à-dire lorsqu'un propriétaire voit que dans deux ans, cinq ans, dix ans, il a une certaine probabilité d'avoir des droits à produire sur son terrain, et bien effectivement, le prix de la terre augmente et ne répond plus à une logique agricole où le prix de la terre est alors fonction des taux d'intérêt et de la valeur ajoutée agricole à l'hectare.

JG : C'est ça PC qui fait que l'artificialisation des terres agricoles est irréversible, c'est aussi la montée ?

PC : Alors non, c'est les travaux qui sont réalisés sur ces terres-là. Quand on a coulé du béton, quand on a coulé un parking de supermarché, c'est quand même très difficile d'imaginer qu'on va replanter des patates le lendemain. Donc là, il y a vraiment un manque de responsabilité de la part des urbanistes en général et des élus, comme ça vient d'être évoqué. qui est coupable. Alors quel est le produit, là aussi d'un certain type de politiques, de mettre en compétition des territoires entre eux plutôt que d'avoir une politique d'organisation du territoire qui tienne compte de ces éléments là ? Vous voyez fleurir dans n'importe quel chef-lieu de canton une zone à urbaniser qui permettra de garder de la taxe professionnelle locale et ainsi de suite et qui est, là, le produit de politiques fiscales, de logiques de mise en compétition qui sont la vertu cardinale, aujourd'hui, de l'ensemble de nos politiques françaises. Mais bien au-delà, je pense que les événements financiers d'aujourd'hui nous en donnent une illustration. L'un des autres effets de cette flambée des terres lors d'un changement d'usage, c'est la flambée du prix de la terre pour le paysan λ . C'est-à-dire que le paysan qui se fait exproprier parce qu'il y a un rond-point qui va passer, parce qu'il y a 30 hectares qui vont être mis pour faire des marchands de meuble suédois, par exemple, qui font des bâtiments sur un étage parce que la terre ne coûte rien par rapport à la rentabilité qu'il y a, plutôt que de faire un bâtiment sur trois étages qui consommerait beaucoup moins d'espace. Et bien le paysan qui est exproprié se retrouve avec un magot, du jour au lendemain, dont il n'a même pas l'usage et qui va lui permettre d'aller acheter de la terre 30 kilomètres plus loin, à la limite de la zone qui sera urbanisée dès le coup d'après à un prix qui est sans rapport avec la capacité de la terre à nourrir la paysan. Ca, c'est aussi un des effets aussi du changement d'usage des sols.

JG : Mais c'est si facile que ça d'acheter des terres agricoles pour en faire un centre commercial ou un aéroport VE ?

VE : Alors écoutez, ça a été dit tout à l'heure. En fait, ça dépend beaucoup du choix de la commune. Donc à ce niveau-là, deux choses. D'une part, à l'échelle individuelle, on ne peut pas en vouloir à un propriétaire de vouloir réaliser une plus-value sur son bien. Je crois que ça, c'est dans la nature humaine. Donc, je veux dire, on ne peut pas jeter la pierre à un paysan qui vend sa terre, d'autant plus que, souvent, c'est aussi un peu la retraite de fin de carrière.

JG : On dit aussi que certains peuvent parfois gagner plus grâce à une vente foncière que pour le travail de toute une vie ?

VE : Oui, bien sûr. Oui, c'est exact. Donc on ne peut pas en vouloir, encore une fois, à un propriétaire ou un agriculteur-propriétaire de réaliser une plus-value sur son patrimoine. Mais concernant plus spécifiquement ce changement de destination des terres. Et ça, ça rejoint directement les travaux de la Société des Agriculteurs de France, la SAF, dont nous sommes... vous l'avez rappelé tout à l'heure. Et nous allons travailler donc, puisque PC y faisait référence tout à l'heure. Il n'y a pas beaucoup d'études de réflexion autour de la matière. Nous allons travailler tout l'hiver avec RE, entre autres, et avec une petite centaine d'experts autour de nos adhérents qui sont tous d'horizons variés, qui représentent de la fourche à la fourchette pour faire simple. Et nous sommes arrivés à faire un certain nombre de propositions en la matière. Et pour ça, sur l'aspect communal, nous disons il y a des outils qui ont été mis en place, plutôt au niveau départemental, c'est la loi de modernisation agricole qui instaure une commission d'observation de consommation des terres agricoles. Et nous disons qu'il faut aller plus loin dans cette action là. Il faut certainement porter cette décision sur le changement de destination des terres à un échelon qui est peut-être celui de la région. En tout cas, il faut trouver le bon niveau de décision, mais vraiment de décision et non plus passer dans l'observation. Il faut, je dirais, sortir du débat passionnel ou trop proche des intérêts locaux ou communaux pour essayer de trouver un autre échelon de décision qui soit, encore une fois, plus objectif, plus rationnel et dépassionné.

JG : RE, c'est aussi à la ville de sauver les terres en densifiant le tissu urbain ?

RE : Tout à fait, le problème de l'extension urbaine, c'est d'abord un problème de politique urbaine. C'est-à-dire que ce ne sont pas les agriculteurs qui vont protéger les terres agricoles. L'extension urbaine, le béton, le bitume ce sont des politiques urbaines qui en décident. Donc l'un des problèmes, c'est l'histoire de la terre agricole ou des terres forestières et, au-delà, de

l'ensemble des espaces naturels. Pour les protéger, il faut, pour protéger disons un bien commun, et bien il faut que le coût de l'urbanisation de ces nouvelles, de ces terres agricoles ou de ces forêts, soit supérieur ou au moins égal au coût de la reconstruction de la vie sur la ville, au coût du recyclage des sols déjà imperméabilisés. Et donc, ça veut dire qu'une taxe qui représente simplement 5 ou 10% de la plus-value foncière n'a aucun effet sur la diminution de l'extension urbaine.

JG : VE vous vous ne serez d'accord ? Si vous l'êtes ?

VE : Si, si.

JG : Allez-y Monsieur.

RE : Par contre, une taxe qui serait, qui vaudrait la différence de valeur entre un terrain à bâtir urbain et la terre agricole serait déjà beaucoup plus efficace. Et donc ça reviendrait finalement à, si cela se fait, ça reviendrait à ce qu'une partie de la plus-value foncière revienne au public que ce soit l'Etat, soit à la région, soit au département.

JG : VE ?

VE : Alors je voudrais compléter ce que vient de dire RL. Si une politique de taxation est intéressante, sans doute il y a d'autres mécanismes que nous proposons et que vous pouvez retrouver dans nos propositions. Vous pouvez consulter notre site [agriculteursdefrance](http://agriculteursdefrance.fr) (au pluriel). Non mais plus sérieusement, on a aussi tous les mécanismes de compensation qui sont aussi des mécanismes qui peuvent être intéressants. C'est-à-dire que c'est un mécanisme assez simple qui consiste à dire pour un aménageur : vous allez détruire un espace, vous allez détruire des écosystèmes et bien il va falloir que vous restituiez ces écosystèmes ailleurs, que vous les reconstituiez. Ca donne lieu à des services environnementaux qui sont après rendus par des agriculteurs. Donc ces agriculteurs peuvent se positionner en tant qu'acteur de production de services environnementaux moyennant une rémunération. Et du coup, ça renchérit quand même le coût de l'artificialisation. Alors, l'exemple typique donné sur ce sujet, c'est l'autoroute A65, dans le sud-ouest, où il y avait menace de destruction du vison d'Europe. Et donc l'aménageur autoroutier paye des agriculteurs pour avoir un certain nombre d'aménagements qui favorisent l'habitat du vison d'Europe. C'est un des moyens aussi de lutter contre cette artificialisation et je pense qu'en la matière on a énormément d'outils à mettre en œuvre. On n'a pas à être sur un outil et un seul. C'est un ensemble.

JG : PC ?

PC : Je n'ai pas de difficultés à partager la proposition qui a été faite par RL. Par exemple, premièrement, elle n'est pas de nature à lutter contre la spéculation foncière. Aussi longtemps qu'il sera beaucoup moins coûteux pour un vendeur de meubles suédois de s'installer à 50 km de Paris que de construire en plein milieu de Paris, alors de toutes façons on n'aura pas changé le problème. Donc on est bien là au cœur du problème d'artificialisation des terres qui est bien le coût d'accès. Et aujourd'hui on considère que la terre agricole c'est une variable d'ajustement pour l'urbanisation. Et le problème de l'urbanisation existe aussi en milieu rural puisque même le milieu rural s'urbanise aussi. Les villages, si petits soient-ils, consomment de la terre et proportionnellement par habitants souvent beaucoup plus que la ville d'ailleurs. Je pense qu'il faut le rappeler également. Et puis, la logique de compensation financière, je la trouve très très inquiétante dans la mesure où elle considère que tout peut se payer, tout peut se monétariser dans cette société. Et on est dans la logique d'on va évaluer le prix du kilo de Vison pour imaginer une compensation, sauf que ça ne pose pas le problème de fond. C'est la préservation, le maintien des espaces les plus harmonieux possibles. Donc la logique marchande est une logique extrêmement perverse.

JG : Sur cette question, vous avez travaillé RL ?

RL : Oui, alors le problème de la compensation aujourd'hui, en France, c'est une compensation qui se veut sur la biodiversité. C'est-à-dire que si, par exemple, un aménageur veut supprimer, enfin si l'aménagement conduit à la suppression d'un hectare de forêt, on veut éventuellement replanter deux hectares de forêt. Si on détruit un biotope, on veut recréer un biotope. Mais dans ce jeu là, on ne prend pas en compte le potentiel agronomique. Et ça me semble important puisqu'à la vitesse où l'on va, au niveau français, d'ici 2050, si on continue, c'est environ 11% de la surface agricole actuelle qui disparaîtrait. Mais, en termes de potentiel agronomique, si on considère que c'est la réserve utile en eau des sols qui est à prendre en compte, ça sera aux alentours de 14, de 15% du potentiel agronomique français qui disparaîtrait d'ici 2050. Et ce n'est pas avec la compensation environnementale que l'on va arrêter ça. Donc, si on parle de compensation, il faudrait également prendre en compte la réserve utile en eau, la capacité des sols à conserver de l'eau pour le développement des plantes.

JG : On y revient dans un instant. En attendant, il n'y a pas que des nostalgiques de la terre nourricière.

JG : Vous écoutez France Culture Contre-expertise. Nous sommes toujours avec nos trois invités RL, ingénieur agronome, VE, directeur de la SAF, think-tank agricole français et PC,

porte-parole de la confédération paysanne. Après Gérard Genty, gentiment barré et son quiproquo à propos de la ville. Autre question pour engager cette deuxième partie de la conversation. VE, ces terres qui disparaissent, ce sont en général les plus fertiles ou pas ? J'ai cru comprendre qu'elles disparaissaient surtout en plaine, dans les vallées et c'est là qu'elles sont les plus riches.

VE : Oui. Alors, absolument. Les terres qui sont artificialisées le sont autour des centres urbains. Et historiquement, les villes se sont installées dans les zones les plus fertiles pour assurer leurs approvisionnements depuis l'antiquité, le moyen-âge, etc. Donc effectivement chaque fois qu'on a des villes, les villes s'étendent sur les terres agricoles les plus fertiles. Ce qui remet en cause le potentiel agronomique et la capacité de production de la France. Mais ce phénomène n'est pas que franco-français puisqu'on le retrouve à toutes les échelles que ce soit européenne ou mondiale.

JG : PC ?

PC : Oui. Cette question nous renvoie à un autre élément. C'est que derrière le problème de l'artificialisation des terres, c'est bien la question du changement d'usage des terres qui est au cœur des problèmes.

JG : Oui, il ne suffit pas de préserver l'espace agricole. Il faut aussi préserver l'activité.

PC : Oui, il faut aussi préserver l'activité agricole mais surtout la destination de l'activité agricole. Aujourd'hui, on s'aperçoit que les chiffres sont effrayants en matière d'artificialisation des terres. C'est vrai mais, en revanche, on doit aussi s'inquiéter d'urgence sur les politiques publiques qui ont été conduites depuis quelques années en France et depuis 10-15 ans dans d'autres pays comme les Etats-Unis et au Brésil, qui est le développement massif d'agrocultures sur des terres agricoles qui soustrait de la production de denrées alimentaires une quantité énorme de marchandises pour faire rouler des 4*4.

JG : Ca prend pas mal de place aussi.

PC : Mais ça prend un espace considérable ! Il y a aujourd'hui 1 400 000 ha, je crois, de colza en France qui sont dans leur immense majorité transformés en diester pour faire rouler les voitures. Donc là, cette question-la aussi on ne peut pas l'évincer quand on parle de l'artificialisation des terres puisque c'est le même problème si l'un des enjeux de l'agriculture est de nourrir les populations qui occupent la terre.

JG : VE, c'est ce qu'on disait. Il ne suffit pas de préserver l'espace, il faut aussi préserver l'activité.

VE : Alors, derrière il faut bien voir, le problème est général et global. C'est nourrir 9 milliards d'individus d'ici 2050. C'est-à-dire 2 milliards d'individus en plus sur la planète. Et donc ça, ça pose le défi de la production agricole. Il va falloir augmenter cette production agricole. Il faut l'augmenter pour se nourrir, mais il faut l'augmenter également pour se vêtir car on porte tous des vêtements en coton, des chemises, des jeans, etc. Tout ça, c'est de la production agricole non-alimentaire. Il faut aussi relever le défi des ressources non-renouvelables. Et les carburants et le pétrole vont en être une des composantes. Alors, je voudrais juste tempérer un tout petit peu les propos de PC parce qu'en matière de biocarburants, il y a peut-être des distinctions à faire. Quand on est sur des cultures pérennes type Jatropha ou huile de palme, effectivement, on a un changement de destination de l'usage des terres qui est réversible, mais sur longue période. Dès lors qu'on est sur des cultures annuelles, là aussi il faut faire la distinction. Vous avez fait référence au Colza. Le Colza c'est une plante qui sert effectivement pour des agrocarburants. Mais c'est aussi une plante qui sert pour l'alimentation animale et vous avez les deux destinations pour les mêmes produits. Et si on regarde le développement de la plante de colza en France, en partie impulsée par le développement des agrocarburants, et bien, force est de constater que cette politique a permis de limiter les importations de soja et donc d'augmenter le taux d'autosuffisance de l'Union Européenne en matière de protéines.

JG : RL, il faut se choisir des zones à préserver pour préserver le potentiel agricole ?

RL : Je pense que vus les enjeux dont on vient de parler, ce n'est pas en préservant des petites zones par-ci par-là qu'on va régler le problème. Le problème, on l'a dit, est national. On risque de perdre 15% de notre potentiel agronomique. Il faut bien voir qu'au niveau de l'Europe, on est déjà en insuffisance. C'est-à-dire que tous les ans, on importe, au niveau européen, l'équivalent de la production agricole de 36 000 000 ha. C'est-à-dire une surface supérieure à la surface agricole française et cela notamment par l'usage des agrocarburants pour nos véhicules. Et donc, si on poursuit cette politique d'utilisation des agrocarburants pour nos véhicules en Europe, comme il est prévu, on va importer encore de plus en plus de produits d'origine agricole, par exemple du Brésil. Et donc on se retrouve dans une position un petit peu curieuse. On demande au Brésil d'arrêter de déforester, et il le faut absolument pour lutter contre le réchauffement climatique et, en même temps, on leur demande des

produits pour nos animaux et on leur demande des produits pour faire rouler nos voitures. Donc là, il y a une complète contradiction. Il faut absolument sortir de cette contradiction et on doit au minimum, si on demande aux brésiliens de déforester, il faut que l'on fasse beaucoup d'efforts pour préserver les terres agricoles en France et en Europe.

JG : PC.

PC : Alors cela nous ramène à une question qui est fondamentale dans l'agriculture : que sont les politiques agricoles nationales ou européennes. Et typiquement, je pense que le développement des agrocarburants pour nourrir nos animaux est vraiment une mauvaise solution et un vrai problème, qui est une politique agricole qui jusqu'à maintenant s'est accommodée d'importations massives de tonnes de soja. Plutôt que de développer une politique de production de plantes riches en protéines qui auraient un avantage agronomique incontestable, et bien on a choisi de se lancer dans des filières industrielles de circuits longs, très coûteuses en intrants, en engrais, en pesticides et ainsi de suite, très coûteuses en transformation, en transport, en distribution pour dire au final, mais avec les tourteaux de colza on va quand même pouvoir nourrir les animaux. Si on fait rien, que d'un point de vue tonnages, la quantité de production d'un hectare de colza par rapport à un hectare de culture conduite dans les mêmes conditions, avec les mêmes niveaux d'intensification, on est quasiment dans un rapport de 1 à 2. Donc on ne peut pas présenter ça comme une solution. Et puis au-delà du cas français, il faut s'interroger sur l'ensemble des politiques sur la planète qui, aujourd'hui, ont adopté les mêmes principes. Aujourd'hui, aux Etats-Unis, on transforme la moitié du maïs en éthanol. En Allemagne, on transforme 20% du maïs pour faire de l'électricité dans les usines de méthanisation. Donc on a, aujourd'hui, des politiques publiques dans l'ensemble des pays développés qui concourent à priver une partie des habitants de cette planète de la possibilité de s'alimenter à partir des terres agricoles. Ca, c'est vraiment quelque chose dont il faut vraiment que l'on se préoccupe d'ores et déjà car tout cela concourt à la spéculation, tout cela concourt à la volatilité des prix puisque maintenant les prix des produits agricoles sont totalement indexés sur les prix de l'énergie en direct. Alors qu'il y avait beaucoup plus de déconnexions auparavant.

JG : Finalement la raréfaction des terres agricoles, elle va bien au-delà de la question française. VE ?

VE : Ah oui ! La question de la raréfaction des terres agricoles va bien au-delà. Effectivement il y a à la fois les conflits d'usage. Il y a fait référence. C'est un débat qui est passionnel, passionnant, avec des dispositions contradictoires. Moi, ce que je retiens surtout, c'est que le

plus important, finalement, c'est qu'il faut augmenter la production agricole. Et il faut l'intensifier par ce que de toute façon, la ressource en terre à l'échelle mondiale n'est pas suffisante pour satisfaire tous les besoins.

JG : Alors vous allez contre les idées reçues en parlant d'intensification de la production agricole ? PC ?

VE : Je voudrais juste terminer. Mais je ne sais pas si je vais contre les idées reçues. Mais à l'horizon 2050, les projections de la FAO montrent que rien que pour l'alimentation, ce sont des besoins de plus de 70% de la production agricole que l'on doit avoir. Quand on regarde le potentiel de terres dont on dispose au niveau mondial, à climat équivalent, sans prendre en compte les effets du changement climatique potentiel, et bien vous vous apercevez que les réserves de terre ne sont pas si importantes que cela. Les réserves de terre, c'est grosso modo, d'après les prévisions, autour de 200 à 300 millions d'hectares sur un milliard et demi de terres mises en culture actuellement. Donc, de toute façon, vous me dites vous allez à l'encontre des idées reçues ? Non, je crois qu'il faut intensifier la production, qu'il ne faut pas le faire n'importe comment. C'est-à-dire qu'aujourd'hui, on a des techniques agricoles pour produire plus et mieux avec moins. Il faut utiliser toutes les innovations en matière de production. Et la production ne doit pas être un gros mot.

JG : La seule solution c'est augmenter la productivité ? Encore ? PC ?

PC : Non. Justement il faut toujours être précis sur les termes. Donc très souvent derrière la question de la nécessaire augmentation de la production, ça va être à peu près évident d'admettre qu'il faut plus de quantités de nourriture pour nourrir 9 milliards d'habitants que pour en nourrir 7. Ca, jusque là, on va tomber assez facilement d'accord. Après, est-ce que le modèle c'est d'augmenter la production, d'augmenter la productivité des hectares par exemple ? Ca, sans doute pas. L'essentiel des systèmes intensifs qui sont développés, par exemple, en Europe ont atteint leurs limites techniques. Et donc, vouloir aller aujourd'hui au-delà est, de façon certaine, une impasse. Surtout si on met en relation le fait que cette intensification s'est faite au prix de l'abandon de territoires entiers. Il n'y a qu'à regarder en France, le sud de la France ne produit aujourd'hui quasiment plus de céréales ou très peu parce qu'on a spécialisé les régions, on a spécialisé les territoires. On a abandonné toutes les terres qui étaient les moins fertiles et on a viré les paysans qui les occupaient avec des politiques agricoles qui concentraient là où c'était le plus facile avec la fameuse théorie des avantages comparatifs dont on s'aperçoit que ça génère un système extrêmement coûteux, extrêmement dépendant et qui est une impasse à court terme, puisque de toutes façons on ne

pourra pas nourrir 9 milliards d'habitants en gaspillant sous toutes les latitudes à peu près 30% de ce qu'on produit.

JG : Vous parlez de spécialisation RL ? La spécialisation, c'est justement aujourd'hui les terroirs qui doivent s'adapter au faible nombre de variétés ? C'est un changement de vision de l'agriculture française ? C'est une autre manière de produire ? C'est une autre utilisation des territoires ?

RL : On en a parlé tout à l'heure mais le point important, c'est effectivement que dans les pays de l'OCDE, on s'aperçoit depuis plus de 15 ans que les rendements n'augmentent plus. Donc la perspective d'augmenter les rendements est faible pour plusieurs raisons. Il ne faut pas oublier le facteur climatique. En France, les rendements du blé et du colza, et en Europe, n'augmentent plus depuis 1996. Ça fait 14 ans. Et donc il faut bien voir qu'on aura beaucoup de mal à augmenter les rendements. D'autant plus que les hauts rendements que l'on a atteints depuis 5 décennies sont le fait de ressources non-renouvelables. Avec la mécanisation, on utilise du pétrole. Avec l'azote de synthèse, on a besoin du gaz naturel. Et puis on utilise également des phosphates, des potasses qui proviennent de mines et donc qui sont des ressources minérales épuisables. Au rythme où l'on va au niveau mondial, par exemple pour les phosphates, on en consomme 2 à 3% de plus par an, on ne pourra pas le faire indéfiniment puisqu'à ce rythme là, dans cinq, dix décennies, un siècle, on aura énormément de mal à avoir des phosphates. On est au pied du mur. Il faut une agriculture qui recycle, qui arrive à recycler tous les éléments minéraux.

JG : Donc la raréfaction, ce n'est pas le seul enjeu ? VE ?

VE : Non mais je souscris totalement à ce qui vient d'être dit. C'est-à-dire qu'effectivement on a des rendements qui stagnent. D'où l'intérêt de développer des recherches et d'investir massivement en recherche agronomique parce qu'on a des innovations certainement à trouver à ce niveau-là. Et puis pour PC, il n'y a pas que la France. Il y a d'autres pays où l'on peut gagner en productivité. Donc, je pense que vous avez des terres africaines qui ont des potentiels extraordinaires qui ne sont pas encore exprimés aujourd'hui.

PC : Oui, sauf qu'aujourd'hui, dans la mesure où la question centrale de nos sociétés est la question de l'énergie, on s'aperçoit très vite que l'essentiel des investissements qui ont été faits dans le domaine agricole, je pense, parce que je connais très bien l'argument sur le fait qu'il faut augmenter la productivité qui est très souvent caché derrière le fait qu'il faut augmenter la production. Ça veut dire que vous acceptiez de manger des OGMs parce que

c'est bon. Et on aboutit là à un système, je le dis parce que ça aurait été dit autrement. Et on s'aperçoit aujourd'hui que ce système aboutit, et je l'ai évoqué tout à l'heure, à un système dans lequel les Etats-Unis qui, aujourd'hui, ont développé largement la production du maïs et bien on soustrait une grande part de cette production de l'usage alimentaire puisqu'ils s'en servent pour faire de l'éthanol pour faire rouler les voitures. Donc on s'aperçoit bien que derrière les logiques économiques stratégiques de ceux qui prétendent que demain on aura un avenir radieux grâce aux progrès des nouvelles technologies, et bien derrière, les enjeux financiers ne sont pas pour le bien-être de la planète. Ils ne sont pas pour le bien-être des populations. Ils sont pour le bien-être des marchands qui font breveter massivement des plantes qui sont présentées massivement comme porteuses d'avenir pour nourrir les populations. Donc je pense qu'il faut aussi expliquer cela parce qu'il y a un grand mensonge qui est colporté. L'alternative c'est de maintenir des paysans sur les territoires, de valoriser localement ce qu'on peut au mieux, de ne pas liquider les territoires comme on le fait actuellement. Ca c'est vraiment un des enjeux majeurs.

JG : Dans cette émission ... non parce que dans cette émission on a un invité qui s'impatiente. Parce que dans cette émission, nous recevons chaque soir un quatrième invité d'outre-tombe qui a son mot à dire. Ce soir, l'historien Georges Duby voulait vous dire quelque chose.

Enregistrement Georges Duby

Depuis qu'il y a des villes sur le sol de la Gaule, la France, il y a juxtaposition de deux organismes humains tout à fait opposés, et je dirais même en conflit. La ville c'est une porte que l'on franchit pour entrer dans un monde, dans un univers, dans un espace très très particulier. Et au-delà des murs, c'est le plat pays. Le plat pays avec cette connotation de mépris parce qu'il n'y a pas simplement une opposition topographique. Ce n'est pas simplement deux paysages contrastés mais ce sont deux sociétés qui l'une et l'autre sont différentes. La ville est attirante. Elle est tentaculaire, comme on l'a dit. La ville se nourrit de la campagne à tous les sens de ce mot. C'est-à-dire qu'elle puise là son approvisionnement et elle puise là aussi la reconstitution de sa population parce que tout au long de l'histoire, la population urbaine est moins féconde que la population rurale. Donc la ville se nourrit de la campagne. Elle attire les paysans mais elle les méprise. Et lorsque le paysan est installé dans la ville et est devenu un citoyen, il est encore plus méprisant que tous les autres à l'égard de ceux de ses cousins qui sont restés au village.

JG : Merci beaucoup GD. La ville se nourrit toujours de la campagne. RL ?

RL : Bien évidemment, le citadin est obligé de manger plusieurs fois par jour. Donc il se nourrit encore de la campagne et il va encore le faire longtemps. Mais pour qu'il le fasse longtemps, il faut peut-être aussi qu'il veille à garder la terre nourricière. Et donc peut-être aussi qu'il envisage de modifier ces habitudes alimentaires, de manger moins de viande, éventuellement de consommer moins de calories comme l'INRA a pu le préconiser dans sa prospective 2050.

JG : C'est un choix éminemment de décider à quoi se destinent les terres agricoles. PC ? Vous aviez l'air en tout cas d'accord avec GD.

PC : Oui. Oui. De toute façon l'espace rural, l'espace tel qu'il est un espace totalement artificiel. Il n'y a pas d'espace naturel. A part en antarctique et quelques forêts primitives restées intactes mais autrement l'espace, tel qu'on le connaît en France, est un espace qui est le produit de l'activité humaine. Il ne faut jamais oublier ça. L'artificialisation a des spécificités qui sont le côté irréversible de l'usage des terres, mais pour le reste, le choix que l'on peut faire de valoriser au mieux les territoires, il appartient aux politiques. Il appartient à l'ensemble des concitoyens. Je m'aperçois avec une certaine satisfaction urbain est en train de prendre conscience de la nécessité de considérer les terres, de considérer l'activité agricole et de considérer la production de denrées alimentaires comme essentielles. Et ça, c'est plutôt une bonne nouvelle.

JG : VE, le mot de la fin.

VE : Le mot de la fin, c'est qu'effectivement les agriculteurs, ce sont eux qui mettent en valeur les terres. Il faut qu'ils soient demain toujours présents, compétitifs et qu'ils puissent bénéficier de toutes les innovations technologiques pour relever ce formidable défi alimentaire.

JG : Merci à vous VE. Je rappelle que vous dirigez la Société des Agriculteurs de France, la SAF, le think-tank agricole français. Merci RL, directeur d'étude à la fédération nationale des SAFER, Sociétés d'Aménagement Foncier d'Etablissement Rural. Vous venez de publier un livre, Terre Nourricière, chez L'harmattan. Merci PC, porte-parole de la confédération paysanne. Contre-expertise, une émission réalisée par Philippe Baudouin. A la technique Kamal Salifou. Merci à Romain de Bec-de-Lièvre et Camille Boullenois qui ont préparé cette émission.

2. ANNEXE A2 : Sur le plateau de Saclay, les derniers paysans de Paris

Par Angela Bolis¹²⁵

Le Monde.fr | 28.05.2012 à 17h34 • Mis à jour le 28.05.2012 à 17h34

Le vent souffle sur le plateau de Saclay et dessine des vagues qui filent dans les champs d'orge. Nadine Vilain avance sur le chemin agricole bordé de coquelicots, montrant ce qu'il restera bientôt de son exploitation : sur les 40 hectares, seule une parcelle de 13 hectares devrait être épargnée des constructions. Juste à côté passe la N118 - route nationale qui coupe en deux le plateau et rejoint Paris à une quinzaine de kilomètres. Derrière, les bâtiments de Supélec et d'autres grandes écoles ont déjà poussé en lisière des champs, prémices du projet de cluster scientifique et technologique qui doit s'installer sur les terres du plateau francilien, dans le cadre du Grand Paris.

Ce n'est pas pour elle que Nadine Vilain s'inquiète, mais pour sa fille, Elodie. Et c'est par son époux, qui exploitait en fermage des terres du Plateau, que commence son récit : *"Il est décédé en 1999 d'un cancer du cœur. Mes deux filles étant mineures, un juge des tutelles m'a conseillé de ne pas laisser tomber l'exploitation, au cas où l'une d'entre elles souhaiterait reprendre l'activité."* Ce fut le cas : après son bac et quelques réorientations, la cadette se sent une vocation d'agricultrice, spécialité maraîchage bio et équitation. *"Avec le cancer de mon mari, à 45 ans, on s'est posé des questions... Elle ne veut pas toucher aux produits chimiques"*, dit sa mère.

Un dernier diplôme à remporter et Elodie Vilain sera fin prête pour s'implanter, dès cet été, sur l'exploitation paternelle, avec un projet de ferme pédagogique et de vente directe de fruits et légumes bio sous le bras. Elle a déjà racheté le hangar contenant charrue, herse, semeuse et autres matériels onéreux. Mais voilà, *"arrive sur ça le projet du Grand Paris"*, lâche Nadine Vilain. Et la possible amputation de plus de deux tiers des terres de l'exploitation. *"Ça remet complètement en question mon installation"*, s'inquiète Elodie.

¹²⁵ http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/05/28/plateau-de-saclay-les-derniers-paysans-de-paris_1706980_3244.html?xtmc=saclay&xtcr=3

UN AVENIR EN SUSPENS

Une dizaine d'agriculteurs exploitent les terres du plateau de Saclay. Comme Elodie Vilain, cinq exploitations au total doivent être touchées par le projet de cluster, selon l'association Terre et Cité¹²⁶. Deux, selon l'Etablissement Public Paris-Saclay¹²⁷ (EPPS) pilotant ce vaste chantier - qui doit voir sortir de terre un campus universitaire, des écoles et entreprises du secteur scientifique et technologique, des milliers de logements et un métro.

Il y a Emmanuel Laureauet sa ferme de la Martinière, construite au XIX siècle et exploitée par sa famille depuis plusieurs générations, qui pourrait perdre près d'un tiers de ses 220 hectares - ce qui menacerait, selon l'agriculteur, la viabilité et l'avenir de son exploitation. Il y a Emmanuel Vandame, dont un champ doit être traversé par le futur métro aérien et dont une partie des terres est menacée par le transfert d'un golf. D'après Dorian Spaak, de l'association Terre et Cité, il y a aussi la famille Trubuil, et les terres expérimentales de l'INRA (Institut national de la recherche agronomique).

Pour Antoine du Souich, directeur développement durable à l'EPPS, tout va rentrer dans l'ordre, notamment en redistribuant les terres des agriculteurs qui partent à la retraite sans repreneurs. *"Les voyants sont au vert"*, assure-t-il. Dans le cas d'Elodie Vilain, en cas d'échec d'un accord à l'amiable, *"l'EPPS pourrait acquérir ces terrains par voie d'expropriation"*, annonce le fonctionnaire. Tout en s'engageant à trouver une solution pour permettre son installation, et plus généralement, *"à encourager les échanges entre la ville et l'agriculture "*.

Mais ce qui pèse le plus sur les agriculteurs franciliens, c'est le manque de visibilité, et donc de confiance, concernant l'avenir de leurs terres, sans cesse menacées par l'avancée de l'urbanisation. *"Il y a trois ans, j'ai acheté une moissonneuse-batteuse. Puis j'ai perdu 30 hectares. Ça va donc être plus long de rentabiliser l'engin. Comment investir correctement si on n'a pas de vision claire, à long terme, de notre entreprise ?"* interroge Emmanuel Vandamme. *"S'ils veulent prendre ces champs, qu'ils les prennent, mais pas à petit feu comme ça !"* proteste-t-il.

UN ÎLOT AGRICOLE SANCTUARISÉ

"Chez les agriculteurs du plateau, l'idée plane que la disparition totale des terres est déjà programmée", note Bernard Saugier, ex-président de l'Académie de l'agriculture et membre

¹²⁶ <http://www.terreetcite.org/>

¹²⁷ <http://www.media-paris-saclay.fr/paris-saclay/>

de Terre et Cité. Selon un rapport de l'EPPS¹²⁸, 977 hectares de terres agricoles, soit un quart des surfaces cultivées du plateau, ont été perdues depuis 1982. Une urbanisation en mitage, sans vision d'ensemble, au coup par coup.

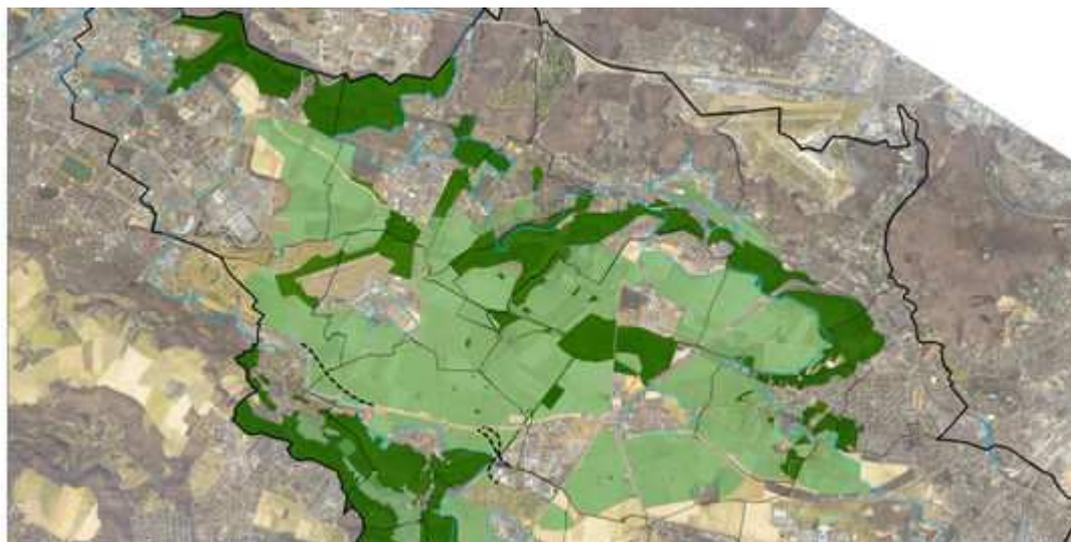
Pourtant, les terres du plateau de Saclay sont considérées comme les plus fertiles de France et parmi les plus fertiles d'Europe. Les rendements de blé moyens oscillent entre 85 et 90 quintaux par hectare sur le plateau, pour 74 quintaux par hectare en France et 56 quintaux par hectare en Europe. *"On fait pousser de l'orge d'hiver, du blé, parfois du maïs et du colza... Tout cela sans jamais irriguer"*, assure Nadine Vilain. *"Ce sont des terres limoneuses, avec en souterrain une épaisse couche d'argile qui retient l'eau"*, explique Dorian Spaak. *Historiquement, le plateau était un marécage, avant d'être drainé par Louis XIV pour alimenter le jardin du château de Versailles. C'est grâce à ces conditions naturelles et à cette intervention humaine qu'il est devenu un territoire agricole très fertile."* Aujourd'hui encore, rigoles et étangs forment le système vasculaire du plateau.

La majeure partie de ces terres agricoles sont toutefois sanctuarisées par la loi relative au Grand Paris¹²⁹ de juin 2010 : 2 300 hectares sont inscrits dans une zone de protection "intouchable", pour 340 hectares destinés à être aménagés. *"Ce sont des années de mobilisation pour en arriver à cette carte"*, note Jean-François Rimbart, élu local Europe Ecologie-Les Verts (EELV) et vice-président de la Communauté d'Agglomération du plateau de Saclay (CAPS). Au-delà de ce compromis, les points de friction portent désormais sur le tracé précis de cette zone - qui sera déterminé par décret, après enquête publique, d'ici à l'automne prochain, selon l'EPPS.

¹²⁸ http://cluster-paris-saclay.fr/pj_actualite/21/Rapport%20provisoire%20de%20la%20SAFER.pdf%20

¹²⁹

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022308227&dateTexte=&categorieLien=id>



Projet de zone de protection naturelle, agricole et forestière, au 7 décembre 2011. En vert clair, les zones agricoles, en vert foncé les zones naturelles. | Paris-Saclay

"RURBAINS" ET AGRICULTURE PÉRIURBAINE

Derrière la question du nombre d'hectares à conserver, se pose aussi celle du type d'agriculture le mieux adapté à cette situation périurbaine, en pleine région parisienne. Pour l'instant, la cohabitation entre exploitants et citoyens n'est pas toujours aisée : champs piétinés, pris pour des terrains de quad ou une décharge, routes inadaptées aux engins agricoles et, côté habitants, nuisances, quand il faut moissonner de nuit par exemple. *"Les gens veulent la campagne, mais pas ses inconvénients"*, sourit Emmanuel Laureau.

L'idée de rapprocher, donc, agriculteurs périurbains et citoyens en quête de ruralité est dans tous les esprits. Loin de s'appuyer sur le marché francilien, l'agriculture saclaysienne est encore dominée par de vastes exploitations céréalières dont la production est en partie destinée à l'exportation. Mais les choses bougent. *"On a tous fait des efforts pour se repositionner par rapport à la demande"*, estime Nadine Vilain. Alors que son mari vendait ses fruits et légumes à la sortie de la gare du RER B Lozère, sa fille a aussi prévu de se lancer dans le maraîchage et la vente directe.

Pionnière dans le domaine, la Ferme de Viltain propose de venir cueillir¹³⁰ directement ses fruits, légumes et fleurs dans son jardin potager. Charles Monville élève des poulets bio. Une Amap (Association pour le Maintien d'une Agriculture Paysanne), les Jardins de Cérès, s'est installée. Et les Jardins de Cocagne¹³¹, une association qui fait de la réinsertion sociale et

¹³⁰ <http://www.viltain.fr/index.php?rub=50&art=28&isl=1>

¹³¹ <http://www.reseaucocagne.asso.fr/>

professionnelle par le maraîchage, s'installent cet été dans une ferme anciennement tenue par les bonnes sœurs de l'abbaye de Vauhallan.

Quant à Emmanuel Vandame, il a converti ses 230 hectares à l'agriculture biologique, fabrique et vend son pain. *"Je ne lutte pas contre les bulldozers, car on va perdre. Je préfère apprendre à m'adapter, dit l'agriculteur francilien, de guerre lasse. Sur le plateau, on devrait s'associer davantage pour se rendre utiles aux citoyens qui nous entourent. On pourrait inonder le marché local, ambitionne-t-il. Quand il n'y aura plus de pétrole, ils seront bien contents de manger des légumes de Saclay plutôt que ceux importés d'Espagne ou du Chili.»*

3. APPENDIX A3: Interpretation of the coefficients estimated by the multinomial logistic model

Coefficients estimated by the multinomial logistic model take the value of a probability, namely (equations A28 and A29):

$$P_m = pr(\Delta UAA_{2007-2000} = m | X) = \frac{\exp(X\beta_{m|2})}{1 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 2}}^3 \exp(X\beta_{j|2})} \quad \text{pour } m = 1,3 \quad (\text{A28})$$

relatively to the reference probability of alternative 2:

$$P_2 = pr(\Delta UAA_{2007-2000} = 2 | X) = \frac{1}{1 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 2}}^3 \exp(X\beta_{j|2})} \quad (\text{A29})$$

with $\sum_{m=1}^3 p_m = 1$, X a vector of k explanatory variables common to all alternatives and $\beta_{m|2}$

the vector of parameters estimated for modality m ($m=1,3$) relatively to modality 2, e.g. $\beta_{2|2} = 0$ ¹³². As the estimated coefficients $\hat{\beta}$ of the logistic model are not directly interpretable, results are commonly presented using “odds”¹³³ (noted Ω). More precisely “odds ratio” (OR) “exponentialise” the estimated coefficients, i.e. OR show the impact of the variation of one extra unit of the explanatory variable on the probability ratio at stake (marginal effects). Within the framework of a binary logistic model, the interpretation of OR is relatively easy since this ratio refers thus to the probability of an event occurring over the probability of the opposite event. Within the framework of a multinomial logistic model, the analysis is more complex since several events are considered. Therefore, probability ratios do not correspond to “odds”. Indeed odds are ratios of the probability of one event over the opposite event. We therefore prefer to use “conditional odds ratios” (COR), also referred to “relative risk ratio” (*rrr*), which correspond to the ratios of each probability relatively to the reference probability (modality 2 in our case) (equation A30 and A31):

$$\text{Conditional Odds}_m(X) = \Omega_{m|2}(X) = \frac{P_m}{P_2} = \frac{pr(\Delta UAA_{2007-2000} = m | X)}{pr(\Delta UAA_{2007-2000} = 2 | X)} = \exp(X\beta_{m|2}) \quad m = 1,3 \quad (\text{A30})$$

¹³² For more details on the writing of the multinomial probability model, see Long (1997, chapter 6).

¹³³ For the probability p of an event, the ratio $p/(1-p)$ is referred to as the “odds” of that event.

$$COR_{m|2} = \frac{\Omega_{m|2}(X, x_k + 1)}{\Omega_{m|2}(X, x_k)} = \exp(\beta_{k,m|2}) \quad m = 1, 3 \quad (\text{A31})$$

COR therefore assess whether an explanatory variable increases or decreases the probability of choosing this alternative relatively to the reference alternative. For example, in the equations A30 and A31, an incremental variation in variable x_k increases the probability of modality m occurring over modality 2 by a factor of $\exp(\beta_{k,m|2})$. Appendix A4 presents the results of the estimation of the multinomial logit using the relative risk ratios, what could make the interpretation¹³⁴ of results presented in section 3.3 be easier.

¹³⁴ It should be remembered that the interpretation depends on the form of the explanatory variable. See Long (1997) and Magrini et al. (2011) for a review of the rules for interpreting these ratios.

4. APPENDIX A4: Results of the multinomial logit estimation using odds ratios

Table A44: Results of the multinomial logit estimation using odds ratios

		Model 2: Multinomial Logit						
				$\Delta UAA_{2007-2000}$				
		Variables		UAA decreases		UAA stable	UAA increases	
				beta	t		beta	t
STRUCTURAL VARIABLES	Farm size	UAA[10-50]		ref.			ref.	
		UAA<10		0.423***	-3.80		0.480***	-3.84
		UAA[50-100]		1.092	0.85		0.899	-1.24
		UAA[100-200]		1.185	1.29		0.805**	-1.97
		UAA>200		2.158***	3.61		0.747	-1.47
	Legal Status	Individual		ref.			ref.	
		Collective		0.818**	-2.18		1.065	0.82
	Farm type	Cash-crop		ref.			ref.	
		Market garden cropping		1.993***	3.46		1.177	0.92
		Fruit and other permanent crop		1.368	1.54		0.706*	-1.89
		Dairy and cattle		1.225	1.45		1.615***	4.12
		Other grazing livestock		0.984	-0.10		1.222	1.60
		Poultry		1.379	1.50		1.150	0.79
		Mixed crop		1.984***	3.84		1.577***	2.90
		Mixed livestock		1.388	1.16		1.647**	2.15
Cash-crop and grazing livestock			0.968	-0.21		1.253*	1.80	
Other			1.518	1.62		0.993	-0.03	
Sex	Woman		ref.			ref.		
	Man		0.797**	-2.00		0.999	-0.01	
Age	Age<30		ref.			ref.		
	Age[30-40]		0.726*	-1.71		0.495***	-4.84	
	Age[40-50]		0.828	-1.01		0.426***	-5.82	
	Age[50-60]ks		0.891	-0.51		0.488***	-3.90	
	Age[50-60]us		0.859	-0.74		0.233***	-8.56	
	Age>60ks		0.757	-0.86		0.434***	-3.06	
	Age>60us		0.845	-0.54		0.161***	-6.00	
Agr. Edu.	Primary		ref.			ref.		
	High-school		0.924	-0.84		1.075	0.91	
	University		1.012	0.08		0.958	-0.32	
Gen. Edu.	Primary		ref.			ref.		
	High-school		0.951	-0.52		0.905	-1.25	
	University		1.019	0.11		0.932	-0.45	
Off-farm	Farmer	No	ref.			ref.		
		Yes	1.003	0.03		1.013	0.13	
Spouse		No	Ref			ref.		
		Yes	0.981	-0.22		1.028	0.39	
LOCATION VARIABLES	Department	Gers		ref.		ref.		
		Ariège		1.560**	2.39		1.217	1.24
		Aveyron		0.787	-1.38		0.655**	-2.98
		Haute-Garonne		1.210	1.13		1.065	0.44
		Lot		1.293	1.52		1.674***	3.68
		Hautes-Pyrénées		1.487**	2.24		1.439***	2.45
		Tarn		0.886	-0.76		0.703***	-2.65
	Tarn et Garonne		1.432**	2.18		1.292*	1.83	
Type of area	Deep rural		ref.			ref.		
	Urban		1.777***	2.70		1.490**	2.03	
	Periurban		0.967	-0.31		1.005	0.05	
	Rural		1.306	1.57		1.525***	2.90	
chi2				435.018***				
aic				11143				
N				5637				

Legend: * p<0,10; ** p<0,05, *** p<0,01 & Data source: FGC 2000 and FSS 2007

5. ANNEXE A5: Déterminants du revenu familial des agents dans AgriPoliS

Cette annexe présente les déterminants du revenu familial des agents dans AgriPoliS.

Revenus agricoles

- La marge brute standard

Chaque agent définit au cours de chaque itération la sole optimale de production¹³⁵. Les résultats économiques de l'activité de production agricole sont calculés en utilisant les marges brutes GM à l'hectare des cultures c . Celles-ci ont été décomposées en utilisant le prix p , le rendement y et le coût variable de production à l'hectare cv (équation A32).

$$GM_c = (p_c * y_c - cv_c) \quad (A32)$$

Pour chaque culture, un besoin de main d'œuvre, une surface (cultures) ou une capacité de stockage (élevage) et le montant des primes couplées et découplées sont spécifiés en complément des informations nécessaires au calcul de la marge brute (annexe A6). Les agents sont « preneurs de prix » : les prix sont fixés de manière exogène et évoluent annuellement selon le paramètre de tendance de prix γ . Parallèlement, les agents sont caractérisés par un niveau de capacité managériale (MA), déterminé aléatoirement lors de la phase d'initialisation et appartenant à un intervalle [$MA(-)$; $MA(+)$]. Un agent doté de compétences managériales élevées a des coûts de production réduits de 10% par rapport à un agent doté de compétences managériales faibles (équation A33).

$$cv_c = \begin{cases} 0,9 * cv_c, & \text{si } MA(+) \\ cv_c, & \text{si } MA(-) \end{cases} \quad (A33)$$

Les charges structurelles¹³⁶ sont différenciées en frais généraux d'exploitation, en charges de structure pour la main d'œuvre non-salariée (prélèvements privés) et salariés (salaires des employés), en charges de structure pour l'équipement (amortissements des investissements) et

¹³⁵ Dans AgriPoliS, cette décision n'est pas influencée par la prise en compte du risque associé au choix d'une culture, ni par les effets écosystémiques qui peuvent résulter de l'alternance entre certaines productions.

¹³⁶ Les charges structurelles sont parfois appelées « coûts fixes ». Cette dénomination est indissociable d'une analyse à court terme pour laquelle la structure de l'exploitation (foncier, capital) est par hypothèse constante. Sur le long terme, cette hypothèse n'est plus valable puisque tous les facteurs de production sont variables. Toutefois, lorsqu'il sera fait mention de coûts fixes, nous ferons alors référence aux charges associés aux facteurs de production qui sur le court terme sont fixes (foncier, capital) auxquels nous ajoutons le travail.

en charges foncières (loyers des parcelles louées) Les économies d'échelle sont liées à l'achat de matériels plus puissants.

- Les investissements

Pour chaque type d'investissement (matériel d'irrigation, machinisme, bâtiments d'élevage) (annexe A6), plusieurs tailles sont accessibles. Plus les investissements sont de taille importante, plus les coûts d'acquisition rapportés à l'hectare et plus la demande de main d'œuvre à l'hectare sont faibles. Ces hypothèses traduisent l'existence d'économies d'échelle plus importantes sur les matériels les plus puissants : plus les investissements sont conséquents, plus les coûts de production diminuent. Les investissements sont également caractérisés par une durée de vie au terme de laquelle ils doivent être renouvelés. Les investissements ne peuvent pas être vendus avant le terme de leur durée de vie et leur prix de vente est alors nul. Cette hypothèse traduit l'existence de coûts irrécouvrables évalués au coût d'achat de l'investissement.

- Mensualités des prêts

Pour financer les investissements, les agents peuvent réaliser des emprunts à long terme indirectement limités par leur rentabilité. Leur remboursement est étalé sur la durée de vie de l'investissement. Les agents peuvent de plus faire des emprunts à court terme dont la valeur totale est contrainte par les actifs en possession. Après calibrage¹³⁷, les taux d'intérêts sont fixés à 5% pour les emprunts à long terme et à 7% pour les emprunts à court terme.

- Frais généraux d'exploitation

Les frais généraux d'exploitation (frais administratifs, taxes, adhésion à des organisations professionnelles) sont estimés à 1% du revenu du ménage (Y).

- Prélèvements privés

La main d'œuvre familiale est rémunérée grâce à des prélèvements privés (WD) sur le revenu du ménage. Leur montant dépend de celui du revenu du ménage (Y) et de la quantité de main d'œuvre familiale ($FAWU$). Un montant minimum de consommation privée (WD_{\min}) est fixé de manière exogène (dans notre cas 16000€ après calibrage). Si le revenu du ménage est supérieur, les consommations privées augmentent (facteur ε , avec $0 < \varepsilon \leq 1$). En revanche, si

¹³⁷ Les différentes étapes de calibrage sont présentées dans le chapitre 5.

le revenu du ménage est insuffisant à la rémunération de la main d'œuvre familiale alors la capacité d'autofinancement de l'agent est amputée du complément nécessaire (équation A34).

$$WD = \begin{cases} WD_{\min} * FAWU + (Y - WD_{\min} * FAWU) * \varepsilon, & \text{si } Y > WD_{\min} * FAWU \\ WD_{\min} * FAWU, & \text{dans les autres cas} \end{cases} \quad (A34)$$

- Salaires des employés

Les agents peuvent ajuster la main d'œuvre employée en louant de la main d'œuvre salariée à un taux de horaire estimé à 12,5€/h. Le coût de la main d'œuvre augmente de 0,5% par an.

- Loyer des terres en location

Il existe deux modes d'accès au foncier, la propriété et la location. Lors de la phase d'initialisation, les agents sont dotés d'au moins une parcelle en propriété sur laquelle est localisé le siège de l'exploitation. La proportion des terres en faire-valoir direct et en location est déterminée à partir des données RICA¹³⁸. Lors de la phase de simulation, l'agrandissement des exploitations est, par construction, uniquement possible via la location de parcelles de terre sur le marché du foncier. Deux types de contrat sont disponibles. Le fonctionnement du marché du foncier est développé dans l'annexe A7.

- Coûts de transport

Le coût de transport pour accéder à une parcelle est une fonction linéaire de la distance entre le siège de l'exploitation et la parcelle. Après calibrage, les coûts de transport sont fixés à 50.

- Subventions PAC

Les mesures de soutien de la PAC (primes couplées et primes découplées) sont prises en compte dans le modèle d'exploitation. Celles-ci, en modifiant le revenu dégagé annuellement, influent, à long terme, sur le maintien dans la branche et sur l'évolution structurelle des exploitations agricoles (Happe, 2004; Sahrbacher, 2011). L'annexe A8 compare les montants des subventions dans la région simulée et celles utilisées dans AgriPoliS.

Revenus non-agricoles.

Les revenus non-agricoles peuvent être générés par n'importe quel membre du ménage travaillant à temps partiel sur l'exploitation : la capacité de travail non-employée sur

¹³⁸ Le RICA est la base de données utilisée pour créer les agents lors de la procédure d'upscaling (chapitre 5).

l'exploitation étant allouée sur le marché du travail. Le taux de salaire horaire est évalué à 8,5€/h pour un emploi non-agricole non-qualifié et augmente de 0,5% par an. Il est posé par hypothèse que tous les agriculteurs ont les mêmes opportunités de trouver un emploi non-agricole, indépendamment de leur âge et de leurs capacités managériales. L'épargne est également à l'origine d'un revenu non-agricole. Après calibrage, le taux d'intérêt de l'épargne est fixé à 2%.

6. APPENDIX A6: AgriPoliS data

Table A45: Economical data for cultivated crops in the Lauragais region (original values)

Crop	Yield	Price	Revenue	Variable cost	Gross margin	Labour	
	t/ha	€/t	€/ha	€/ha	€/ha	h/ha	
Boulbene soils /plains	Soft wheat	6,0	120	720	340	380	2,90
	Durum wheat	4,5	140	630	410	220	3,10
	Maize	6,5	130	845	504	341	4,27
	Barley	5,0	90	450	237	213	2,55
	Triticaceous	6,0	90	540	250	290	2,40
	Sorghum	6,5	115	748	250	498	4,27
	Rape	3,0	290	870	416	454	2,67
	Soya	2,0	195	390	140	250	3,93
	Sunflower	2,4	250	600	220	380	3,93
	Pea	2,5	280	700	194	506	2,47
Terrefort soils / hillsides	Soft wheat	6,5	120	780	280	500	2,90
	Durum wheat	5,0	140	700	380	320	3,10
	Maize	5,5	130	715	504	211	4,27
	Barley	5,0	90	450	237	213	2,55
	Triticaceous	6,5	90	585	250	335	2,40
	Sorghum	6,5	115	748	250	498	4,27
	Rape	3,0	290	870	352	518	2,67
	Soya	2,0	195	390	140	250	3,93
	Sunflower	2,2	250	550	167	383	3,93
	Pea	2,5	280	700	194	506	2,47
Irrigated	Maize	11,0	130	1430	702	728	6,73
	Sorghum	8,5	115	978	300	678	4,27
	Soya	3,6	195	702	219	483	6,39
	Pea	3,5	280	980	395	585	3,29

Sources: INRA & ARVALIS (2010)

Table A46: Economical data for ewes in the Lauragais region (original values)

Lambs per ewe and year	Carcass weight	Price	Total revenue per ewe	Variable costs per ewe	Gross margin per ewe	Premium
	kg	€/kg	€/year	€/year	€/year	€/year
1.44	17.5	5.5	119	57	62	20

Sources: Institut de l'Elevage

Table A47: Investment options for the Lauragais region

No.	Investment type	Unit	Capacity	Investment costs	Useful life	Additional labour ¹³⁹
			Unit	€/unit	years	h/unit
1	Irrigation system 1	ha	100	260	15	-
2	Irrigation system 2	ha	50	270	15	-
3	Irrigation system 3	ha	30	280	15	-
4	Irrigation system 4	ha	10	290	15	-
5	Sheep pen 1	Places	500	240	25	-
6	Sheep pen 2	Places	300	240	25	-
7	Sheep pen 3	Places	100	240	25	-
8	Machinery 1	ha	500	568	12	0.00
9	Machinery 2	ha	350	792	12	1.14
10	Machinery 3	ha	250	1065	12	3.33
11	Machinery 4	ha	200	988	12	5.20
12	Machinery 5	ha	150	1042	12	7.43
13	Machinery 6	ha	125	1240	12	9.07
14	Machinery 7	ha	75	2058	12	15.09

Source: Barème d'entraide (2002) et Deumier et al. (2008)

¹³⁹ Additional labour demand per unit relative to the labour demand of the largest investment option.

7. ANNEXE A7: Fonctionnement du marché foncier dans AgriPoliS

La valeur de l'enchère $BID_{y,x}$ de l'agent i pour la parcelle de coordonnées (x, y) est estimée en fonction de trois facteurs : la valeur duale d'une parcelle de terre q_{Land} , les coûts de transport $TC_{y,x}$ pour accéder à la parcelle depuis le siège de l'exploitation, et les coûts additionnels $C_{y,x}$ (équation A35) :

$$BID_{y,x,i} = q_{Land,i} - TC_{y,x,i} - C_{y,x,i} \quad (A35)$$

Les coûts additionnels liés à la location d'une parcelle sont les coûts de transaction (nuls dans notre cas) et les économies d'échelle $EOS_{y,x,i}$ réalisées par l'agent i sur la parcelle de coordonnées (x,y) . Les économies d'échelle sont proportionnelles au nombre de parcelles adjacentes n_{adj} à la parcelle de coordonnées (x,y) selon un facteur δ (équation A36).

$$EOS_{y,x} = -\delta * n_{adj} \quad (A36)$$

La valeur duale associée à une ressource limitée correspond au gain marginal de l'utilisation d'une unité supplémentaire de cette ressource. Si la ressource est saturée, le gain est positif (l'agent a intérêt à augmenter sa dotation), sinon son coût est nul (l'agent peut intensifier l'usage qu'il fait de cette ressource). Ainsi un agent qui n'utilise pas toutes ses terres proposera une enchère plus faible qu'un agent qui est contraint par le nombre limité de parcelles à sa disposition. L'augmentation marginale de revenu associée à la culture d'une parcelle supplémentaire, toutes choses égales par ailleurs, étant plus faible pour une parcelle éloignée que pour une parcelle proche (coûts de transport), un agent proposera une enchère moins élevée pour une parcelle éloignée. Enfin, les économies d'échelle sont générées lorsqu'un agent cultive plusieurs parcelles adjacentes. Ainsi, une parcelle reliant deux parcelles non contiguës est, toutes choses égales par ailleurs, plus intéressante qu'une parcelle isolée.

Le processus de décision des agents étant basé sur une approche de type Mixed Integer Programming (MIP), la valeur duale du foncier ne peut pas être déduite à partir du calcul d'optimisation. Ainsi, le processus d'optimisation des agents (équation 9) est répété une nouvelle fois en considérant non plus la taille de l'exploitation mais la taille de l'exploitation

augmentée de N parcelles supplémentaires. La valeur duale q_{Land}^N du foncier est alors égale à la différence de revenu entre le revenu généré avec les parcelles supplémentaires et celui généré sans les parcelles supplémentaires (équation A37).

$$q_{Land}^N = \frac{\max Y^e(b_{Land} + N * sizeof(p_{y,x}), \dots) - \max Y^e(\dots, b_{Land}, \dots)}{N} \quad (A37)$$

La valeur maximale de la valeur duale obtenue est alors utilisée pour les enchères. L'agent émettant l'enchère la plus élevée reçoit la parcelle en location.

Deux contrats de location sont modélisés. Le premier est à durée déterminée et ne peut ni être interrompu (sauf si l'agent cesse son activité), ni être renégocié pendant le bail. Le second est plus favorable aux agents. A durée indéterminée, il ne peut être résilié que si l'agent cesse son activité ou si la location de la parcelle génère une perte (si la valeur duale est inférieure au prix de location) (équation A38).

$$q_{Land} < \max_{y,x} (R_{y,x} + TC_{y,x} + C_{y,x}) \quad (A38)$$

Un loyer de location de la parcelle est finalement calculé. Dans la mesure où les locataires ne transfèrent pas la totalité de la rente aux propriétaires, un paramètre β est introduit. La rente versée au propriétaire $R_{y,z}$ est fixée par l'équation A39 :

$$R_{y,x} = \beta * (\max(q_{Land}^1, q_{Land}^{PlotN}) - TC_{y,x} - C_{y,x}) \text{ with } \min_{y,x} (TC_{y,x} + C_{y,x}) \quad (A39)$$

Les parcelles sont uniquement mises en location car il est posé par construction que la somme des rentes versées pour la location des terres est égale au prix d'achat de la terre. Sahrbacher (2011) note d'ailleurs à cet effet que cette hypothèse ne se vérifie pas sur le terrain car la rente locative est essentiellement modifiée par des facteurs tels que la confiance, la pérennité de la relation ou des taxes. Ces considérations, dépassant les objectifs du modèle, n'ont pas été intégrées au modèle, rendant ainsi l'hypothèse acceptable.

8. APPENDIX A8: Estimation of the CAP payments in the Lauragais region

In 2007, CAP payments were partially decoupled in the Lauragais region. In this appendix, the amount of decoupled payments is first presented. Then, a focus is made on the value of the remaining coupled payments (figure A40).

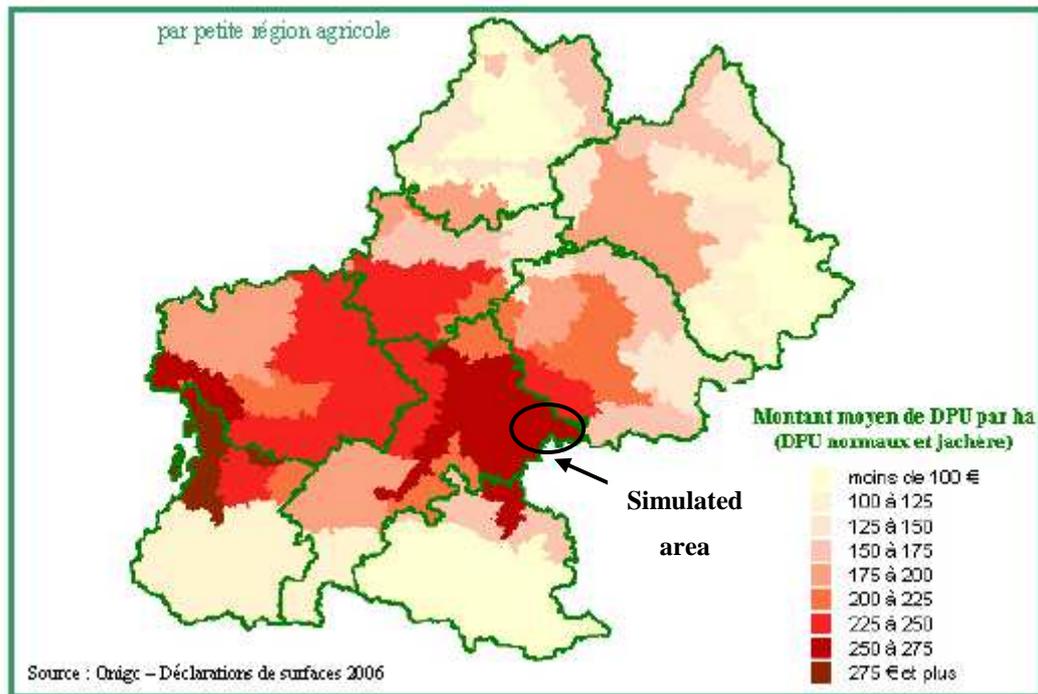


Figure A40 : Map of the level of decoupled payments in the Midi-Pyrénées region (SSP, 2007a)

The average value of the decoupled payments in the Lauragais region is deduced from figure A39. It is first estimated at 260€/ha. A sensitivity analysis results in adjusting the value to 225€/ha. Tables A48 and A49 present the adjustment of the values of coupled payments.

Table A48: Values of the coupled CAP payments in the Lauragais region since 2007

	2007	2008	2009	2010	2011	2012+
Cash-crops	Partial coupling 25%			Partial coupling 0%		
- non-irrigated	Coupled payment 75€			-		
- irrigated	Coupled payment 112.5€			-		
Durum wheat	Partial coupling 100%			Partial coupling 0%		
- additional premium	Coupled payment 65€			-		
- quality premium	Partial coupling 100%			Partial coupling 0%		
	Coupled payment 35€			-		
Protein plants premium	Partial coupling 100%				Partial coupling 0%	
	Coupled payment 50€				-	
Ewes	Partial coupling 50%			Partial coupling 0%		
	Coupled payment 10€			-		
Grassland	Partial coupling 0%					
	-					
Protein plants additional premium	-			Partial coupling 100%		
				Coupled payment 150€		
Durum wheat additional premium	-			Partial coupling 100%		
				Coupled payment 30€		
Grassland additional premium	-			Partial coupling 100%		
				Coupled payment 40€		

Source: Chambre d'agriculture de Haute-Garonne (2009) and DDEA (2009)¹⁴⁰

Table A49: Values of the coupled CAP payments in the simulations

	2007	2008	2009	2010	2011	2012+
Cash-crops	Partial coupling 25%			Partial coupling 0%		
- non-irrigated	Coupled payment 60€			-		
- irrigated	Coupled payment 90€			-		
Durum wheat additional premium	Partial coupling 100%			Partial coupling 0%		
	Coupled payment 80€			-		
Protein plants premium	Partial coupling 100%					
	Coupled payment 40€					
Ewes	Partial coupling 50%			Partial coupling 0%		
	Coupled payment 10€			-		
Grassland	Partial coupling 0%					
	-					
Grassland additional premium	-			Partial coupling 100%		
				Coupled payment 40€		

¹⁴⁰ Chambre d'Agriculture de Haute-Garonne 2009. Réunion d'information réforme de la PAC 2010 septembre / octobre 2009. Toulouse, Service économie.

DDEA 2009. Guide des aides accordées aux exploitations agricoles. Service Economique et politiques Agricoles, Préfecture de la haute-Saone.

SSP. 2007. Bilan 2006 du marché des terres agricoles libres. *Agreste Données Midi-Pyrénées* 42:

9. APPENDIX A9: Visual evidences of urban sprawl in Lauragais

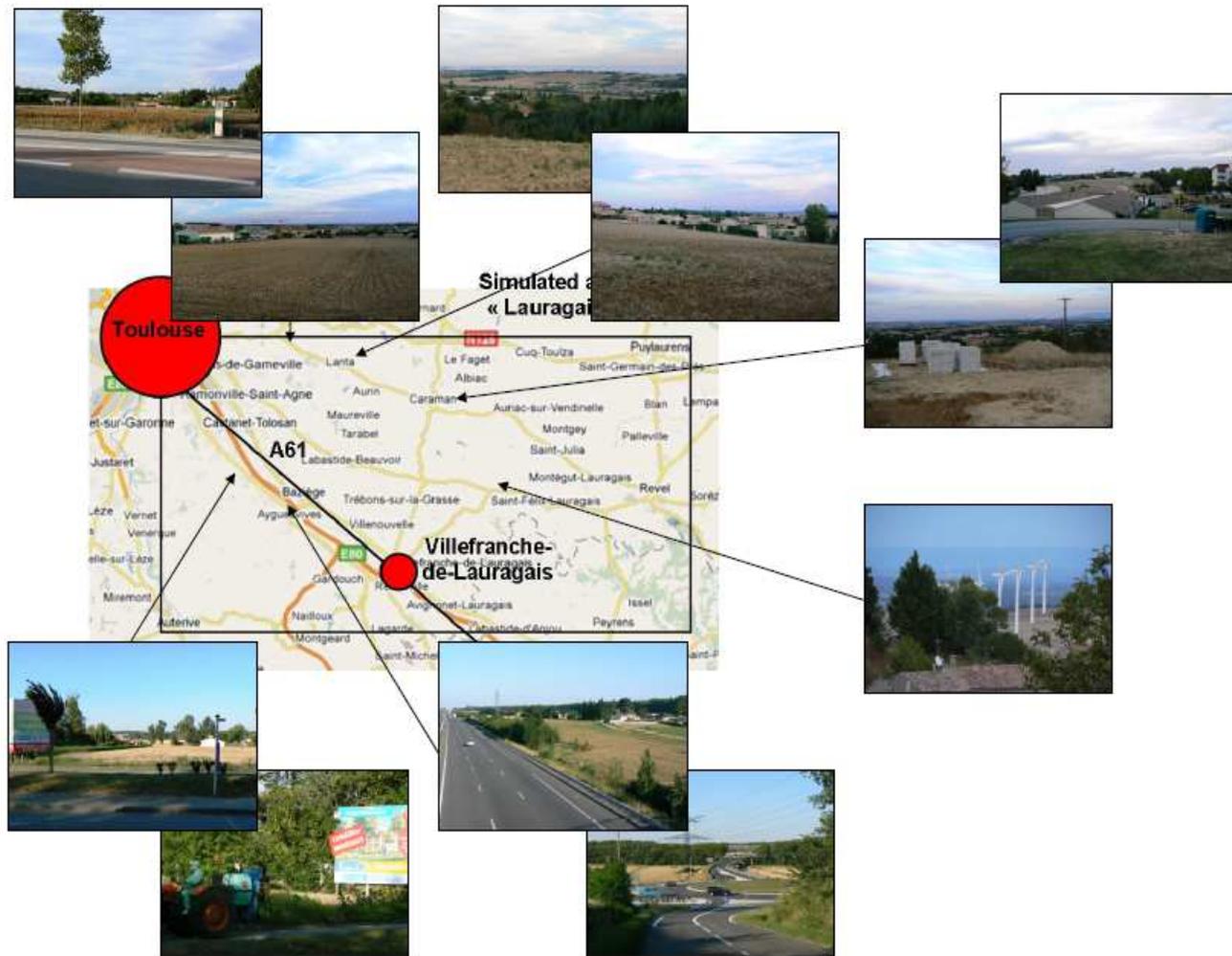


Figure A41: Visual evidences of urban sprawl in Lauragais (Summer 2012)

10. APPENDIX A10: Description of the Farm agents used in the simulations

TableA50: Farm description and endowment in production factors

Farm identification	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
Farm type	CC	PC	CC	CC																						
Legal status	IF	PA	CO	IF	CO	PA																				
Number of farms	110	11	11	12	13	15	16	3	8	11	42	25	16	13	19	15	16	22	90	5	20	23	2	12	32	
Land input (ha)	33	50	53	54	56	75	84	147	176	302	39	42	56	68	79	80	83	90	111	113	114	130	137	211	416	
Arable land: plains																										
- owned land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	37	33	0	11	0	0	27	0	1	94	1	0	0	1	
- rented land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	5	23	0	68	0	0	63	0	112	20	129	0	0	415	
- initial rental price	0	110	88	18	171	46	146	89	121	164	149	171	226	217	147	92	150	168	96	109	161	44	126	165	242	
Arable land: hillsides																										
- owned land	25	10	1	39	1	27	9	42	28	1	0	0	0	55	0	50	30	0	3	0	0	0	1	1	0	
- rented land	0	40	52	15	55	48	75	105	148	301	0	0	0	13	0	30	53	0	105	0	0	0	136	210	0	
- initial rental price	0	110	88	18	171	46	146	89	121	164	149	171	226	217	147	92	150	168	96	109	161	44	126	165	242	
Grazing land																										
- owned land	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- rented land	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
- initial rental price	0	110	88	18	171	46	146	89	121	164	149	171	226	217	147	92	150	168	96	109	161	44	126	165	242	
Labour																										
Family labour (AWU)	1	1	1	1	1	1	1	1	1,3	2	1	1	1	1	1,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3
Off-farm labour (AWU)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Equity capital (k€)	161	87	88	135	113	197	158	368	249	664	126	256	198	162	230	296	350	160	153	124	311	382	125	458	586	
Capital																										
Land assets (k€)	130	40	0	68	3	102	39	64	83	0	0	123	84	82	55	129	108	90	15	0	115	0	0	0	0	
Machinery (class)	7	7	7	7	7	7	6	5	4	2	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	5	5	3	1	
Irrigation system (class)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	2	3	0	3	0	0	3	0	3	1	1	0	0	3	
Sheep pen (class)	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	

Legend:

- Farm type: C, cash-crop farms; PC, mixed-crop farms

- Form of organization: IF, individual farm; CO, corporate farms; PA, partnership farms

11. APPENDIX A11: AgriPoliS economic variables

Table A51: AgriPoliS data structure

Variables	Description	Capital
Farm agent (k=1,..., K)		
Z	Utilised agricultural area	CRF Capital Return Factor
MP	Manpower hours	i_{ec} Interest on equity capital
m	Managerial ability factor	i_{bc} Interest on borrowed capital
A ($l = 1, \dots, L$)	Fixed assets	i_{bcs} Interest on short term borrowed capital
A_{ec} ($l = 1, \dots, L$)	Equity financed share of fixed assets	
n_c	Vintage of assets	Plot $P_{y,z}$
LA	Land assets	β Bid adjustment
L	Liquidity	$R_{y,z}$ Rent paid for plot $P_{y,z}$
EC	Equity capital	AP Average number of adjacent plots per farm
BC	Borrowed capital	R Average rent in region
MR	Minimum equity capital reserve	$TC_{y,z}$ Transport costs between farmstead and plot $P_{y,z}$
Y	Farm household income	T Number of adjacent plots
Y^e	Expected farm household income	$DI_{y,z}$ Distance between plots
GMA	Gross margin agriculture	
IR	Interest on working capital	Investment I (h=1,..., H) to produce i
$BID_{y,z}$	Bid for plots $P_{y,z}$	d ($d = 1, \dots, D$) Investment type
RE	Rent paid	v Equity-finance share
S	Support payments	A Investment costs
MC	Current upkeep (maintenance)	AC Average annual costs
D	Depreciation	N Useful life
TC	Transport costs	MC Maintenance costs
IC	Interest paid	l Technical change factor (machinery)
HW	Wages paid	f Technical change factor (buildings and equipment)
W	Off-farm income	LS Labour substitution
WD	Withdrawal for consumption	
WD_{min}	Minimum withdrawal for consumption	Production activities (i=1,...,I)
ε	Additional consumption	x Production activity (hectares or heads)
Production factors (j=1,...,J)		c Variable production costs
b	Factor capacities	c^e Expected variable production costs
q	Shadow price of b	p^e Expected product price
r	Factor demands	γ Price trend

Table A52: Financial indicators

Indicator (end of period i)	Calculation
<i>Profit</i> (<i>farm income</i>)	= Gross margin + Interest on working capital + Subsidies - Rent paid - Current upkeep of machinery and equipment (maintenance) - Depreciation - Farming overheads - Transport costs - Interest paid - Wages paid
<i>Household income</i>	= Profit + Off-farm income
<i>Farm net value added</i>	= Profit + Rent paid + Interest paid + Wages paid
<i>Equity capital</i>	= Equity capital (t-1) + (Household income – Withdrawal)

Table A53 : Mathematical formulations of the economic variables used in AgriPoliS (Happe, 2004)

Variables (at end of period t)	Definition
<i>Equity capital</i>	$EC_t = EC_{t-1} + Y_t - WD_t$
<i>Withdrawal</i>	$WD_{\min,t} \leq WD_t \leq (Y_t - WD_{\min,t}) * \varepsilon + WD_{\min,t}$ $0 < \varepsilon \leq 1$
<i>Gross margin</i>	$GMA = x'(p - c)$
<i>Interest on borrowed capital</i>	$IC_t = BC_{s,t} * i_{bc,s} + BC_t * i_{bc}$
<i>Repayment</i>	$RP_t = (1 - \nu) \sum_{c=1}^S [A_{c,t} * (1 + i_{bc})^{(n_c - 1)} * (CRF_{i_{bc}, n_c, t} - i_{bc})]$
<i>Long-term loans</i>	$BC_t = BC_{t-1} - RP_t + BC_t^{new}$
<i>Depreciation</i>	$D_t = \sum_{c=1}^S [A_{c,t} * (1 + i_{bc})^{(n_c - 1)} * (CRF_{i_{bc}, n_c, t} - i_{bc})]$
<i>Current upkeep (maintenance)</i>	$MC_t = \sum_{c=1}^S MC_{c,t}$
<i>Rent paid</i>	$RE_t = \sum_y \sum_z R_{y,z,t}$
<i>Transport costs</i>	$TC_t = f(DI_{y,z})$
<i>Liquidity</i>	$L_t = EC_{t-1} - LA_t - A_{ec,t}$
<i>Interests on working capital</i>	$IR_t = i_{ec} * L_t$

12. APPENDIX A12: Comparison of the trend equations for farmland prices as a function of the distance from Toulouse

Table A54: Land prices as a function of the as-the-crow-flies distance from Toulouse

	R ²	Equation
Linear equation	12,69	$Y = -7,0953x + 519,46$
Polynomial equation	12,73	$Y = -0,0363x^2 - 5,2158x + 498,96$
Logarithmic equation	11,57	$Y = -151,3 \cdot \ln(x) + 815,91$
Exponential equation	09,86	$Y = 468,82 \cdot e^{(-0,0195x)}$

Table A55: Land prices as a function of the road distance from Toulouse

	R ²	Equation
Linear equation	12,93	$Y = -6,8004x + 524,1$
Polynomial equation	12,94	$Y = -0,0228x^2 - 5,5405x + 509,31$
Logarithmic equation	11,85	$Y = -156,19 \cdot \ln(x) + 842,35$
Exponential equation	9,93	$Y = 473,52 \cdot e^{(-0,0186x)}$

Table A56: Land prices as a function of the time-distance during off-peak hours from Toulouse

	R ²	Equation
Linear equation	12,64	$Y = -8,9834x + 673,06$
Polynomial equation	12,65	$Y = 0,0134x^2 - 10,02x + 692,19$
Logarithmic equation	12,29	$Y = -324,02 \cdot \ln(x) + 1503,2$
Exponential equation	11,25	$Y = 756,96 \cdot e^{(-0,0263x)}$

Table A57: Land prices as a function of the time-distance during rush-hours from Toulouse

	R ²	Equation
Linear equation	9,85	$Y = -8,3053x + 766,51$
Polynomial equation	9,89	$Y = -0,0478x^2 - 3,3966x + 643,34$
Logarithmic equation	9,64	$Y = -410,32 \cdot \ln(x) + 1951,8$
Exponential equation	9,07	$Y = 1021,7 \cdot e^{(-0,0248x)}$

13. APPENDIX A13: Comparison of the trend equations for farmland prices as a function of the distance from Villefranche-de-Lauragais

Table A58: Land prices as a function of the as-the-crow-flies distance from Villefranche-de-Lauragais

	R²	Equation
Linear equation	1,17%	$Y=5239,3x+315407$
Polynomial equation	1,18%	$Y=79,084x^2+2974,5x+328038$
Exponential equation	0,94%	$Y=257382*e(0,0109x)$

Table A59: Land prices as a function of the road distance from Villefranche-de-Lauragais

	R²	Equation
Linear equation	0,77%	$Y=3713,4x+329229$
Polynomial equation	0,78%	$Y=-50,92x^2+5405,4x+318198$
Exponential equation	0,58%	$Y=266074*e(0,0075x)$

Table A60: Land prices as a function of the time-distance during off-peak hours from Villefranche-de-Lauragais

	R²	Equation
Linear equation	1,39%	$Y=4686,8x+307139$
Polynomial equation	1,40%	$Y=68,311x^2+2198x+325265$
Exponential equation	1,33%	$Y=248702*e(0,0107x)$

Table A61: Land prices as a function of the time-distance during rush-hours from Villefranche-de-Lauragais

	R²	Equation
Linear equation	1,97%	$Y=5129,4x+288853$
Polynomial equation	2,00%	$Y=77,978x^2+1945x+315229$
Exponential equation	1,83%	$Y=239485*e(0,0115x)$

14. APPENDIX A14: Differentiation of Terrefort and Boulbène soil types

A map of the real-world area is created by merging i) an administrative map from IGN (Institut Géographique National) that locates the borders of each municipality and ii) a geological map from the Midi-Pyrénées regional extension services for agriculture (CRAMP) that indicates the nature of soil types in the Midi-Pyrénées region. Maps are merged using the software gvSIG and a focus is made on the real-world area (figure A42). Soil types are grouped into two classes, i.e. Terreforts and Boulbènes.

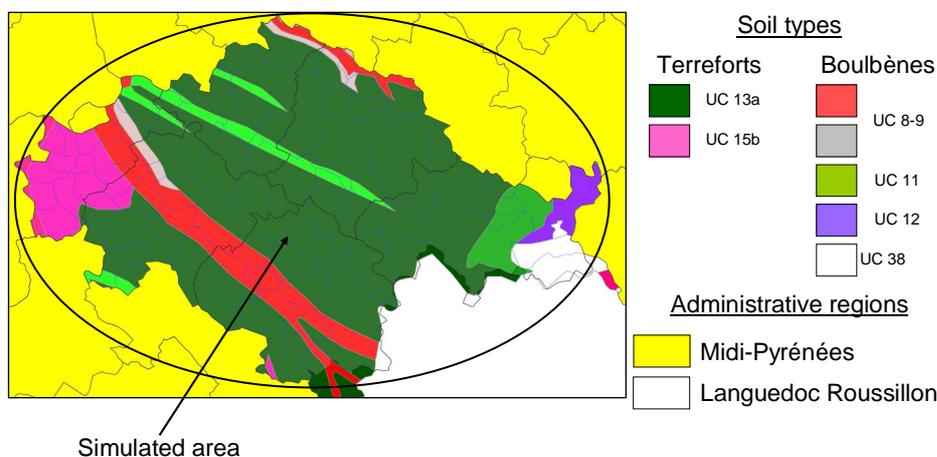


Figure A42: Distribution of soil types in the real-world area (Source: IGN & CRAMP)

In the real-world, Terreforts include soils UC13a and UC15b. Both soils are calcareous. Moreover, they characterize hilly landscapes. Boulbènes include soils UC8-9, UC11, UC12 and UC38. UC8-9, UC11, and UC12 are more heterogeneous than Terrefort soils. Nevertheless, they are classified as Boulbènes since they are composed of alluvial deposits that are non-calcaerous and often acid (UC8-9) or argileous (UC11 and UC12). Moreover all of them are located in plains and are relatively deep soils. The classification of UC38 soils is more cautious. Indeed, UC38 soils are often composed of acid brown soils that characterize Boulbènes. Nevertheless they are low or medium deep soils inducing a strong heterogeneity in water active storage capacities, what reminds characteristics of Terrefort soils. The area composed of UC38 soils is located in the south-eastern part of the real-world area, next to UC11 soils. Assuming that characteristics are spatially continuous, UC38 soils are classified as Boulbènes. Using this classification, the previous map is simplified in order to exhibit only Terreforts and Boulbènes (figure A43).

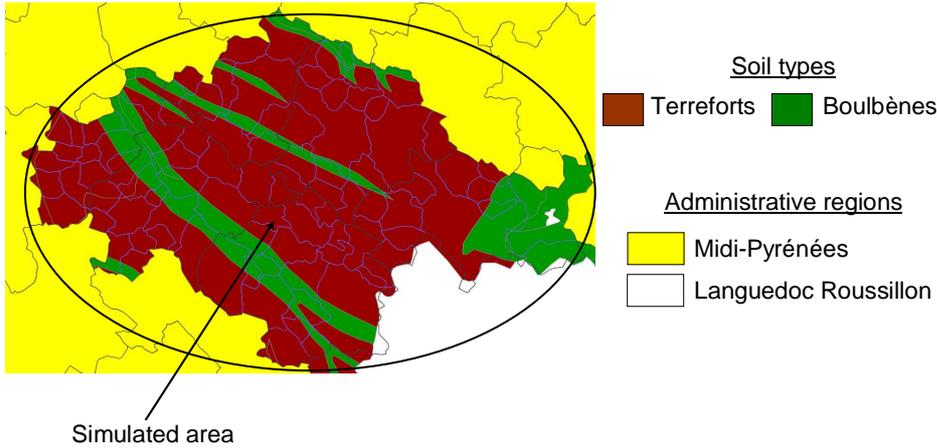


Figure A43: Distribution of Terreforts and Boulbène soil types in the real-world area

The estimation of the share of Terreforts and Boulbènes can be done using figure A44. Nevertheless, it would then not be possible to figure out the endowment of farms with Terreforts or Boulbènes. Indeed, the geographical borders of municipalities do not correspond to areas delimited by each soil type. Thus, it is not possible to figure out if farm plots are made of Terreforts or Boulbènes¹⁴¹. Moreover, since no GIS is coupled to AgriPoliS, it is not possible to locate explicitly Terreforts and Boulbènes on the virtual landscape of AgriPoliS. It is then necessary to approximate the share of each soil type in the real-world area.

For each municipality, the main soil type, i.e. Terreforts or Boulbènes, is figured out. It is then assumed that each municipality is endowed with only one soil type. A “Terrefort ratio” is calculated for each municipality. This ratio corresponds to the size of the area composed of Terrefort divided by the size of the municipality. If the ratio is higher than 0.5, the municipality will be endowed with Terreforts. On the contrary, the municipality will be endowed with Boulbènes. Results are shown in figure A44.

¹⁴¹ This would also be restrictive as farmsteads might be located in a municipality whereas the plots are located in another one.

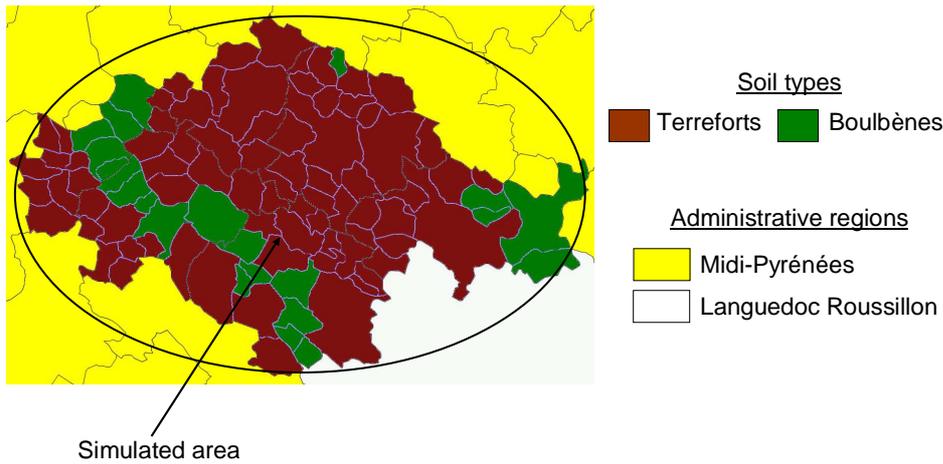


Figure A44: Distribution of the soil types in each "commune" of the real-world area

Estimating the share of Terreforts and Boulbènes is done using the 2007 RPG dataset, which links farmsteads and municipalities. Since each municipality is now characterized by only one soil type, it is possible to estimate the share of Terreforts and Boulbènes in the real-world area. Results from table A62 suggest that i) the real-world is predominantly composed of Terreforts (73%) and ii) the overall distribution of farm size is almost the same on Terreforts and Boulbènes. However, farms with a size in-between 100 ha and 200 ha are slightly overrepresented on Terrefort soils (+12%) whereas farms larger than 200 ha are a little bit more numerous on Boulbène soils (+5%).

Table A62: Endowment of farms with Terreforts and Boulbènes

		Terreforts	Boulbènes
Total		43 148 ha	15 774 ha
Farm size	0/20ha	4%	6%
	20/50ha	12%	14%
	50/100ha	24%	27%
	100/200ha	41%	29%
	200+	19%	24%

Source : RPG, 2007

Résumé

La périurbanisation est une expansion spatiale rapide, peu dense et peu maîtrisée des métropoles. Elle affecte l'activité agricole à proximité des métropoles à travers une compétition accrue pour l'accès au foncier et une hausse des prix du foncier à l'origine de barrières à l'entrée limitant installations et reprises. Des comportements spéculatifs provoquant une rétention des terres contraignent également l'agrandissement des exploitations périurbaines. Mais la périurbanisation représente aussi des opportunités de diversification des revenus. Dans ce contexte, nous nous interrogeons sur les dynamiques de changement structurel empruntées par les exploitations périurbaines. Deux approches complémentaires sont mobilisées. Premièrement, une analyse économétrique permet d'identifier des déterminants de la taille et de la croissance en taille des exploitations. Les données sont issues du recensement général agricole 2000 et des enquêtes sur la structure des exploitations 2007. Les résultats concordent avec ceux de la littérature : la structure des exploitations (spécialisation, taille initiale et forme juridique), les caractéristiques des exploitants (âge, capital humain spécifique, genre, emploi-non-agricole) ayant des effets significatifs. D'autre part, une variable de localisation des exploitations dans les zones urbaines, périurbaines et rurales apparaît également significative. Deuxièmement, un modèle multi-agents, AgriPoliS, est choisi pour simuler le changement structurel des exploitations agricoles périurbaines de grande culture du Lauragais à l'horizon 2030. L'intensité de la périurbanisation est modifiée à travers des variations des charges opérationnelles. Les résultats montrent que la sortie des exploitations ralentit avec la hausse des charges opérationnelles, les agents s'adaptant i) en modifiant leur sole, avec substitution des cultures ayant une demande élevée en main d'œuvre par des cultures moins gourmandes, ce qui permet ii) d'allouer une part plus importante de la main d'œuvre familiale à un emploi non-agricole. L'effet de rattrapage observé dans les modélisations économétriques n'est pas confirmé par les résultats des simulations. La structure actuelle du modèle nous amène néanmoins à modérer ces résultats. Par conséquent, des propositions d'extension du modèle sont réalisées afin d'intégrer un agent ville qui représenterait les agents urbains qui entrent en compétition avec les agriculteurs pour l'accès au foncier agricole.

Mots clefs : changement structurel, exploitation agricole, périurbanisation, grande culture, Midi-Pyrénées, AgriPoliS

Summary

Urban sprawl is a fast, low density, and low regulated spatial growth of urban areas. Sprawl impacts surrounding farm systems through an increasing competition for land and increasing land prices that represent prohibitive entry barriers for farmers to enter the agricultural sector. Speculative behaviours also induce land retention that constrains periurban farm growth. Nevertheless sprawl is also associated to new opportunities such as income diversification. In this context, we assess farm structural change dynamics that could emerge from periurban environments. Two complementary approaches are used. First, an econometric analysis is carried in order to figure out drivers of farm size and farm size growth in the Midi-Pyrénées region. Data are provided by the 2000 farm general census and the 2007 farm structure survey. Results are similar to those provided in the literature: farm structure (initial size, farm type, and farm legal status), farmers' characteristics (age, specific human capital, gender, off-farm job) have a significant effect. Moreover a variable designed to indicate whether farms are located in urban, periurban, or rural areas also exhibits significant effects. Second, an agent-based model, AgriPoliS, is used to simulate the structural change of periurban cash-crop farms in Lauragais until 2030. Based on results provided by the literature, the intensity of sprawl is assumed to be modified through variations of operational production costs. Results show that, on the long run, farm exit rate slows down with increasing operational production costs. Farm agents adapt their farming systems i) by modifying their crop mix, substituting high labour demand crops by lower labour demand crops and ii) by allocating a larger share of family labour to an off-farm activity. The size catch-up effect observed in the econometric results is not confirmed by the results of the simulations. Nevertheless, the current version of AgriPoliS makes us moderate these results. Consequently, propositions are made in order to extend the model by introducing an agent City that would represent urban consumers competing for agricultural land with farmers.

Key words : structural change, farm, urban sprawl, cash-crop, Midi-Pyrénées, AgriPoliS