



Système de culture innovants : déterminants de l'adoption et rôle du risque

Caroline Roussy

► To cite this version:

Caroline Roussy. Système de culture innovants : déterminants de l'adoption et rôle du risque. Sciences de l'Homme et Société. Université Européenne de Bretagne; AGROCAMPUS OUEST, 2016. Français. NNT : . tel-02800889

HAL Id: tel-02800889

<https://hal.inrae.fr/tel-02800889>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



N° ordre : 2016-6

N° Série : E-41

THESE / AGROCAMPUS OUEST

Sous le label de l'Université Européenne de Bretagne
pour obtenir le diplôme de :

**DOCTEUR DE L'INSTITUT SUPERIEUR DES SCIENCES AGRONOMIQUES, AGRO-
ALIMENTAIRES, HORTICOLES ET DU PAYSAGE**

Spécialité : « Sciences économiques »

Ecole Doctorale : « Sciences de l'Homme, de l'Organisation et de la Société »

présentée par :

Caroline ROUSSY

**SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS :
DETERMINANTS DE L'ADOPTION ET RÔLE DU RISQUE**

soutenue le 11 mars 2016 devant la commission d'Examen

Composition du jury :

Roberta RAFFAELLI

Professeur associé – Université de Trento / rapporteur

Arnaud REYNAUD

Directeur de recherche INRA - TSE / rapporteur

Olivier L'HARIDON

Professeur – Université de Rennes I / examinateur

Thierry VERONESE

Directeur scientifique Ovalie Innovation / examinateur

Audrey TREVISIOL

Ingénieur ADEME / personnalité invitée

Aude RIDIER

Maître de conférences HDR Agrocampus Ouest – UMR SMART LERECO / co-directrice

Alain CARPENTIER

Directeur de recherche INRA – UMR SMART LERECO / co-directeur

Karim CHAIB

Enseignant chercheur – INP Ecole d'Ingénieurs de PURPAN / encadrant

Laboratoire d'accueil UMR 1302 INRA - Agrocampus Ouest SMART LERECO
Structures et marchés agricoles, ressources et territoires

Résumé

Le modèle de production céréalière actuel est fortement remis en question face aux nouveaux enjeux environnementaux, réglementaires, économiques, climatiques et sociétaux. L'innovation est aujourd'hui au centre des questionnements sur l'évolution du secteur céréalière. Longtemps orientée vers les innovations de procédés ou de produits, l'agriculture s'intéresse aujourd'hui à des formes d'innovation systémiques, plus en adéquation avec les objectifs conjoints de durabilité et de productivité. Les systèmes de culture innovants, qui conjuguent des techniques de production novatrices avec des outils agronomiques traditionnels, font consensus auprès des experts de la filière et apportent des solutions aux impasses techniques qui rencontrent les céréaliers. Cependant, ils restent encore peu répandus sur le territoire français. En effet, l'introduction de ces innovations engendre, pour l'agriculteur, des incertitudes supplémentaires. Le risque ainsi que certains déterminants socio-économiques (contraintes financières, accès à l'information), sont des freins majeurs à l'adoption et peuvent expliquer le faible niveau d'adoption. Par ailleurs, les agriculteurs basent aussi leur choix sur leurs perceptions et leurs préférences. Ces déterminants sont plus complexes à évaluer car ils ne sont pas directement observables. Cette thèse a pour objectif d'analyser les déterminants, observables et non observables, qui affectent le processus d'adoption de systèmes de culture innovants en s'intéressant au cas particulier des agriculteurs céréaliers du Sud-Ouest de la France. L'analyse s'appuie sur 200 enquêtes collectant : i) les caractéristiques socio-économiques des exploitants ; ii) leurs perceptions grâce à des méthodes déclaratives sur des échelles psychométriques, et ; iii) leurs préférences en utilisant à des expériences de *choice modelling*. Deux systèmes de culture traditionnels du Sud-Ouest de la France sont étudiés : la monoculture de maïs irrigué et la rotation de blé dur sur tournesol. Les résultats montrent que les déterminants socio-économiques tels que l'information et l'éducation jouent un rôle clef dans le processus d'adoption d'innovation chez les producteurs céréaliers. Par ailleurs, les perceptions du risque affectent les comportements d'adoption mais aussi les choix de production et de commercialisation des agriculteurs. Du point de vue des préférences, les agriculteurs sont sensibles aux attributs non monétaires des innovations, notamment les caractéristiques techniques et agronomiques. Enfin, les préférences sont liées au contexte de production des agriculteurs, soulignant l'intérêt des analyses à des échelles locales. Ces résultats permettent, entre autres, de proposer des démarches de conseil adaptées pour accompagner les agriculteurs dans le changement et faciliter la diffusion des innovations à l'échelle des territoires.

Mots clefs : adoption, perceptions, préférences, système de culture innovant, *choice modelling*

Abstract

The current grain production model is strongly questioned considering the new environmental, regulatory, economic, climatic and societal expectations. Innovation is the core of concerns for the evolution of cereal production. Up to now, farm innovation process was focused on product and process innovations. However, systemic innovations better suit the joint goals of sustainability and productivity. Innovative cropping systems, combining innovative production techniques with traditional agricultural tools, appear to be a solution for grain farmers. The introduction of these innovations generates additional uncertainties for farmers and these cropping systems are still uncommon in the French territory. The risk and some socioeconomic determinants (financial constraints, access to information), are major brakes in the innovation process and can explain the low rate of adoption. Farmers also base their choice on their perceptions and preferences. These determinants are more complex to evaluate because they are not directly observable. This thesis analyzes the observable and unobservable determinants affecting the adoption of innovative cropping systems by looking at the particular case of grain farmers of Southwestern France. The analysis is based on 200 surveys that collect; i) farms and farmers' socio-economic characteristics; ii) farmers' perceptions using declarative method with psychometric scales, and; iii) farmers' preferences using a choice of modeling approach. Two traditional cropping systems are studied: continuous irrigated maize and durum wheat on sunflower rotation. The results show that socio-economic factors such as information and education play a key role in the innovation adoption process. Risk perceptions affect not only the adoption decision but also farmers' production and marketing choices. Considering farmers' preferences, they are sensitive to non-monetary attributes of the innovations, such as agronomic and technical characteristics of the innovation. The preferences are linked to the farming conditions emphasizing the importance of local scale analysis. These findings allow targeting new relevant extension services to help farmers to adapt their practices.

Keyword: adoption, perceptions, preferences, innovative cropping system, choice modelling

Remerciements

Il y a un peu plus de trois ans je n'aurais sûrement pas pensé terminer aujourd'hui une thèse en économie. C'était sans compter sur Aude Ridier et Karim Chaib qui ont su me transmettre leur goût de la recherche lors de mon stage de fin d'études. C'est donc naturellement vers eux que se dirigent mes tout premiers remerciements ainsi qu'Alain Carpentier qui a accepté de codiriger ce travail. Merci Aude pour avoir su me guider, m'orienter dans cette nouvelle discipline tout en me donnant toujours confiance en moi. A Karim pour avoir pris autant de temps pour m'encadrer et, toujours avec le sourire, m'expliquer les maths, les équations, les tests statistiques et toutes ces notions alors assez abstraites pour moi. Enfin, merci Alain pour m'avoir enseigné l'économétrie, toujours avec beaucoup de pédagogie et en plein air ! Je souhaite vraiment à tous les doctorants d'avoir une équipe d'encadrants aussi bienveillante et investie que vous.

Ce projet de recherche n'aurait pas pu voir le jour sans le soutien de l'ADEME et des coopératives qui ont financé cette thèse : Arterris Innovation, Ovalie Innovation et Terres du Sud. Ce travail a aussi bénéficié du soutien d'Arvalis Institut du Végétal et l'Agence de l'Eau Adour Garonne. Je tiens à remercier tous les représentants de ces structures pour leurs conseils avisés lors des différents comités de pilotage.

Merci aux chercheurs qui ont participé à mon comité de thèse : Lionel Alletto, Matthieu Carof, Stéphane Couture, Alexandre Joanon, Carole Ropars et Alban Thomas. Leurs commentaires et conseils ont enrichi mon travail notamment grâce à leurs approches pluridisciplinaires.

Je remercie Roberta Raffaelli et Arnaud Reynaud, mes deux rapporteurs, qui ont accepté de lire, corriger et évaluer ce manuscrit ainsi que tous les membres du jury : Olivier L'Haridon, Audrey Trévisiol et Thierry Véronèse.

Cette thèse « mobile » m'a permis d'intégrer deux équipes de recherche. Je remercie donc chaleureusement tous les membres de l'équipe SMART LERECO qui, malgré mes passages éclairs en Bretagne, se sont toujours rendus disponibles. Merci à l'Ecole d'Ingénieurs de Purpan de m'avoir accueillie au sein du département de Sciences Economiques, Gestion, Marketing et Management.

Ce travail a nécessité un long travail d'enquêtes chez les agriculteurs céréaliers. Je tiens donc à remercier toutes les personnes qui ont rendu cette étape de la thèse possible, en parcourant le Sud-Ouest ou en analysant les données des questionnaires : Patrice Galaup, Clément Bureau, Charlotte Daydé, Marie Boyet, Margaux Verdier et Manon Richard. Et bien sûr un très grand merci à tous les agriculteurs qui nous ont consacré du temps et sans qui ce travail n'aurait pas pu aboutir.

La thèse c'est aussi des rencontres avec d'autres personnes qui se sont embarquées dans la même aventure, un peu avant ou un peu après. Merci à tous les thésards que j'ai rencontré à Purpan ou à SMART qui m'ont fait partager leur expérience. Et puis, il y a ceux qui m'ont supportée tous les jours au bureau. Ceux avec qui on a pu discuter des tests statistiques ou de rugby, des enjeux de nos travaux ou de shopping. Alors merci à vous deux, Emmanuelle et Antoine, j'ai été ravie de partager ces trois années et quelques à vos côtés. On se recroisera sûrement très vite. Courage pour votre dernière ligne droite et n'oubliez pas votre engagement total !

Je remercie tous les « *copaings* ». Ceux qui m'ont suivi depuis Purpan et même avant et qui, malgré la distance et nos départs dans la vie active, ont su me montrer leur soutien et m'embarquer dans des breaks salvateurs. Merci à Anne-Ga, Véro et Laurent d'être toujours là. Merci à l'équipe des étiopathes et de leurs pièces rapportées. Et puis à tous les autres...

Merci à Antoine et Laurine de m'avoir toujours chouchouté dans le Pays Basque ou à la Réunion et à François pour toujours tout faire pour rendre ma vie plus douce.

Bien sûr je ne serais pas là sans ma famille. Mes cousines qui ont pris le temps de relire les chapitres en anglais. Mes grands frères qui m'ont toujours entourée. Merci à mes parents de m'avoir permis d'aller me détendre aux antipodes mais surtout d'arriver jusqu'ici aujourd'hui. Malgré la distance vous avez toujours su vous montrer présents et bien plus encore...

Mes derniers remerciements vont à Yvonnick, pour être lui, pour m'avoir soutenue, rassurée et encouragée dans ce projet malgré ces trois années à distance. Ca y est c'est fini, je suis là !

Liste des publications et communications

Publications :

Roussy, C., Ridier, A., Chaïb, K., 2015. Adoption d'innovations par les agriculteurs: rôle des perceptions et des préférences. *Working Paper SMART - LERECO, N°15-03*.

Disponible : <http://prodinra.inra.fr/record/291349>

Ridier A., Chaïb K., Roussy., 2015. A dynamic stochastic programming model of crop rotation choice to test the adoption of long rotation under price and production risks. *European Journal of Operational Research*

Disponible : <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.025>

Ridier, A., Chaïb, K., Roussy, C., 2012. The adoption of innovative cropping systems under price and production risks: a dynamic model of crop rotation choice. *Working Paper SMART – LERECO N°12-07*

Disponible : <http://prodinra.inra.fr/?locale=fr#!ConsultNotice:170109>

Publications en cours de soumission :

Roussy, C., Ridier, A., Chaïb, K., Carpentier A. Farmers' preferences for diversification crop attributes: A choice modelling approach.

Roussy, C., Ridier, A., Chaïb, K. Farmers' innovation adoption behaviour: Role of perceptions and preferences.

Communications :

Roussy, C. Boyet M., Chaïb, K., Ridier, A., 2015. Contrats de commercialisation et gestion des risques pour les producteurs de céréales. *Présenté au 9ième Journées de recherches en sciences sociales (JRSS), Nancy*

Roussy, C., Ridier, A., Chaïb, K., Carpentier, A., 2015. Farmers' preferences for diversification crop attributes: A choice modelling approach. *Presented at the EAAE PhD Workshop, Rome, IT*

Roussy, C., Ridier, A., Chaïb, K., 2014. Adoption d'innovations par les agriculteurs : rôle des perceptions et des préférences. *Présenté aux 8ième Journées de recherches en sciences sociales (JRSS), Grenoble*

Disponible : <http://prodinra.inra.fr/record/279521>

Roussy, C., Ridier, A., Chaïb, K., 2014. A methodological proposal to approach farmers' adoption behavior: stated preferences and perceptions of the innovation. *Presented at 14th EAAE Congress "Agri-Food and Rural Innovations for Healthier Societies", Ljubljana*

Disponible : <http://prodinra.inra.fr/record/27540>

Daydé, C., Ridier, A., Roussy, C., Chaïb, K., 2014. Risk, labour and climatic uncertainty in crop rotation optimization. *Presented at 14th EAAE Congress "Agri-Food and Rural Innovations for Healthier Societies", Ljubljana*

Disponible : <http://prodinra.inra.fr/record/275403>

Ridier, A., Chaïb, K., Roussy, C., 2012. The adoption of innovative cropping systems under price and production risks: a dynamic model of crop rotation choice. *Presented at 123. EAAE Seminar: Price volatility and farm income stabilisation: Modelling outcomes and assessing market and policy based responses, Dublin*

Disponible : <http://prodinra.inra.fr/record/49970>

Liste des abréviations

AB : Agriculture Biologique

AEAG : Agence de l'Eau Adour-Garonne

AIC: Akaike Information Criterion

Arvalis : Arvalis Institut du Végétal

CC : Changement Climatique

CETA : Centre d'Etudes Techniques Agricoles

CETIOM : Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains

CIPAN : Culture Intermédiaire Piège à Nitrates

CM : Choice Modelling

CUMA : Coopérative d'Utilisation du Matériel Agricole

DCE : Discrete Choice Experiment

EUT : Expected Utility Theory

FAO : Food and Agriculture Organization

GIEC : Groupement International sur l'Evolution du Climat

IFT : Indice de Fréquence de Traitement

IIA : Independence of Irrelevant Alternatives

IID : Independent and Identically Distributed

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

LL : Log Likelihood PT : Prospect Theory

MAE- T : Mesure Agro-Environnementales

MB / GM : Marge Brute / *Gross Margin*

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique

ONU : Organisation des Nations Unies

OS : Organisme Stockeur

PAC / CAP : Politique Agricole Commune / *Common Agricultural Policy*

PM : Prix Moyen

RPL : Random Parameters Logit

SAU / UAA : Surface Agricole Utile / *Utilized Agricultural Area*

SdC / : Système de Culture

SdCI / ICS : Système de Culture Innovant / *Innovative Cropping System*

SEU : Subjective Expected Utility

SIE : Surface d'Intérêt Ecologique

UTH : Unité de Travail Humain

WTP : Willingness To Pay

Table des matières

Résumé	3
Abstract	4
Remerciements	5
Liste des publications et communications	7
Liste des abréviations	9
Table des matières	11

INTRODUCTION GENERALE	15
1) L'évolution du secteur des grandes cultures : de la productivité vers la durabilité	17
2) L'innovation dans le secteur céréalier : les systèmes de culture innovants	19
3) Analyse de la décision d'adoption des agriculteurs : concepts et théories	21
3.1) Théories de la décision dans l'incertain	22
3.2) Appréhender les préférences face au risque	23
3.3) Evaluer les préférences pour l'innovation : la <i>random utility theory</i>	25
2) Objectifs et structure de la thèse	27
2.1) Questions de recherche	27
2.2) Structure de la thèse	28
Bibliographie.....	30

Chapitre I

FARMERS' INNOVATION ADOPTION BEHAVIOUR: ROLE OF PERCEPTIONS AND PREFERENCES	35
I.1) Introduction	38
I.2) Analytical framework for the adoption of innovations.....	39
I.2.1) The individual observable determinants.....	39
I.2.2) The individual unobservable determinants: perceptions and preferences	40
I.3) Overview of the observable determinants affecting adoption.....	40
I.3.1) Endogenous determinants	43
I.3.2) Exogenous determinants	45
I.4) Unobservable determinants of adoption: perceptions and preferences	46
I.4.1) Farmers' risk preferences.....	46
I.4.2) Farmers' perceptions and preferences for the innovation's characteristics	48
I.5) Conclusion and proposals	51

Chapitre II

CONCEPTION D'UN QUESTIONNAIRE D'EVALUATION DE L'ADOPTION DE SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS.....

Introduction.....	59
II.1) Terrain d'étude et systèmes de culture	61
II.1.1) Le Sud-Ouest de la France : un territoire contrasté.....	63
II.1.2) Recensement des systèmes de culture et diagnostic	64
II.1.3) Des systèmes de culture innovants adaptés aux enjeux du territoire.....	69
II.2) Conception des questionnaires d'enquête	77
II.2.1) Déterminants socio-économiques de l'adoption.....	77
II.2.2) Evaluer le risque : perceptions et attitudes	79
II.2.3) Révéler les préférences des agriculteurs : conception des <i>choice modelling</i>	83
Conclusion	92
Bibliographie.....	93

Chapitre III

LES AGRICULTEURS FACE AU RISQUE.....

Introduction.....	97
III.1) La gestion du risque en grandes cultures.....	99
III.1.1) Le risque en agriculture.....	100
III.1.2) Instruments de gestion du risque	101
III.2) Echantillon étudié	105
III.2.1) Statistiques descriptives des agriculteurs de l'enquête.....	105
III.2.2) Les perceptions du risque des agriculteurs.....	109
III.2.3) La gestion actuelle du risque des agriculteurs.....	113
III.3) Méthodes d'analyse des choix de commercialisation et de diversification agronomique.....	116
III.3.1) Outils d'analyse des choix de commercialisation.....	116
III.3.2) Outils d'analyse de la diversification agronomique sur l'exploitation.....	117
III.4) Déterminants de l'adoption d'outils de gestion du risque	118
III.4.1) Analyse empirique des déterminants des choix de commercialisation.....	118
III.4.2) Analyse empirique des déterminants de la diversification des assolements	122
III.5) Discussion et conclusions.....	124
Bibliographie.....	126

Chapitre IV

COMPORTEMENT DES PRODUCTEURS DE BLE DUR FACE A LA DIVERSIFICATION DES ASSOLEMENTS

.....	129
Introduction.....	131
IV.1) Performances et enjeux de la rotation blé dur sur tournesol	133
IV.1.1) La rotation actuelle de blé dur sur tournesol : performances agronomiques et économiques	133
IV.1.2) Les difficultés agronomiques des agriculteurs.....	134
IV.1.3) Perceptions des cultures de diversification	137
IV.1.4) Conclusions	140
IV.2) Farmers' préférences for crop diversification attributes.....	141
IV.2.1) Introduction	141
IV.2.2) Literature on adoption behavior.....	142
IV.2.3) Design of a choice modelling approach	143
IV.2.4) Choice models.....	144
IV.2.5) Empirical analysis	145
IV.2.6) Discussion and conclusion	152
IV.3) Déterminants socio-économiques de l'adoption d'une culture de diversification	153
IV.3.1) Déterminants étudiés socio-économiques qui affectant l'adoption d'une culture de diversification	153
IV.3.2) Intensité d'adoption d'une culture de diversification dans l'assolement	157
IV.4) Discussions	160

Chapitre V

LA MONOCULTURE DE MAÏS FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET A L'EVOLUTION DES MARCHES

.....	165
Introduction.....	167
V.1) La monoculture de maïs du Sud-Ouest de la France : performances et enjeux perçus par les maïsiculteurs	170
V.1.1) Les performances agronomiques et économiques de la monoculture de maïs.....	170
V.1.2) Evolution du contexte de production : perceptions des maïsiculteurs	173
V.2) Mise en situation des maïsiculteurs face à l'évolution de leur contexte de production : conception d'une expérience de <i>choice modelling</i>	177
V.2.1) Mise en situation	178
V.2.2) Conception des expériences de choix : attributs et niveaux	179

V.3) Evolution des assolements des maïsiculteurs face à des scénarii climatiques et économiques	181
V.3.1) Adoption et intensité d'adoption des innovations	181
V.3.2) Stratégies d'adaptation.....	186
V.4) Eléments explicatifs des résultats du <i>choice modelling</i>	190
V.4.1) Une contrainte sur l'eau contrastée	190
V.4.2) Systèmes de production des agriculteurs de l'enquête.....	193
V.4.3) Préférences pour les productions alternatives.....	195
Conclusion	197

Chapitre VI

CONCLUSIONS ET DISCUSSIONS	201
VI.1) Principaux résultats issus du travail de thèse	205
VI.2) Discussion et implications de ce travail de thèse	208
VI.2.1) Limites du travail.....	208
VI.2.2) Implication pour les acteurs de la filière céréalière.....	209
Bibliographie.....	211
Liste des tableaux	213
Liste des figures	215

INTRODUCTION GENERALE

SOMMAIRE

1) L'évolution du secteur des grandes cultures : de la productivité vers la durabilité	17
2) L'innovation dans le secteur céréalier : les systèmes de culture innovants	19
3) Analyse de la décision d'adoption des agriculteurs : concepts et théories	21
3.1) Théories de la décision dans l'incertain	22
3.2) Appréhender les préférences face au risque	23
3.3) Evaluer les préférences pour l'innovation : la <i>random utility theory</i>	25
2) Objectifs et structure de la thèse.....	27
2.1) Questions de recherche	27
2.2) Structure de la thèse	28
Bibliographie.....	30

L'adoption d'innovations par les agriculteurs est un sujet largement étudié dans les travaux en économie agricole. Cet intérêt est notamment dû aux nombreuses implications d'une meilleure compréhension des déterminants de l'adoption d'innovations agricole dans la conception des politiques publiques pertinentes, le développement de programmes de soutien adaptés ou encore la mise en place de démarches de conseil ciblées pour accompagner les agriculteurs dans le changement. Dans cette vaste littérature, on peut aujourd'hui identifier deux grands volets de recherche. Le premier volet se base sur des travaux empiriques pour évaluer les déterminants de l'adoption. Il s'agit de déterminants liés, d'une part, aux agriculteurs et au contexte dans lequel ils sont amenés à prendre leur décision et, d'autre part, à l'innovation agricole proposée et ses caractéristiques. Le second volet s'intéresse à formaliser et décrire le processus de décision des individus en univers incertain afin d'analyser, par des méthodes expérimentales, le comportement d'adoption d'innovation des agriculteurs.

Dans ce chapitre introductif, nous cherchons à positionner notre démarche face à ces deux types d'approche. Ainsi, dans un premier temps, nous présentons en quoi le contexte de production des agriculteurs et les nouveaux enjeux environnementaux, réglementaires, économiques et climatiques auxquels ils doivent aujourd'hui faire face peuvent influencer leurs choix d'innovations. Ensuite, nous nous intéressons aux caractéristiques des innovations proposées aux agriculteurs dans le contexte spécifique de la production céréalière. Enfin, nous décrivons les cadres théoriques de la décision habituellement choisis pour étudier la décision d'adoption dans la littérature d'économie agricole, ceci afin de situer notre approche. La dernière section de cette introduction est consacrée à la présentation des objectifs de la thèse en lien avec la problématique puis le plan que suit la thèse est enfin exposé. La structure que suit le manuscrit est aussi décrite.

1) L'évolution du secteur des grandes cultures : de la productivité vers la durabilité

La production céréalière occupe une place prépondérante dans l'agriculture française avec plus de 9 millions d'hectares soit près de la moitié des terres labourables. Depuis la révolution verte, la production de céréales a évolué afin d'atteindre un modèle de production de masse pour assurer la sécurité alimentaire. L'amélioration génétique, l'utilisation d'intrants de synthèse, la motorisation, le développement des techniques d'irrigation, entre autres, ont permis l'accroissement de la productivité. L'exemple emblématique de cette évolution est le blé tendre dont le rendement a plus que doublé entre les années 1960 et 1990 (Le Buanec, 1999). Cette intensification de la production s'est opérée à la faveur d'une simplification du travail en même temps que d'un agrandissement de la taille des exploitations et de leur parc matériel, permettant aux exploitations de réaliser des économies d'échelle. Les agriculteurs se sont majoritairement orientés vers des rotations courtes ou des monocultures. Actuellement, près de 90 % de la sole céréalière française est occupée par seulement trois cultures : le blé tendre, l'orge et le maïs grain. Par ailleurs, on constate de fortes spécialisations agricoles régionales, comme la monoculture de maïs en Aquitaine et en Alsace ou de blé dur dans le bassin méditerranéen, qui induisent une homogénéisation des espaces agricoles.

Aujourd'hui, les objectifs de productivité d'après-guerre sont contrebalancés par des enjeux de durabilité. En agriculture, le développement de systèmes de production durables est au centre du débat. Les agronomes décrivent que la production céréalière a atteint le maximum de ses capacités en forçant même certaines variables limitantes de l'écosystème, grâce à des apports externes d'intrants (Griffon, 2007). Les externalités négatives de la production céréalière intensive sont aussi bien sociales (dégradation de la qualité de vie dans les territoires ruraux, déstructuration des

paysages, etc.) qu'environnementales (pollutions des nappes phréatiques, dégradation de la biodiversité, baisse de la pollinisation, etc.). De plus, l'appauvrissement de la diversité des assolements entraîne aussi une perte de savoir-faire et de connaissances quant à la production de certaines cultures minoritaires. Ce raisonnement de la production conduit à un plafonnement des rendements. En France, depuis les années 2000, le rendement des cultures principales comme le blé et le maïs stagne (Agreste, 2008, Agreste, 2013). Ce phénomène se déroule au moment même où un accroissement de la production agricole est souhaité face à l'augmentation de la population mondiale de 7 milliards à plus de 9,5 milliards en 2050 (ONU, 2015).

Ainsi, depuis les années 2000, les politiques européennes et nationales ont redoublé d'effort pour faire évoluer le secteur des grandes cultures vers plus de durabilité en associant aux objectifs de soutien du revenu des agriculteurs, des objectifs de respect de l'environnement. Cela passe principalement par deux instruments. Tout d'abord, la réorientation et le verdissement des aides à la production du premier pilier de la PAC qui sont, par ailleurs, découplées de la production et en voie d'uniformisation de leurs montants par hectare entre régions et entre états membres. D'autre part, l'enveloppe financière consacrée aux aides du second pilier cofinancées par les états membres, est en constante augmentation. Dans le cadre du second pilier, les Mesures Agro-Environnementales, Territorialisées (MAE-T) sont des mesures volontaires visant à promouvoir la mise en œuvre de pratiques favorables à l'environnement, dans des zones à enjeux. Les agriculteurs sont encouragés à protéger et à valoriser l'environnement et sont rémunérés par des montants d'aides plus ciblés, pour la prestation de ces services environnementaux. La PAC 2014-2020 poursuit la politique de verdissement des aides du premier pilier. Un tiers des aides directes du premier pilier sont désormais conditionnées à la mise en œuvre de trois exigences de verdissement. Dès mai 2015, les agriculteurs doivent diversifier leur assolement, maintenir leurs prairies permanentes et conserver des Surfaces d'Intérêt Ecologique (SIE) permettant de maintenir des infrastructures naturelles (marres, bosquets, fossés, bandes enherbées, etc.). Plus spécifiquement, les agriculteurs qui cultivent plus de 30 hectares de surface agricole, doivent produire au moins trois cultures sur leur exploitation. La culture principale ne doit pas excéder 75% de la surface agricole et la minoritaire doit représenter au moins 5% de la surface agricole. Le retournement des prairies permanentes est interdit et les exploitants doivent disposer d'au moins 5% de leur surface en SIE. La conditionnalité des aides du premier pilier de la PAC impose également le respect de la réglementation environnementale à l'œuvre au sein de l'Union européenne. Ainsi, pour les grandes cultures, la directive Nitrates a pour objectif de réduire la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole (Directive 91/676/CEE). En France, l'application de cette directive s'est traduite par la définition de « zones vulnérables » dans lesquelles les pratiques culturales des agriculteurs sont réglementées. Ces zones ont été révisées en 2012 et 55% de la surface agricole française est classée désormais en zones vulnérables.

En France, le Grenelle de l'Environnement (2007) a conduit à établir des politiques nationales en matière d'environnement et de développement durable. Concernant l'agriculture, plusieurs mesures ont vu le jour. Tout d'abord, la promotion de l'Agriculture Biologique (AB), avec un objectif d'atteindre 20% de produits certifiés biologiques dans la restauration collective et 20% de la surface agricole totale certifiée AB d'ici 2012. Un autre objectif était d'atteindre 50% des exploitations françaises engagées dans une démarche volontaire de certification « Haute Valeur Environnementale » (HVE) en 2012, afin de développer des modes de production plus durables et économes en intrants. Cette mesure a été repoussée à l'horizon 2018. Enfin, le plan Ecophyto 2018, a pour objectif de retirer les substances actives préoccupantes dans les traitements phytosanitaires

ainsi que de réduire de moitié l'usage de ces derniers par les agriculteurs à l'horizon 2018 par rapport aux références de 2010. Dans le secteur des grandes cultures, la réduction de l'usage de pesticides nécessite de repenser la conduite culturale des céréales de manière globale. Les agronomes envisagent notamment des évolutions des successions culturales ou l'intégration de mesures alternatives de prophylaxie pour maîtriser les bioagresseurs (lutte biologique) (Butault *et al.*, 2010).

L'ensemble de ces évolutions réglementaires se produit dans un contexte où les agriculteurs sont tributaires des aléas météorologiques et fortement exposés au changement climatique. Depuis les années 90, le GIEC¹ ainsi, que d'autres institutions scientifiques, alertent les états face aux conséquences de l'évolution du climat. En 2009, la Commission européenne a publié un livre blanc afin d'établir un cadre européen pour améliorer la résilience de l'économie européenne face au changement climatique. Il reste aujourd'hui complexe de prédire les effets de l'évolution du climat sur les productions agricoles. Cependant, mêmes si certaines régions du nord de l'Europe pourraient bénéficier d'une augmentation des températures, l'agriculture des régions du Sud sera plus affectée avec des épisodes de sécheresse sévères et la raréfaction de la ressource en eau (CCE, 2009). A l'échelle française, des travaux de prospective tentent d'évaluer différents scénarii d'évolution des productions. Concernant le Sud-Ouest, les travaux de l'Agence de l'Eau Adour Garonne présentent plusieurs évolutions possibles de la région à l'horizon 2050 (AEAG, 2014). Cette étude, structurée autour de groupes d'experts et d'acteurs représentant les principaux usages de l'eau (agricole, industriel, domestique, etc.), a produit trois grands scénarii dans lesquels, les experts ont inclus deux évolutions nécessaires du domaine agricole : la réduction de la sole irriguée de 15% et une évolution des assolements vers davantage de cultures, moins consommatrices en eau.

Le modèle de production intensif du secteur céréalier semble aujourd'hui atteindre une impasse. L'investissement des politiques publiques dans l'innovation agricole ouvre de nombreuses pistes quant à son évolution. Les agronomes tentent aujourd'hui de concevoir des solutions en accord avec les enjeux multiples de l'agriculture. Les innovations agricoles doivent être adaptées aux conditions climatiques futures, respectueuses de l'environnement, sans pénaliser les rendements. De plus, il s'agit de concevoir des innovations compatibles avec les attentes des agriculteurs afin de s'assurer de leur adoption et de faciliter leur diffusion sur le territoire.

2) L'innovation dans le secteur céréalier : les systèmes de culture innovants

L'innovation joue un rôle clef dans l'évolution des systèmes de production. Elle est aujourd'hui nécessaire et attendue dans le secteur des grandes cultures. On distingue quatre grands types d'innovations : les innovations de produit, de procédé, de commercialisation et d'organisation (Schumpeter *et al.*, 1951). Jusqu'alors, le secteur des grandes cultures s'est appuyé principalement sur des innovations de produits, avec un recours accru à la génétique, aux fertilisants ou aux pesticides, ou sur des innovations de procédé avec l'évolution du machinisme, afin d'accroître la compétitivité du secteur. Or, actuellement, la recherche agricole doit répondre à de nouvelles questions complexes. Comment améliorer la productivité dans un environnement économique incertain, tout en garantissant une utilisation durable des ressources naturelles ? Comment répondre à la hausse de la demande de matière première agricole face au changement climatique ?

¹ Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC)

Face à la complexité de ces enjeux, les innovations technologiques ou de produits proposées actuellement en grandes cultures, comme l'introduction des OGM² dans certains pays, ne semblent plus suffire. Ainsi, les agronomes se sont orientés vers des innovations de type systémique qui intègrent les effets à long terme des pratiques agricoles, à l'échelle spatiale de l'exploitation ou de la petite région agricole. Elles prennent en compte le Système de Culture (SdC) dans son intégralité, c'est-à-dire à la fois la succession des cultures et les itinéraires techniques mis en œuvre pour chacune d'elle (Sebillotte, 1978). Aujourd'hui, les agronomes proposent des Systèmes de Culture dits « Innovants » (SdCi). Ils sont définis comme « *(des) système(s) de culture construit(s) pour atteindre des objectifs renouvelés, orientés vers des enjeux émergents et évalués selon les critères des agriculteurs, des filières et de la société. Le processus d'innovation consiste à construire de nouvelles combinaisons de techniques et de cultures existantes autant qu'à introduire des techniques et des cultures nouvelles* » (Reau et Doré, 2008). L'objectif poursuivi par les agronomes est d'accroître les synergies entre le système de culture et son environnement, au sein d'un « agroécosystème », en s'appuyant sur les principes de l'écologie. C'est pourquoi on utilise, pour ce type d'innovations, le terme d'innovations agroécologiques. Elles apparaissent comme une solution qui fait consensus dans la communauté des agronomes pour convertir des systèmes intensifs et générer des solutions durables (Altieri et Rosset, 1996).

Selon la définition du système de culture innovant, l'innovation peut aller du simple ajustement de l'itinéraire technique à un changement radical à l'échelle complète du système de culture (Lichtfouse *et al.*, 2009). Les niveaux de rupture des systèmes de culture innovants, par rapport au système de culture conventionnel, peuvent donc être divers. Dans certains cas le changement induit peut être incrémental en améliorant les pratiques des agriculteurs (bonnes pratiques agricoles) mais d'autres système peuvent être fortement en rupture, impliquant un changement plus radical notamment de la rotation ou des cultures produites. Certains agronomes ont proposé une classification de ces innovations, en fonction de leur niveau de rupture, à travers une grille dite « ESR » : Efficience, Substitution, Reconception (Hill et MacRae, 1996). En premier lieu, on peut améliorer l'efficacité des systèmes conventionnels pour réduire l'usage ou le gaspillage de ressources. Pour exemple, on peut citer l'agriculture de précision qui cherche à ajuster les apports d'intrants au sein d'une parcelle en évitant les gaspillages. Ce niveau de rupture peut s'apparenter aux innovations dites incrémentales qui correspondent à un processus, souvent continu, d'amélioration de l'existant (Christensen, 2013). Une seconde classe d'innovations correspond aux innovations conçues par substitution. Elles peuvent être mises en place lorsque le système de production n'est plus adapté mais pas totalement altéré (Rosset et Altieri, 1997). Cela requiert de changer les produits ou les procédés qui sont les plus polluants ou les moins adaptés. On peut, par exemple, mettre en place une protection biologique des cultures à la place de l'usage de pesticides de synthèse. Cependant, en agriculture, les effets à long terme sont difficiles à évaluer et l'efficacité de ce type d'innovation peut décroître dans le temps (apparition de résistances, *etc.*) (Lichtfouse *et al.*, 2009). Le troisième niveau de rupture est associé à une reconception totale du système de production. Il s'agit alors de mettre en place des innovations systémiques qui répondent à des enjeux concrets en concevant des solutions spécifiques, adaptées au contexte local et aux problématiques de production. Elles prennent en compte les interactions de l'activité agricole avec l'environnement ainsi que les contraintes d'exploitation (Hill et MacRae, 1996).

² Organisme Génétiquement Modifié (OGM)

Les systèmes de culture innovants étudiés dans ce travail de thèse appartiennent à cette dernière catégorie. Les systèmes de culture sont reconçus afin d'optimiser le processus de production lui-même en améliorant la synergie entre les différents composants du système de culture (Henderson et Clark, 1990). La notion d'innovation n'est donc pas liée à l'invention ou à la nouveauté, car les principes sur lesquels s'appuient les systèmes de cultures innovants sont des pratiques agronomiques connues par les agronomes et les écologues (allonger la rotation, introduire des cultures intermédiaires, ou des légumineuses, *etc.*). Dans le cadre de l'adoption de systèmes de culture innovants, l'innovation est étroitement liée à une démarche d'investissement. Même si les nouveaux systèmes proposés ne sont pas fortement en rupture ou n'intègrent pas d'innovation de procédés ou de produits, les agriculteurs doivent investir pour l'adopter. L'investissement peut être matériel, tel que l'acquisition d'un nouveau bâtiment ou l'achat de ressources mais il est principalement immatériel, avec la nécessité d'acquérir des connaissances nouvelles, d'investir dans de la formation ou l'achat de conseil.

Pour reconcevoir les systèmes de culture, deux grands types d'approches existent (Meynard *et al.*, 2006). La première est une approche de conception « en laboratoire » par les agronomes et les experts de nouveaux systèmes de culture en rupture et qui répondent aux nouveaux enjeux du développement durable. Les agronomes créent des systèmes de culture « idéaux », des prototypes, qui peuvent être très éloignés des systèmes actuels, en s'affranchissant de contraintes économiques comme celles liées par exemple à des investissements en matériel ou à d'éventuels blocages dans les filières. Il s'agit là de faire avancer la recherche agricole en identifiant des interactions positives ou des pratiques prometteuses en se détachant au maximum des contraintes d'exploitation. La deuxième approche est contextuelle et consiste à prendre en compte dès la conception les conditions économiques, sociales ou d'organisation qui faciliteraient l'adoption des nouveaux systèmes. Cette conception est généralement participative en impliquant les acteurs de la filière (agriculteurs, conseillers *etc.*). En effet, ils disposent d'une expertise en termes de pratiques innovantes et leur participation dans le processus de conception améliore le potentiel d'adoption des innovations en intégrant leurs besoins, leurs contraintes et leurs connaissances (Le Gal *et al.*, 2011, Petit *et al.*, 2012).

3) Analyse de la décision d'adoption des agriculteurs : concepts et théories

L'adoption d'une innovation sur l'exploitation, amplifie le risque encouru par l'agriculteur. D'une part, parce qu'il doit investir, de manière matérielle ou immatérielle, pour la mettre en place mais, aussi, parce qu'il ne connaît pas les performances de l'innovation sur son exploitation. Ceci est d'autant plus marqué lors de l'adoption de systèmes de culture innovants que ceux-ci font appel à des dynamiques écologiques dont certains effets ne peuvent être mesurés avant plusieurs années. Le risque est connu comme un des freins majeurs à l'adoption d'innovations. Cependant, d'autres facteurs influencent la décision des agriculteurs (Feder et Umali, 1993). Dans cette section, nous présentons les principaux cadres théoriques utilisés dans l'analyse de la décision en univers incertain afin de situer notre approche dans cette littérature et l'appliquer au cas de l'adoption de systèmes de culture innovants.

3.1) Théories de la décision dans l'incertain

La Théorie de l'Utilité Espérée, *Expected Utility Theory (EUT)* (von Neumann et Morgenstern, 1944), est le premier cadre théorique qui formalise le comportement des décideurs en univers risqué c'est-à-dire face à des perspectives aléatoires. Elle considère que les individus sont rationnels et maximisent leur utilité en fonction de leurs préférences pour la distribution de probabilités de la situation risquée. On se base alors sur une mesure « objective » du risque qui peut s'effectuer par l'estimation des distributions de probabilités basées sur des mesures de fréquence d'occurrence des événements risqués à partir de données historiques. Elle s'appuie sur cinq axiomes : la réflexivité, la complétude, la transitivité, la continuité et l'indépendance. Les trois premiers axiomes permettent de s'assurer que l'ensemble de préférences associé à un agent forme un ordre. L'axiome de continuité est une condition technique qui permet de représenter cet ordre de préférences par une fonction d'utilité. Enfin, l'axiome d'indépendance garantit que l'on peut représenter les préférences de l'agent par une fonction d'utilité correspondant à la somme pondérée des utilités associées à chaque réalisation de l'aléa.

La fonction d'utilité dans la *EUT* est croissante et concave. L'utilité marginale est décroissante avec la richesse de l'individu. La fonction d'utilité est propre à chaque individu. On représente la décision en univers risqué par des loteries, ainsi, l'utilité espérée d'une loterie A qui génère des paiements possibles $(x_1, \dots, x_n)$ avec des probabilités respectives $(p_1, \dots, p_n)$ et $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ peut-être notée (1):

$$U(A) = \sum_{i=1}^n p_i u(x_i) \quad (1)$$

Avec U l'utilité espérée, u la fonction d'utilité de l'individu. Dans le contexte agricole, le gain de la loterie peut être représenté par toute autre variable aléatoire : le rendement, le prix des cultures ou encore le revenu de l'agriculteur.

Nous nous intéressons ici à l'évolution du cadre de la *EUT* pour prendre en compte le caractère subjectif des probabilités. La *EUT* évalue la décision en situation risquée, c'est-à-dire lorsque les individus ont à disposition des données objectives sur l'occurrence des événements. Les travaux antérieurs de Knight, partent de l'observation que nos connaissances sont souvent largement insuffisantes pour déterminer les probabilités des différents événements possibles dans une situation aléatoire. On parle alors d'incertitude lorsqu'une quantification objective des probabilités est impossible (Knight, 1924). Hardaker et al. considèrent même qu'il n'existe pas de situation où la distribution des aléas est connue de façon objective (Hardaker et al., 2004). Dans le cadre de l'activité agricole le producteur ne peut anticiper parfaitement ni le rendement, ni le prix de vente de ses cultures. Cependant, il prend quand même, chaque année, une décision d'assolement qui définira, en fin de campagne, son revenu. L'agriculteur forme donc, par lui-même, en fonction de ses connaissances et de son expérience, une distribution subjective des probabilités liée à un événement incertain (Ramsey, 1931). Le modèle de *Subjective Expected Utility (SEU)* maintient le critère de maximisation de l'utilité comme critère de décision et toute l'axiomatique liée à la *EUT*, mais il permet de prendre en compte les probabilités subjectives, et, à travers elles, les perceptions et les croyances des individus (Savage, 1972).

3.2) Appréhender les préférences face au risque

Les travaux de Savage mettent en évidence l'importance des croyances et des perceptions du risque dans la prise de décision. L'agriculture est un secteur intrinsèquement fortement soumis aux risques. Plus spécifiquement, l'activité agricole est fortement exposée au risque de production et au risque de marché (Hardaker *et al.*, 2004). Le risque de production est lié aux aléas climatiques et sanitaires et le risque de marché à la volatilité des prix des marchés des matières premières (cultures et intrants). Les nouveaux enjeux auxquels fait face l'agriculture ne font qu'accroître l'exposition au risque des agriculteurs. En effet, les exploitants, déjà fortement dépendants du climat, sont aujourd'hui confrontés au changement climatique qui accroît la variabilité de leur rendement d'une campagne à l'autre (sécheresse, inondations, tempêtes, *etc.*). En parallèle, les réformes successives de la PAC entamées en 1992 ont progressivement libéralisé le marché agricole européen ce qui a eu pour conséquence d'exposer plus fortement les agriculteurs aux aléas des marchés mondiaux. La tension croissante de l'offre et de la demande mondiales sur le marché du grain engendre, aujourd'hui, une volatilité importante des prix des cultures et des intrants supportée par les agriculteurs.

L'aversion au risque (objectif ou subjectif) est une caractéristique psychologique des individus qui traduit leur propension à prendre des risques. Un individu averse au risque préférera un revenu inférieur, mais certain, à un revenu supérieur mais aléatoire. La théorie de perspectives ou *Prospect Theory* (PT) de Kahneman et Tversky cherchent à décrire et formaliser la procédure de décision en se basant sur les phénomènes psychologiques observés afin d'appréhender dans les comportements réels l'aversion au risque (Kahneman et Tversky, 1979, Kahneman, 2003). Ils tentent ainsi de corriger certaines limites descriptives des modèles *SEU* et *EUT* pour se rapprocher du comportement réel des individus. Ils montrent empiriquement que les individus déforment, de manière systématique, les probabilités. Les probabilités d'occurrences faibles sont surévaluées alors que les probabilités d'occurrences fortes sont sous-évaluées. Concernant les préférences face au risque, ils mettent en lumière que les individus réagissent différemment en situation de gains ou de pertes. Des méthodes expérimentales, basées sur des jeux de loteries, permettent de révéler les préférences face au risque des individus (Holt et Laury, 2002, Eckel et Grossman, 2008). Les décisions des individus sont analysées dans un univers contrôlé par les chercheurs dans lequel ils peuvent s'assurer que seules les préférences face au risque influencent le choix. De plus, il existe un mécanisme de rémunération qui dépend des réponses de l'individu. Les choix hypothétiques ont donc des conséquences réelles qui permettent de limiter le biais hypothétique. Les résultats des choix des individus permettent de définir la fonction d'utilité des individus traduisant ainsi leur comportement d'aversion ou de goût pour le risque (dans le cadre de l'*EU* ou de la *PT*). En économie agricole, plusieurs travaux ont montré que les agriculteurs sont averses au risque (Binswanger et Sillers, 1983, Harrison *et al.*, 2007, Tanaka *et al.*, 2010, Reynaud et Couture, 2012, Liu, 2013). Les approches de *Prospect Theory* semblent particulièrement adaptées au contexte agricole notamment parce que les exploitants agricoles sont souvent amenés à gérer des risques de perte (de rendements, de revenu, *etc.*) (Couture *et al.*, 2010, Hellerstein *et al.*, 2013). Certaines travaux, basés sur ce cadre théorique ont montré que les agriculteurs français sont plus sensibles au risque de perte (Bougherara *et al.*, 2012, Bocquého *et al.*, 2014, Gassmann, 2014)

La principale critique émise quant à ces méthodes expérimentales de révélation des préférences face au risque est qu'elles permettent de définir un coefficient d'aversion lié à un risque spécifique : le risque financier. Or, les attitudes face au risque des individus varient en fonction du type de risque et

du contexte dans lequel il est pris (Weber et Milliman, 1997). Des psychologues et des économistes ont développé des méthodologies afin d'identifier les attitudes vis-à-vis du risque dans différents domaines. Il s'agit principalement de questionnaires de mesure directe d'attitude face au risque, auto-déclaré sur des échelles psychométriques comme les échelles de Likert, balayant les risques encourus dans différents aspects de la vie courante (financiers, social, *etc.*) (Pennings et Garcia, 2001, Weber *et al.*, 2002, Dohmen *et al.*, 2011). Ces méthodes évaluent un score reflétant l'attitude face au risque des individus dans différents domaines (financier, santé, éthique, *etc.*). Le lien entre les attitudes face au risque mesuré par des méthodes expérimentales et par des questionnaires psychométriques a été étudié (Pennings et Garcia, 2001, Couture *et al.*, 2010). Ces travaux ont généralement trouvé des corrélations significatives entre les résultats obtenus avec les deux types de méthodes concernant les attitudes face au risque financier. De plus, elles montrent un fort pouvoir explicatif entre la déclaration de la propension à prendre des risques individus et leurs décisions dans la vie courante (Dohmen, 2005, Dohmen *et al.*, 2011). Les méthodes de révélation des attitudes par des méthodes déclaratives apparaissent donc aujourd'hui comme fiables et adaptées pour analyser les attitudes des individus vis-à-vis de risque spécifique. Des travaux en économie agricole les ont mobilisées afin d'évaluer l'effet des attitudes vis-à-vis du risque sur le comportement de contractualisation (Musser *et al.*, 1996, Franken *et al.*, 2014), ou d'assurance (Sherrick *et al.*, 2004).

La *Subjective Expected Utility Theory* et la *Prospect Theory*, permettent de prendre en compte la subjectivité des perceptions des individus soit par le biais des probabilités subjectives (*SEU*), soit par la pondération des probabilités objectives par les individus (*PT*). L'apport majeur de la *PT* est d'approcher au plus près la fonction d'utilité réelle des individus notamment en évaluant des coefficients d'aversion au risque différents dans le domaine des gains et des pertes. Grâce aux nombreux travaux sur les préférences face au risque, il est aujourd'hui admis que les agriculteurs sont averses au risque et que cette aversion réduit l'adoption d'innovations (Feder et Umali, 1993, Marra *et al.*, 2003, Mercer, 2004, Prokopy *et al.*, 2008). L'intérêt de la *Subjective Expected Utility* est lié au fait que l'on peut distinguer d'une part, l'exposition au risque résumée par la distribution des probabilités et d'autre part, les préférences face au risque représentées par la fonction d'utilité (Chavas *et al.*, 2010). Cependant, le rôle isolé des perceptions, évaluées par les probabilités subjectives, est aujourd'hui peu connu (Menapace *et al.*, 2013). Ainsi, tout l'enjeu de la *SEU* est de déterminer la forme de la distribution des probabilités à travers la révélation des croyances.

Dans cette thèse, on s'intéresse à l'adoption d'innovations, et plus particulièrement à l'adoption de systèmes de culture innovants, par les agriculteurs céréaliers. L'adoption d'un nouveau système de culture induit de nouvelles incertitudes pour les agriculteurs qui basent donc leur choix sur leurs perceptions et leurs croyances. Il apparaît donc nécessaire de prendre en compte les perceptions et nous choisissons pour cela le cadre théorique de la *SEU* qui permet de les distinguer des préférences.

3.3) Evaluer les préférences pour l'innovation : la *random utility theory*

Nous avons vu dans la section précédente que les agriculteurs sont amenés à innover régulièrement à la fois de manière ponctuelle, pour s'adapter à des aléas non prévisibles (météo, ravageurs, etc.), mais aussi face à l'essor des nouvelles technologies dans le secteur (*GPS*, agriculture de précision, etc.) (Chambers et Thrupp, 1994). Ils disposent d'un savoir-faire et de connaissances de terrain. Leur implication dans les étapes de la conception des innovations peut permettre de limiter les blocages de leur mise en place. Cependant, malgré la multiplication de travaux de recherche et de développement s'appuyant sur ces approches participatives (Réseau Mixte technologique « Système de culture innovants »³, réseau DEPHY Ecophyto⁴, etc.), les systèmes de culture innovants restent peu représentés sur le territoire. Il semble donc que des blocages individuels demeurent. En effet, en fonction de leur contexte de production et de leur expérience, les exploitants développent des préférences pour l'innovation elle-même. Ces préférences ne sont pas directement observables pour le chercheur, aussi, différentes méthodes pour les évaluer ont vu le jour. Ces méthodes peuvent s'appuyer sur les choix déjà effectués par les individus, leurs préférences révélées, ou lorsque l'on ne peut pas disposer de données, comme dans le cas de l'adoption d'innovations, grâce aux préférences déclarées.

La réflexion sur les préférences pour l'innovation a débuté dans le domaine de la psychologie et de l'économie de la consommation (Thurstone, 1927, Luce, 1959, Marschak, 1960). Les travaux de Lancaster formalisent une nouvelle théorie du consommateur en étudiant ses préférences face aux biens consommés (Lancaster, 1966). Cette approche se fonde sur la notion des caractéristiques des biens. Il postule que le consommateur retire sa satisfaction ou son utilité non pas de la consommation du bien lui-même mais de celle de ses attributs. Ils développent ainsi des préférences pour les caractéristiques du bien. La *Random Utility Theory* (*RUT*) formalise un cadre théorique pour analyser le comportement de choix des individus et évaluer leurs préférences (McFadden, 1973). Des méthodes de modélisation des choix (*choice modelling*), basées sur la *RUT*, permettent d'évaluer la valeur accordée par les individus aux caractéristiques du bien grâce à des mises en situation hypothétiques de choix (Louviere *et al.*, 2000).

La *RUT* se base sur quatre hypothèses (McFadden, 1974, Train, 2009). Premièrement, l'individu fait son choix entre différentes alternatives (ou biens) qui composent un ensemble fini de choix (*choice set*). Deuxièmement, pour chaque alternative l'individu détermine l'utilité qu'il en retire, son utilité perçue, et choisit l'alternative qui la maximise (maximisation de l'utilité espérée). Troisièmement, l'utilité perçue dépend des caractéristiques ou attributs de l'alternative. Enfin, quatrièmement, comme l'utilité perçue ne peut pas être directement observée par le chercheur, il existe un terme aléatoire d'erreur dans son évaluation. Dans la *RUT*, on traite donc l'utilité comme une variable aléatoire. L'utilité perçue V_{ij} d'une alternative j parmi le *choice set* J par l'individu i est la somme de deux termes (2). D'une part un terme d'utilité observée, U_{ij} , qui est une fonction linéaire des attributs de l'alternative et des caractéristiques de l'individu, observable par le chercheur. D'autre

³ Réseau Mixte technologique « Système de culture innovants » (RMT SdCI) est un réseau qui concerne la mise au point de systèmes de culture innovants répondant aux enjeux du développement durable. Il cherche à développer un réseau de compétences, basé sur des références techniques et scientifiques mais aussi sur des travaux et échanges interactifs entre experts - chercheurs, conseillers, enseignants et agriculteurs.
(<http://agriculture.gouv.fr/rmt-sdci-systemes-de-culture-innovants>)

⁴ Le réseau DEPHY Ecophyto (Démonstration Expérimentation Production de références sur les systèmes économes en pHytosanitaires) est un dispositif de production de référence et de démonstration composé de groupes d'exploitations
(<http://agriculture.gouv.fr/rejoignez-le-reseau-de-fermes-dephy-ecophyto>)

part, un terme stochastique d'erreur, ε_{ij} , qui capture tous les facteurs non observables, comprenant des caractéristiques de l'individu ou de l'alternative, qui jouent sur la décision de l'individu (Walker et Ben-Akiva, 2002).

$$V_{ij} = U_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

Du fait de la présence d'un élément non observable composant l'utilité des individus, il est nécessaire de faire des hypothèses sur la distribution de ce paramètre au sein de la population pour estimer les préférences des individus. Les propriétés des modèles de choix utilisés sont donc liées à la distribution du terme stochastique. Le principal axiome est l'indépendance des alternatives non pertinentes (*Independance of Irrelevant Alternative (IIA)*). Celui-ci implique que la probabilité de choisir une alternative plutôt qu'une autre dans le *choice set* n'est pas affectée par la présence ou l'absence d'une autre alternative additionnelle. Cette propriété de l'*IIA* implique que le composant aléatoire de l'utilité, ε_{ij} , est Indépendant Identiquement Distribué (*IID*) entre les alternatives. Parmi les distributions possibles, la plus utilisée dans les méthodes d'analyse des choix est une distribution des valeurs extrêmes de type I (Louviere *et al.*, 2000). Parmi les modèles de choix, le *logit* multinomial ou *logit* conditionnel est le plus utilisé (McFadden, 1973, McFadden, 1974). Dans la formalisation de Mac Fadden il y a deux axiomes supplémentaires. L'axiome de positivité qui postule que, en fonction des caractéristiques socio-économiques de l'individu et des alternatives dans le *choice set*, la probabilité de choisir une alternative parmi le *choice set* est strictement supérieure à 0. Il ajoute une hypothèse liée à l'effet du *choice set* lui-même : *irrelevance of alternative set effect axiom*. Il stipule qu'il n'est pas possible d'identifier l'effet du *choice set* lui-même sans une réplication des choix auprès des tous les individus. A partir de ces différentes propriétés, la probabilité que l'individu i choisisse l'alternative j au sein du *choice set* J peut être exprimée :

$$P_{ij} = \frac{e^{U_{ij}}}{\sum_{j=1}^J e^{U_{ij}}} \quad (3)$$

U_{ij} , est une fonction linéaire et additive des K attributs qui détermine l'utilité de l'alternative j .

$$U_{ij} = \sum_{k=1}^K \beta_{jk} X_{jki} \quad (4)$$

Avec β_{jk} le vecteur des paramètres des K attributs. Le vecteur des variables explicatives, X_{jki} , est le comprend les attributs et les caractéristiques socio-économiques de l'individu i .

A partir du modèle *logit* multinomial, différents modèles ont été développées. Ils répondent à des limites axiomatiques du *logit* multinomial (Cascetta, 2009). On peut ainsi noter, d'une part, parmi les modèles de *General Extrem Value (GEV)*, le *logit* emboité (*Nested logit*) qui permettent de prendre en compte l'interdépendance des décisions (McFadden, 1978, Walker et Ben-Akiva, 2002) et d'autre part, les modèles *logit* à coefficients aléatoires (*Mixed multinomial logit*), qui permettent de se libérer de la propriété d'*IIA* et de prendre en compte l'hétérogénéité des préférences au sein d'un échantillon (Revelt et Train, 1998).

La formalisation de la théorie de l'utilité aléatoire a permis de concevoir des méthodes de modélisation des choix pour révéler les préférences des individus. Ces méthodes ont été majoritairement mises en œuvre en économie de l'environnement ou du transport et dans le marketing (Louviere, 1981, Boxall *et al.*, 1996, Adamowicz *et al.*, 1998, Hanley *et al.*, 1998, Alpizar *et al.*, 2001, Birol *et al.*, 2006). En économie agricole, elles permettent d'analyser, par exemple, les préférences des agriculteurs pour des politiques publiques (Broch et Vedel, 2012, Kuhfuss *et al.*, 2014, Kuhfuss *et al.*, 2015) ou pour les caractéristiques des productions (Baidu-Forson *et al.*, 1997, Tano *et al.*, 2003, Makokha *et al.*, 2007, Asrat *et al.*, 2010, Blazy *et al.*, 2011). Dans notre étude, la méthode du *choice modelling* apparaît comme particulièrement adaptée pour analyser le comportement d'adoption de systèmes de culture innovants. D'une part l'agriculteur fait face à des innovations complexes et il semble difficile que l'exploitant, tout comme le chercheur, soit capable d'évaluer l'utilité globale qu'il peut en retirer. Il base donc son choix sur les caractéristiques qui définissent le système de culture innovant. D'autre part, en tant que consommateur de l'innovation, développe des préférences pour les caractéristiques de l'innovation proposée (Useche *et al.*, 2013). Ces préférences affectent son choix et peuvent expliquer le rejet de certaines innovations malgré une conception participative. Le *choice modelling* nous permet donc de révéler les préférences et d'évaluer conjointement, l'effet de chacune des caractéristiques du système de culture innovant sur le choix d'adoption (Ariksson et Öberg, 2008).

2) Objectifs et structure de la thèse

2.1) Questions de recherche

Cette thèse s'intéresse aux déterminants de l'adoption d'innovations par les agriculteurs. Il existe aujourd'hui une littérature abondante sur l'adoption d'innovations par les agriculteurs. Le lien étroit entre adoption et risque est au centre de nombreuses recherches. Cependant, il existe peu d'études empiriques traitant intégralement des facteurs liés au risque (Feder *et al.*, 1985). S'il est aujourd'hui admis que l'aversion au risque des agriculteurs limite l'adoption d'innovations agricoles, il existe peu de travaux qui s'intéressent au rôle des perceptions du risque en raison des difficultés à les observer et les mesurer avec précision. Des travaux récents ont pourtant mis en évidence le rôle des perceptions dans les choix de production des agriculteurs (Adesina et Baidu-Forson, 1995, Menapace *et al.*, 2013). Face à l'évolution du contexte et des pratiques de production agricole, les innovations aujourd'hui proposées aux exploitants céréaliers sont de plus en plus complexes. Il s'agit d'innovations systémiques, de type agroécologique, pour lesquelles les agriculteurs n'ont que peu d'informations. En fonction de leurs connaissances et des informations disponibles, ils développent des perceptions et des préférences pour l'innovation. Il apparaît donc nécessaire d'évaluer les déterminants liés à l'innovation elle-même. Les méthodes de *choice modelling* permettent aujourd'hui d'évaluer le rôle des préférences dans le processus d'adoption. Par ailleurs, contrairement aux préférences face au risque, qui restent constantes dans le temps, les perceptions et les préférences pour les innovations peuvent, elles, être modifiées par des facteurs extérieurs. L'apport d'information ou l'acquisition de compétences par les agriculteurs peuvent les faire évoluer. Mieux appréhender le rôle de ces déterminants dans le processus d'adoption pourrait permettre de faciliter l'adoption des SdCi et d'éclairer les chercheurs et les organismes de développement quant à leur promotion.

Ainsi, dans ce travail de thèse, nous nous intéressons aux facteurs qui peuvent influencer le choix d'adoption des agriculteurs en nous concentrant sur le rôle des perceptions et des préférences vis-à-

vis de l'innovation. Nous appliquons cette approche au choix d'adoption de systèmes de culture innovants par des céréaliers du Sud-Ouest de la France. Les deux questions de recherche que nous allons plus particulièrement investir sont les suivantes : Quel rôle jouent les perceptions du risque dans les choix de production des agriculteurs ? Comment les préférences et les perceptions de l'innovation par les agriculteurs affectent leur choix d'adoption ?

2.2) Structure de la thèse

La thèse comprend cinq chapitres. Les deux premiers s'intéressent au positionnement, le contexte et la méthodologie de la thèse. Les trois chapitres suivants présentent les résultats empiriques des travaux de thèse.

Le Chapitre I est une revue de la littérature sur les déterminants de l'adoption. Il s'agit d'un article en anglais présenté lors du Congrès de l'*European Association of Agricultural Economics* en 2014 et faisant l'objet d'un *working paper* de l'INRA. Cette revue présente les déterminants étudiés dans la littérature récente sur l'adoption d'innovations agroécologiques. Elle met en évidence l'importance des déterminants non observables, telles que les perceptions et les préférences, dans l'analyse de la décision d'adoption d'innovation par les agriculteurs.

Dans le Chapitre II, nous décrivons en détail le terrain d'étude de la thèse. Nous détaillons les caractéristiques de la zone ainsi que les systèmes de culture actuellement représentatifs de ce territoire. A partir de cet état des lieux, nous présentons ensuite les enjeux de ces systèmes et les innovations choisis pour y répondre. La démarche de conception des questionnaires d'enquête est ensuite détaillée. Les questionnaires ont pour objectif de collecter tous les déterminants qui peuvent affecter la décision d'adoption des agriculteurs. A partir de la revue de littérature du Chapitre I, les déterminants socio-économiques à collecter ont été sélectionnés. Nous détaillons ensuite les méthodes de révélation des préférences et des perceptions mise en œuvre dans ce travail de thèse afin d'évaluer l'impact des déterminants non observables.

Le Chapitre III présente les résultats sur le comportement face au risque des agriculteurs enquêtés répondant à la première question de recherche : « Quel rôle jouent les perceptions du risque dans les choix des agriculteurs ? ». Nous nous sommes plus particulièrement intéressés aux perceptions des principaux risques auxquels les agriculteurs doivent actuellement faire face : le risque de production et le risque de marché. Nous étudions ensuite le lien entre l'exposition au risque perçue des agriculteurs et leur mise en place d'outils de gestion du risque. Deux instruments sont analysés : la stratégie de commercialisation et la diversification agronomique.

Les deux chapitres suivants sont dédiés à la seconde question de recherche : « Comment les préférences et les perceptions de l'innovation par les agriculteurs affectent leur choix d'adoption ? ». Ils décrivent les résultats obtenus sur les préférences des agriculteurs grâce à la méthode du *choice modelling*. Chacun des deux chapitres se concentre sur un système de culture différent, l'un de production de blé dur et l'autre de production de maïs.

Le Chapitre IV s'intéresse particulièrement à l'hétérogénéité des préférences pour les caractéristiques de l'innovation. Il s'agit d'évaluer les préférences pour les caractéristiques de l'innovation au sein d'un échantillon d'agriculteurs homogènes, producteurs de blé dur. Nous mesurons, dans un premier temps, le poids des attributs monétaires et non monétaires dans le choix d'adoption et calculons ensuite un consentement à payer pour chacun d'eux. Cette section du

chapitre est issue d'un article soumis dans une revue à comité de lecture. D'autre part, nous investiguons la sensibilité des individus face aux attributs de l'innovation. Les déterminants socioéconomiques affectant, d'une part, le choix d'adoption et, d'autre part, l'hétérogénéité des préférences pour les caractéristiques de l'innovation sont étudiés.

Dans le Chapitre V, nous nous intéressons au comportement des agriculteurs face à un changement de contexte de production. Nous étudions le comportement d'adoption d'agriculteurs producteurs de maïs face à un contexte de production restrictif. Les préférences des exploitants vis-à-vis des caractéristiques de leur contexte de production sont évaluées. Nous analysons ensuite, l'effet des conditions et des contraintes de production actuelle sur les résultats de l'expérience *de choice modelling*.

Enfin une partie conclusive permet de synthétiser et de discuter les principaux résultats de ce travail de thèse. Nous abordons aussi les limites de ce travail ainsi que ses implications pour les organismes de recherche et de développement.

Bibliographie

- Adamowicz, W., Boxall, P., Williams, M., Louviere, J., 1998. Stated Preference Approaches for Measuring Passive Use Values: Choice Experiments and Contingent Valuation. *American Journal of Agricultural Economics* 80: 64-75.
- Adesina, A. A., Baidu-Forson, J., 1995. Farmers' perceptions and adoption of new agricultural technology: evidence from analysis in Burkina Faso and Guinea, West Africa. *Agricultural Economics* 13: 1-9.
- AEAG, 2014. Rapport Final Garonne 2050 : Etude prospective sur les besoins et les ressources en eau, à l'échelle du bassin de la Garonne. Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : <http://www.eau-adour-garonne.fr/fr/grands-dossiers/la-garonne-2050.html>.
- Agreste, 2008. Les rendements du blé et du maïs ne progressent plus Consulté le : 25/01/2018, Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/primeur210.pdf>.
- Agreste, 2013. Plafonnement des rendements des céréales à paille Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R8313A22.pdf>.
- Alpizar, F., Carlsson, F., Martinsson, P., 2001. Using Choice Experiments for Non-Market Valuation.
- Alriksson, S., Öberg, T., 2008. Conjoint analysis for environmental evaluation. *Environmental Science and Pollution Research* 15: 244-257.
- Altieri, M. A., Rosset, P., 1996. Agroecology and the conversion of large-scale conventional systems to sustainable management. *International Journal of Environmental Studies* 50: 165-185.
- Asrat, S., Yesuf, M., Carlsson, F., Wale, E., 2010. Farmers' preferences for crop variety traits: Lessons for on-farm conservation and technology adoption. *Ecological Economics* 69: 2394-2401.
- Baidu-Forson, J., Ntare, B. R., Waliyar, F., 1997. Utilizing conjoint analysis to design modern crop varieties: empirical example for groundnut in Niger. *Agricultural Economics* 16: 219-226.
- Binswanger, H. P., Sillers, D. A., 1983. Risk aversion and credit constraints in farmers' decision-making: A reinterpretation. *The Journal of Development Studies* 20: 5-21.
- Birol, E., Karousakis, K., Koundouri, P., 2006. Using economic valuation techniques to inform water resources management: A survey and critical appraisal of available techniques and an application. *Science of The Total Environment* 365: 105-122.
- Blazy, J.-M., Carpentier, A., Thomas, A., 2011. The willingness to adopt agro-ecological innovations: Application of choice modelling to Caribbean banana planters. *Ecological Economics* 72: 140-150.
- Bocquého, G., Jacquet, F., Reynaud, A., 2014. Expected utility or prospect theory maximisers? Assessing farmers' risk behaviour from field-experiment data. *European Review of Agricultural Economics* 41: 135-172.
- Bougherara, D., Gassmann, X., Piet, L., Leveau, V., 2012. Mesure de l'aversion au risque des agriculteurs de Vivescia. Premiers résultats de l'enquête commune INRA-Arvalis.
- Boxall, P. C., Adamowicz, W. L., Swait, J., Williams, M., Louviere, J., 1996. A comparison of stated preference methods for environmental valuation. *Ecological Economics* 18: 243-253.
- Broch, S. W., Vedel, S. E., 2012. Using Choice Experiments to Investigate the Policy Relevance of Heterogeneity in Farmer Agri-Environmental Contract Preferences. *Environmental and Resource Economics* 51: 561-581.
- Butault, J.-P., Dedryver, C.-A., Gary, C., Guichard, L., Jacquet, F., Meynard, J. M., Nicot, P., Pitrat, M., Reau, R., Sauphanor, B., 2010. *Synthèse du rapport d'étude Écophyto R&D: quelles voies pour réduire l'usage des pesticides?* INRA Editions.
- Cascetta, E., 2009. *Random Utility Theory*, in *Transportation Systems Analysis*. Springer US.
- CCE, 2009. Livre blanc de la Commission des Communautés Européennes : L'adaptation au changement climatique : le défi pour l'agriculture et les zones rurales européennes. Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52009SC0417&from=fr>.
- Chambers, R., Thrupp, L. A., 1994. *Farmer first: farmer innovation and agricultural research*. KARTHALA Editions.

- Chavas, J.-P., Chambers, R. G., Pope, R. D., 2010. Production Economics and Farm Management: a Century of Contributions. *American Journal of Agricultural Economics* 92: 356-375.
- Christensen, C., 2013. *The innovator's dilemma: when new technologies cause great firms to fail*. Harvard Business Review Press.
- Couture, S., Reynaud, A., Dury, J., 2010. Farmer's risk attitude: Reconciling stated and revealed preference approaches?, *Fourth World Congress of Environmental and Resource Economists*, Montreal, Canada.
- Dohmen, T., 2005. Individual risk attitudes: New evidence from a large, representative, experimentally-validated survey. IZA Discussion Papers.
- Dohmen, T., Falk, A., Huffman, D., Sunde, U., Schupp, J., Wagner, G. G., 2011. Individual risk attitudes: Measurement, determinants, and behavioral consequences. *Journal of the European Economic Association* 9: 522-550.
- Eckel, C. C., Grossman, P. J., 2008. Forecasting risk attitudes: An experimental study using actual and forecast gamble choices. *Journal of Economic Behavior & Organization* 68: 1-17.
- Feder, G., Just, R. E., Zilberman, D., 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic development and cultural change* 33: 255-298.
- Feder, G., Umali, D. L., 1993. The adoption of agricultural innovations: A review. *Technological Forecasting and Social Change* 43: 215-239.
- Franken, J. R. V., Pennings, J. M. E., Garcia, P., 2014. Measuring the effect of risk attitude on marketing behavior. *Agricultural Economics* 45: 525-535.
- Gassmann, X., 2014. *Elicitation Des Préférences Des Agricultures Pour Le Risque Et L'ambiguïté Par Une Approche Expérimentale*. These Université Rennes I.
- Hanley, N., Wright, R. E., Adamowicz, V., 1998. Using choice experiments to value the environment. *Environmental and Resource Economics* 11: 413-428.
- Hardaker, J., Huirne, R., Anderson, J., Lien, G., 2004. *Coping with risk in agriculture*. CABI Publishing.
- Harrison, G. W., Lau, M. I., Rutström, E. E., 2007. Estimating Risk Attitudes in Denmark: A Field Experiment. *Scandinavian Journal of Economics* 109: 341-368.
- Hellerstein, D., Higgins, N., Horowitz, J., 2013. The predictive power of risk preference measures for farming decisions. *European Review of Agricultural Economics*.
- Henderson, R. M., Clark, K. B., 1990. Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative science quarterly*: 9-30.
- Hill, S. B., MacRae, R. J., 1996. Conceptual framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 7: 81-87.
- Holt, C. A., Laury, S. K., 2002. Risk Aversion and Incentive Effects. *The American Economic Review* 92: 1644-1655.
- Kahneman, D., 2003. A Psychological Perspective on Economics. *The American Economic Review* 93: 162-168.
- Kahneman, D., Tversky, A., 1979. Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. *Econometrica* 47: 263-291.
- Knight, F. H., 1924. The limitations of scientific method in economics. *The trend of economics*: 229-267.
- Kuhfuss, L., Préget, R., Thoyer, S., 2014. Préférences individuelles et incitations collectives: quels contrats agroenvironnementaux pour la réduction des herbicides par les viticulteurs? *Revue d'Études en Agriculture et Environnement* 95: 111-143.
- Kuhfuss, L., Préget, R., Thoyer, S., Hanley, N., 2015. Nudging farmers to enrol land into agri-environmental schemes: the role of a collective bonus. *European Review of Agricultural Economics*: jbv031.
- Lancaster, K. J., 1966. A new approach to consumer theory. *The journal of political economy* 74: 132-157.
- Le Buanec, B., 1999. Diversité génétique des variétés de blé tendre cultivées en France au cours du vingtième siècle. Evolution variétale, données techniques et économiques. *Comptes rendus de l'académie d'agriculture française* 85: 37-53.

- Le Gal, P.-Y., Dugué, P., Faure, G., Novak, S., 2011. How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agricultural Systems* 104: 714-728.
- Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Souchère, V., Alberola, C., Ménassieu, J., 2009. *Agronomy for sustainable agriculture: a review*, in *Sustainable Agriculture*. Springer.
- Liu, E. M., 2013. Time to change what to sow: Risk preferences and technology adoption decisions of cotton farmers in China. *Review of economics and statistics* 95: 1386-1403.
- Louviere, J. J., 1981. A conceptual and analytical framework for understanding spatial and travel choices. *Economic Geography*: 304-314.
- Louviere, J. J., Hensher, D. A., Swait, J. D., 2000. *Stated choice methods: analysis and applications*. Cambridge University Press.
- Luce, R. D., 1959. On the possible psychophysical laws. *Psychological review* 66: 81.
- Makokha, S. N., Karugia, J. T., Staal, S. J., Oluoch-Kosura, W., 2007. Valuation of cow attributes by conjoint analysis: A case study of Western Kenya. *Afr. J. Agric. Resour. Econ* 1: 95-113.
- Marra, M., Pannell, D. J., Abadi Ghadim, A., 2003. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve? *Agricultural Systems* 75: 215-234.
- Marschak, J., 1960. *Binary-choice constraints and random utility indicators*, in *Economic Information, Decision, and Prediction*. Springer.
- McFadden, D., 1973. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. *Université de Berkeley*.
- McFadden, D., 1974. The measurement of urban travel demand. *Journal of public economics* 3: 303-328.
- McFadden, D., 1978. Modelling the choice of residential location. *Institute of Transportation Studies*.
- Menapace, L., Colson, G., Raffaelli, R., 2013. Risk Aversion, Subjective Beliefs, and Farmer Risk Management Strategies. *American Journal of Agricultural Economics* 95: 384-389.
- Mercer, D. E., 2004. Adoption of agroforestry innovations in the tropics: A review. *Agroforestry Systems* 61-62: 311-328.
- Meynard, J., Aggeri, F., Coulon, J., Habib, R., Tillon, J., 2006. Recherches sur la conception de systèmes agricoles innovants. *Rapport du groupe de travail*.
- Musser, W. N., Patrick, G. F., Eckman, D. T., 1996. Risk and grain marketing behavior of large-scale farmers. *Review of agricultural Economics*: 65-77.
- ONU, 2015. ONU : la population mondiale devrait atteindre 9,6 milliards en 2050 Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : <http://www.un.org/apps/newsFr/storyF.asp?NewsID=30521>.
- Pennings, J. M. E., Garcia, P., 2001. Measuring producers' risk preferences: a global risk-attitude construct. *American Journal of Agricultural Economics* 83: 993-1009.
- Petit, M., Reau, R., Dumas, M., Moraine, M., Omon, B., Josse, S., 2012. Mise au point de systèmes de culture innovants par un réseau d'agriculteurs et production de ressources pour le conseil. *Innovations agronomiques* 20: 79-100.
- Prokopy, L. S., Floress, K., Klotthor-Weinkauff, D., Baumgart-Getz, A., 2008. Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation* 63: 300-311.
- Ramsey, F. P., 1931. Truth and probability (1926). *The foundations of mathematics and other logical essays*: 156-198.
- Reau, R., Doré, T., 2008. *Systèmes de culture innovants et durables: quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer?* Educagri Editions.
- Revelt, D., Train, K., 1998. Mixed logit with repeated choices: households' choices of appliance efficiency level. *Review of economics and statistics* 80: 647-657.
- Reynaud, A., Couture, S., 2012. Stability of risk preference measures: results from a field experiment on French farmers. *Theory and Decision* 73: 203-221.
- Rosset, P. M., Altieri, M. A., 1997. Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society & Natural Resources* 10: 283-295.
- Savage, L., 1972. *The foundations of statistics*. DoverPublications. com.

- Schumpeter, J. A., Fain, G., Schumpeter, J. A., 1951. *Capitalisme, socialisme et démocratie*. Payot.
- Sebillotte, M., 1978. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*.
- Sherrick, B. J., Barry, P. J., Ellinger, P. N., Schnitkey, G. D., 2004. Factors influencing farmers' crop insurance decisions. *American Journal of Agricultural Economics* 86: 103-114.
- Tanaka, T., Camerer, C. F., Nguyen, Q., 2010. Risk and Time Preferences: Linking Experimental and Household Survey Data from Vietnam. *American Economic Review* 100: 557-71.
- Tano, K., Kamuanga, M., Faminow, M. D., Swallow, B., 2003. Using conjoint analysis to estimate farmer's preferences for cattle traits in West Africa. *Ecological Economics* 45: 393-407.
- Thurstone, L. L., 1927. Psychophysical analysis. *The American journal of psychology*: 368-389.
- Train, K., 2009. *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge university press.
- Useche, P., Barham, B. L., Foltz, J. D., 2013. Trait-based Adoption Models Using Ex-Ante and Ex-Post Approaches. *American Journal of Agricultural Economics* 95: 332-338.
- von Neumann, J., Morgenstern, O., 1944. Theory of Games and Economic Behavior (1944). *Nature* 246: 15-18.
- Walker, J., Ben-Akiva, M., 2002. Generalized random utility model. *Mathematical Social Sciences* 43: 303-343.
- Weber, E. U., Blais, A.-R., Betz, N. E., 2002. A domain-specific risk-attitude scale: Measuring risk perceptions and risk behaviors. *Journal of behavioral decision making* 15: 263-290.
- Weber, E. U., Milliman, R. A., 1997. Perceived Risk Attitudes: Relating Risk Perception to Risky Choice. *Management Science* 43: 123-144.

Chapitre I

FARMERS' INNOVATION ADOPTION BEHAVIOUR: ROLE OF PERCEPTIONS AND PREFERENCES

SOMMAIRE

I.1) Introduction	38
I.2) Analytical framework for the adoption of innovations.....	39
I.2.1) The individual observable determinants.....	39
I.2.2) The individual unobservable determinants: perceptions and preferences	40
I.3) Overview of the observable determinants affecting adoption.....	40
I.3.1) Endogenous determinants	43
I.3.1.1) Economic and financial determinants.....	43
I.3.1.2) Individual determinants: the farmer's characteristics	44
I.3.2) Exogenous determinants	45
I.3.2.1) Soil-climate and production context determinants	45
I.3.2.2) Institutional and regulatory determinants.....	45
I.3.2.3) Information, communication and extension	46
I.4) Unobservable determinants of adoption: perceptions and preferences	46
I.4.1) Farmers' risk preferences.....	46
I.4.2) Farmers' perceptions and preferences for the innovation's characteristics	48
I.5) Conclusion and proposals	51

Ce chapitre est une revue de littérature sur les déterminants de l'adoption d'innovations par les agriculteurs. Il s'agit d'un article en anglais qui a fait l'objet d'une communication, d'un *working paper* de l'INRA et est soumis dans une revue à comité de lecture.

Résumé

Afin de concilier les enjeux de productivité et de protection de l'environnement, les producteurs céréaliers doivent mettre en place des innovations dites agro-écologiques. Ces innovations sont complexes, combinant des outils agronomiques classiques avec les techniques de production innovantes. L'adoption d'innovations est une source d'incertitude supplémentaire pour les agriculteurs. De nombreuses études ont montré que les déterminants agronomiques, économiques et psychosociaux affectent le processus de décision d'adoption des agriculteurs. Cependant, aucun des déterminants identifiés dans la littérature semblent être communs et applicables à tous les contextes de production. D'autres déterminants, non directement observables influencent la décision d'adoption de l'innovation. Ce document passe en revue la littérature récente afin d'identifier le rôle des déterminants observables et non observables, telles que les perceptions et les préférences individuelles, dans le processus d'adoption de l'innovation agro-écologique.

Mots clefs : adoption, innovation agro-écologique, révélation des préférences, perception, risque

Abstract

One way for grain farmers to reconcile productivity with environmental protection is to adopt agroecological innovations. These innovations are complex, combining classic agronomic tools with innovative production techniques. Adoption of innovations is a source of additional uncertainty. A number of studies have shown that agronomic, economic and psychosocial determinants affect the adoption decision process. However, few of the determinants identified in the literature appear to be common and applicable to all production contexts. Other, non-directly observable determinants influence the innovation adoption decision. This paper reviews the recent literature to identify the role of observable and unobservable determinants, such as individual perceptions and preferences, in the agroecological innovation adoption process.

Keywords: adoption, agroecological innovation, preference valuation, perceptions, risk

I.1) Introduction

Field crop production has known a considerable increase in the last 50 years following the introduction of technological innovations such as varietal improvement and artificial fertiliser and pesticides (FAO, 2013). Agronomists today are designing systemic innovations to address the environmental damage caused by intensive farming and reconcile the protection of natural resources with productivity in order to meet global demographic growth. These innovations combine classic agricultural tools such as longer rotations with innovative production techniques such as precision farming (e.g. agricultural best management practices). Thus, in the field crop sector, innovative cropping systems (ICSs) are designed to optimise cereal production with minimum consumption of chemical inputs. The innovative cropping systems are long crop rotations, defined by a series of sequential crops using suitable technical management for each one. Yet innovation adoption is a source of additional uncertainty for farmers on top of the many inherent risks involved in agricultural production today: price volatility, regulatory constraints, *etc.* Risk aversion has been found to place a significant brake on the adoption of innovations on the farm (Binswanger and Sillers, 1983, Marra *et al.*, 2003, Couture *et al.*, 2010). Other individual agronomic, economic and psychosocial determinants also affect the adoption decision process. A large number of studies are available on the determinants of the adoption of agricultural innovations. However, they do not identify determinants common to all situations due mainly to the heterogeneity of farmers and production contexts (Knowler and Bradshaw, 2007, Prokopy *et al.*, 2008, Baumgart-Getz *et al.*, 2012).

Given the lack of information available on the performances of innovative cropping systems, farmers assess these systems based on their experience and their knowledge. They make their decisions based on their perceptions of the innovation and their own constraints. An innovation perceived by farmers as being riskier therefore stands less chance of being adopted. Moreover, farmers develop preferences for certain innovative characteristics based on their own production context. Farmers with erosion problems will look for cropping systems that make for a minimum of soil erosion. In soil-climate areas subject to regulatory nitrate constraints (nitrate vulnerable zones), farmers will prefer systems that do not require much use of mineral fertilizers. Many studies of innovation adoption behaviour are based on the assumption that the total perceived utility of an innovation corresponds to the sum of the utilities of the innovation's characteristics, in reference to Lancaster's theory (Lancaster, 1966) (Manalo, 1990, Adesina and Zinnah, 1993, Makokha *et al.*, 2007, Asrat *et al.*, 2010).

In the past, studies of the adoption of farming innovations have generally concentrated on the role of individual directly observable determinants in the farmer's decision process. Researchers today are turning their attention to other non-directly-observable determinants such as perceptions and preferences. Perception valuation methods are used to quantify the risk perceived by the farmers. Hence, subjective risk can be measured and its impact on production decision can be weighted (Nelson and Bessler, 1989, Norris and Kramer, 1990, Machina and Schmeidler, 1992, Smith and Mandac, 1995). At the same time, preference valuation methods, initially developed in environmental economics are used to evaluate the role of unobservable determinants associated with preferences in the innovation adoption decision (Adamowicz *et al.*, 1998, Louviere *et al.*, 2000, Hanley *et al.*, 2001, Asrat *et al.*, 2010).

This paper reviews the recent literature about the agroecological innovation adoption process to identify the role played by observable but also unobservable determinants such as perceptions and preferences for the innovation's characteristics. Agroecological innovations gather incremental

innovations in practices (like agricultural best management practices or precision farming) and systemic innovations (for instance organic or integrated farming), both implemented to improve the conservation of natural resources. Adoption here is represented both by the farmer's dichotomous decision to introduce or reject an innovation and the intensity of this adoption, i.e. the share of area covered by the innovation on the farm. The first section briefly presents the microeconomic analytical framework for adoption in agricultural economics. The second section presents a review of the recent literature on the individual observable determinants of innovation adoption in order to identify the most relevant determinants to address the issue of adoption of innovative cropping systems. The third section presents the unobservable determinants of adoption, innovation perceptions and preferences, and the methods used to evaluate them.

1.2) Analytical framework for the adoption of innovations

The adoption of innovations is a separate issue to that of the diffusion of innovations. Although the adoption of innovations has been largely studied by economists (Sunding and Zilberman, 2001), the question of their diffusion was initially taken up by sociologists (Rogers, 1962). Economic studies of adoption focus on the determinants that explain the adoption decision, timeframe and rollout. Concerning the diffusion of innovations, economists address the innovation's penetration rate on its potential market with a focus on groups of individuals (Diederer *et al.*, 2003). Sociological studies have pointed out the importance of proximities, especially geographic, in the diffusion phenomenon (Hagerstrand, 1968). They have also stressed the importance of unobservable determinants in the adoption decision process (Kivlin and Fliegel, 1967).

The purpose of the literature overview presented in this article is to review the adoption determinants largely studied by economists and explore the methodological possibilities available in order to study the unobservable determinants, especially individuals' preferences and perceptions, generally addressed by sociological studies. This focus on the question of the adoption of innovative cropping systems as studied by economics will look mainly at the empirical and econometric literature on the determinants of the adoption of agricultural innovations.

1.2.1) The individual observable determinants

The agroecological innovations studied, with respect to the adoption of innovative cropping systems, are complex. These innovations combine a number of practices and technologies that imply many often-interdependent and intertemporal decisions for the farmer. The decisions entail a subjective trade-off by the farmers and are influenced by many factors endogenous and exogenous to the farmer. There are also interactions to be found between unobservable determinants, such as the farmer's perceptions and preferences, and the observable determinants specific to the farmer and the farm (Feder and Umali, 1993, Marra *et al.*, 2003). The observable determinants cover the innovation's intrinsic characteristics and the factors endogenous and exogenous to the farmer. The innovation's intrinsic characteristics are its "objective" characteristics, i.e. based on tests, experiments and trials and reported by research and extension services (technical advisors and institutes and researchers). These characteristics can also concern price, the crop's physiological requirements, sowing dates, *etc.* The endogenous factors are the farmer and the farm's characteristics (size, level of specialization, age, training, *etc.*). The exogenous factors are uncontrollable factors (regulations and climatic conditions) and partially controllable factors such as access to information and the extent of familiarity with the innovation.

1.2.2) The individual unobservable determinants: perceptions and preferences

Farmers considering introducing an innovation are faced with an uncertain environment. Under the Von Neumann and Morgenstern Expected Utility Theory, farmer's adoption behaviour can be predicted by comparing the expected utility of the available alternatives (von Neumann and Morgenstern, 1944, Marra *et al.*, 2003, Mercer, 2004). Savage resolves some of the expected utility approach's limitations with respect to the definition of the risk probabilities. Individuals form their preferences about events based on subjective probabilities that they transform from objective probabilities. In fact, individuals do not have all the data they need to assess all the alternatives (Savage, 1972). Yet even in uncertainty, individuals make decisions and calculate the expected profit based on their perceptions (Nelson and Bessler, 1989, Norris and Kramer, 1990, Machina and Schmeidler, 1992, Smith and Mandac, 1995, Hardaker and Lien, 2010). Among the approaches of perceptions, we might mention, in other disciplines, sociological studies on reasoned action and planned behaviour (Ajzen, 1991, Ajzen, 2001). These studies seek to identify the connections between individuals' attitudes, their social standards and their perceived control⁵ in a given choice situation (Reimer *et al.*, 2012). Subjectivity in the perception of the innovation can influence the adoption decision process. Essentially, individuals develop preferences with respect to the innovation's characteristics (attributes), which they use to rank their choices. Lancaster's theory is based on this assumption and considers that the total utility of a product corresponds to the sum of the utilities of each of the product's perceived characteristics. This framework, designed to analyze consumer behaviour, is transposed to the producer with the farmer defined as a consumer of agricultural innovations. Farmers have preferences for some of the innovation's characteristics, which may depend on endogenous and/or exogenous factors: production conditions, operating constraints, individual characteristics, *etc.* This theoretical framework has given rise to a number of preference valuation methods, now found quite extensively in studies on the adoption of agricultural innovations (Asrat *et al.*, 2010, Espinosa Goded *et al.*, 2010, Blazy *et al.*, 2011, Beharry-Borg *et al.*, 2013, Kuhfuss *et al.*, 2013). They can be arranged into two categories depending on whether the analysis of preferences is conducted before (stated preference) or after adoption (revealed preferences) (Alriksson and Öberg, 2008). Stated preference methods (contingent valuation, conjoint analysis, discrete choice method *etc.*), are used to estimate adoption before the fact. These methods are more suited to evaluating the potential use of innovative farming methods in cropping systems that are mainly intensive at the time of the study and where the innovation studied is rarely found in use. They evaluate the potential adoption of the innovation and weight the determinants influencing the adoption choice.

1.3) Overview of the observable determinants affecting adoption

At the present time, it is not easy to summarize the many findings reported in the economic literature on the effect of socioeconomic and agronomic determinants on the adoption of agricultural innovations. Some reviews have concentrated on certain types of innovation such as conservation farming (Knowler and Bradshaw, 2007, Prager and Posthumus, 2010) and agricultural best management practices (Prokopy *et al.*, 2008). Others have focused on certain geographic areas such as the United States (Baumgart-Getz *et al.*, 2012) and agroforestry in the tropics (Mercer, 2004). This review looks at recent studies on the adoption of agroecological innovations like innovative

⁵ Perceived behavioural control refers to the individual's resources, his or her own capacities, the opportunities available and the perceived importance of achieving the outcomes (Ajzen 1991)

cropping systems, and more specifically at both incremental innovations in practices (agricultural best management practices and precision farming) and systemic innovations (organic and integrated farming) (Tableau 1).

Tableau 1 : Main observable determinants and their effect on the adoption of innovations in the literature

Author	Innovation	Age	Education	Experience	Information	UAA	Debt
Adesina <i>et al.</i> (2000)	Agroforestry	-	-	-	Sig+	-	-
Anderson <i>et al.</i> (2005)	Organic farming	Sig -	Sig+	-	-	Sig+	-
Baffoe-Asare <i>et al.</i> (2013)	Pest and disease control	Sig+	Sig+	Sig+	Sig+	Sig+	Sig -
Caswell <i>et al.</i> (2001)	Best management practices	-	Sig+	Sig -	Sig+	Sig+	-
Fernandez-Cornejo <i>et al.</i> (2001)	Precision farming	-	Sig+	Sig+	-	Sig+	Sig -
Gedikoglu and McCann (2007)	Conservation farming	Sig -	Sig+	-	-	-	-
Gedikoglu <i>et al.</i> (2011)	Best management practices	Sig+	Sig+	-	-	-	-
Ghazalian <i>et al.</i> (2009)	Best management practices	Sig+	Sig+	-	-	Sig+	-
Gillespie and Davis (2004)	Breeding technologies	-	Sig+	-	-	-	Sig -
Henning and Cardona (2000)	Best management practices	-	Sig+	-	Sig+	Sig+	Sig -
Khanna (2001)	Best management practices	-	Sig+	Sig+	-	Sig+	-
Kim <i>et al.</i> (2005)	Best management practices	-	Sig+	-	Sig+	-	-
Koundouri <i>et al.</i> (2006)	Irrigation technologies	-	-	-	Sig+	-	-
Mariano <i>et al.</i> (2012)	Best management practices	-	Sig+	-	Sig+	Sig+	-
Mzoughi (2011)	Organic farming	-	Sig+	-	-	-	-
Noltze <i>et al.</i> (2012)	Integrated production	-	-	-	Sig+	Sig+	-
Nyaupane and Gillespie (2009)	Best management practices	-	-	Sig+	-	Sig+	-
Pandit <i>et al.</i> (2011)	Precision farming	Sig -	Sig+	-	-	-	-
Paudel <i>et al.</i> (2008)	Best management practices	-	Sig+	-	-	-	Sig -
Paudel <i>et al.</i> (2011)	Precision farming	-	Sig+	-	Sig+	Sig+	-
Rodríguez-Entrena and Arriaza (2013)	Conservation farming	-	-	Sig+	-	Sig+	-
Tosakana <i>et al.</i> (2010)	Conservation practices	-	Sig+	Sig+	-	Sig+	-
Ward <i>et al.</i> (2008)	Best management practices	Sig -	Sig+	-	-	-	-

(Sig +) significantly positive effect, (Sig -) significantly negative effect, (-) non-significant or not studied

1.3.1) Endogenous determinants

1.3.1.1) Economic and financial determinants

The first economic studies conducted by Griliches and then Rosenberg showed the importance of financial factors to technological progress and the adoption of innovations (Griliches, 1957, Rosenberg, 1976). Wealth is seen as a key factor in adoption, firstly due to its effect on risk aversion (due to decreasing relative risk aversion, the wealthier the individual, the more prepared s/he is to take risks). In addition, the level of wealth conditions the investment and enables the individual to bear short-term losses when introducing the innovation. Different wealth indicators are used in the literature: net income (Feder and Umali, 1993, Knowler and Bradshaw, 2007, Rodríguez-Entrena and Arriaza, 2013), social capital (Baffoe-Asare *et al.*, 2013) and turnover (Anderson *et al.*, 2005). Wealth generally has a positive effect on adoption. However, the range of indicators used by the different studies makes it difficult to identify the same causality in the farmer's production choice. A farm may actually have a high turnover and low profitability, which itself does not necessarily have anything to do with the farmer's wealth (Table 2).

Farming is a capital- and investment-intensive sector. The introduction of new technologies may entail new, partially irrecoverable investments, but no studies have as yet been conducted to test this effect (Chavas, 1994, Marra *et al.*, 2003). Recent studies have reported that farmers' debt to asset ratio levels put a brake on the adoption of innovations, irrespective of whether the innovations call for specific investments. Paudel *et al.* find that farmers' debt levels significantly and positively affect the adoption of agricultural best management practices, which do not necessarily require any material or financial investment (Paudel *et al.*, 2008). Sauer and Zilberman also show that a high level of debt holds back the adoption of technological innovations that tie up large sums of money such as automatic milking machines (Sauer and Zilberman, 2009). This finding is magnified in developing countries where farmers are less able to take out loans (Baffoe-Asare *et al.*, 2013).

A farm's wealth can be approximated by looking at its physical size as given by the utilized agricultural area (UAA). Feder shows that UAA has a positive effect on the adoption of high yield crop varieties by cash crop farmers (Feder 1980). In more recent studies, Foltz and Chang show that hormone use to increase cattle productivity rises with UAA (Foltz and Chang, 2002). The same findings are made for the adoption of innovations such as innovative and conservation practices in other agricultural sectors (Featherstone and Goodwin, 1993, Blazy *et al.*, 2011, Mariano *et al.*, 2012, Rodríguez-Entrena and Arriaza, 2013). Farm physical size is an indicator of the farmer's wealth. It therefore stands to reason that the effect of UAA on adoption will be the same as the effect of wealth on adoption. Yet a larger farm might in some cases require more labour resources to work it. Some farmers may find it hard to introduce innovations on their farms if they imply a larger workload. Anderson *et al.*, for example, find that an increase in farm size has a negative effect on the adoption of organic farming probably because converting the entire farming system would call for a great deal of extra time in terms of farmer training and supervision (Anderson *et al.*, 2005).

Some studies have sought to gain a more accurate estimate of the effect that land, as capital (i.e. counted in the fixed assets), has on adoption by looking at the proportion of area owned to the total area farmed. Ownership generally has a positive effect on the adoption of innovations (Caswell *et al.*, 2001). There is less point in tenant farmers investing in innovations with their long-term outcomes when there is no guarantee that they will be farming the land in the long term. However, Soule *et al.*

point out that ownership also entails more financial constraints for the farmer, which could put a brake on adoption (Soule *et al.*, 2000). This determinant's effect hence remains ambiguous in the literature.

Off-farm diversification of household earnings also plays an ambiguous role in the adoption of new farming practices and technologies. Gedikoglu advances a number of hypotheses. Off-farm work is thought to introduce agricultural/non-agricultural competition for the labour factor, which then puts a brake on the adoption of innovations (D'Souza *et al.*, 1993, Sauer and Zilberman, 2009, Rodríguez-Entrena and Arriaza, 2013). Conversely, it is posited that off-farm employment facilitates the adoption of capital-intensive innovations through the financial resources it generates (Gedikoglu and McCann, 2007, Gedikoglu *et al.*, 2011).

Table 2: Main indicators of wealth

Author	Year	Innovation	Wealth indicator
Anderson <i>et al.</i>	2005	Organic farming	Social capital
Baffoe-Asare <i>et al.</i>	2013	Pest and disease control	Social capital
Blazy <i>et al.</i>	2011	Agroecological innovation	Income
Gedikoglu and McCann	2007	Conservation practices	Turnover
Gedikoglu <i>et al.</i>	2011	Best management practices	Social capital
Knowler and Bradshaw	2007	Conservation farming	Income & turnover
Koundouri <i>et al.</i>	2006	Irrigation technology	Turnover, social capital & income
Mariano	2012	Integrated farming	Income
Mzoughi	2011	Organic farming	Income
Pandit	2011	Precision farming	Turnover & income
Paudel <i>et al.</i>	2008	Best management practices	Income
Rodríguez and Arriaza	2013	Conservation farming	Turnover

1.3.1.2) Individual determinants: the farmer's characteristics

Some of the farmer's characteristics such as age, work experience and level of education can have an effect on the introduction of an innovation. However, a distinction needs to be made between situations where the decision-making unit is a single person and situations of farm co-management in the form of corporate farming (collective farming groupings, farm corporations, *etc.*). In this latter case, decisions are the result of a group consensus and it is hard to isolate and identify the individual determinants of adoption (Pannell *et al.*, 2006).

The farmer's level of education is generally considered to foster the adoption of human capital-intensive innovations, the more highly educated farmers have more information to better evaluate the innovation and thus, reduce their level of uncertainty (Kebede *et al.*, 1990, Feder and Umali, 1993, Wu and Babcock, 1998, Foltz and Chang, 2002, Barham *et al.*, 2004, Abdulai and Huffman, 2005, Sauer and Zilberman, 2009). Although some studies find no significant links between education and adoption (Knowler and Bradshaw, 2007).

Unlike education, and access to information by extension, the role of experience is less clear. Some studies find that experience has a positive effect on adoption (Sauer and Zilberman, 2009, Gedikoglu

et al., 2011, Baffoe-Asare *et al.*, 2013). Wu and Babcock's work on three different types of innovations find that experience has contrasting effects. It has a negative effect on the adoption of no-till farming and a positive effect on the local application of fertilizers (Wu and Babcock, 1998). Kebede *et al.* show that experience plays a distinct role depending on the perceived risk. Farming experience facilitates the adoption of innovations that reduce the perceived risk (such as using more pesticides and fertilizer), but it can have the opposite effect on the adoption of innovations that raise the perceived risk (Kebede *et al.*, 1990). Contrasting results are hence found for the effects of experience (Rubas, 2004, Knowler and Bradshaw, 2007, Prokopy *et al.*, 2008). Experienced farmers know their production environment better and can take more risks. Yet the oldest, and consequently most experienced farmers, have a shorter planning timeframe, which does not encourage them to change practices in the long run (Featherstone and Goodwin, 1993, Soule *et al.*, 2000).

Age is generally considered to reduce adoption (D'Souza *et al.*, 1993, Foltz and Chang, 2002, Anderson *et al.*, 2005), since the older farmers have a shorter planning horizon (Abdulai and Huffman, 2005). They therefore place less value on the long-term benefits of innovations. However, young farmers are often subject to tight financial constraints, which can discourage them from investing in a new technology. Lastly, where a successor is present, the farmer's age raises the probability of adopting an innovation because there is a possibility that the farm may be taken over, and the farmer planning horizon gets longer (Rodríguez-Entrena and Arriaza, 2013)

1.3.2) Exogenous determinants

Farmers are repeatedly subject to external constraints that are hard to predict. We distinguish two types of exogenous determinants. The first are external and beyond the farmer's control such as the production context, including soil-climate and regulatory constraints. The second type of determinant can be partially controlled by the farmer such as the information environment, which can be partly changed should the farmer buy or acquire information. Information is referred to here in the broad sense of the term, taken to include communication and extension.

1.3.2.1) Soil-climate and production context determinants

Agronomic and soil-climate determinants can be many and varied, but need to be targeted according to the innovation concerned and the production area (Feder and Umali, 1993). Khanna finds that the production area affects the adoption of site-specific fertilization practices (Khanna, 2001). In field crop areas, soil-climate conditions may constrain the farmers' production choices. Restrictive conditions such as repeated droughts prompt farmers to reject certain innovations for technical reasons (Mariano *et al.*, 2012). However, soil-climate conditions can also facilitate adoption such as the introduction of no-till soil conservation practices in sloping areas open to risks of erosion (Ervin and Ervin, 1982, Caswell *et al.*, 2001). There is such a wide range of production contexts that it is impossible to identify any determinants that play a consistent role, but production constraints generally play a key role in the farmer's innovation adoption decision.

1.3.2.2) Institutional and regulatory determinants

Few findings are available on the effect of regulations on the adoption of innovations. Innovations generally comply with the regulations in force in the different countries concerned. Note, however, that regulations can restrict the number of innovative practices on offer to farmers. In the field crop sector in France, the Water Framework Directive stipulates that winter land cover is required in areas

defined as vulnerable. However, it is prohibited to introduce exclusively leguminous crop vegetative cover to prevent leaching effects when they are destroyed. Hence the regulation means that farmers in vulnerable zones have less leeway in the crops they can choose to grow. Economic studies generally focus on the ex-ante effect of a regulatory change on the development of farming practices. Bougherara and Latruffe study the effect of decoupling CAP payments on the use of idled land (Bougherara and Latruffe 2010). Giannocaro and Berbel assess the effect of alternative policy scenarios on the use of inputs (pesticides, water, *etc.*) by Andalusian farmers. Both of these studies conclude that the farmers have no plans to make any radical changes to land or input use as a reaction to the future changes to the Common Agricultural Policy (Bougherara and Latruffe, 2010, Giannocaro and Berbel, 2013).

1.3.2.3) Information, communication and extension

The information context – both formal (visits from chamber of agriculture extension agents and information from technical centres) and informal (producer networks, forums, *etc.*) – has an effect on innovation adoption (Marra *et al.*, 2003, Barham *et al.*, 2014). The vast majority of studies find that information and extension indicators have a positive effect on innovation adoption (Rubas, 2004, Knowler and Bradshaw, 2007, Prokopy *et al.*, 2008, Prager and Posthumus, 2010). Mariano *et al.* use different indicators to evaluate the farmers' level of information: number of visits from agricultural extension agents, number of trials and number of on-farm demonstrations of trials. They find that each indicator has a positive effect on the adoption of new rice production techniques. Kuhfuss *et al.* point out the importance of local networks in facilitating the signing of agri-environment contracts by wine growers in South-East France (Kuhfuss *et al.*, 2013). Parcell and Gedikoglu develop an analytical model covering cooperation among farmers to explain the adoption of water conservation practices. It shows that cooperation among farmers helps explain adoption behaviour (Parcell and Gedikoglu, 2013). The acquisition of information and experience reduces uncertainty and enables farmers to look at the innovation and the risks more objectively. Information and extension determinants give an idea of individuals' perceptions, but the role of the perceptions themselves remains relatively unexplored since they are hard to evaluate (Hardaker and Lien, 2010).

1.4) Unobservable determinants of adoption: perceptions and preferences

The wide range of farmers and their production contexts partly explains their innovation adoption behaviour. Individuals develop perceptions of and individual preferences, which are not directly observable, based on the observable determinants and their own beliefs. Risk preferences are a vast research topic and it is acknowledged that risk aversion is a major brake in the adoption process (Feder, 1980). However a few studies look into the specific role of risk perceptions in the adoption process (Menapace *et al.*, 2013, Useche *et al.*, 2013). In parallel, farmers also have sensitivity for the innovation itself and develop preferences for the innovation attributes. Various studies use specific preference valuation methods to evaluate preferences. This paragraph gathers the studies about farmers' preferences with a focus on risk perceptions and preferences and perceptions of the innovation.

1.4.1) Farmers' risk preferences

Risk is one of the main factors involved in rejecting innovation (Feder, 1980, Feder and Umali, 1993, Ghadim *et al.*, 2005). Experimental economics methods based on financial lottery games can be used to evaluate the level of an individual's risk aversion. Farmers are routinely exposed to risk due to the

nature of their business. Farmers' risk aversion levels as measured by experimental preference methods vary a great deal in the literature (Binswanger and Sillers, 1983, Harrison *et al.*, 2007, Reynaud and Couture, 2012, Hellerstein *et al.*, 2013). Like all entrepreneurs, farmers are more sensitive to the risk of losses (Bocquého *et al.*, 2014). The level of risk aversion has been shown to be a brake on the adoption of farming innovations (Kebede *et al.*, 1990, Feder and Umali, 1993). However, risk aversion does not alone explain farmers' innovation adoption behaviour (Hellerstein *et al.*, 2013). Farmers actually make their choices based on their risk preferences, but also on the risk perceptions they form. Shapiro *et al.* find that perceptions of yield and price risks explain the adoption of double cropping more than the level of aversion (Shapiro *et al.*, 1992). Very few studies look into the links between risk aversion and risk perception. In their study of orchard farmers in Italy, Menapace *et al.* show that the most risk-averse farmers perceive greater risks of harvest losses (Menapace *et al.*, 2013). However, one needs to look in more detail at the weight of risk perceptions in the overall effect of risk in the production decision.

Yet alongside risk aversion, it remains a large research field to observe and measure individuals' beliefs and accurately evaluate risk perceptions (Nelson and Bessler, 1989, Machina and Schmeidler, 1992). Some studies focus on the perceived sources of risk to explain the adoption behaviour. Greiner *et al.* focus on the main sources of farmers' perceived risks when adopting agricultural best management practices. Their findings show that farmers perceive mainly the risk of drought, which leads them to adopt water conservation best management practices (Greiner *et al.*, 2009). In livestock farming, Flaten *et al.* revealed notable differences between organic and conventional dairy farmers' risk perceptions. All dairy farmers perceived institutional risks as primary sources of risk. However, conventional farmers perceived many sources of risk as more important than organic farmers (Flaten *et al.*, 2005). These two last works are based on farmers' qualitative declarations mostly on Likert-type scale.

Other elicitation methods are currently applied to quantitatively assess risk perceptions (Norris and Kramer, 1990). Direct elicitation methods, i.e. by directly asking farmers about probability levels, can be used to elicit the subjective probabilities on which farmers make their decisions. Several instrumental protocols exist: simple scoring methods (Nelson and Bessler, 1989, Smith and Mandac, 1995), visual impact methods (Hardaker *et al.*, 2004) and exchangeability methods (Cerroni *et al.*, 2012, Menapace *et al.*, 2014). Some studies have looked into the perception of the production risk and especially the yield risk that directly affects the farmer's income. Smith and Mandac estimate the subjective probabilities of yield distributions using direct scoring methods. They then compare these findings with historical data to show that despite similar mean yields, farmers underestimate variance compared with objective data (Smith and Mandac, 1995).

Few studies have considered the role of risk perceptions in the adoption process. Smale *et al.* show that farmers with high expected yield estimates for their current maize production adopt high-yielding varieties less. However, if they perceive a large yield risk, i.e. a large yield variance, then the adoption of new varieties increases (Smale *et al.*, 1994). Similarly, Adesina *et al.* show that new sorghum varieties are more easily adopted if they reduce the perceived yield risk (Adesina and Baidu-Forson, 1995).

Risk perception appears to be key to the decision process, thus the way forward appear to be to more investigate the role of perceptions in the innovation adoption process. Some studies explore

avenues of research for a better understanding of risk perceptions. Menapace *et al.* look into Italian orchard farmers' behaviour in the face of the risk of yield losses. Their findings show that risk perceptions are positively correlated with risk aversion. The more risk averse the individual, the greater his or her perception of the risks of losses (Menapace *et al.*, 2013). Hence, both a higher risk aversion and a higher risk perception reduce innovation adoption.

1.4.2) Farmers' perceptions and preferences for the innovation's characteristics

Farmers act in an uncertain environment. Thus, they have to evaluate the risks linked to the implementation of an innovation before they adopt it. In addition, the level of information and of experience cumulated by farmers influence their risk perceptions and thus their preferences for the innovation. The innovation can be characterized by its attributes (Marra *et al.*, 2003). An innovation will be more likely to be adopted if the farmer sees its relative advantage as positive (Pannell *et al.*, 2006, Tosakana *et al.*, 2010). The role of perceptions in adoption behaviour remains relatively unexplored in the literature to date, since perceptions are hard to measure. Hence, the omission of farmers' evaluation of technology-specific attributes may bias the results of factors conditioning adoption choices (Adesina and Zinnah, 1993).

Sociologists were the first to qualitatively assess the role of perceptions of an innovation in the adoption process (Kivlin and Fliegel, 1967). Economic studies focus on the relative advantage perceived by farmers (effectiveness, profitability, adaptability, *etc.*) in their particular production context (Adesina and Zinnah, 1993, Cary and Wilkinson, 1997). In these economic studies, perceptions are generally evaluated in the form of binary variables where farmers perceive the innovation as worthwhile or not. Pandit *et al.* show that farmers who perceive precision farming as more profitable than their current system adopt the innovation more easily (Pandit *et al.*, 2011, Paudel *et al.*, 2011). Gedikoglu *et al.* find the same results when looking at the adoption of conservation practices (Gedikoglu and McCann, 2007). Other studies find that the perception of the effectiveness of the innovation explains conservation practice adoption behaviour (Tosakana *et al.*, 2010, Abdulai and Huffman, 2014). However, if the farmer perceives an innovation as being inapplicable or unfamiliar, it will not be adopted (Gillespie *et al.*, 2007). Perceptions of the innovation may change with the farmer's acquisition of experience and/or information and these perceptions are closely associated with the perceptions of the risk linked to this innovation.

Based on their perceptions, farmers develop preferences for the characteristics of the innovation that can significantly condition technology adoption decisions. Preference valuation methods enable us to analyse individual preferences and cover both revealed preferences and stated preferences. Revealed preference studies consist in observing current individual decisions in order to assess adoption determinants *ex post*. Stated preferences are evaluated based on the individual's *ex-ante* statements (interviews, surveys, *etc.*). Many studies have used stated preference methods to estimate the monetary value of non-market goods such as the environment and natural resources (Adamowicz *et al.*, 1998, Dachary Bernard, 2004, Birol *et al.*, 2006, Ropars-Collet *et al.*, 2014). In this family of approaches, three main methods are used to evaluate farmers' preferences: conjoint analysis, contingent valuation and discrete choice experiment. Contingent valuation is the most widespread method in environmental economics. It is used to identify the monetary value of non-market goods (air, landscape, *etc.*) (Hanemann, 1994, Vermersch *et al.*, 1995, Hanley *et al.*, 1998). Individuals are asked to directly state how much money they would be willing to pay or accept for a product or to keep the use of a good. The method reconstitutes the individual's demand function

based on a hypothetical contingent market for the good (Qaim and de Janvry, 2003, Krishna and Qaim, 2007, Matuschke *et al.*, 2007, Kim *et al.*, 2008). However, for farmers' adoption analysis, the purpose is not to define a monetary value for the associated public good, but to rank the weight of each of the innovation's characteristics in farmer's preferences which influence his adoption decision process and his general willingness to adopt. Conjoint analysis is commonly used in marketing to assess a product's utility based on its different characteristics (conjoint measurement). Survey respondents are asked to choose between a number of alternatives. Each alternative is defined by identical characteristics with only the levels of the characteristics varying between each alternative. The individuals asked to choose state their preference. This method relies on the theory of the Conjoint Measurement which is purely mathematical and does not concern human behaviour and preferences (Louviere *et al.*, 2010). Conjoint analysis and discrete choice experiments (DCE) are commonly associated because the survey method is the same. Individuals have to choose between alternatives defined by their attributes. However, in contrast to the conjoint analysis, DCE are based on a behaviour theory: the random utility theory. The random utility theory proposes that individuals' utility of each alternative is the sum of the utility of each attribute of the alternative. Various DCE methods are available such as pair-wise comparison, choice experiment, *etc* (Mackenzie, 1993, Adamowicz *et al.*, 1997, Hanley *et al.*, 1998, Birol *et al.*, 2006). These methods seem particularly well-suited to studying complex innovations, such as agroecological innovations, since the innovation can be described on the basis of a set of characteristics (Alriksson and Öberg, 2008). It allows to determine the marginal willingness to pay, i.e. the standardized marginal utility, for each of the characteristics (Useche *et al.*, 2009). The main advantage of DCE is that it places farmers in hypothetical choice situations and tests the effects of many characteristics that might not yet exist. However, care has to be taken to ensure that the scenarios proposed to the farmers remain comprehensible, credible and simple in order to limit hypothetical bias, i.e. a response that the farmer would not make in a real choice situation.

In agricultural economics, these methods have been transposed to analyse farmers' preferences for an innovation's characteristics (see Table 3). They are useful both to define policies to support the change of farming practices and to precise individuals' expectations of the innovations' characteristics. The DCE have been firstly used to evaluate farmers' expectations for agricultural technology considering crops genetics (Useche *et al.*, 2009, Asrat *et al.*, 2010) or livestock genetics (Baidu-Forson *et al.*, 1997, Tano *et al.*, 2003, Makokha *et al.*, 2007). Various authors have also analysed farmers' preferences for agri-environmental contracts to promote the implementation of agroecological innovations and design more effective incentive policies (Espinosa Goded *et al.*, 2010, Broch and Vedel, 2012, Beharry-Borg *et al.*, 2013, Kuhfuss *et al.*, 2013). A small number of studies focus on farming practices or cropping systems, mainly due to the complexity of this type of innovation (Blazy *et al.*, 2011)

Since farmers' adoption decision is often assigned as a binary response (adoption/reject), it is not possible to use classic linear regressions to analyse them statistically. Probit and logit dichotomous choice models are preferred. Multinomial models, such as the multinomial or the ranked probit and logit models, are used to analyse multinomial, ranked and hierarchized responses. To improve the analysis of farmers' preferences, interactions can be included to evaluate the effects of individual characteristics on preferences for the innovation's characteristics (observed preference heterogeneity) (Reynaud and Nguyen, 2012). Yet these models cannot cover unobserved heterogeneity between individuals, which calls for random parameter logit models to introduce

variability into the individual preferences (Useche *et al.*, 2009, Asrat *et al.*, 2010, Broch and Vedel, 2012). In addition, latent class models can address the heterogeneity of preferences by identifying classes of individuals with similar preferences for the innovation (Kuhfuss *et al.*, 2013). The introduction of preference heterogeneity, both observed and unobserved, generally produces more robust models (Blazy *et al.*, 2011).

Some studies do not concentrate solely on analysing the adoption decision, but also look into the intensity of adoption (Adesina and Zinnah, 1993, Noltze *et al.*, 2012). This focus is particularly well suited to situations of systemic agroecological innovation adoption such as best management practices (Rahelizatovo and Gillespie, 2004, Mariano *et al.*, 2012). In this respect, Tobit models and Poisson regression are used to analyse the adoption decision and the rate of adoption. When the innovations studied are a combination of a number of distinct practices (which may be complementary), the farmer may choose to adopt just some of them. Sequential adoption or adoption-by-package models analyse the stepwise adoption of complex innovations (Khanna, 2001, Aldana *et al.*, 2011). Table 3 presents the models used to examine preferences for innovation characteristics in studies on adoption in agriculture.

The investigation of farmers' preferences and perceptions for the innovation appears to be a large research field. The design of valuation method and the constant improvement of the estimation models lead researchers to assess the impact of unobservable factors on the adoption decision for a better understanding of farmers' expectations.

Table 3 : Examples of studies focusing on farmers' preferences for the innovation characteristics

Characteristics studied	Author	Model
Sorghum and rice varieties	Adesina and Baidu-Forson (1995)	Tobit
Crop characteristics	Baidu-Forson <i>et al.</i> (1997)	Ordered probit
Cattle genetics	Tano <i>et al.</i> (2003)	Ordered probit
Cattle genetics	Makokha <i>et al.</i> (2007)	Ordered logit
Crop characteristics	Asrat <i>et al.</i> (2010)	Random parameter logit
Maize varieties	Aldana <i>et al.</i> (2011)	Sequential adoption
Agri-environment contracts	Espinosa Goded <i>et al.</i> (2010)	Random parameter logit
Agri-environment contracts	Broch and Vedel (2012)	Random parameter logit
Agri-environment contracts	Beharry-Borg <i>et al.</i> (2013)	Conditional logit
Agri-environment contracts	Kuhfuss <i>et al.</i> (2013)	Latent class logit
Precision farming	Khanna (2001)	Sequential adoption
Innovative practices	Blazy <i>et al.</i> (2011)	Random parameter logit

1.5) Conclusion and proposals

The body of literature analysing farmers' innovation adoption behaviour is vast. Some studies focus on ex-ante analysis while others concentrate on the ex-post analysis of innovation adoption. The ex-post analyses show the effect of the heterogeneity of farmers and their farms on the rate of innovation adoption. The ex-ante approaches turn up the effect of non-directly-observable determinants such as preferences and perceptions on potential innovation adoption. This paper's review concerns the contributions made by the literature on innovation adoption that show the effect of both observable and unobservable determinants in the farmer's adoption decision process. It also highlights areas that are still relatively unexplored, such as the consideration of individual perceptions.

The analysis of observable determinants using empirical approaches shows that the heterogeneity of farmers and production contexts affects farmers' innovation adoption behaviour. Some determinants appear to foster adoption in all circumstances, such as the farmer's level of education and access to information. Conversely, financial factors and the farmer's age can put a brake on the adoption of innovations. Therefore, large-scale adoption of innovations could be facilitated by making it easier to access local information such as the results of trials near the farmers' farms and providing access to loans for farmers who adopt innovative approaches. However, given the particularities of the farmers' characteristics and their production context, it is still hard today to apply these studies' findings to all types of innovations and all situations.

Other ex-ante analyses of adoption focus on the role of farmers' preferences in a move to identify other factors of heterogeneity that might guide public policies. Farmers are confronted with risks inherent to agricultural production throughout the production cycle, but the introduction of an innovation on the farm implies additional uncertainties. Experimental economics studies show the negative effect of risk aversion on the rate of adoption of innovations and technologies. However, aversion does not alone appear to be able to explain the heterogeneity of farmers' adoption behaviour. The adoption decision is also closely connected with the characteristics of the proposed innovation.

In the current climate, certain agroecological and systemic innovations such as best management practices and innovative cropping systems could potentially meet joint productivity and sustainability objectives. These innovations are complicated to analyse as they are made up of multiple techniques (traditional and innovative), which often interact and may even be complementary. Preference valuation methods break down the innovation by its characteristics (or attributes) and weigh the influence of each of these characteristics in the adoption decision. Alongside the classic monetary characteristics (price and gross margin), other non-monetary characteristics can affect the farmer's adoption choice.

Despite the large number of studies on farmers' behaviour in the face of risk in the literature, the role of perceptions (of the risk and of the innovations' characteristics) in the adoption choice still remains relatively unexplored today. Yet in a situation of incomplete information, as in the case of the adoption of innovations, farmers base their decisions on their perceptions. They look to their experience, their knowledge and the information available to make their choice. Any innovation that the farmer perceives as riskier and bearing no advantage over the current situation will not be adopted. Perceptions are probably key to the farmer's decision process. Whereas perceptions were

initially evaluated qualitatively by sociological studies, quantitative perception valuation methods exist today that can fully integrate perceptions into the analysis of adoption behaviour.

The advances made by analyses of innovation adoption behaviour have driven the analytical models and methods available today to study the effect of different determinants in the adoption process. Taking classic production microeconomics, risk economics and environmental economics methods, it is now possible to conduct the much-needed joint analysis of the influence of both individual observable determinants and unobservable preferences and perceptions in the adoption of innovations. This should clarify the innovation adoption decision process and identify and rank the determinants that influence farmers' behaviour. These findings could be useful to steer the design of agroecological innovations toward innovations with greater adoption potential. They could also be used by governments to adjust their flanking and incentive policies based on the clearer picture they gain of farmers' expectations and attitudes.

References

- Abdulai, A., Huffman, W., 2014. The Adoption and Impact of Soil and Water Conservation Technology: An Endogenous Switching Regression Application. *Land Economics* 90: 26-43.
- Abdulai, A., Huffman, W. E., 2005. The diffusion of new agricultural technologies: The case of crossbred-cow technology in Tanzania. *American Journal of Agricultural Economics* 87: 645-659.
- Adamowicz, W., Boxall, P., Williams, M., Louviere, J., 1998. Stated Preference Approaches for Measuring Passive Use Values: Choice Experiments and Contingent Valuation. *American Journal of Agricultural Economics* 80: 64-75.
- Adamowicz, W., Swait, J., Boxall, P., Louviere, J., Williams, M., 1997. Perceptions versus Objective Measures of Environmental Quality in Combined Revealed and Stated Preference Models of Environmental Valuation. *Journal of Environmental Economics and Management* 32: 65-84.
- Adesina, A. A., Baidu-Forson, J., 1995. Farmers' perceptions and adoption of new agricultural technology: evidence from analysis in Burkina Faso and Guinea, West Africa. *Agricultural Economics* 13: 1-9.
- Adesina, A. A., Mbila, D., Nkamleu, G. B., Endamana, D., 2000. Econometric analysis of the determinants of adoption of alley farming by farmers in the forest zone of southwest Cameroon. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 80: 255-265.
- Adesina, A. A., Zinnah, M. M., 1993. Technology characteristics, farmers' perceptions and adoption decisions: A Tobit model application in Sierra Leone. *Agricultural Economics* 9: 297-311.
- Ajzen, I., 1991. The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes* 50: 179-211.
- Ajzen, I., 2001. Nature and operation of attitudes. *Annual review of psychology* 52: 27-58.
- Aldana, U., Foltz, J. D., Barham, B. L., Useche, P., 2011. Sequential adoption of package technologies: The dynamics of stacked trait corn adoption. *American Journal of Agricultural Economics* 93: 130-143.
- Alriksson, S., Öberg, T., 2008. Conjoint analysis for environmental evaluation. *Environmental Science and Pollution Research* 15: 244-257.
- Anderson, J., Jolly, D., Green, R., 2005. Determinants of farmer adoption of organic production methods in the fresh-market produce sector in California: A logistic regression analysis, 2005 Annual Meeting, July 6-8, 2005, San Francisco, California. Western Agricultural Economics Association.
- Asrat, S., Yesuf, M., Carlsson, F., Wale, E., 2010. Farmers' preferences for crop variety traits: Lessons for on-farm conservation and technology adoption. *Ecological Economics* 69: 2394-2401.
- Baffoe-Asare, R., Danquah, J. A., Annor-Frempong, F., 2013. Socioeconomic Factors Influencing Adoption of Codapep and Cocoa High-tech Technologies among Small Holder Farmers in Central Region of Ghana. *American Journal of Experimental Agriculture* 3.
- Baidu-Forson, J., Ntare, B. R., Waliyar, F., 1997. Utilizing conjoint analysis to design modern crop varieties: empirical example for groundnut in Niger. *Agricultural Economics* 16: 219-226.
- Barham, B. L., Chavas, J.-P., Fitz, D., Salas, V. R., Schechter, L., 2014. The roles of risk and ambiguity in technology adoption. *Journal of Economic Behavior & Organization* 97: 204-218.
- Barham, B. L., Foltz, J. D., Jackson-Smith, D., Moon, S., 2004. The dynamics of agricultural biotechnology adoption: Lessons from series rBST use in Wisconsin, 1994–2001. *American Journal of Agricultural Economics* 86: 61-72.
- Baumgart-Getz, A., Prokopy, L. S., Floress, K., 2012. Why farmers adopt best management practice in the United States: A meta-analysis of the adoption literature. *Journal of environmental management* 96: 17-25.
- Beharry-Borg, N., Smart, J. C., Termansen, M., Hubacek, K., 2013. Evaluating farmers' likely participation in a payment programme for water quality protection in the UK uplands. *Regional Environmental Change* 13: 633-647.

- Binswanger, H. P., Sillers, D. A., 1983. Risk aversion and credit constraints in farmers' decision-making: A reinterpretation. *The Journal of Development Studies* 20: 5-21.
- Birol, E., Karousakis, K., Koundouri, P., 2006. Using a choice experiment to account for preference heterogeneity in wetland attributes: The case of Cheimaditida wetland in Greece. *Ecological Economics* 60: 145-156.
- Blazy, J.-M., Carpentier, A., Thomas, A., 2011. The willingness to adopt agro-ecological innovations: Application of choice modelling to Caribbean banana planters. *Ecological Economics* 72: 140-150.
- Bocquého, G., Jacquet, F., Reynaud, A., 2014. Expected utility or prospect theory maximisers? Assessing farmers' risk behaviour from field-experiment data. *European Review of Agricultural Economics* 41: 135-172.
- Bougherara, D., Latruffe, L., 2010. Potential impact of the EU 2003 CAP reform on land idling decisions of French landowners: Results from a survey of intentions. *Land Use Policy* 27: 1153-1159.
- Broch, S. W., Vedel, S. E., 2012. Using Choice Experiments to Investigate the Policy Relevance of Heterogeneity in Farmer Agri-Environmental Contract Preferences. *Environmental and Resource Economics* 51: 561-581.
- Cary, J. W., Wilkinson, R. L., 1997. PERCEIVED PROFITABILITY AND FARMERS' CONSERVATION BEHAVIOUR. *Journal of Agricultural economics* 48: 13-21.
- Caswell, M., Fuglie, K. O., Ingram, C., Jans, S., Kascak, C., 2001. Adoption of agricultural production practices: lessons learned from the US Department of Agriculture Area Studies Project. Consulté le : , Disponible sur : .
- Cerroni, S., Notaro, S., Shaw, W. D., 2012. Eliciting and estimating valid subjective probabilities: An experimental investigation of the exchangeability method. *Journal of Economic Behavior & Organization* 84: 201-215.
- Chavas, J., 1994. On sunk cost and the economics of investment. *American Journal of Agricultural Economics* 76: 114-127.
- Couture, S., Reynaud, A., Dury, J., 2010. Farmer's risk attitude: Reconciling stated and revealed preference approaches?, *Fourth World Congress of Environmental and Resource Economists*, Montreal, Canada.
- D'Souza, G., Cyphers, D., Phipps, T., 1993. Factors affecting the adoption of sustainable agricultural practices. *Agricultural and Resource Economics Review* 22: 159-165.
- Dachary Bernard, J., 2004. Une évaluation économique du paysage: une application de la méthode des choix multi-attributs aux Monts d'Arrée. *Economie et statistique*: p. 57-p. 80.
- Diederer, P., van MEIJL, H., Wolters, A., Bijak, K., 2003. Innovation adoption in agriculture: Innovators, early adopters and laggards. *Cahiers d'économie et sociologie rurales* 67: 30-50.
- Ervin, C. A., Ervin, D. E., 1982. Factors Affecting the Use of Soil Conservation Practices: Hypotheses, Evidence, and Policy Implications. *Land Economics* 58: 277-292.
- Espinosa Goded, M., Barreiro Hurlé, J., Ruto, E., 2010. What Do Farmers Want From Agri-Environmental Scheme Design? A Choice Experiment Approach. *Journal of Agricultural economics* 61: 259-273.
- Featherstone, A. M., Goodwin, B. K., 1993. Factors Influencing a Farmer's Decision to Invest in Long-Term Conservation Improvements. *Land Economics* 69: 67-81.
- Feder, G., 1980. Farm size, risk aversion and the adoption of new technology under uncertainty. *Oxford Economic Papers* 32: 263-283.
- Feder, G., Umali, D. L., 1993. The adoption of agricultural innovations: A review. *Technological Forecasting and Social Change* 43: 215-239.
- Fernandez-Cornejo, J., Daberkow, S., McBride, W. D., Association, A. A. E., 2001. *Decomposing the size effect on the adoption of innovations: agrobiotechnology and precision farming*. Economic Research Service, US Department of Agriculture.

- Flaten, O., Lien, G., Koesling, M., Valle, P. S., Ebbesvik, M., 2005. Comparing risk perceptions and risk management in organic and conventional dairy farming: empirical results from Norway. *Livestock Production Science* 95: 11-25.
- Foltz, J. D., Chang, H.-H., 2002. The adoption and profitability of rbST on Connecticut dairy farms. *American Journal of Agricultural Economics* 84: 1021-1032.
- Gedikoglu, H., McCann, L., 2007. Impact of off-farm income on adoption of conservation practices, *American Agricultural Economics Association Annual Meeting*, Portland, OR.
- Gedikoglu, H., McCann, L., Artz, G., 2011. Off-Farm Employment Effects on Adoption of Nutrient Management Practices. *Agricultural and Resource Economics Review* 40: 293.
- Ghadim, A. K. A., Pannell, D. J., Burton, M. P., 2005. Risk, uncertainty, and learning in adoption of a crop innovation. *Agricultural Economics* 33: 1-9.
- Ghazalian, P. L., Larue, B., West, G. E., 2009. Best management practices to enhance water quality: Who is adopting them. *Journal of agricultural and applied economics* 41: 663-682.
- Giannoccaro, G., Berbel, J., 2013. Farmers' stated preference analysis towards resources use under alternative policy scenarios. *Land Use Policy* 31: 145-155.
- Gillespie, J., Kim, S., Paudel, K., 2007. Why don't producers adopt best management practices? An analysis of the beef cattle industry. *Agricultural Economics* 36: 89-102.
- Gillespie, J. M., Davis, C. G., 2004. Factors Influencing the Adoption of Breeding Technologies in US Hog. *Journal of agricultural and applied economics* 36: 35-4.
- Greiner, R., Patterson, L., Miller, O., 2009. Motivations, risk perceptions and adoption of conservation practices by farmers. *Agricultural Systems* 99: 86-104.
- Griliches, Z., 1957. Hybrid Corn: An Exploration in the Economics of Technological Change. *Econometrica* 25: 501-522.
- Hagerstrand, T., 1968. Innovation diffusion as a spatial process. *Innovation diffusion as a spatial process*.
- Hanemann, W. M., 1994. Valuing the environment through contingent valuation. *The Journal of Economic Perspectives*: 19-43.
- Hanley, N., MacMillan, D., Wright, R. E., Bullock, C., Simpson, I., Parsisson, D., Crabtree, B., 1998. Contingent valuation versus choice experiments: estimating the benefits of environmentally sensitive areas in Scotland. *Journal of Agricultural economics* 49: 1-15.
- Hanley, N., Mourato, S., Wright, R. E., 2001. Choice Modelling Approaches: A Superior Alternative for Environmental Valuation? *Journal of Economic Surveys* 15: 435-462.
- Hardaker, J., Huirne, R., Anderson, J., Lien, G., 2004. *Coping with risk in agriculture*. CABI Publishing.
- Hardaker, J. B., Lien, G., 2010. Probabilities for decision analysis in agriculture and rural resource economics: The need for a paradigm change. *Agricultural Systems* 103: 345-350.
- Harrison, G. W., Lau, M. I., Rutström, E. E., 2007. Estimating Risk Attitudes in Denmark: A Field Experiment. *Scandinavian Journal of Economics* 109: 341-368.
- Hellerstein, D., Higgins, N., Horowitz, J., 2013. The predictive power of risk preference measures for farming decisions. *European Review of Agricultural Economics*.
- Henning, S. A., Cardona, H., 2000. An analysis of factors influencing adoption of BMPs among Louisiana sugarcane producers, *Selected paper presented at the 2000 American Agricultural Economics Association Meeting, Tampa, Floride*.
- Kebede, Y., Gunjal, K., Coffin, G., 1990. Adoption of new technologies in Ethiopian agriculture: The case of Tegulet-Bulga district Shoa province. *Agricultural Economics* 4: 27-43.
- Khanna, M., 2001. Sequential adoption of site-specific technologies and its implications for nitrogen productivity: A double selectivity model. *American Journal of Agricultural Economics* 83: 35-51.
- Kim, S., Gillespie, J. M., Paudel, K. P., 2005. The effect of socioeconomic factors on the adoption of best management practices in beef cattle production. *Journal of Soil and Water Conservation* 60: 111-120.

- Kim, S., Gillespie, J. M., Paudel, K. P., 2008. Rotational grazing adoption in cattle production under a cost-share agreement: does uncertainty have a role in conservation technology adoption? *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 52: 235-252.
- Kivlin, J. E., Fliegel, F. C., 1967. Differential perceptions of innovations and rate of adoption. *Rural Sociology* 32: 78-91.
- Knowler, D., Bradshaw, B., 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy* 32: 25-48.
- Koundouri, P., Nauges, C., Tzouvelekas, V., 2006. Technology Adoption under Production Uncertainty: Theory and Application to Irrigation Technology. *American Journal of Agricultural Economics* 88: 657-670.
- Krishna, V. V., Qaim, M., 2007. Estimating the adoption of Bt eggplant in India: who benefits from public-private partnership? *Food Policy* 32: 523-543.
- Kuhfuss, L., Préget, R., Thoyer, S., 2013. Préférences individuelles et incitations collectives: quels contrats agroenvironnementaux pour la réduction des herbicides par les viticulteurs. *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement/Review of Agricultural and Environmental Studies*.
- Lancaster, K. J., 1966. A new approach to consumer theory. *The Journal of political economy* 74: 132-157.
- Louviere, J., Hensher, D., Swait, J., 2000. *Stated choice methods: analysis and applications*. Cambridge University Press.
- Louviere, J. J., Flynn, T. N., Carson, R. T., 2010. Discrete choice experiments are not conjoint analysis. *Journal of Choice Modelling* 3: 57-72.
- Machina, M. J., Schmeidler, D., 1992. A More Robust Definition of Subjective Probability. *Econometrica* 60: 745-780.
- Mackenzie, J., 1993. A Comparison of Contingent Preference Models. *American Journal of Agricultural Economics* 75: 593-603.
- Makokha, S. N., Karugia, J. T., Staal, S. J., Oluoch-Kosura, W., 2007. Valuation of cow attributes by conjoint analysis: A case study of Western Kenya. *Afr. J. Agric. Resour. Econ* 1: 95-113.
- Manalo, A. B., 1990. Assessing the importance of apple attributes: an agricultural application of conjoint analysis. *Northeastern journal of agricultural and resource economics* 19: 118-124.
- Mariano, M. J., Villano, R., Fleming, E., 2012. Factors influencing farmers' adoption of modern rice technologies and good management practices in the Philippines. *Agricultural Systems* 110: 41-53.
- Marra, M., Pannell, D. J., Abadi Ghadim, A., 2003. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve? *Agricultural Systems* 75: 215-234.
- Matuschke, I., Mishra, R. R., Qaim, M., 2007. Adoption and impact of hybrid wheat in India. *World Development* 35: 1422-1435.
- Menapace, L., Colson, G., Raffaelli, R., 2013. Risk Aversion, Subjective Beliefs, and Farmer Risk Management Strategies. *American Journal of Agricultural Economics* 95: 384-389.
- Menapace, L., Colson, G., Raffaelli, R., 2014. Farmers' Climate Change Risk Perceptions: An Application of the Exchangeability Method, *EAAE 2014 Congress*, Ljubljana, Slovenia.
- Mercer, D. E., 2004. Adoption of agroforestry innovations in the tropics: A review. *Agroforestry Systems* 61-62: 311-328.
- Mzoughi, N., 2011. Farmers adoption of integrated crop protection and organic farming: Do moral and social concerns matter? *Ecological Economics* 70: 1536-1545.
- Nelson, R. G., Bessler, D. A., 1989. Subjective Probabilities and Scoring Rules: Experimental Evidence. *American Journal of Agricultural Economics* 71: 363-369.
- Noltze, M., Schwarze, S., Qaim, M., 2012. Understanding the adoption of system technologies in smallholder agriculture: The system of rice intensification (SRI) in Timor Leste. *Agricultural Systems* 108: 64-73.
- Norris, P. E., Kramer, R. A., 1990. The elicitation of subjective probabilities with applications in agricultural economics. *Review of Marketing and Agricultural Economics* 58: 127-147.

- Nyaupane, N. P., Gillespie, J., 2009. The influences of land tenancy and rotation selection on crawfish farmers' adoption of best management practices *Selected Paper Prepared for Presentation at the 2009 Southern Agricultural Economics Association Meeting*.
- Pandit, M., Mishra, A. K., Paudel, K. P., Larkin, S. L., Rejesus, R. M., Lambert, D. M., English, B. C., Larson, J. A., Velandia, M. M., Roberts, R. K., 2011. Reasons for Adopting Precision Farming: A Case Study of US Cotton Farmers, *2011 Annual Meeting, February 5-8, 2011, Corpus Christi, Texas*. Southern Agricultural Economics Association.
- Pannell, D. J., Marshall, G. R., Barr, N., Curtis, A., Vanclay, F., Wilkinson, R., 2006. Understanding and promoting adoption of conservation practices by rural landholders. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46: 1407-1424.
- Parcell, J. L., Gedikoglu, H., 2013. A Differential Game Approach to Adoption of Conservation Practices, *2013 Annual Meeting, August 4-6, 2013, Washington, DC*. Agricultural and Applied Economics Association.
- Paudel, K. P., Gauthier, W. M., Westra, J. V., Hall, L. M., 2008. Factors influencing and steps leading to the adoption of best management practices by Louisiana dairy farmers. *Journal of agricultural and applied economics* 40: 203.
- Paudel, K. P., Pandit, M., Mishra, A. K., Segarra, E., 2011. Why Don't Farmers Adopt Precision Farming Technologies in Cotton Production?, *2011 Annual Meeting, July 24-26, 2011, Pittsburgh, Pennsylvania*. Agricultural and Applied Economics Association.
- Prager, K., Posthumus, H., 2010. Socio-economic factors influencing farmers' adoption of soil conservation practices in Europe. *Human dimensions of Soil and Water Conservation: A Global Perspective*. Nova Science Publishers, Inc, New York: 203-223.
- Prokopy, L. S., Floress, K., Klotthor-Weinkauf, D., Baumgart-Getz, A., 2008. Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation* 63: 300-311.
- Qaim, M., de Janvry, A., 2003. Genetically Modified Crops, Corporate Pricing Strategies, and Farmers' Adoption: The Case of Bt Cotton in Argentina. *American Journal of Agricultural Economics* 85: 814-828.
- Rahelizatovo, N. C., Gillespie, J. M., 2004. The adoption of best-management practices by Louisiana dairy producers. *Journal of agricultural and applied economics* 36: 229-240.
- Reimer, A. P., Weinkauf, D. K., Prokopy, L. S., 2012. The influence of perceptions of practice characteristics: An examination of agricultural best management practice adoption in two Indiana watersheds. *Journal of Rural Studies* 28: 118-128.
- Reynaud, A., Couture, S., 2012. Stability of risk preference measures: results from a field experiment on French farmers. *Theory and Decision* 73: 203-221.
- Reynaud, A., Nguyen, M.-H., 2012. Monetary Valuation of Flood Insurance in Vietnam. Consulté le : , Disponible sur : .
- Rodríguez-Entrena, M., Arriaza, M., 2013. Adoption of conservation agriculture in olive groves: Evidences from southern Spain. *Land Use Policy* 34: 294-300.
- Rogers, E. M., 1962. Diffusion of Innovations, 7th Printing. *New York/London*.
- Ropars-Collet, C., Leplat, M., Le Goffe, P., Lesueur, M., 2014. Is inshore fishery an asset for recreational demand on the coastline?, *31 Journées de Microéconomie Appliquée*, Clermont Ferrand
- Rosenberg, N., 1976. On Technological Expectations. *The Economic Journal* 86: 523-535.
- Rubas, D., 2004. *Technology adoption: who is likely to adopt and how does the timing affect the benefits?* These Texas A&M University.
- Sauer, J., Zilberman, D., 2009. Innovation behaviour at farm level–Selection and identification, *49th annual meeting of the German Association of Agricultural Economics and Sociology*, , GEWISOLA, Kiel.
- Savage, L., 1972. *The foundations of statistics*. DoverPublications. com.
- Shapiro, B. I., Wade Brorsen, B., Doster, D. H., 1992. Adoption of double-cropping soybeans and wheat. *Southern Journal of Agricultural Economics* 24: 33-33.

- Smale, M., Just, R. E., Leathers, H. D., 1994. Land Allocation in HYV Adoption Models: An Investigation of Alternative Explanations. *American Journal of Agricultural Economics* 76: 535-546.
- Smith, J., Mandac, A. M., 1995. Subjective versus Objective Yield Distributions as Measures of Production Risk. *American Journal of Agricultural Economics* 77: 152-161.
- Soule, M. J., Tegene, A., Wiebe, K. D., 2000. Land Tenure and the Adoption of Conservation Practices. *American Journal of Agricultural Economics* 82: 993-1005.
- Sunding, D., Zilberman, D., 2001. *Chapter 4 The agricultural innovation process: Research and technology adoption in a changing agricultural sector*, in *Handbook of Agricultural Economics*. Elsevier.
- Tano, K., Kamuanga, M., Faminow, M. D., Swallow, B., 2003. Using conjoint analysis to estimate farmer's preferences for cattle traits in West Africa. *Ecological Economics* 45: 393-407.
- Tosakana, N., Van Tassell, L., Wulfhorst, J., Boll, J., Mahler, R., Brooks, E., Kane, S., 2010. Determinants of the adoption of conservation practices by farmers in the Northwest Wheat and Range Region. *Journal of Soil and Water Conservation* 65: 404-412.
- Useche, P., Barham, B. L., Foltz, J. D., 2009. Integrating technology traits and producer heterogeneity: A mixed-multinomial model of genetically modified corn adoption. *American Journal of Agricultural Economics* 91: 444-461.
- Useche, P., Barham, B. L., Foltz, J. D., 2013. Trait-based Adoption Models Using Ex-Ante and Ex-Post Approaches. *American Journal of Agricultural Economics* 95: 332-338.
- Vermersch, D., Goffe, P. L., Bonnieux, F., 1995. La méthode d'évaluation contingente : application à la qualité des eaux littorales. *Économie & prévision*: 89-106.
- von Neumann, J., Morgenstern, O., 1944. Theory of Games and Economic Behavior (1944). *Nature* 246: 15-18.
- Ward, C. E., Vestal, M. K., Doye, D. G., Lalman, D. L., 2008. Factors affecting adoption of cow-calf production practices in Oklahoma. *Journal of agricultural and applied economics* 40: 851-863.
- Wu, J., Babcock, B. A., 1998. The Choice of Tillage, Rotation, and Soil Testing Practices: Economic and Environmental Implications. *American Journal of Agricultural Economics* 80: 494-511.

Chapitre II

CONCEPTION D'UN QUESTIONNAIRE D'EVALUATION DE L'ADOPTION DE SYSTEMES DE CULTURE INNOVANTS

SOMMAIRE

Introduction.....	61
II.1) Terrain d'étude et systèmes de culture	63
II.1.1) Le Sud-Ouest de la France : un territoire contrasté.....	63
II.1.2) Recensement des systèmes de culture et diagnostic	64
II.1.2.1) Les systèmes de culture représentatifs de la zone d'étude.....	65
II.1.2.1.1) La rotation courte de blé dur sur tournesol.....	65
II.1.2.1.2) La monoculture de maïs irrigué	67
II.1.3) Des systèmes de culture innovants adaptés aux enjeux du territoire.....	69
II.1.3.1) Sélection des systèmes de culture innovants	69
II.1.3.1.1) Méthode mise en place.....	70
II.1.3.1.2) L'allongement des rotations : une solution pour les systèmes soumis à des impasses agronomiques.....	71
II.1.3.1.3) Diversification des assolements en monoculture : une stratégie d'adaptation au changement climatique.....	74
II.2) Conception des questionnaires d'enquête	77
II.2.1) Déterminants socio-économiques de l'adoption.....	77
II.2.1.1) Contexte de production et contraintes d'exploitation	78
II.2.1.2) Accès à l'information et au conseil	79
II.2.2) Evaluer le risque : perceptions et attitudes	79
II.2.2.1) Mesurer les attitudes des agriculteurs face au risque	80
II.2.2.2) Mesure du risque perçu par les probabilités subjectives	81
II.2.3) Révéler les préférences des agriculteurs : conception des <i>choice modelling</i>	83
II.2.3.1) Choix de la méthode du choice modelling.....	83
II.2.3.2) Choix des attributs et de leurs niveaux.....	84
II.2.3.2.1) L'expérience conçue pour la rotation de blé dur sur tournesol	84
II.2.3.2.2) L'expérience conçue pour la monoculture de maïs	88
II.2.3.3) Plan d'expérience	91
Conclusion	92
Bibliographie.....	93

Introduction

Le secteur des grandes cultures fait face à un changement structurel important. L'évolution conjointe de la réglementation, des marchés et des demandes des consommateurs complexifie les choix de production des agriculteurs dans un contexte climatique incertain. L'innovation agricole ouvre de nouvelles voies de réflexions. Encore peu mis en place, les systèmes de culture innovants, qui allient durabilité et productivité, sont une solution pour les céréaliers. On sait aujourd'hui que certains déterminants socio-économiques peuvent freiner leur adoption comme l'aversion au risque ou les contraintes financières (*cf.* Chap. I). Cependant, le processus de décision des agriculteurs est complexe et des déterminants, non directement observables, affectent aussi leur choix. Dans ce travail, nous nous intéressons plus particulièrement au rôle de ces déterminants non observables dans l'adoption de systèmes de culture innovants : les perceptions et les préférences. L'essor des méthodes de révélation des préférences permet aujourd'hui d'évaluer et de quantifier les préférences des exploitants pour les caractéristiques des innovations. Les perceptions des agriculteurs, vis à vis du risque ou de l'innovation, peuvent affecter leurs préférences pour l'innovation (Feder et Umali, 1993, Marra *et al.*, 2003). Cependant, encore peu de travaux s'intéressent aux perceptions du risque des agriculteurs et à leur effet sur la décision d'adoption. Or, une innovation perçue comme plus risquée que les pratiques actuelles de l'agriculteur sera rejetée même si elle peut présenter un certain intérêt agronomique. Pour évaluer conjointement le rôle des perceptions et des préférences sur la décision d'adoption des agriculteurs, des enquêtes directes auprès d'exploitants sont réalisées.

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes étapes de la conception des questionnaires d'enquête pour analyser les déterminants de l'adoption de systèmes de culture innovants par les agriculteurs céréaliers du Sud-Ouest de la France. La conception des questionnaires a été réalisée, avec la participation d'experts, en trois grandes étapes décrites dans la Figure 1. Une première étape consiste à identifier les systèmes de culture représentatifs de la zone d'étude. Un diagnostic agro-économique est réalisé pour chacun d'eux avec des experts de la filière (chercheurs, agriculteurs et coopératives). Par la suite, les systèmes de culture innovants pertinents, qui répondent aux contraintes des agriculteurs, ont été sélectionnés. Ces deux premières étapes limitent, autant que possible, certaines résistances à l'adoption, notamment logistiques (blocages de filières, investissements) ou agronomiques, liées aux conditions de production. On peut ainsi s'assurer qu'un grand nombre d'agriculteurs peuvent participer au dispositif. Ensuite, les questionnaires ont été conçus pour collecter des indicateurs permettant d'approcher trois grands types de déterminants (*cf.* Chap. I) : i) les caractéristiques socio-économiques des exploitants et de leur exploitation ; ii) les perceptions des exploitants vis-à-vis du risque et des systèmes de culture innovants proposés, obtenus à l'aide de méthodes déclaratives et ; iii) les préférences des agriculteurs révélées grâce à une expérience de *choice modelling* spécifique à chaque système de culture innovant. Enfin, ces questionnaires ont été testés au préalable auprès d'un petit échantillon d'agriculteurs.

La section II.1 de ce chapitre présente le terrain d'étude de la thèse et les systèmes de culture représentatifs de la zone. Pour chacun d'eux, le diagnostic agro-économique établi à dire d'experts, est détaillé. Par la suite, les systèmes de culture innovants sélectionnés et leurs intérêts sont précisés. La section II.2, présente la conception des questionnaires. Trois sous-sections sont consacrées au trois types de déterminants collectés : les déterminants socio-économiques, les

perceptions et les préférences. Dans chacune d'elle les méthodes de collecte et les outils de révélation mis en place sont décrits.

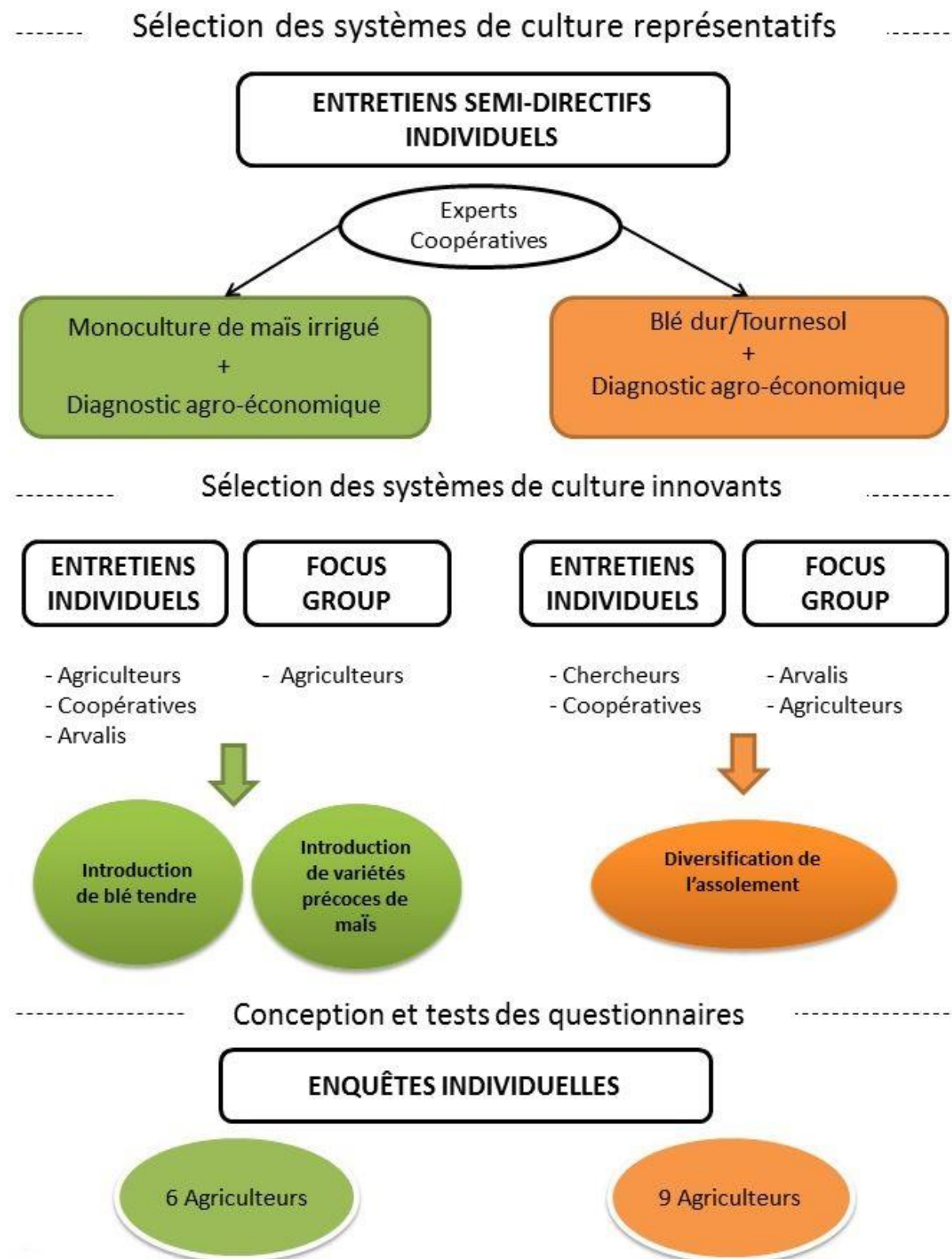


Figure 1 : Schéma du dispositif méthodologique de conception des questionnaires

II.1) Terrain d'étude et systèmes de culture

II.1.1) Le Sud-Ouest de la France : un territoire contrasté

Le terrain d'étude de la thèse s'étend sur une large partie du Sud-Ouest de la France. Il s'agit des zones de collecte des quatre coopératives partenaires du projet : Arterris, Vivadour, Maisadour et Terres du Sud. Il comprend principalement la région Midi-Pyrénées Languedoc Roussillon avec les départements de la Haute-Garonne, du Gers, des Hautes-Pyrénées, de l'Ariège et de l'Aude et la région Aquitaine⁶ avec les départements des Landes, des Pyrénées-Atlantiques et du Lot et Garonne. Ce territoire correspond, en grande partie, au bassin versant de l'Adour-Garonne.

En termes de pédoclimats, le Sud-Ouest de la France est très contrasté. Cette variété des contextes de production permet des productions agricoles très diversifiées (Figure 2). Dans les zones de montagne et du piémont pyrénéen, l'élevage reste très présent. Les zones de plaines et coteaux sont consacrées à la polyculture et la production de céréales et oléoprotéagineux. La production de grandes cultures y est très présente. En Midi-Pyrénées, la majorité des exploitations sont spécialisées en grandes cultures et en Aquitaine près d'un tiers de la SAU est consacré aux grandes cultures. Cependant la répartition des cultures n'est pas homogène sur le territoire et varie en fonction des pédoclimats. En Aquitaine, le blé tendre représente 90% de la production céréalière dans les départements du Lot et Garonne et de la Dordogne. Plus au sud, les départements des Pyrénées-Atlantiques et des Landes sont les deux principaux producteurs de maïs assurant 40% de la production française de maïs grain. Le blé dur est la culture emblématique des zones méridionales, la région Midi-Pyrénées Languedoc Roussillon en est la première région française productrice.

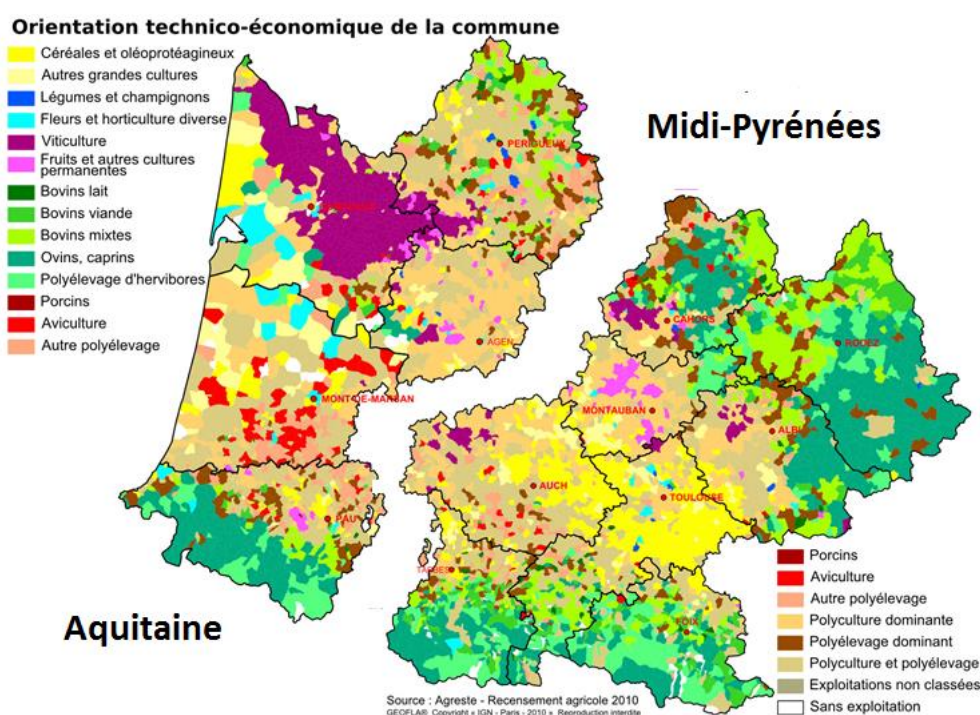


Figure 2 : Carte des orientations technico-économiques des exploitations (OTEX) (Source Agreste Recensement agricole 2010)

⁶ Nouvellement Région Aquitaine Limousin Poitou-Charentes

II.1.2) Recensement des systèmes de culture et diagnostic

Il est difficile de répertorier tous les systèmes de culture présents sur le vaste territoire d'étude. Pour définir des systèmes de culture représentatifs, une première série d'entretiens a été effectuée auprès des coopératives partenaires du projet de recherche. L'enjeu de ces entretiens était double. D'une part déterminer quels sont les systèmes de culture représentatifs de la zone d'étude et leurs problématiques et, d'autre part, évaluer les motivations et contraintes concernant la mise en place de nouveaux systèmes de culture. Cette première phase exploratoire permet d'orienter, par la suite, le choix des systèmes de culture innovants. Le corpus d'experts sollicités regroupe à la fois des responsables de la collecte, de la qualité, des relations avec les agriculteurs, de la recherche et développement, *etc.* De plus, des membres de la direction ont été sollicités afin de connaître les orientations et les politiques commerciales des coopératives, ceci pour éviter des réactions de blocage de la part des filières (Magrini *et al.*, 2013).

Les entretiens réalisés auprès des experts étaient semi-directifs⁷. Au total, dix-sept experts ont participé à des entretiens semi-directifs entre décembre 2012 et janvier 2013 avec une durée moyenne d'une heure par entretien (Tableau 4). Dans le cadre du travail de recherche, chacune des quatre structures est représentée par un référent. Ils ont pu être sollicités à plusieurs reprises pour des précisions ou des explications sur leur zone de collecte.

L'entretien est introduit par une présentation des objectifs du travail de thèse et de son organisation. L'expert doit ensuite se présenter et définir sa fonction au sein de la structure concernée. Par la suite trois grands thèmes sont abordés. Un premier volet est centré sur la définition des systèmes de référence sur la zone de collecte de la coopérative afin de connaître les systèmes conventionnels fortement représentés. Ils détaillent aussi les principaux avantages et inconvénients de ces systèmes de référence. Ensuite, la discussion est orientée sur les systèmes de culture innovants. L'expert décrit sa vision d'un système de culture innovant. Il précise les innovations qui peuvent y être intégrées. Il est aussi questionné sur le positionnement des adhérents de sa coopérative sur ce type d'innovation. Pour s'assurer de concevoir des systèmes de culture innovants crédibles, l'expert précise aussi quels acteurs devront être conviés lors de la phase de sélection. Enfin, la dernière section s'intéresse aux contraintes ou opportunités auxquelles les systèmes de culture innovants peuvent être confrontés et quelles sont les causes de rejet possibles à la fois par les agriculteurs et les coopératives ainsi que les aménagements possibles pour faciliter l'adoption (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

⁷ Ce type d'entretien convient pour des études exploratoires ou d'approfondissement. Il consiste à laisser parler librement l'interviewé sur le sujet d'intérêt et de le relancer si certaines thématiques n'ont pas été spontanément abordées (Fenneteau, 2002). Il ne faut pas perturber le discours de la personne et simplement l'orienter sur le sujet de l'entretien. En plus de la collecte d'informations, cette technique permet de mieux connaître les interlocuteurs et de cerner leur intérêt, leurs objectifs et leur implication dans le projet. Cela permet de pondérer leur discours si nécessaire lors de l'analyse des entretiens (Ghiglione et Matalon, 1978).

Tableau 4: Liste des experts ayant participé aux entretiens semi-directifs pour définir les systèmes de culture représentatifs de la zone

Structure	Poste	Période
ARTERRIS	Responsable innovation, R&D	Référent de la thèse
	Responsable région Lauragais	Décembre 2012
	Responsable région Tarn	Décembre 2012
	Responsable zone Piège Vallée de l'Ariège	Décembre 2012
	Référent technique	Janvier 2013
OVALIE INNOVATION	Directeur scientifique	Référent de la thèse
	Chargé de projet	Référent de la thèse
VIVADOUR	Responsable Pôle agronomique	Décembre 2012
	Directeur commercial	Décembre 2012
MAISADOUR	Directeur production végétale	Janvier 2013
	Ingénieur Agronomie et Environnement	Janvier 2013
TERRES DU SUD	Responsable développement	Référent de la thèse
	Pole expertise	Décembre 2012
	Directeur production végétale	Décembre 2012
	Responsable gamme grandes culture	Décembre 2012
	Responsable terrain	Décembre 2012
	Service Qualité	Décembre 2012
	Service matériel agricole	Décembre 2012
	Service collecte et achat	Décembre 2012

Deux systèmes de culture représentatifs de la zone d'étude ressortent de la synthèse de ces entretiens : la rotation courte de blé dur sur tournesol dans les zones de coteaux non irrigués et la monoculture de maïs irrigué dans les vallées de la Garonne et de l'Adour. De plus, un diagnostic agro-économique à dire d'experts a pu être établi pour chacun d'eux qui permet d'orienter la phase de sélection des systèmes de culture innovants sur des enjeux et problématiques auxquels ils doivent répondre.

II.1.2.1) Les systèmes de culture représentatifs de la zone d'étude

II.1.2.1.1) La rotation courte de blé dur sur tournesol

La rotation de blé dur sur tournesol est fortement présente dans les zones de coteaux, principalement les départements de la Haute Garonne, de l'Aude et du Gers. Dans ces zones, la pente des parcelles ainsi que la faible disponibilité de la ressource en eau ne permet pas d'irrigation. Les sols sont principalement calcaires à argilo-calcaires. Le Sud-Ouest fait partie des bassins historiques de production du blé dur avec près de 20 % de la production française. Il s'agit d'une culture exigeante en nutrition azotée et soumise à des normes de qualité strictes pour un débouché en alimentation humaine (pâtes et semoule). Le tournesol est un bon précédent pour les céréales à paille comme le blé dur. Peu exigeant en azote, il ne réduit pas la fertilité des sols pour les cultures suivantes. L'alternance botanique permet de réduire la prolifération des adventices et les risques

sanitaires liés aux maladies (fusariose par exemple). Son système racinaire pivotant permet de conserver une bonne structure des sols. C'est une culture à conduite culturale assez simple avec peu d'interventions.

Ce système de culture présente plusieurs avantages soulignés par les experts (Tableau 5). Cette culture est produite traditionnellement dans le Sud-Ouest de la France depuis plus d'une quarantaine d'années. Les exploitants maîtrisent la conduite culturale et disposent des compétences et de l'expérience pour atteindre des objectifs de rendement élevés. De plus, l'alternance entre une culture d'hiver (le blé dur) et une culture d'été (le tournesol) permet aux exploitants de répartir les pics de travail sur l'année. Enfin, la marge brute moyenne cumulée de cette rotation est élevée (entre 500 et 600 €/an/ha en Midi-Pyrénées en 2009 (Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées, 2011, Chambre d'agriculture Midi-Pyrénées, 2013)). De plus, le blé dur et le tournesol sont des cultures dont les débouchés sont peu risqués au sein des organismes de stockage car des contrats de production et de commercialisation sont disponibles.

Cependant la spécialisation des exploitations dans cette rotation génère aujourd'hui de nombreux problèmes agronomiques et écologiques. Lors des entretiens, les experts ont soulevé trois grands axes de réflexions pour ce système de culture. Tout d'abord, du point de vue de la production, le retour fréquent des deux cultures sur les mêmes parcelles mène à une augmentation des résistances des adventices et des maladies aux produits phytosanitaires. Par exemple, les exploitants doivent aujourd'hui réussir à limiter le peuplement du vulpin et du *ray grass* devenu pour partie résistants aux herbicides. De plus, la pression des maladies fongiques est accrue sur le tournesol avec une recrudescence de l'oïdium. Ces problématiques agronomiques impliquent des traitements ou opérations culturales supplémentaires (binages, hersages, etc.). Le besoin en main d'œuvre augmente, pouvant affecter la rentabilité des exploitations. En parallèle, ces difficultés de production réduisent les potentiels agronomiques des cultures et leurs rendements. En plus de la baisse du rendement, ces deux cultures sont aussi soumises à des fluctuations de plus en plus importantes de la qualité. Or, le blé dur est destiné à l'industrie semoulerie et nécessite de forts taux de protéines et le tournesol à la production d'huile et doit atteindre des taux oléiques minimum.

Si les experts rencontrés ont relevé les enjeux liés aux difficultés de production, ils ont peu commenté les injonctions réglementaires auxquelles les exploitants doivent faire face. Aujourd'hui les zones de production de la rotation de blé dur sur tournesol sont en grande partie des zones « vulnérables » selon la directive Nitrates (Directive n°91/676/CEE). Des contraintes de production leur sont imposées afin de réduire la contamination des eaux par les fertilisants notamment par une couverture hivernale des sols. Or, l'alternance entre une culture d'hiver, le blé dur (récolté en juillet) et une culture d'été, le tournesol (implanté en avril), implique des sols nus pendant près de 9 mois. En 2009, selon les enquêtes du CETIOM, moins de 10 % des sols ont été couverts par une culture intermédiaire avant le tournesol.

La rotation courte de blé dur sur tournesol atteint aujourd'hui ses limites du point de vue agronomique. L'introduction d'innovations technologiques ponctuelles (protection biologique, traitements de précision, etc.) n'est pas suffisante notamment vis-à-vis de la réglementation. Il faut repenser le système de culture dans son intégralité pour bénéficier des effets rotationnels afin de palier au problème des résistances et accroître les rendements. La conception d'un système de culture innovant est une solution adaptée pour les producteurs de blé dur sur tournesol.

Tableau 5 : Diagnostic agro-économique de la rotation de blé dur sur tournesol à dire d'experts

Rotation blé dur sur tournesol	
Pédoclimat et conditions de production	Coteaux Sols argileux à calcaires Production en sec
Intérêts du système de culture	Maitrise technique (système de culture traditionnel) Etalement des pics de travaux (alternance de la saisonnalité) Conduite culturale maîtrisée Rentabilité
Problématiques	Désherbage et résistance (vulpin, ray grass...) Gestion des maladies (mildiou, oïdium) Temps de travail supplémentaire Baisse des rendements et de la qualité (protéines et huile)

II.1.2.1.2) La monoculture de maïs irrigué

Le maïs est la première céréale cultivée dans le monde. En France, c'est la seconde céréale produite après le blé. La production de maïs grain est principalement concentrée dans le Sud-Ouest et notamment en Aquitaine. Elle est la première région française productrice de maïs suivie par Midi-Pyrénées. Le Grand Sud-Ouest couvre à lui seul près de 40 % des surfaces françaises en maïs grain. Le maïs est principalement destiné à l'alimentation animale. La France est le premier exportateur de maïs européen. Les pays européens (Espagne, Pays-Bas, Royaume-Uni, etc.) sont déficitaires en maïs, le marché européen est donc un débouché important du maïs français.

Le maïs apprécie des sols argileux (Gers) à sableux (Landes) il est très présent dans les zones de vallées alluviales du Sud-Ouest (vallées de l'Adour et de la Garonne). Située en zone de plaine, la production de maïs est très majoritairement irriguée. Le maïs est généralement produit en monoculture. Entre 2006 et 2011, plus de 50 % de la sole française en maïs était produite en monoculture (Données Agreste). En Aquitaine, l'étude « diversification » de l'INRA a mis en évidence que la monoculture de maïs représente près de 50 % des successions culturales mises en place entre 2006 et 2009. En Midi-Pyrénées, le maïs en monoculture représente 11 % des successions culturales.

Ce système de culture est donc largement implanté dans le Sud-Ouest. Les experts fournissent quatre raisons au succès de la monoculture de maïs dans le Sud-Ouest de la France (Tableau 6). Les maïsiculteurs maîtrisent la conduite culturale de cette production et le pédoclimat est adapté, avec des forts cumuls de températures, permettant d'atteindre des rendements élevés. En 2014, les régions Aquitaine et Midi-Pyrénées avaient les rendements moyens régionaux français les plus élevés (Arvalis, 2013). La monoculture de maïs est donc une production très profitable dans le Sud-Ouest avec des niveaux de marge élevés. Par exemple, en 2009 la marge brute moyenne en Midi-Pyrénées était de 870 €/ha, en 2014 la marge brute moyenne dans les Landes étaient de 640 €/ha (Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées, 2009, Chambre d'Agriculture des Landes, 2015). De plus, les exploitants produisent du maïs depuis de nombreuses années et ont déjà en grande partie amorti leurs investissements (systèmes d'irrigation, unité de séchage, silos de stockage). Enfin, à l'exception des

chantiers de récolte, de semis et d'irrigation, la production de maïs ne nécessite que peu d'interventions au champ. Ainsi, les exploitants peuvent libérer du temps soit pour des activités professionnelles extérieures ou d'autres ateliers de production sur les exploitations.

L'analyse des entretiens avec les experts a fait émerger quatre grandes problématiques liées à la production de monoculture de maïs : la gestion quantitative et qualitative de la ressource en eau, la gestion du désherbage, l'augmentation des coûts de production liée à la volatilité de marché et la conservation des sols. Les besoins en eau du maïs se situent en période estivale ce qui implique une irrigation importante en période de baisse de la disponibilité de la ressource. Les experts déplorent une mauvaise gestion des doses d'irrigation. Malgré des avancées techniques dans le domaine de l'irrigation, peu d'exploitants cherchent à améliorer l'efficacité de l'irrigation. Or, face au changement climatique les disponibilités en eau risquent d'être réduites. Par ailleurs, dans les bassins hydrographiques du Sud-Ouest de la France, on a détecté des contaminations des nappes phréatiques par les pesticides. Une meilleure gestion quantitative et qualitative de l'eau apparaît donc comme un enjeu majeur de la monoculture de maïs. Cette problématique de la conservation du bon état des nappes phréatiques fait écho aux difficultés de gestion de certaines adventices par les maïsiculteurs. La non-alternance de la culture combinée à une réduction du nombre de molécules actives homologuées amène les agriculteurs à traiter de manière intensive leurs champs avec les mêmes substances. Des résistances aux pesticides, et plus particulièrement aux herbicides, sont apparues avec le problème de la gestion du *datura*⁸. Du point de vue agronomique, les experts déplorent aussi une détérioration de la structure et de la fertilité des sols. Le maïs est traditionnellement semé après des labours profonds. La répétition de cette pratique génère un tassement du sol qui peut être limité par des techniques culturales simplifiées voire du non-labour. Enfin, les experts ont souligné l'enjeu de l'augmentation des coûts de production en maïs. En effet, la production de maïs induit des coûts de production élevés compris entre 600 et 1 000 €/ha. Le poste principal de dépense est la fertilisation qui représente 35 % des charges en Midi-Pyrénées. L'augmentation du prix de l'énergie affecte aujourd'hui fortement ce poste de dépense, le prix de l'azote étant directement lié au prix de l'énergie. D'autre part, les maïsiculteurs sont fortement consommateurs d'énergie lors de l'irrigation (pour le pompage) mais aussi pour le séchage du grain. L'augmentation du prix de l'énergie est une menace pour les niveaux de marge des maïsiculteurs.

A ces considérations des experts, s'ajoutent des enjeux liés à l'évolution à court terme du contexte de production des maïsiculteurs. Tout d'abord, la réforme de la PAC 2014-2020, conditionne l'obtention de 30 % des aides directes à la production à l'application de différentes mesures environnementales comme le respect d'un niveau minimal de diversification des assolements. Ainsi, pour percevoir la totalité des soutiens du premier pilier de la PAC (Paiement de Base), les exploitants doivent désormais justifier de la présence d'au moins trois espèces sur leur exploitation, la culture principale ne doit pas excéder 75 % de la sole et la minoritaire atteindre au moins 5 %. On estime aujourd'hui que 20 % des exploitations qui ne respectent pas cette condition ont une sole composée à plus de 70 % de maïs. En parallèle, les politiques liées à la gestion quantitative de l'eau dans le bassin versant Adour-Garonne risquent d'évoluer. A l'horizon 2050, les débits naturels d'étiage seront réduits de moitié pour le bassin de la Garonne. La prospective Garonne 2050 de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne propose trois scénarii, en fonction des choix que feront les gestionnaires de la

⁸ Le *datura* une adventice des cultures du Sud-Ouest de la France, c'est une plante toxique pour l'homme et les animaux. A ce titre, le règlement européen du 16 juin 2001 fixe à 0,1% le taux maximal de graine de *datura* autorisé dans les matières premières.

ressource. Dans tous ces scénarii, l'Agence a retenu pour l'agriculture deux conditions d'évolution de l'agriculture face au changement climatique : la réduction des surfaces irriguées de 15 %, et une évolution des assolements vers davantage de cultures d'hiver, moins gourmandes en eau en période estivale (AEAG, 2014).

La monoculture de maïs est un système peu résilient face au changement climatique notamment à cause de sa forte dépendance à la ressource en eau. Les maïsiculteurs devront donc faire évoluer leur système de culture. Cette adaptation nécessite une réflexion à la fois vis-à-vis de la diversification des cultures pour répondre à la réglementation, mais aussi, sur la gestion de l'eau en introduisant de productions peu gourmandes en eau ou des techniques innovantes d'irrigation pour s'adapter aux conditions pédoclimatiques futures. La conception d'un système de culture innovant est aujourd'hui nécessaire pour une refonte globale de ce système de culture intensif.

Tableau 6 : Diagnostic agro-économique de la monoculture de maïs à dire d'experts

Monoculture de maïs irrigué	
Pédoclimat et conditions de production	Plaines alluviales (Adour et Garonne) Sols argileux à sableux Production irriguée
Coopératives concernées	Terres du Sud (Lot et Garonne) Maïsadour (Pyrénées-Atlantiques et Landes) Vivadoir (Gers)
Intérêts du système de culture	Rentabilité Maîtrise technique (système de culture traditionnel) Investissements amortis Temps de travail
Problématiques	Gestion des doses d'irrigation Pollution des nappes phréatiques Coûts croissant de l'énergie Gestion des adventices (<i>datura</i>) Structure des sols

II.1.3) Des systèmes de culture innovants adaptés aux enjeux du territoire

II.1.3.1) Sélection des systèmes de culture innovants

Cette seconde étape a pour objectif de sélectionner des systèmes de culture répondant, en fonction des diagnostics agro-économiques réalisés, aux enjeux actuels des deux systèmes de culture représentatifs sélectionnés : la rotation de blé dur sur tournesol et la monoculture de maïs. Un premier niveau de sélection des innovations est basé sur deux critères ; i) les systèmes de culture innovants retenus doivent assurer un niveau de rentabilité correct pour l'exploitant et ; ii) les systèmes de culture innovants doivent pouvoir être mis en place dans un futur proche par les agriculteurs sans nécessité d'investissements importants. Cette deuxième condition permet

d'abstraire le choix d'adoption de toute problématique structurelle sur les exploitations afin de placer les répondants dans des conditions les plus homogènes possibles

Les systèmes de culture innovants présélectionnés ont ensuite été proposés aux experts lors des entretiens ou des *focus groups*. Leurs avis sur ces alternatives ont été recueillis afin de les valider, de les modifier ou de les retirer du projet d'étude. Ces entretiens ont aussi permis de discerner les possibles freins et motivations face au changement de système de culture.

II.1.3.1.1) Méthode mise en place

Lors de cette phase de sélection des systèmes de culture innovants des agriculteurs, des responsables des coopératives, des représentants des instituts techniques (Arvalis) et des chercheurs (INRA) ont été consultés. Cette démarche participative nous permet de connaître les points de vue des différents acteurs de la filière et de sélectionner des systèmes innovants crédibles limitant les freins logistiques et techniques à l'adoption (investissements matériels limités, débouchés de commercialisation assurés, conditions de production adaptées, *etc.*).

Les différents experts ont été interviewés de manière individuelle, par des entretiens semi-directifs, ou en groupe en suivant la méthode du *focus group*⁹. Deux guides d'entretien ont été conçus en fonction du système de culture considéré. Leur structure générale est la même mais certaines questions ont pu être adaptées en fonction des enjeux des systèmes de culture étudiés. Après une introduction présentant le projet de recherche et l'objectif de l'entrevue, les participants ont été interrogés sur six grandes thématiques : le système de culture actuel, les perceptions du risque, les perceptions de l'avenir, les alternatives proposées, le conseil et l'accompagnement dans la démarche innovante, le rôle de l'innovation et des systèmes de culture innovants. Un diaporama avec les différentes questions sur ces sujets est présenté lors des entretiens. Les entretiens individuels durent en moyenne 1 h 30 et les *focus groups* environ 3 h.

En premier lieu, les participants indiquent leurs connaissances et compétences face au système de culture sélectionné. Ils détaillent ses avantages et inconvénients mais aussi ses évolutions et les pistes d'amélioration. Ensuite, afin d'investiguer les possibles freins et motivations au changement de système de culture, les participants discutent de leurs perceptions à la fois vis-à-vis du risque mais aussi de l'avenir. Ils débattent des principaux types de risques auxquels les agriculteurs peuvent être confrontés ainsi que de leurs sources. Pour connaître les contraintes et motivations des agriculteurs, les experts sont ensuite questionnés sur leurs perceptions de l'avenir. Cette thématique permet de déterminer si les exploitants perçoivent ces nouveaux enjeux, dans quelle mesure ils pensent s'y adapter et dans quels délais (court terme, long terme, *etc.*). Ils sont interrogés, entre autre, sur leurs perceptions de la réglementation, du changement climatique et de l'évolution des marchés. Ensuite, les propositions de systèmes de culture innovants sont présentées et discutées par les experts. Ils donnent leurs avis quant à leurs avantages et inconvénients, leur faisabilité, les conditions de mise en place, *etc.* Ils abordent ensuite les questions liées au soutien et au conseil. Ils indiquent quelles informations manquent aux agriculteurs pour faciliter l'adoption. Ils abordent ici, le type de conseil

⁹ Les *focus group* sont des entretiens collectifs avec un groupe formé de 6 à 8 personnes (David, 1997). Un médiateur, ici le chercheur, guide l'entretien et soulève les sujets d'intérêt. Son rôle est d'inviter les membres du groupe à la discussion, de modérer ou réorienter la conversation si nécessaire. L'interaction entre les membres du groupe représente l'intérêt de cette méthode qui génère un effet de synergie (Holly, 2000). Cette méthode pousse les participants à écouter d'autres points de vue, à débattre et à formuler ou reconsidérer leurs opinions. Pour le chercheur, il s'agit d'une occasion de comprendre les différents points de vue possibles sur un même sujet ou élément de recherche.

adapté pour transmettre les informations : des démarches participatives, formation individuelle, etc. Les participants détaillent aussi les interlocuteurs à privilégier pour les différents types d'accompagnement. Enfin, la dernière partie traite de l'innovation, les intervenants peuvent donner leur définition d'un système de culture innovant, de l'innovation agricole, etc. Ils peuvent aussi fournir de nouvelles propositions de système de culture. L'entretien ou le *focus group* se termine par l'avis des intervenants quant à cette démarche participative et sur le projet.

Deux corpus d'experts ont été sollicités. Pour la rotation de blé dur sur tournesol, au total, 16 spécialistes ont été interrogés en avril 2013 (Tableau 7). Deux *focus groups* et cinq entretiens individuels ont été réalisés. Pour la monoculture de maïs, 10 experts ont été contactés. Deux *focus groups* et trois entretiens individuels ont eu lieu entre mars et octobre 2013.

Tableau 7 : Liste des participants à la phase de sélection des systèmes de culture innovants

STRUCTURE	POSTE	MODE D'ENTRETIEN	PERIODE
Rotation blé dur sur tournesol			
ARVALIS	7 responsables de région	<i>Focus group</i>	Avril 2013
ARTERRIS	4 agriculteurs	<i>Focus group</i>	Avril 2013
ARTERRIS	Référent technique	Entretien individuel	Avril 2013
TERRES DU SUD	Responsable Marketing	Entretien individuel	Avril 2013
OVALIE INNOVATION	Chargé de projet	Entretiens individuels	Référent de la thèse
INRA	Ingénieur d'étude	Entretien individuel	Avril 2013
INRA	Ingénieur de recherche	Entretien individuel	Avril 2013
Monoculture de maïs			
EIP	2 agriculteurs	Entretien individuel	Avril 2013
MAISADOUR	4 agriculteurs	<i>Focus group</i>	Mars 2013
TERRES DU SUD	Responsable Agrosolution	Entretiens individuels	Référent de la thèse
OVALIE INNOVATION	Chargé de projet	Entretiens individuels	Référent de la thèse
ARVALIS	2 Responsables Aquitaine	<i>Focus group</i>	Octobre 2013

II.1.3.1.2) L'allongement des rotations : une solution pour les systèmes soumis à des impasses agronomiques

Le diagnostic agro-économique a mis en avant que les producteurs de blé dur sur tournesol font face à diverses difficultés agronomiques. Le retour fréquent des deux mêmes cultures a accru les difficultés à gérer le développement de résistances. Des résistances aux produits phytosanitaires se sont développées chez des pathogènes responsables des maladies des plantes et chez certaines adventices. Du fait de ces résistances, les rendements stagnent voire diminuent. Face à ce constat, l'allongement de la rotation apparaît comme une solution adaptée. En effet, introduire une nouvelle culture dans l'assolement a plusieurs intérêts du point de vue agronomique. D'une part, l'alternance botanique permet de réduire la pression parasitaire au champ. Le cycle de développement des maladies et ravageurs est rompu car ces derniers ne disposent plus de plantes-hôtes. D'autre part, les molécules homologuées sont différentes en fonction des cultures. L'introduction d'une nouvelle culture permet d'utiliser d'autres pesticides et de réduire les risques de développement de

résistances. Les effets rotationnels d'un allongement de la rotation pourraient également permettre aux exploitants de réduire le nombre de traitements ainsi que les apports de fertilisants.

Au total, dix-sept experts ont été consultés pour sélectionner le système de culture innovant alternatif à la rotation courte de blé dur sur tournesol (Tableau 4). Le premier *focus group* a regroupé sept ingénieurs responsables de région d'un institut technique spécialisé en production végétale (Arvalis). Le second a rassemblé des agriculteurs, producteurs de la rotation de blé dur sur tournesol, de la coopérative Arterris. Deux agronomes de l'INRA ont également été interviewés¹⁰ de manière individuelle. Concernant les coopératives, un responsable marketing-relations agriculteurs et le « référent technique grandes cultures » ont participé à l'expertise. Enfin, le référent d'Ovalie Innovation a été interrogé sur des questions ponctuelles sur les spécificités de la production du blé dur et de tournesol dans sa zone d'expertise.

Lors des entretiens et *focus groups*, les experts ont validé le système de culture innovant proposé : l'allongement de la rotation par l'introduction d'une culture de diversification (Tableau 8). Il s'agit d'un système adapté qui est déjà mis en œuvre dans certaines exploitations. En plus de son intérêt agronomique l'allongement de la rotation par l'introduction d'une culture de diversification répond à de nombreux enjeux mis en évidence lors des entretiens. Premièrement, du point de vue des perceptions du risque, les producteurs de blé dur sur tournesol perçoivent un risque-prix accru lié à la volatilité des prix, l'introduction d'une nouvelle culture réduit leur exposition au risque par une stratégie de portefeuille. De plus, en fonction de la culture de diversification introduite, ils peuvent réduire la période de sol nu en hiver et répondre aux exigences réglementaires. Deuxièmement, concernant les perceptions de l'avenir, il reste très difficile pour les exploitants en blé dur sur tournesol d'anticiper les prix, la réglementation ou l'évolution des résistances et des maladies. Ils font aussi face à une complexification de leur métier d'agriculteur. En plus de leur fonction de producteurs de céréales, ils doivent aujourd'hui acquérir de nouvelles compétences en termes de gestion administrative. Face à tant d'incertitudes, les experts pensent que les exploitants ne peuvent raisonner leur assolement sur plus de deux à trois ans. Ainsi, il ne peut paraître envisageable de proposer aux exploitants un allongement de rotation plus long. Par ailleurs, les experts ont deux principales préconisations pour faciliter l'adoption d'une culture de diversification. D'une part, il faut éviter des investissements matériels, la culture de diversification doit donc pouvoir être conduite en sec. Les entretiens font ressortir quatre cultures de diversification potentielles : le blé tendre, le colza, le sorgho et le pois. D'autre part, les agriculteurs ont besoin d'être accompagnés dans leur démarche de changement avec la mise à disposition d'informations et de références locales et des conseillers spécialisés. Les initiatives de travail collectif, comme les groupements d'agriculteurs, avec des essais chez des exploitants proches seraient très appréciées.

¹⁰ Un ingénieur d'étude chargé d'un projet sur les systèmes de culture innovants, et un chercheur en agronomie spécialisé dans la conception et l'expérimentation de systèmes de culture

Tableau 8 : Synthèse des entretiens et *focus groups* sur le système blé dur sur tournesol

THEMATIQUES	INFORMATIONS ET PRECONISATIONS DU CORPUS D'EXPERTS
Système de culture actuel	Avantages : - Maîtrise technique - Rentabilité et débouchés assurés - Facilité organisationnelle (étalement des pics de travaux) Inconvénients : - Impasses agronomiques majeures qui induisent de problématiques : - o Gestion des maladies et des adventices - o Gestion de l'interculture - o Molécule actives et indice de fréquence de traitement (IFT) élevé
Perceptions du risque	Les risques perçus sont : - Le risque prix avec une volatilité décrite comme en augmentation - Le risque de production principalement lié aux impasses agronomiques - Le risque réglementaire par rapport à la couverture hivernale des sols
Perceptions de l'avenir	Complexification technique et administrative de métier d'agriculteur Incertitudes très nombreuses : réglementation, évolution des maladies et adventices Peu de perceptions des risques liés au changement climatique Raisonnement de la production sur deux à trois ans en moyenne
Système de culture innovant proposé : - <i>Diversification de l'assolement</i>	Solution adaptée déjà mise en place par certains agriculteurs Ne doit pas imposer d'investissement supplémentaire et culture en sec Cultures de diversification proposées : - Blé tendre - Colza - Sorgho - Pois
Conseil et accompagnement	Le conseil est considéré comme nécessaire et rassurant Besoin de conseillers spécialisés par culture et non généralistes Les agriculteurs croisent plusieurs sources d'informations (coopérative, chambre d'agriculture, institut technique) Internet est de plus en plus important dans l'information des agriculteurs Demande de plus de références locales : - L'observation des nouvelles pratiques chez les voisins favorise leur mise en place - Intérêt pour les démarches collectives ou les regroupements de producteurs autour de question précises
Innovation en agriculture	L'innovation doit être confiée à la recherche (INRA) et intégrer les connaissances et compétences des agriculteurs Une possibilité d'évolution des systèmes de culture vers des marchés de niche (pois chiche, lupin, etc.) mais non généralisable

L'introduction d'une culture de diversification permet de répondre aux impasses agronomiques auxquelles font face les producteurs en rotation de blé dur sur tournesol. Selon les experts ce système est adapté, il répond aux enjeux agronomiques tout en réduisant les risques de prix et de production. De plus, il correspond au raisonnement des agriculteurs qui, face à un contexte de production incertain, ne peuvent envisager un raisonnement de leur rotation sur un horizon plus long. Si ce système de culture innovant peut paraître peu en rupture, il implique un investissement immatériel important en termes de connaissances et savoir-faire. Le rôle du conseil, et plus spécifiquement des démarches collectives, apparaît comme un levier au changement particulièrement intéressant. Plusieurs cultures de diversification peuvent être envisagées : le blé tendre, le colza, le sorgho et le pois. A partir de ce constat, l'intérêt est donc de déterminer les caractéristiques des cultures de diversification attendues par les exploitants.

II.1.3.1.3) Diversification des assolements en monoculture : une stratégie d'adaptation au changement climatique

Pour le système de référence de monoculture de maïs irrigué, dix spécialistes ont participé à cette étape de sélection (Tableau 4). Un premier *focus group* regroupe quatre agriculteurs de la coopérative Maisadour (avril 2013). Deux maïsiculteurs du réseau de l'Ecole d'Ingénieurs de Purpan ont été aussi enquêtés individuellement en mars 2013. Un second *focus group* regroupant deux spécialistes du maïs d'Arvalis a eu lieu en octobre 2013. Enfin, les référents d'Ovalie Innovation et Terres du Sud ont aussi participé à cette étape de sélection.

L'évolution de la monoculture de maïs est complexe. Aux enjeux liés à la gestion des ressources naturelles (eau et sol) s'associent des problématiques réglementaires de diversification. Trois alternatives innovantes ont été proposées aux experts. Elles peuvent être mises en place de manière combinée ou autonome : les variétés précoces de maïs, l'introduction de céréales à paille et la mise en place d'intercultures. Actuellement la majorité du maïs produit dans le Sud-Ouest de la France est du maïs « tardif ». Il s'agit de variétés à fort potentiel de rendement qui ont besoin d'un cumul de température important pour atteindre leur maturité. Les variétés plus précoces de maïs ont des rendements objectifs plus faibles mais ont plusieurs avantages. Lorsqu'elles sont semées en même temps que les variétés tardives, au mois d'avril, elles sont mures plus tôt dans l'été ce qui peut permettre aux exploitants de réduire l'irrigation en période estivale. D'autre part, le maïs, mure plus tôt, peut rester plus longtemps au champ pour sécher ce qui limite les frais de séchage pour l'exploitant. Enfin, si l'accès aux parcelles en période de semis est difficile (pluies, gel tardif, etc.), les exploitants peuvent retarder la date de semis. Les maïs précoces atteindront alors leur stade de maturité en même temps que le maïs tardif.

Une autre solution à la problématique de la gestion quantitative de la ressource en eau peut être l'introduction d'une céréale à paille dans la rotation. Cette diversification de l'assolement représente deux principaux avantages. Tout d'abord, la céréale à paille, conduite en sec, réduit la consommation globale en eau de l'exploitation. Ils peuvent réallouer l'eau à l'irrigation du maïs. D'autre part, l'alternance botanique permet de réduire le développement des adventices et d'améliorer la structure des sols avec des systèmes racinaires différents.

Enfin, la dernière solution envisagée est d'intégrer des intercultures, c'est-à-dire des cultures produites dans les périodes qui encadrent la production des cultures principales. Elles assurent une couverture des sols en hiver pour limiter le tassement et répondre aux nouvelles exigences

réglementaires. Elles peuvent capturer l'azote, évitant sa lixiviation et le restituant à la culture suivante lors de leur destruction (culture piège à nitrates (CIPAN)). L'interculture évite le développement des adventices en limitant leur croissance par effet de concurrence (nutriments, eau, lumière, *etc.*). Cependant, leurs effets bénéfiques agronomiques ne sont pas immédiats et difficiles à estimer pour contrebalancer leur coût (il s'agit rarement de cultures commerciales).

Les entretiens d'experts ont mis en évidence que les maïsiculteurs perçoivent deux principaux types de risques : le risque prix et le risque de production (Tableau 9). La forte spécialisation des maïsiculteurs les expose à la volatilité des marchés du maïs mais aussi des intrants. D'autre part, les maïsiculteurs sont confrontés à un risque de production principalement lié à la disponibilité de la ressource en eau pour l'irrigation. Du point de vue de la perception de l'avenir, les maïsiculteurs perçoivent le changement climatique. Ils y associent deux conséquences principales : la baisse de la ressource en eau et les difficultés à accéder aux parcelles lors des chantiers agricoles liés aux aléas climatiques (pluies, gel, *etc.*). Cependant, les maïsiculteurs restent peu sensibles aux évolutions de la réglementation. La rentabilité de la monoculture de maïs leur permet d'envisager sereinement la perte d'une partie de leurs aides à la production s'ils ne respectent pas la conditionnalité¹¹. De plus, les maïsiculteurs disposent déjà de dérogations à certaines directives comme la couverture hivernale des sols. Ainsi, le simple *mulch* (les tiges broyées de maïs laissées au sol) est considéré comme une couverture hivernale des sols.

Face à ces constatations, les experts ont donc rejeté l'alternative innovante proposée d'introduire des intercultures. Leur mise en place chez les agriculteurs répond généralement à des problématiques ponctuelles de structure des sols et d'érosion. Les experts considèrent que cette innovation sera rejetée notamment parce que les récoltes de plus en plus tardives du maïs rendent le semis des intercultures difficile (entre septembre et décembre). Les intercultures ne peuvent donc être mises en place qu'après des variétés de maïs précoce ou après une autre culture, ce qui reviendrait à adopter deux innovations.

Par leur intérêt concernant la gestion de l'eau, les deux autres alternatives innovantes, les variétés précoces de maïs et l'introduction d'une céréale à paille en sec, ont été préférées par les experts. Concernant les variétés précoces de maïs, il s'agit d'une solution déjà mise en œuvre dans certaines zones de production où les rendements objectifs du maïs sont plus faibles. Les économies réalisées en énergie et en eau pourraient permettre de contrebalancer la baisse de rendement (d'environ 10% par rapport au maïs tardif selon les experts). Pour l'introduction d'une céréale à paille, le blé tendre semble être la culture la plus adaptée dans les zones de production du maïs. Le blé tendre atteint des niveaux de marge intéressants et nécessite très peu d'investissements supplémentaires pour les producteurs.

Les entretiens ont permis d'obtenir des précisions quant aux conditions d'adoption de ces deux innovations. Elles s'axent principalement autour de la formation technique des agriculteurs. En effet, le maïs est produit dans des zones fortement spécialisées. Les performances agronomiques d'autres cultures ou variétés, sont peu évaluées. Il y a un besoin important d'acquisition de références locales et de transfert de connaissances concernant les innovations proposées. Les démarches collectives sont ici aussi évoquées comme un levier de l'adoption.

¹¹ Dans le cadre de la nouvelle PAC 2014-2020, l'obtention d'un tiers des aides à la production est conditionnée, entre autre, à la production d'au moins trois cultures sur l'exploitation.

Tableau 9 : Synthèse des entretiens et *focus groups* sur le système monoculture de maïs irrigué

THEMATIQUES		INFORMATIONS ET PRECONISATION DU CORPUS D'EXPERTS
Système de culture actuel	Avantages : - Forte rentabilité avec une filière organisée et des débouchés - Investissements amortis - Permet la pluriactivité (agricole ou non) Inconvénients : - Gestion qualitative et quantitative de l'eau - Structure des sols et gestion des adventices - Coûts de production	
Perceptions du risque	- Le risque principal est le risque de marché - Le risque de production est principalement associé à la problématique de la gestion de la ressource en eau	
Perceptions de l'avenir	- Changement climatique associé à : - o La réduction de la disponibilité de la ressource en eau - o La réduction des périodes possibles pour effectuer les chantiers agricoles (semis et récolte) - La contrainte de diversification est peu prise en compte	
Système de culture innovant proposé :		
- Introduction de variété précoce de maïs	- Solution adaptée pour esquisser le stress hydrique : - o Diminution du rendement de l'ordre de 10% par rapport au maïs tardif - o Economie en eau et en énergie intéressante	
- Introduction d'une céréale à paille en sec	- Solution adaptée, le blé tendre est la céréale la plus envisagée car : - o Marge intéressante et débouchés assurés et pas d'investissements - o Conduite culturale simple	
- Mise en place d'intercultures	- Solution refusée : - o Peu de données pour montrer leur intérêt dans une rotation, coûteuses - o Difficile à mettre en place après le maïs récolté en septembre octobre (difficulté de levée des intercultures) - o Le <i>mulch</i> est une couverture hivernale des sols (pas d'obligation réglementaire)	
Conseil et accompagnement	Sources d'informations nombreuses (coopératives, chambre d'agriculture, institut, internet, etc.) Demande de plus de références locales : - Très peu de références sur les autres cultures que le maïs dans les zones très spécialisées en maïs (Landes) - L'observation des nouvelles pratiques chez les voisins favorise leur mise en place - Intérêt pour les démarches collectives ou les regroupements de producteurs autour de questions précises	
Innovation en agriculture	Importance d'une innovation « de filière » qui intègre les enjeux agronomiques et de commercialisation Autres innovations envisageables : - Techniques de travail du sol innovantes (non labour, <i>strip-till</i>, etc.) - Semis sous couvert permanent (trèfle)	

Les deux innovations alternatives à la monoculture de maïs peuvent être adoptées de manière indépendantes ou conjointement. Le principal frein est lié à la très forte spécialisation des producteurs de maïs. Une acquisition de connaissances, de compétences et de savoir-faire pour assurer leur conduite culturale est nécessaire. Cette phase exploratoire a aussi permis de mettre en lumière que l'évolution du contexte réglementaire n'affecte actuellement pas les choix de production des maïsiculteurs. La forte rentabilité du système leur permet de supporter le retrait d'une partie de leurs aides. L'évolution de la monoculture de maïs semble liée d'une part à la gestion de la ressource en eau, qui détermine les potentiels de rendement, et, d'autre part, au contexte économique. La spécialisation des maïsiculteurs les expose fortement au risque de prix à la fois sur leur production mais aussi sur les intrants car la production de maïs nécessite des charges de production élevées.

Le contexte de production des maïsiculteurs est amené à évoluer dans un futur proche. Ceci va les contraindre dans leur choix de production (changement climatique, réglementations, volatilité des marchés, etc.). Afin de les accompagner dans le changement et de connaître leurs besoins, nous souhaitons appréhender leur comportement face à des contextes de production plus restrictifs. Ceci dans un objectif double d'évaluer : i) leur sensibilité aux éléments du contexte de production et ; ii) leurs préférences vis-à-vis des innovations qu'ils peuvent mettre en place pour adapter leur système de culture.

II.2) Conception des questionnaires d'enquête

Suite aux deux étapes exploratoires décrites précédemment, un questionnaire d'enquête a été conçu pour chacun des systèmes de culture de référence afin de collecter les déterminants pouvant affecter l'adoption des systèmes de culture innovants sélectionnés (**Erreur ! Source du renvoi introuvable., Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les deux questionnaires répondent à des enjeux différents mais suivent une structure identique. Quatre catégories de déterminants sont collectés : i) les déterminants socio-économiques ; ii) les attitudes vis-à-vis du risque ; iii) les perceptions du risque et des innovations et ; iv) les préférences pour les innovations révélées par une expérience de *choice modelling*.

Dans cette section nous présentons dans un premier temps les déterminants socio-économiques collectés dans l'enquête. Ensuite, nous exposons les méthodes mises en œuvre pour évaluer les perceptions et les attitudes des agriculteurs vis à vis du risque et des innovations proposées. Enfin, le dernier paragraphe détaille la conception des *choice modelling* pour chacun des systèmes de référence afin de révéler les préférences des agriculteurs.

II.2.1) Déterminants socio-économiques de l'adoption

Pour sélectionner les déterminants socio-économiques à collecter dans le questionnaire nous nous sommes basés sur la revue de la littérature sur les déterminants de l'adoption d'innovations (cf. Chap. I). Par ailleurs, nous avons choisi de disposer de variables sur les enjeux soulevés par les experts lors de la phase exploratoire. Nous avons donc collecté des données précises concernant le contexte de production actuel des producteurs ainsi que sur les problématiques rencontrées vis-à-vis de la conduite de leur système de culture. En effet, les exploitants peuvent faire face à des impasses agronomiques ou des contraintes d'exploitation qui orientent leur choix d'adoption. D'autre part, face à l'importance accordée au conseil et à l'information par les experts, nous avons cherché à obtenir des indicateurs sur l'accès à l'information, formelle et informelle, des agriculteurs.

II.2.1.1) Contexte de production et contraintes d'exploitation

Le contexte de production des agriculteurs est un élément décisif dans la décision d'adoption des agriculteurs car il peut l'orienter dans son choix (Fujisaka, 1994, Knowler et Bradshaw, 2007, Prokopy *et al.*, 2008, Greiner *et al.*, 2009). Le contexte de production comprend plusieurs composantes (sol, climat, ressources naturelles, *etc.*) qui peuvent agir différemment sur l'adoption. Nous avons choisi de collecter des données précises sur le contexte de production des agriculteurs ainsi que sur leur difficultés d'exploitation afin d'évaluer leurs effets sur l'adoption des systèmes de culture innovants. Les variables collectées peuvent être groupées en trois grands volets : le système de production actuel, le parcellaire et l'accès à la ressource en eau.

La production céréalière est fortement dépendante des conditions pédoclimatiques. Différentes variables sont collectées à ce sujet. Les agriculteurs indiquent les différents types de sol présents sur l'exploitation et leur pourcentage. Ils précisent leur Surface Agricole Utile (SAU) ainsi que ses particularités en termes de pente et de dispersion des parcelles. Ces éléments peuvent influencer sur le choix des agriculteurs. Par exemple, ils adopteront des pratiques de réduction de l'érosion dans les parcelles pentues ou choisiront préférentiellement certaines cultures car elles sont plus adaptées au type de sol. Du point de vue du climat, des variables détaillent la perception du changement climatique. Les agriculteurs indiquent s'ils perçoivent le changement climatique, ses conséquences sur les conditions de production et la production, le nombre de sécheresse et de restrictions auxquelles ils ont été soumis. Des données sur l'accès à la ressource en eau sont aussi collectées ainsi que la consommation d'eau moyenne par hectare, le quota, la provenance de l'eau (rivière, lac, forage, *etc.*) et le matériel utilisé.

Concernant le système de production actuel, les agriculteurs enquêtés sont spécialisés en grandes cultures. Ils indiquent, en premier lieu, leur système de culture principal (rotation blé dur sur tournesol ou monoculture de maïs), puis détaillent toutes les cultures qu'ils produisent sur l'exploitation en précisant la surface, le rendement objectif, la marge brute moyenne espérée, le nombre de traitements, l'irrigation et la signature d'un contrat de production ou d'une assurance pour la culture. Ils répondent ensuite à des questions sur leurs difficultés rencontrées dans la conduite des cultures. En effet, certaines difficultés de production peuvent affecter les perceptions des agriculteurs face aux innovations et ils seront plus enclins à adopter une innovation qui limite ces difficultés. Au total huit difficultés leur sont présentées : la fertilité des sols, la structure des sols, l'enherbement, les maladies, les attaques parasitaires, la gestion de l'eau, la gestion des pics de travaux et les difficultés de la conduite culturale. Ils indiquent la fréquence avec laquelle ils rencontrent chacune des difficultés (ponctuelle ou récurrente) et en quelle année ils y ont été exposés pour la première fois. Ils doivent ensuite quantifier la perte de rendement associée à ces difficultés. Enfin ils détaillent les adaptations qu'ils ont déjà mises en place pour y répondre. Ces deux derniers éléments permettent de déterminer si les difficultés agronomiques affectent fortement l'agriculteur, notamment sur son revenu, et s'il est déjà dans une démarche proactive d'innovation pour les pallier.

Enfin, les agriculteurs qui ont un autre atelier indiquent son type (viticulture, élevage, maraichage, *etc.*), sa taille, le pourcentage du revenu agricole et du temps de travail représenté par cet atelier. En effet, la présence d'un autre atelier de production sur l'exploitation peut expliquer certains choix de production des agriculteurs notamment quand l'atelier dépend de la production céréalière (autoconsommation des productions pour le troupeau). De plus, même si l'agriculteur alloue une

surface réduite à un atelier, ce qui est le cas dans notre échantillon, ce dernier peut représenter une part significative de son revenu (exemple du maraichage). L'agriculteur peut donc prioriser ses choix en fonction de cet atelier.

II.2.1.2) Accès à l'information et au conseil

L'accès à l'information est un des piliers de l'adoption et de la diffusion des innovations (Lindner *et al.*, 1982, Feder et Slade, 1984, Rogers, 2003). Lors de la phase exploratoire, les experts ont particulièrement insisté sur la nécessité de fournir des références et des informations techniques aux agriculteurs pour faciliter l'adoption des systèmes de culture innovants. Dans le questionnaire nous évaluons le contexte informationnel grâce à plusieurs variables.

Tout d'abord, les agriculteurs doivent indiquer leur appartenance à différents organismes agricoles (syndicats, coopératives, etc.) et para-agricoles (association, groupements de producteurs) qui peuvent leur permettre d'acquérir des informations. Ils précisent aussi s'ils sont abonnés à des revues agricoles spécialisées en grandes cultures. Ils doivent ensuite préciser leurs sources préférentielles d'informations en fonction de différents types de conseil : conseil technique, conseil sur des nouvelles pratiques ou cultures, conseil stratégique (investissement), conseil sur les prix de vente des cultures et conseil sur des essais culturels. Au total, ils doivent ordonner huit canaux d'information par ordre de préférence : internet, magazines, centre de gestion, Centre d'Etudes Techniques Agricoles (CETA), conseiller de la coopérative, entre de recherche (INRA), conseiller de la Chambre d'Agriculture, institut technique (Arvalis, CETIOM), agriculteurs voisins. Ils précisent aussi s'ils consultent les marchés à terme pour anticiper les prix et s'ils réalisent ou ont réalisés des essais sur leur exploitations.

Les experts ont déclaré que les agriculteurs, fortement spécialisés dans leur système de culture actuel, devraient faire des investissements immatériels en conseil et en informations afin de pouvoir mettre en place des systèmes de culture innovants. Afin de quantifier ces investissements immatériels nous avons directement interrogé les agriculteurs sur leur consentement à payer pour trois types de conseil : l'accès à des références locales précises, l'accompagnement personnel par des spécialistes et enfin la participation à des groupements de producteurs accompagnés par des spécialistes. Ces différentes données nous permettent d'appréhender le contexte informationnel, formel et informel de l'exploitant afin d'évaluer son effet sur l'adoption.

II.2.2) Evaluer le risque : perceptions et attitudes

Lors de la mise en place d'un nouveau système de culture sur l'exploitation, l'agriculteur fait face à une situation complexe. Il ne dispose pas de toutes les références lui permettant de connaître précisément le potentiel agronomique, la conduite ou l'effet à long terme de l'innovation sur son exploitation. Dans cette situation d'information incomplète, l'agriculteur base ses décisions sur ses perceptions, ses croyances et ses connaissances de son contexte de production en lien avec son aversion face au risque. En économie agricole, l'analyse du comportement des agriculteurs en présence de risque a principalement été abordée à travers le cadre théorique de l'utilité espérée (et les modèles en découlant *SEU* et *PT*¹²). Ces travaux ont mis en évidence, notamment, le rôle de l'aversion vis-à-vis du risque dans les choix de production des agriculteurs et l'adoption de nouvelles technologies (Feder, 1980, Kebede *et al.*, 1990, Featherstone et Goodwin, 1993, Menapace *et al.*,

¹² *Subjective Expected Utility (SEU) et Prospect Theory (PT)* (cf. Introduction générale)

2013, Bocqueho, 2014). Cependant, ces méthodes relient les préférences vis-à-vis du risque des exploitants uniquement à la courbure de leur fonction d'utilité, généralement grâce à l'observation d'une série de choix risqués (jeux de loteries). Il n'est alors pas possible de distinguer l'aversion vis-à-vis du risque des perceptions du risque (Weber *et al.*, 2002). Pourtant, certains travaux montrent le lien entre les perceptions du risque et les choix de production ou d'adoption d'innovations (O'Mara, 1983, Smale *et al.*, 1994, Sherrick *et al.*, 2004, Menapace *et al.*, 2013). Plusieurs auteurs mettent en avant l'importance de mieux traiter distinctement aversion et perceptions (Lindner *et al.*, 1982, Feder *et al.*, 1985, Hardaker et Lien, 2010). L'enjeu reste cependant de réussir à les observer et de les mesurer avec précision.

Dans ce travail nous tenterons de distinguer les effets spécifiques des perceptions du risque de ceux des attitudes vis-à-vis du risque des agriculteurs. Pour cela, différentes méthodes sont utilisées dans le questionnaire pour les révéler. Elles sont décrites dans les deux paragraphes suivants. Le paragraphe II.2.2.1 présente les méthodes de révélation des attitudes des agriculteurs. Ensuite, afin de quantifier le risque perçu, nous détaillons les méthodes utilisées pour révéler les distributions de probabilités subjectives attribuées aux différents risques encourus par les agriculteurs (§ II.2.2.2).

II.2.2.1) Mesurer les attitudes des agriculteurs face au risque

En révélant la courbure de la fonction d'utilité des individus, on peut déterminer le niveau d'aversion au risque des individus (distincts dans le domaine des gains et des pertes pour la *PT*). Plusieurs méthodes existent impliquant différents niveaux de complexité : choix binaires de loteries (Eckel et Grossman, 2008), choix au sein d'une liste de loteries multiples (Binswanger et Sillers, 1983). Cependant, le pouvoir descriptif du comportement réel des individus, et des agriculteurs, obtenu par le biais de ces méthodes, est discuté (Hellerstein *et al.*, 2013). En premier lieu, parce que qu'il est apparu que certains individus ne basent pas leur décision sur le seul critère de maximisation de l'utilité espérée. D'autre part, les individus sont interrogés dans des conditions expérimentales contrôlées de choix de loteries engageant des sommes monétaires. Ces conditions sont souvent éloignées des conditions de choix réels des individus et ne les engagent que dans des situations de risque financier. Or, des travaux montrent que les attitudes vis à vis du risque des individus peuvent être différentes en fonction du type de risque associé (Hanoch *et al.*, 2006) mais aussi du contexte dans lequel il est pris (professionnel ou personnel) (MacCrimmon et Wehrung, 1990, Reynaud et Couture, 2012). Ces résultats remettent en question la définition d'un coefficient d'aversion au risque unique (Weber *et al.*, 2002).

Des psychologues et des économistes ont développé des méthodologies afin d'identifier les attitudes vis-à-vis du risque dans différents domaines. Il s'agit principalement de questionnaires de mesure directe d'attitude face au risque, auto-déclarée sur des échelles psychométriques comme les échelles de Likert, balayant les risques encourus dans différents aspects de la vie courante (financiers, social, etc.) (Pennings et Garcia, 2001, Weber *et al.*, 2002, Dohmen *et al.*, 2011). Nous nous intéressons particulièrement à deux d'entre elles utilisées dans le domaine de l'économie agricole.

Pennings et Garcia ont conçu la méthode *GRAC* (*General Risk-Attitude Construct*) qui combine des méthodes de révélation des attitudes vis-à-vis du risque obtenues par des auto-déclarations (échelles de Likert) et élicitées par des choix de loteries (Pennings et Garcia, 2001). Ils ont mis en évidence que ces deux types de mesures sont liées et que les attitudes face au risque ainsi obtenues sont corrélées avec le comportement de commercialisation des agriculteurs (producteurs de porcs aux Pays Bas).

Dohmen *et al.* proposent quant à eux une évaluation des attitudes vis-à-vis du risque par la méthode DOSPERT (*Domain-specific risk-taking*). Les répondants indiquent leur attitude vis-à-vis du risque de manière générale sur une échelle graduée de 1 à 10 qui mesure leur propension à prendre des risques (0 correspond à « pas du tout » et 10 à « prendre fortement des risques »). Ensuite ils proposent une série de questions dans différentes situations : santé, loisirs, social, éthique, jeux et investissements. Ils montrent un fort pouvoir explicatif entre la déclaration de la propension à prendre des risques de manière générale et leurs décisions dans la vie courante. De plus, les réponses obtenues en fonction des différents domaines apparaissent comme spécifiques au domaine considéré (Dohmen, 2005, Dohmen *et al.*, 2011). Ces méthodes de révélation des attitudes par des techniques déclaratives apparaissent donc adaptées aux situations spécifiques qui nous intéressent et aux moyens dont nous disposons pour révéler ces informations.

Dans ce travail, nous avons fait le choix d'intégrer des méthodes d'auto-déclaration sur échelles pour évaluer les attitudes vis-à-vis du risque des agriculteurs de l'enquête. D'autres travaux en économie agricole ont déjà mobilisé des indicateurs d'attitude vis-à-vis du risque issus de ces méthodes pour évaluer l'effet du risque sur le comportement de contractualisation (Musser *et al.*, 1996, Franken *et al.*, 2014) ou d'assurance (Sherrick *et al.*, 2004). Nous avons choisi ces méthodes pour deux raisons principales. Premièrement, leur simplicité de compréhension et de mise en place au sein d'un questionnaire qui comporte plusieurs autres volets. En effet, les agriculteurs enquêtés répondent à une expérience de *choice modelling* qui les met déjà dans une situation hypothétique de choix. Nous avons choisi de ne pas ajouter une autre méthode expérimentale (avec des loteries) pour révéler les attitudes afin de ne pas lasser les agriculteurs par la longueur et la complexité du questionnaire. Deuxièmement, nous avons vu que les agriculteurs déclarent être exposés à des risques spécifiques, qui peuvent varier en fonction du système de culture considéré. Aussi ces méthodes nous permettent de révéler les attitudes vis-à-vis du risque dans des domaines d'intérêt comme : risque de volatilité des prix, du changement climatique, *etc.* Cependant, il faut s'assurer de la cohérence des réponses des individus car il s'agit d'auto-déclarations et que les répondants ne reçoivent pas d'incitation financière (Holt et Laury, 2002). Les différentes questions sur les attitudes face aux risques intégrées dans les questionnaires seront plus précisément explicitées dans les chapitres dédiés à l'analyse des résultats de chacun des questionnaires (*cf.* Chap. IV et Chap. V).

II.2.2.2) Mesure du risque perçu par les probabilités subjectives

Le paragraphe précédent montre qu'il existe de nombreuses méthodes pour évaluer et quantifier l'aversion au risque : par un coefficient d'aversion au risque (révélation de la fonction d'utilité par des jeux de loteries) ou des scores (méthodes d'auto-déclaration sur échelles) (Charness *et al.*, 2013). En plus de l'attitude, la perception du risque apparaît aussi comme un élément essentiel du processus de décision des agriculteurs (Quiggin, 1981, Feder et Slade, 1984, Feder et Umali, 1993, Ghadim *et al.*, 2005). Une innovation perçue comme plus risquée sera d'autant moins adoptée, que l'agriculteur est averse au risque (Marra *et al.*, 2003). Aujourd'hui, peu de travaux s'intéressent au rôle joué par les perceptions du risque dans les décisions des agriculteurs (Smith et Mandac, 1995, Cerroni *et al.*, 2012, Menapace *et al.*, 2014). Ceci peut s'expliquer par la difficulté de les observer et de les quantifier (Hardaker et Lien, 2010). Il est nécessaire de les quantifier car la perception du risque est liée à deux éléments. La variabilité de la variable aléatoire n'est qu'un aspect du risque, et sa valeur moyenne, en tendance, joue aussi un rôle majeur dans les décisions des agriculteurs. Par exemple l'agriculteur, peut être sensible à la variabilité accrue des prix (intra ou interannuelle), liée à

la volatilité des marchés, mais il calcule sont revenu à partir de son estimation de la baisse ou de la hausse moyenne des prix attendue.

Pour prendre en compte ces deux composantes de la perception du risque (moyenne et dispersion) il est nécessaire déterminer la distribution complète des probabilités subjectives associées au risque. Des méthodes permettent de les révéler. Certaines se basent sur des jeux de loteries ou des paris comme la méthode de la probabilité canonique et de l'équivalent certain¹³. Cependant, comme pour la révélation des attitudes vis-à-vis du risque, ces méthodes présentent des limites pour généraliser les perceptions obtenues à des sources de risque autres que le risque financier (Kilka et Weber, 2001, Cerroni *et al.*, 2012). Nous nous intéressons ici à deux autres méthodes qui permettent de quantifier les perceptions quelle que soit la source du risque : la méthode d'échangeabilité (*exchangeability method*) et la méthode d'impact visuel (*Visual impact method*) (Anderson *et al.*, 1977).

La méthode d'échangeabilité est itérative. Elle consiste à diviser successivement l'ensemble des états de la nature en 2, puis 4, puis 8, *etc.* Dans un premier temps, les sujets sont invités à miser sur l'un des deux sous-espaces proposés. Ce sous-espace est ensuite subdivisé en deux et le sujet doit réitérer son pari. Lorsque les individus sont indifférents entre les deux sous espaces proposés, ils sont supposés percevoir ces deux espaces comme tout aussi probables. On peut ainsi identifier différents points pour déterminer la distribution cumulative de probabilités subjectives des individus. Menapace *et al.* (2015) utilisent cette méthode avec des agriculteurs pour évaluer les distributions de probabilité de pertes de productions (pommes et raisins) liées au changement climatique. Ils montrent, entre autres, un lien entre les perceptions et l'aversion au risque des agriculteurs.

La méthode d'impact visuel découle des méthodes basées sur les règles de scores. L'individu déclare la probabilité de survenance ou non d'un événement. La méthode d'impact visuel, ou méthode de distribution des fréquences par intervalles, présente différents intervalles qui partitionnent les états de la nature des conséquences de l'événement risqué. L'individu indique ensuite directement (et non par révélation de son niveau d'indifférence) l'occurrence des différents intervalles en indiquant la probabilité d'occurrence (ou en allouant des jetons) (Hardaker *et al.*, 2004, Hardaker et Lien, 2010). Smith and Mandac (1995) ont utilisé ce type de méthode pour révéler les distributions de rendements subjectifs des agriculteurs. Ils ont montré que les espérances de rendements des agriculteurs étaient similaires à la moyenne de rendement de données historiques mais que les exploitants ont tendance à largement sous-estimer la variance des rendements, par rapport aux données historiques.

Afin d'évaluer le rôle des perceptions sur la décision d'adoption d'un système de culture innovant nous avons choisi d'utiliser la méthode de distribution des fréquences par intervalles. Ce choix est principalement lié au fait que cette méthode est simple et que l'agriculteur peut compléter directement le questionnaire. A l'inverse, la méthode de d'échangeabilité est itérative, plus complexe et donc plus chronophage. De plus, Cerroni *et al.* (2012) discutent de sa validité pour obtenir des résultats fiables lorsqu'il n'y a pas d'incitations financières. Face au nombre important d'agriculteurs dans l'échantillon d'enquête, il n'était pas possible d'attribuer de compensation financière.

¹³ On peut se référer à la thèse d'Aurélien Baillon (2007) qui fait une revue assez exhaustive de ces méthodes appliquées à la révélation des probabilités subjectives

Les agriculteurs ont été questionnés sur leurs perceptions des deux principaux risques auxquels ils sont exposés : le risque de production et le risque de marché. Pour évaluer les perceptions du risque de production, les intervalles de rendements proposés ont été définis avec des agronomes à partir des données historiques de rendement des cultures dans le Sud-Ouest. Concernant, les révélations des perceptions des prix, les intervalles sont issus de l'analyse des bases de données historiques de prix de vente des coopératives partenaires du projet. Comme pour la révélation des attitudes vis-à-vis du risque, les questions liées aux perceptions sont centrées sur les problématiques des systèmes de cultures et elles sont différentes en fonction des questionnaires d'enquêtes (cf. Chap. III, IV et V).

II.2.3) Révéler les préférences des agriculteurs : conception des *choice modelling*

II.2.3.1) Choix de la méthode du *choice modelling*

Le taux d'adoption actuel des différents systèmes de culture innovants envisagés dans cette thèse est faible, peu d'agriculteurs ont déjà mis en place ces innovations. Il n'existe donc pas de données observées disponibles sur les facteurs pouvant affecter leur adoption. Pour évaluer les préférences des agriculteurs face à ces innovations, nous avons choisi d'utiliser des méthodes de révélation des préférences déclarées. Deux principales méthodes sont possibles¹⁴ : l'évaluation contingente et les méthodes de choix discrets (cf. Chap. I). L'évaluation contingente consiste à reconstituer un marché contingent, hypothétique, dans lequel le bien pourrait être échangé. Ensuite, l'individu indique directement son consentement à payer pour acheter ou conserver l'usage de ce bien. Cette méthode est particulièrement utile en économie de l'environnement afin d'évaluer la valeur monétaire de biens non marchands (paysage, eau, air, etc.). Or, dans le cadre de l'analyse de l'adoption de nouveaux systèmes de culture, les exploitants ne sont pas dans une démarche d'achat ou de consommation directe du bien mais dans une logique de choix entre plusieurs systèmes de culture possibles (innovants ou conventionnels). Les méthodes de choix discrets comme le *choice modelling*, semblent des méthodes plus appropriées. Elles mettent l'individu dans une situation de choix hypothétique entre des alternatives décrites par des attributs. Grâce à des modèles économétriques d'évaluation des choix discrets, l'utilité des alternatives peut ensuite être dérivée des décisions de l'individu et il est possible d'évaluer le poids de chaque attribut dans le choix de l'individu. Le principal avantage de ce type de méthodes est qu'il permet de contrôler à la fois le contexte du choix et la description du bien ou de l'alternative évaluée (Adamowicz *et al.*, 1998). On peut ainsi prendre en compte à la fois les caractéristiques des innovations et leur contexte de production, dans une posture d'approche globale.

Les principales limites des méthodes de révélation des préférences déclarées sont liées au caractère hypothétique de ces approches. Si l'expérience n'est pas crédible ou trop complexe, il existe un biais hypothétique. Dans ce cas, l'individu fait un choix qui ne correspond pas à son comportement dans la réalité. Il peut aussi refuser de manière systématique les choix présentés dans une démarche de protestation. Par ailleurs, il existe aussi un biais psychologique dans le cadre d'enquêtes où les individus enquêtés orientent leur choix vers ce qu'ils pensent être l'objectif de l'enquêteur. Par exemple, ce biais du « *yeah saying* » peut être observé dans des études en économie de l'environnement où les individus ont tendance à faire des choix pro-environnementaux qu'ils ne

¹⁴ Nous omettons volontairement les travaux basés sur l'évaluation conjointe (décrite dans le Chap. I). Cette méthode est moins répandue dans les travaux récents en économie agricole. De plus, l'emploi du terme « évaluation conjointe » est souvent erroné car il désigne des approches avec des méthodes de choix discrets, comme expliqué dans l'article de Louviere *et al.* (2010) : « *Discrete choice experiments are not conjoint analysis* »

feraient pas en réalité (Kuhfuss *et al.*, 2014). Face à ces limites, l'approche par *choice modelling* permet de réduire ces biais par rapport à l'évaluation conjointe. En effet, l'arbitrage des choix entre les différentes alternatives est complexe. Chaque alternative est décrite par plusieurs attributs et avec des niveaux différents. De plus, la répétition des mises en situation de choix rend la manipulation des réponses difficiles (Louviere *et al.*, 2000a).

Dans ce travail, nous avons choisi de concevoir une approche par expériences de *choice modelling* pour évaluer les préférences des agriculteurs. Cette nous paraît une méthode pertinente pour analyser et hiérarchiser les déterminants de l'adoption des systèmes de culture innovants proposés. Cette approche nous permet de limiter le biais hypothétique. De plus, la démarche participative décrite dans la section précédente, nous permet de nous assurer de la crédibilité des systèmes de culture innovants proposés ainsi que de limiter les blocages à l'adoption.

Les enjeux distincts des deux systèmes de culture étudiés nous amènent à concevoir deux expériences distinctes de *choice modelling*. Les deux paragraphes suivants présentent leur conception. Les étapes de conception sont identiques et reprises dans les deux paragraphes suivants : i) définir l'objectif du *choice modelling* et choisir les attributs pertinents et leurs niveaux et ; ii) concevoir un plan d'expérience.

II.2.3.2) Choix des attributs et de leurs niveaux

Le choix des attributs est délicat car ils doivent correspondre à des caractéristiques significatives, crédibles et exprimées de manière compréhensible pour les agriculteurs. Il est aussi conseillé, pour des raisons de taille du plan expérimental et de limite cognitive des participants, de construire le *choice modelling* avec un nombre limité d'attributs (maximum 5 ou 6) (Louviere *et al.*, 2000b). Plus il y a d'attributs, plus la décision est compliquée. Par ailleurs, pour des raisons d'estimation statistique, plus il y a d'attributs, plus l'échantillon doit être important pour obtenir une estimation correcte. Enfin, pour pouvoir évaluer une valeur monétaire de chacun des attributs, il est nécessaire d'intégrer un attribut monétaire (valeur marchande ou un proxy assimilable comme la distance). Tout comme le choix des attributs, le choix des niveaux de chacun d'eux doit être réalisé moyennant une bonne compréhension du problème par l'exploitant. Les niveaux doivent donc être réalistes pour qu'ils puissent permettre à l'agriculteur de se projeter dans une situation de choix réaliste. Pour ces raisons, en fonction des attributs, le choix des niveaux a été effectué en concertation avec les experts, selon des documents de prospective ou des données historiques des coopératives ou des instituts techniques.

II.2.3.2.1) L'expérience conçue pour la rotation de blé dur sur tournesol

La rotation courte de blé dur sur tournesol fait face, nous l'avons vu, à de impasses agronomiques importantes. Les exploitants doivent gérer le développement des résistances aux produits phytosanitaires à la fois des adventices et des maladies. Ces difficultés agronomiques accroissent le risque de perte de rendement supporté par les agriculteurs. L'allongement de la rotation, par l'introduction d'une culture de diversification, est une solution d'ores et déjà mise en place par certains producteurs pour rompre le cycle de développement des adventices. Lors de la phase exploratoire quatre cultures de diversification ont été envisagées : le blé tendre, le colza, le sorgho et le pois. Chacune d'elles présente des bénéfices agronomiques mais aussi des inconvénients propres. La culture de diversification la plus appropriée est donc différente en fonction des conditions et des difficultés de production de chacun des agriculteurs.

Pour accompagner les agriculteurs vers une diversification de leur assolement, nous souhaitons évaluer leurs préférences pour les cultures de diversification et plus précisément pour les caractéristiques de ces dernières. Ainsi, la mise en situation à travers une expérience de *choice modelling* permet d'observer un choix d'adoption d'une culture de diversification fictive. Les attributs représentent des caractéristiques d'intérêt des cultures de diversification qui ont été abordées par les experts lors de la phase exploratoire. La culture de diversification est représentée par cinq attributs (

Tableau 10). L'intérêt de l'introduction d'une nouvelle culture dans la rotation est de bénéficier des effets rotationnels positifs et de limiter le développement des résistances des maladies et adventices. Dans la rotation de blé dur sur tournesol, la culture principale est la plus profitable : le blé dur. Afin de considérer les effets rotationnels de la culture de diversification, elle est intégrée dans la rotation avant le blé dur, c'est à dire comme son précédent cultural. La rotation proposée aux agriculteurs dans le *choice modelling* est sur 3 ans : tournesol / culture de diversification / blé dur. Deux attributs correspondent aux effets rotationnels de la culture de diversification sur le blé dur : la restitution en azote et l'effet sur la consommation en produits phytosanitaires. Les trois autres attributs sont des caractéristiques propres à la culture de diversification (le calendrier de travail et la technicité de la conduite culturale) ainsi qu'un attribut monétaire : la marge brute par hectare. Les niveaux des attributs ont été sélectionnés en fonction des caractéristiques des quatre cultures de diversification évoquées lors des phases exploratoires. Ainsi, les niveaux proposés sont des niveaux réels de cultures de diversification potentielles. Cependant, la culture de diversification présentée, issue de la combinaison des différents attributs, ne correspond pas forcément à une culture existante, il s'agit d'une culture fictive. Nous avons fait le choix de présenter une culture fictive afin de mettre tous les agriculteurs dans des conditions d'expérience homogènes. En proposant des cultures existantes, nous risquons de nous confronter à des effets d'expérience des agriculteurs. Par exemple, si l'exploitant a déjà implanté du colza et qu'il n'en a pas obtenu le rendement escompté, il rejetterait l'adoption de cette culture sans forcément prendre en compte son intérêt agronomique. Le choix de la culture fictive permet de limiter ce biais.

Concernant les deux attributs représentant les intérêts rotationnels de la culture, le premier est lié à la restitution azotée. L'azote est un facteur limitant dans la croissance des plantes, surtout pour des cultures exigeantes comme le blé dur. Les agriculteurs doivent généralement faire des apports en azote minéral additionnels ce qui représente un des principaux postes des charges de production. L'introduction dans la rotation de certaines cultures comme le pois, qui fixe l'azote atmosphérique, permet de limiter ces charges pour les agriculteurs. Cet attribut est composé de trois niveaux : 0, 25 ou 50 unités d'azote restituées. Par exemple, le blé tendre ne restitue pas d'azote, le colza restitue environ 25 unités d'azote et le pois 50¹⁵. Le second attribut correspond à l'effet de l'allongement de la rotation sur la consommation en pesticides. Face au développement des résistances, les agriculteurs réalisent des traitements supplémentaires qui accroissent leurs charges de production. L'introduction de cultures de diversification, comme le sorgho, peut limiter la prolifération des adventices et réduire le nombre de traitements, en herbicides notamment, sur la culture suivante. A l'inverse certaines cultures, comme le colza, sont réputées « salissantes » et impliquent pour l'exploitant des traitements herbicides supplémentaires. Ce second attribut est évalué relativement au précédent cultural actuel du blé dur dans la rotation : le tournesol. Il est composé de trois

¹⁵ Ces niveaux ont été estimés par deux experts de l'INRA de Toulouse Auzeville

niveaux : -1, 0 et +1 traitements phytosanitaires sur le blé dur, par rapport au nombre de traitements actuels. Le nombre de traitements est exprimé en point d'Indice de Fréquence de Traitement (IFT), unité de référence dans la réglementation, un point d'IFT correspond à un traitement phytosanitaire à pleine dose sur un hectare.

Trois attributs décrivent ensuite la culture de diversification. Le premier, l'attribut monétaire, représente la marge brute de la culture de diversification. Il s'agit d'un élément décisif dans le choix des agriculteurs. Cet attribut est composé de cinq niveaux représentant les niveaux de marge brute actuels des quatre cultures de diversification possibles : 300, 375, 450, 525 et 600 €/ha. Ensuite, un attribut décrit le calendrier de travail des agriculteurs pour intégrer l'enjeu de la gestion de la charge de travail évoqué par les experts. Il s'agit de la saisonnalité de la culture de diversification, qui définit donc les périodes de pics de travaux. L'attribut est composé de deux niveaux : été et hiver. Enfin, le dernier attribut correspond à la « technicité » de la conduite culturale. Le choix de cet attribut répond à l'existence d'un blocage évoqué lors de la phase exploratoire ainsi que dans des travaux en agronomie sur la diversification des cultures (Merrien *et al.*, 2013). Le niveau de technicité a été défini, lors de la phase exploratoire, comme résultant d'un besoin plus élevé en termes de surveillance et la nécessité de traitements fréquents de la culture dans des périodes d'interventions réduites. Certaines cultures, comme le colza, ont un niveau de technicité perçue plus élevé ce qui peut freiner leur adoption. Cet attribut est composé de trois niveaux : peu technique, technique et très technique.

La combinaison des cinq attributs constitue la culture de diversification fictive. La mise en situation proposée aux agriculteurs est représentée par une carte de choix (Figure 3). Face à la culture de diversification décrite, l'enquêté indique s'il serait prêt à introduire cette culture dans sa rotation avant le blé dur. S'il accepte, il doit indiquer quelle surface actuellement en tournesol (le précédent actuel du blé dur) il serait prêt à substituer. L'agriculteur dispose d'une fiche explicative qui lui résume le principe du *choice modelling* et qui définit les attributs présentés ainsi que les niveaux qu'ils peuvent prendre dans l'expérience (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Tableau 10: Attributs et leurs niveaux pour l'expérience du *choice modelling* sur la rotation de blé dur sur tournesol

Attributs	Description	Niveaux
Restitution en azote	Unités d'azote restituées pour le blé dur par la culture de diversification	0 U N (Référence) 25 U N 50 U N
Effet sur la consommation en produits phytosanitaires	Variation du nombre de traitements phytosanitaires par rapport au tournesol	-1point d'IFT 0 point d'IFT (Référence) +1 point d'IFT
Marge brute	Niveaux de marge brute de la culture de diversification en €/ha	300 / 375 / 450 / 575 / 600 €/ha
Calendrier de travail	Saisonnalité de la culture de diversification	Hiver Eté (Référence)
Technicité de la conduite	Niveau de difficulté de la conduite de la culture de diversification	Peu technique Technique (Référence) Très technique

Grâce aux essais réalisés chez vous et des exploitants voisins, nous avons déterminé les caractéristiques de la culture X. Elles vous sont présentées ci-dessous :

Restitution en azote pour le blé dur	25 UN N N
Effet consommation produit phytosanitaire	-1 point d'IFT 
Marge brute	300 €/ha
Calendrier de travail	Culture d'HIVER 
Technicité de la conduite	Très technique 

Seriez-vous prêt à introduire la culture X avant votre blé dur ?

☐ Oui ☐ Non

Si 'Oui', veuillez indiquer sur combien d'hectares de votre SAU actuellement en blé/tournesol :

..... ha

N'hésitez pas à vous référer à la fiche explicative des caractéristiques ou au responsable de l'enquête en cas de question ou de doute

Figure 3 : Exemple de carte de choix pour le *choice modelling* du blé dur sur tournesol

II.2.3.2.2) L'expérience conçue pour la monoculture de maïs

Concernant la monoculture de maïs, les maïsiculteurs rencontrent peu ou pas de difficultés de gestion vis-à-vis de sa conduite culturale. Son haut niveau de rentabilité ne pousse pas les exploitants dans une démarche d'innovation proactive à l'heure actuelle. Malgré les aléas sur les cours du maïs sur les marchés mondiaux, les marges brutes en monoculture de maïs restent importantes (entre 800 et 1400 €/ha). Cependant, la grande dépendance de ce système à la ressource en eau pose de nombreuses questions quant à son devenir face au changement climatique. Les étapes exploratoires nous ont permis de déterminer les innovations possibles et crédibles pour les maïsiculteurs, qui peuvent être mises en place indépendamment ou conjointement : la mise en place de variétés précoces de maïs et l'introduction de blé tendre. Malgré l'intérêt de ces innovations, l'évolution de la monoculture de maïs irrigué semble entièrement conditionnée à l'évolution du contexte de production des maïsiculteurs et spécifiquement à l'évolution de la disponibilité de la ressource en eau ainsi qu'à la conjoncture des marchés du grain et de l'énergie. Ainsi, afin d'évaluer le comportement d'adoption des maïsiculteurs face aux innovations proposées, il est nécessaire de les mettre dans une situation de production restrictive qui induise un besoin d'innover. L'expérience de *choice modelling* a donc été conçue afin d'évaluer le comportement d'adoption des deux innovations proposées dans des contextes de production hypothétiques et restrictifs.

Les attributs présentés sont des indicateurs du contexte de production dans lequel l'agriculteur fait son choix d'adoption des deux innovations : i) la substitution des variétés actuelles de maïs par des variétés de maïs précoces ; ii) l'introduction de blé tendre dans la rotation. Les entretiens exploratoires ont mis en évidence les contraintes préoccupantes pour les producteurs de maïs. En premier lieu, l'accès à la ressource en eau détermine les rendements potentiels de la culture. D'autre part, plusieurs remarques en lien avec la conjoncture des marchés ont été formulées. La volatilité des prix de marché du grain et l'augmentation du prix de l'énergie se répercutent fortement sur les charges de production des exploitants.

A partir de ces résultats exploratoires quatre attributs ont été retenus pour décrire le contexte de production des maïsiculteurs : i) le quota d'eau maximum disponible ; ii) le risque de sécheresse ou de restriction ; iii) le prix de vente des cultures et iv) l'évolution du prix de l'énergie (Tableau 11). Tous les attributs sont composés de trois niveaux.

Deux attributs illustrent la gestion de la ressource en eau. Un premier attribut est le quota maximum autorisé pour l'irrigation en mètres cubes par hectare. Pour être réaliste, les niveaux ont été choisis par rapport aux quotas actuels des agriculteurs et à des données de prospective (« Garonne 2050 », Agence de l'Eau Adour Garonne, 2014). Le quota moyen sur le bassin versant est de 1 800 m³/ha, il a donc été utilisé comme référence. Les deux autres niveaux sont plus bas, 1 500 et 1 200 m³/ha. Selon les experts, il s'agit de quotas restrictifs mais pour lesquels la production de maïs irrigué reste possible. Le second attribut lié à l'eau, correspond à l'augmentation du risque de sécheresses et de restrictions dans un contexte de changement climatique. En cas de sécheresse, les prélèvements pour l'irrigation sont réduits voire interdits par arrêté préfectoral. Ceci représente un risque important pour les agriculteurs qui peuvent voir leur rendement fortement affecté. Lors des *focus group*, les exploitants ont évoqué avoir fait face à deux grandes sécheresses sur les dix dernières années. Le niveau de référence de cet attribut a donc été fixé à « 2 sécheresses tous les 10 ans ». Le

changement climatique risque d'amplifier ce phénomène, les deux autres niveaux sont supérieurs : 4 et 6 sécheresses tous les 10 ans.

Les deux autres attributs sont monétaires et représentent l'évolution des marchés du grain et des intrants. Le premier attribut correspond à différents scénarii de prix de marché des cultures (niveau de prix de vente en €/T). Les alternatives innovantes sélectionnées sont les variétés précoces de maïs et de blé tendre. Le prix de vente du maïs n'est pas lié à sa précocité. Cet attribut du prix de vente des cultures présente, en tendance, un niveau identique pour les deux cultures proposées (blé tendre et maïs).¹⁶ En effet, le maïs et le blé tendre sont des céréales substituables qui tendent à avoir des distributions de prix fortement corrélées (OCDE, 2010). Ce choix permet de limiter le degré de complexité du choix des agriculteurs. Par ailleurs, du point de vue de l'analyse, il aurait été difficile de distinguer l'effet du niveau de prix de celui de l'écart de prix relatif entre les deux cultures. Les agriculteurs considèrent donc uniquement les niveaux absolus de prix des cultures et non leurs niveaux relatifs. Trois niveaux sont proposés à partir des données historiques de prix du maïs des coopératives : 180, 150 et 120 €/T. Le second attribut lié au contexte économique des maïsiculteurs est le prix de l'énergie. Il s'agit du niveau d'augmentation du prix de l'énergie par rapport au niveau actuel. Dans le contexte haussier des prix de l'énergie, ces charges de production risquent d'augmenter. Les intrants azotés, l'énergie liée au pompage pour l'irrigation, la mécanisation des opérations culturales sont autant de postes de dépenses liés au cours de l'énergie. Ainsi, trois niveaux sont proposés pour le prix de l'énergie : actuel, actuel + 20 % et actuel + 40 %.

La combinaison des quatre attributs représente le contexte hypothétique de production de l'agriculteur (Figure 4). Face au contexte de production décrit par la carte, l'enquêté doit définir son assolement. Il a le choix entre quatre productions : le maïs tardif, le maïs semi-tardif, le maïs semi-précoce et le blé tendre. Le maïs tardif est la culture actuellement produite par l'exploitant. Les maïs semi-tardif et semi-précoce sont les variétés précoces de maïs retenues comme alternatives innovantes adaptées lors de la phase de conception. Le blé tendre est la céréale à paille retenue comme culture de diversification potentielle dans l'assolement des maïsiculteurs. Les quatre productions proposées peuvent être mises en place conjointement ou indépendamment. Comme tout choix d'assolement, l'agriculteur choisit quelle(s) production(s) il souhaite mettre en place et sur quelle surface. L'agriculteur dispose d'une fiche explicative (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Elle résume le principe du *choice modelling*, présente les attributs ainsi que leurs niveaux. Une description des trois productions innovantes proposées est intégrée à cette fiche : maïs semi-tardif, maïs semi-précoce et blé tendre.

¹⁶ Selon les travaux de l'OCDE, le coefficient de corrélation des cultures de maïs et de blé tendre est de 0.71 sur les prix des cultures aux Etats Unis

Tableau 11 : Attributs et leurs niveaux pour l'expérience du *choice modelling* sur le maïs

Attributs	Description	Niveaux
Quota disponible	Quantité d'eau maximale disponible en m ³ /hectare	1200 m ³ /ha 1500 m ³ /ha 1800 m ³ /ha
Prix de vente des cultures	Prix de vente des cultures de maïs et de blé tendre en €/T	120 €/T 150 €/T 180 €/T
Risque de sécheresse et de restrictions	Nombre de sécheresse dans les années à venir	2 années sur 10 4 années sur 10 6 années sur 10
Prix de l'énergie	Hausse du prix de l'énergie exprimée par rapport au niveau actuel. L'énergie comprend le prix de l'électricité, du fuel et de l'azote	Actuel Actuel + 20% Actuel +40%

Veuillez indiquer votre assolement dans le contexte suivant :

Consommation maximale en eau possible	1800 m ³
Prix de vente des cultures	Maïs 180€/T Blé tendre 180€/T
Fréquence des épisodes de sécheresse ou de restriction	2 années sur 10
Prix de l'énergie	Actuel



Vous mettrez en place :



..... ha de maïs « tardif »

..... ha de maïs « semi-tardif »

..... ha de maïs « semi précocé »



..... ha de blé tendre

Figure 4 : Carte de choix pour le *choice modelling* de la monoculture de maïs irrigué

II.2.3.3) Plan d'expérience

La dernière étape de la conception d'un *choice modelling* est de définir les cartes de choix à présenter aux agriculteurs. La combinaison de tous les attributs et de leurs niveaux compose un plan factoriel complet. Cependant, lorsqu'il existe plusieurs attributs avec plusieurs niveaux, comme dans nos expériences de *choice modelling*, il n'est bien sûr pas possible de présenter toutes les cartes de choix aux individus. On utilise alors un plan factoriel fractionnaire qui permet de sélectionner un nombre réduit de cartes à présenter. Cette méthode implique de réduire la quantité d'information disponible pour l'analyse par des méthodes statistiques ou de modèles de choix. Il faut donc concevoir un plan d'expérience fractionnaire efficient qui limite cette perte. Le plan doit permettre d'estimer les effets du premier ordre qui correspondent aux effets directs et indépendants de chaque attribut sur le choix. Ces effets permettent d'expliquer, en général, entre 70 à 90 % de la variance de la variable à expliquer (Louviere *et al.*, 2000b).

La construction du plan factoriel efficient se base sur trois grands principes : l'orthogonalité, l'équilibre des niveaux, le *minimal overlap* (Kuhfuss, 2013). L'orthogonalité du plan d'expérience signifie que le niveau de chaque attribut doit varier de manière indépendante de celui des autres. Ensuite, il faut s'assurer de l'équilibre des niveaux des attributs. Les fréquences d'occurrence des niveaux de chaque attribut doivent être les mêmes. Ainsi, les attributs ou leurs niveaux ne sont pas sur ou sous-estimés pour analyser les préférences. Ceci induit le troisième principe, le *minimal overlap*, qui précise que la probabilité que le niveau d'un attribut se répète dans une autre carte de choix doit être minimisée.

En respectant ces grands principes, un plan d'expérience factoriel efficient a été conçu¹⁷ pour chacune des expériences de *choice modelling* (Benoist *et al.*, 1994). Le plan comprenant 9 cartes de choix pour l'expérience de la monoculture de maïs et 15 cartes pour l'expérience en blé dur sur tournesol. Les cartes ont été présentées aux agriculteurs de manière aléatoire afin d'éviter un effet de lassitude sur les dernières cartes. En effet, le choix des agriculteurs peut être moins réfléchi à la fin du jeu qu'au début. Les deux matrices de plan d'expérience sont disponibles en annexe (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

¹⁷ Les plans d'expérience ont été conçus avec le Laboratoire de Mathématiques Appliquées de l'Agrocampus Ouest sous la supervision du Dr S. Le.

Conclusion

Mieux comprendre le comportement d'adoption d'innovation des agriculteurs est un enjeu fort pour tous les acteurs de la filière agricole. Déterminer les mécanismes, les freins et les blocages à l'adoption pourrait permettre d'une part, de définir des politiques publiques ciblées aux enjeux des territoires mais aussi de développer des plans de soutien et de développement adaptés pour accompagner les agriculteurs vers le changement. Le principal défi reste encore aujourd'hui de disposer de données pertinentes pour l'analyse. Or, par nature, dans des démarches innovantes, les données sont rares et peu représentatives des agriculteurs. La conception d'un questionnaire d'enquête pertinent est donc un élément clef du travail de recherche.

Dans le Chapitre I, une revue de littérature sur les travaux récents consacrés aux déterminants de l'adoption d'innovations agricoles, a mis en évidence le vaste panel de facteurs pouvant affecter les choix des agriculteurs. Il nous est apparu que seule une démarche participative peut permettre de sélectionner les variables d'intérêts à collecter auprès des agriculteurs. De plus, ce type d'approche, impliquant tous les acteurs de la filière, permet de limiter les freins à l'adoption d'innovation en intégrant les contraintes réelles des exploitants (Lichtfouse *et al.*, 2009). Aussi dans ce travail de thèse, des experts ont participé à toutes les étapes du questionnaire d'enquête, du choix des systèmes de culture de référence à la sélection des innovations adaptées. Deux systèmes de culture représentatifs du Sud-Ouest de la France représentent des enjeux majeurs dans l'évolution du secteur céréalier : la rotation courte de blé dur sur tournesol et la monoculture de maïs irrigué. Chacun d'eux posent des problèmes distincts et les solutions envisagées pour y répondre doivent donc être différentes. Dans le cadre de la rotation de blé dur sur tournesol, une diversification de l'assolement est aujourd'hui nécessaire pour répondre à des problématiques agronomiques. Notre questionnement se centre donc sur les attentes des agriculteurs envers une culture de diversification, et plus précisément les caractéristiques de la culture, souhaitées par les exploitants. Concernant la monoculture de maïs, les producteurs ne rencontrent que peu de difficultés mais l'évolution de leur contexte de production, à la fois du point de vue économique et climatique, risque de fortement affecter la rentabilité de leur système. Dans ce cas, notre analyse s'intéresse à l'évolution des assolements en maïs face à un contexte de production plus restrictif. Des expériences de *choice modelling* ont été conçues pour définir et quantifier les préférences des agriculteurs pour d'une part les caractéristiques de la culture de diversification (rotation de blé dur sur tournesol) et d'autre part, leur contexte de production (monoculture de maïs irrigué).

Enfin, on sait que le risque est inhérent à l'activité agricole. Cependant, il peut être accru lors de l'adoption d'innovations car les agriculteurs ne disposent que de très peu d'information sur leurs performances ou leur mise en œuvre. Le comportement face au risque des agriculteurs peut donc largement affecter leur choix d'adoption. Notamment, il est aujourd'hui reconnu que l'aversion au risque peut limiter l'adoption d'innovations (Feder et Umali, 1993, Barham *et al.*, 2014). Cependant, encore peu de travaux s'intéressent aux perceptions et aux attitudes des agriculteurs vis-à-vis du risque encouru. Ceci est principalement dû à la difficulté de les observer et de les mesurer. Or, actuellement, des méthodes déclaratives sont de plus en plus utilisées pour expliquer les choix de production des agriculteurs en situation de risque (Pennings et Garcia, 2001, Baillon, 2008, Hardaker et Lien, 2010, Dohmen *et al.*, 2011). Plusieurs de ces méthodes ont donc été intégrées dans les questionnaires. Cela nous permet de disposer de données originales pour appréhender le rôle du risque dans l'adoption des innovations proposées aux agriculteurs.

Bibliographie

- Adamowicz, W., Boxall, P., Williams, M., Louviere, J., 1998. Stated Preference Approaches for Measuring Passive Use Values: Choice Experiments and Contingent Valuation. *American Journal of Agricultural Economics* 80: 64-75.
- AEAG, 2014. Rapport Final Garonne 2050 : Etude prospective sur les besoins et les ressources en eau, à l'échelle du bassin de la Garonne. Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : <http://www.eau-adour-garonne.fr/fr/grands-dossiers/la-garonne-2050.html>.
- Anderson, J. R., Dillon, J. L., Hardaker, J. E., 1977. *Agricultural decision analysis*. Iowa State University Press.
- Arvalis, 2013. Grandes cultures 2013-2014 Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.gard.chambagri.fr/fileadmin/Pub/CA30/Internet_CA30/Documents_Internet_CA30/Grandes_Cultures/2013_Octobre_Arvalis.pdf.
- Baillon, A., 2007. *Disentangling beliefs and attitudes towards uncertainty in individual decision making*. These Paris, ENSAM.
- Baillon, A., 2008. Eliciting subjective probabilities through exchangeable events: An advantage and a limitation. *Decision Analysis* 5: 76-87.
- Barham, B. L., Chavas, J.-P., Fitz, D., Salas, V. R., Schechter, L., 2014. The roles of risk and ambiguity in technology adoption. *Journal of Economic Behavior & Organization* 97: 204-218.
- Benoist, D., Tourbier, Y., German-Tourbier, S., 1994. *Plan d'expériences: construction et analyse*. Lavoisier.
- Binswanger, H. P., Sillers, D. A., 1983. Risk aversion and credit constraints in farmers' decision-making: A reinterpretation. *The Journal of Development Studies* 20: 5-21.
- Bocqueho, G., 2014. *Risque, temps et adoption des cultures*. These Doctorat ParisTech.
- Cerroni, S., Notaro, S., Shaw, W. D., 2012. Eliciting and estimating valid subjective probabilities: An experimental investigation of the exchangeability method. *Journal of Economic Behavior & Organization* 84: 201-215.
- Chambre d'Agriculture des Landes, 2015. Marges brutes Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.landes.chambagri.fr/fileadmin/documents_CA40/Internet/productions_vegetales/Marges_GrandesCultures.pdf.
- Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées, 2009. Le maïs irrigué Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.mp.chambagri.fr/IMG/pdf/mais_irrigue.pdf.
- Chambre d'agriculture Midi-Pyrénées, 2013. Les grandes cultures Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.mp.chambagri.fr/IMG/pdf/tableau_bord_2013_cultures_page9-10.pdf.
- Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées, 2011. Références technico-économiques en systèmes de grandes cultures Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.mp.chambagri.fr/IMG/pdf/references_grandescultures_2009.pdf.
- Charness, G., Gneezy, U., Imas, A., 2013. Experimental methods: Eliciting risk preferences. *Journal of Economic Behavior & Organization* 87: 43-51.
- David, M., 1997. *The focus group guidebook*. Sag Publications.
- Dohmen, T., 2005. Individual risk attitudes: New evidence from a large, representative, experimentally-validated survey. IZA Discussion Papers.
- Dohmen, T., Falk, A., Huffman, D., Sunde, U., Schupp, J., Wagner, G. G., 2011. Individual risk attitudes: Measurement, determinants, and behavioral consequences. *Journal of the European Economic Association* 9: 522-550.
- Eckel, C. C., Grossman, P. J., 2008. Forecasting risk attitudes: An experimental study using actual and forecast gamble choices. *Journal of Economic Behavior & Organization* 68: 1-17.
- Featherstone, A. M., Goodwin, B. K., 1993. Factors Influencing a Farmer's Decision to Invest in Long-Term Conservation Improvements. *Land Economics* 69: 67-81.
- Feder, G., 1980. Farm size, risk aversion and the adoption of new technology under uncertainty. *Oxford Economic Papers* 32: 263-283.

- Feder, G., Just, R. E., Zilberman, D., 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic development and cultural change* 33: 255-298.
- Feder, G., Slade, R., 1984. The acquisition of information and the adoption of new technology. *American Journal of Agricultural Economics* 66: 312-320.
- Feder, G., Umali, D. L., 1993. The adoption of agricultural innovations: A review. *Technological Forecasting and Social Change* 43: 215-239.
- Fenneteau, H., 2002. *Enquête: entretien et questionnaire*. Dunod.
- Franken, J. R. V., Pennings, J. M. E., Garcia, P., 2014. Measuring the effect of risk attitude on marketing behavior. *Agricultural Economics* 45: 525-535.
- Fujisaka, S., 1994. Learning from six reasons why farmers do not adopt innovations intended to improve sustainability of upland agriculture. *Agricultural Systems* 46: 409-425.
- Ghadim, A. K. A., Pannell, D. J., Burton, M. P., 2005. Risk, uncertainty, and learning in adoption of a crop innovation. *Agricultural Economics* 33: 1-9.
- Ghiglione, R., Matalon, B., 1978. *Les enquêtes sociologiques*. Colin.
- Greiner, R., Patterson, L., Miller, O., 2009. Motivations, risk perceptions and adoption of conservation practices by farmers. *Agricultural Systems* 99: 86-104.
- Hanoch, Y., Johnson, J. G., Wilke, A., 2006. Domain Specificity in Experimental Measures and Participant Recruitment: An Application to Risk-Taking Behavior. *Psychological Science* 17: 300-304.
- Hardaker, J., Huirne, R., Anderson, J., Lien, G., 2004. *Coping with risk in agriculture*. CABI Publishing.
- Hardaker, J. B., Lien, G., 2010. Probabilities for decision analysis in agriculture and rural resource economics: The need for a paradigm change. *Agricultural Systems* 103: 345-350.
- Hellerstein, D., Higgins, N., Horowitz, J., 2013. The predictive power of risk preference measures for farming decisions. *European Review of Agricultural Economics*.
- Holly, E., 2000. *The focus group research handbook*. McGraw-Hill.
- Holt, C. A., Laury, S. K., 2002. Risk Aversion and Incentive Effects. *The American Economic Review* 92: 1644-1655.
- Kebede, Y., Gunjal, K., Coffin, G., 1990. Adoption of new technologies in Ethiopian agriculture: The case of Tegulet-Bulga district Shoa province. *Agricultural Economics* 4: 27-43.
- Kilka, M., Weber, M., 2001. What Determines the Shape of the Probability Weighting Function Under Uncertainty? *Management Science* 47: 1712-1726.
- Knowler, D., Bradshaw, B., 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy* 32: 25-48.
- Kuhfuss, L., 2013. Contrats agro-environnementaux: évaluation et dispositifs innovants en France.
- Kuhfuss, L., Preget, R., Thoyer, S., 2014. Préférences individuelles et incitations collectives: quels contrats agroenvironnementaux pour la réduction des herbicides par les viticulteurs? *Revue d'Études en Agriculture et Environnement* 95: 111-143.
- Lichtfouse, E., Navarrete, M., Debaeke, P., Souchère, V., Alberola, C., Ménassieu, J., 2009. *Agronomy for sustainable agriculture: a review*, in *Sustainable Agriculture*. Springer.
- Lindner, R. K., Pardey, P. G., Jarrett, F. G., 1982. Distance to information source and the time lag to early adoption of trace element fertilisers. *Australian Journal of Agricultural Economics* 26: 98-113.
- Louviere, J., Hensher, D., Swait, J., 2000a. *Stated choice methods: analysis and applications*. Cambridge University Press.
- Louviere, J. J., Flynn, T. N., Carson, R. T., 2010. Discrete choice experiments are not conjoint analysis. *Journal of Choice Modelling* 3: 57-72.
- Louviere, J. J., Hensher, D. A., Swait, J. D., 2000b. *Stated choice methods: analysis and applications*. Cambridge University Press.
- MacCrimmon, K. R., Wehrung, D. A., 1990. Characteristics of risk taking executives. *Management Science* 36: 422-435.
- Magrini, M.-B., Triboulet, P., Bedoussac, L., 2013. Pratiques agricoles innovantes et logistique des coopératives agricoles. *Économie rurale* 338: 25-45.

- Marra, M., Pannell, D. J., Abadi Ghadim, A., 2003. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve? *Agricultural Systems* 75: 215-234.
- Menapace, L., Colson, G., Raffaelli, R., 2013. Risk Aversion, Subjective Beliefs, and Farmer Risk Management Strategies. *American Journal of Agricultural Economics* 95: 384-389.
- Menapace, L., Colson, G., Raffaelli, R., 2014. Farmers' Climate Change Risk Perceptions: An Application of the Exchangeability Method, *EAAE 2014 Congress*, Ljubjana, Slovenia.
- Menapace, L., Colson, G., Raffaelli, R., 2015. Climate change beliefs and perceptions of agricultural risks: An application of the exchangeability method. *Global Environmental Change* 35: 70-81.
- Merrien, A., Arjauré, G., Carof, M., Leterme, P., 2013. Freins et motivations à la diversification des cultures dans les exploitations agricoles : étude de cas en Vendée. *OCL* 20.
- Musser, W. N., Patrick, G. F., Eckman, D. T., 1996. Risk and grain marketing behavior of large-scale farmers. *Review of agricultural Economics*: 65-77.
- O'Mara, G., 1983. The microeconomics of technique adoption by smallholding Mexican farmers. *The Book of CHAC: Programming Studies for Mexican Agriculture*. Baltimore, Maryland: Johns Hopkins: 250-289.
- OCDE. 2010. *Gestion des risques dans l'agriculture*. Éditions OCDE.
- Pennings, J. M. E., Garcia, P., 2001. Measuring producers' risk preferences: a global risk-attitude construct. *American Journal of Agricultural Economics* 83: 993-1009.
- Prokopy, L. S., Floress, K., Klotthor-Weinkauff, D., Baumgart-Getz, A., 2008. Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation* 63: 300-311.
- Quiggin, J., 1981. Risk perceptions and the analysis of risk attitudes. *Australian Journal of Agricultural Economics* 25: 160-169.
- Reynaud, A., Couture, S., 2012. Stability of risk preference measures: results from a field experiment on French farmers. *Theory and Decision* 73: 203-221.
- Rogers, E. M., 2003. *Diffusion of innovations*. New York., NY, Free Press.
- Sherrick, B. J., Barry, P. J., Ellinger, P. N., Schnitkey, G. D., 2004. Factors influencing farmers' crop insurance decisions. *American Journal of Agricultural Economics* 86: 103-114.
- Smale, M., Just, R. E., Leathers, H. D., 1994. Land Allocation in HYV Adoption Models: An Investigation of Alternative Explanations. *American Journal of Agricultural Economics* 76: 535-546.
- Smith, J., Mandac, A. M., 1995. Subjective versus objective yield distributions as measures of production risk. *American Journal of Agricultural Economics* 77: 152-161.
- Weber, E. U., Blais, A.-R., Betz, N. E., 2002. A domain-specific risk-attitude scale: Measuring risk perceptions and risk behaviors. *Journal of behavioral decision making* 15: 263-290.

Chapitre III

LES AGRICULTEURS FACE AU RISQUE

SOMMAIRE

Introduction	99
III.1) La gestion du risque en grandes cultures	100
III.1.1) Le risque en agriculture	100
III.1.2) Instruments de gestion du risque	101
III.1.2.1) Les stratégies de commercialisation de la production	101
III.1.2.2) La diversification des assolements.....	104
III.2) Echantillon étudié	105
III.2.1) Statistiques descriptives des agriculteurs de l'enquête.....	105
III.2.2) Les perceptions du risque des agriculteurs.....	109
III.2.2.1) Les indicateurs de perception du risque.....	109
III.2.2.2) Les perceptions du risque des agriculteurs : risque de production et risque de marché	110
III.2.3) La gestion actuelle du risque des agriculteurs.....	113
III.2.3.1) Les choix de commercialisation actuels par type de contrats	113
III.2.3.2) Les portefeuilles de contrats des agriculteurs de l'enquête.....	114
III.2.3.3) Indicateurs de diversification des assolements	115
III.3) Méthodes d'analyse des choix de commercialisation et de diversification agronomique.....	116
III.3.1) Outils d'analyse des choix de commercialisation	116
III.3.1.1) Méthode d'analyse du taux de production vendu par type de commercialisation .	117
III.3.1.2) Méthode d'analyse de l'adoption d'une des stratégies de commercialisation.....	117
III.3.2) Outils d'analyse de la diversification agronomique sur l'exploitation.....	117
III.4) Déterminants de l'adoption d'outils de gestion du risque	118
III.4.1) Analyse empirique des déterminants des choix de commercialisation.....	118
III.4.2) Analyse empirique des déterminants de la diversification des assolements	122
III.5) Discussion et conclusions.....	124
Bibliographie	126

Introduction

L'agriculture est un secteur fortement soumis aux risques qui peuvent être de nature très diverse : les aléas climatiques, ceux des marchés, les évolutions réglementaires. Les préférences d'un individu face au risque sont évaluées par la courbure de la fonction d'utilité qui définit, d'une part, le niveau d'aversion pour le risque et, d'autre part, les perceptions du risque représentées par la distribution des probabilités par l'individu caractérisant le risque perçu.

L'aversion pour le risque est une caractéristique psychologique des individus. Un individu averse au risque préférera un revenu inférieur mais certain à un revenu plus élevé mais incertain. De nombreux travaux ont montré que les agriculteurs sont averses au risque et sont donc moins disposés à adopter des pratiques perçues comme plus risquées que leurs pratiques actuelles. Les travaux sur le rôle de l'aversion au risque dans l'adoption d'innovations agricoles sont nombreux, notamment appliqués à l'adoption de nouvelles technologies telles que les OGM.

Cependant, il existe peu de recherches qui s'intéressent au rôle joué par les croyances ou les perceptions du risque dans le processus d'adoption d'innovations. Pourtant, lorsqu'un agriculteur adopte une innovation, il agit dans un contexte incertain. En effet, il ne connaît ni les performances ni les conséquences futures de l'innovation sur son exploitation. Il fonde donc son choix en fonction de ses perceptions du risque, c'est-à-dire sur le niveau de croyance qu'il a dans le risque lié à l'innovation. En évaluant les probabilités subjectives que les individus associent aux événements risqués, des travaux récents ont mis en évidence que les perceptions du risque affectent tout à la fois les choix de production et ceux d'adoption d'innovations des agriculteurs.

L'aversion et la perception du risque sont deux notions de nature différente qui doivent, selon nous, être prises en compte dans l'évaluation de l'adoption d'innovations. Cependant, si le niveau d'aversion au risque est propre à chaque individu, les perceptions du risque quant à elles sont relatives à l'innovation proposée. Elles peuvent être influencées par l'expérience, l'information ou le conseil disponible pour l'individu. Les perceptions du risque sont donc un levier intéressant à investiguer, en termes de développement agricole et d'accompagnement, afin d'accroître l'adoption d'innovations agricoles.

Les agriculteurs font principalement face à deux grands types de risques : le risque de production et le risque de marché. Le risque de production est lié aux aléas climatiques, aux ravageurs et maladies. Le risque de marché est lui engendré par la volatilité des prix de vente des cultures et des intrants. Globalement, ces risques exposent l'agriculteur à un risque de revenu. Pour réduire son exposition au risque l'agriculteur peut faire appel à différents instruments de gestion du risque, externes (assurances ou contrats) ou internes (épargne, diversification des activités, des cultures ou des ateliers, etc.) à l'exploitation.

Par ailleurs, d'autres risques peuvent être perçus en fonction des problématiques propres à chaque production. Les enquêtes exploratoires, réalisées en début de thèse, ont mis en évidence des risques distincts en fonction des systèmes de culture de référence étudiés (monoculture de maïs ou rotation courte de blé dur sur tournesol). Les maïsiculteurs sont fortement soumis à un risque institutionnel. L'évolution de la réglementation est susceptible de les contraindre dans leurs pratiques en termes d'assolement. En effet, le verdissement de la PAC conditionne le versement de 30 % des aides directes à la production au respect de certaines pratiques agricoles, notamment l'obligation de

cultiver au minimum trois cultures dans l'assolement. De plus, face au changement climatique, une nouvelle réglementation sur l'eau est envisagée impliquant, entre autres, une réduction des quotas de consommation d'eau d'irrigation. Concernant la rotation courte de blé dur sur tournesol, les agriculteurs font face, depuis de nombreuses années, à des impasses agronomiques telles que l'accroissement des résistances aux pesticides de certaines maladies et d'adventices. Ces impasses les poussent vers une diversification de leur assolement. Ils sont donc soumis à un risque de production qui peut être amplifié en fonction de leurs perceptions des cultures de diversification qu'ils souhaitent introduire dans leur assolement.

Ce chapitre étudie le comportement face au risque des producteurs de céréales. Dans un premier temps, nous abordons la notion de risque en agriculture ainsi que les différents outils de gestion du risque disponibles pour les agriculteurs. Ensuite, sur la base d'une enquête auprès de 191 producteurs de grandes cultures du Sud-Ouest de la France, nous analysons les variables qui influencent les choix de gestion du risque, en particulier le rôle joué par les caractéristiques de l'exploitant, de l'exploitation et la perception du risque. La section III.2 présente les statistiques descriptives de l'échantillon concernant les exploitants et leur exploitation ainsi que les perceptions du risque des agriculteurs enquêtés. La section III.3 présente les différentes méthodes d'analyse utilisées. Enfin, la section III.4 présente une analyse du comportement de gestion du risque des agriculteurs concernant deux outils de gestion du risque : la commercialisation (III.4.1) et la diversification (III.4.2).

III.1) La gestion du risque en grandes cultures

III.1.1) Le risque en agriculture

On peut classer les risques agricoles en cinq grands types : le risque humain, le risque financier, le risque institutionnel, le risque de production et le risque de marché (Hardaker *et al.*, 2004a). Même si les agriculteurs sont exposés à chacun d'eux, ils sont principalement soumis au risque de production et au risque de marché. Le risque de production est lié aux conditions de production de l'agriculteur. Le rendement des cultures est fortement conditionné par le contexte pédoclimatique et est affecté par les aléas climatiques (tempêtes, sécheresses etc.) mais aussi par des attaques de ravageurs et de maladies. D'autre part, l'agriculteur fait face à un risque de marché dû à la volatilité des prix des matières premières mais aussi des intrants. Les prix sont fluctuants d'une année à l'autre et d'une période de l'année à l'autre de par la saisonnalité de l'activité agricole. Il n'est pas aisé pour un exploitant d'anticiper ses rendements et les prix au moment de sa décision de production. Le risque de production et le risque de marché contribuent à exposer, globalement, l'agriculteur à un risque-revenu.

Les agriculteurs sont, dans l'ensemble, averses au risque et plus particulièrement au risque de perte (Binswanger et Sillers, 1983, Harrison *et al.*, 2007, Couture *et al.*, 2010, Reynaud et Couture, 2012, Menapace *et al.*, 2013). Ils préféreront un revenu inférieur mais certain à un revenu incertain. Ils seront enclins à réduire leur activité ou intégrer des coûts supplémentaires, correspondant à une « prime de risque », pour réduire leur exposition au risque (Harwood *et al.*, 1999, Hardaker *et al.*, 2004b). Le niveau d'acceptation du risque peut cependant varier entre agriculteurs, conduisant à des choix d'outils de gestion du risque différents.

III.1.2) Instruments de gestion du risque

L'agriculteur dispose de différents types d'outils de gestion du risque (Antón, 2009). On distingue les outils propres à l'exploitation (la diversification, la précaution) et les outils d'externalisation du risque (assurance et contrats). Les outils d'externalisation consistent à se procurer une couverture financière auprès d'un tiers (assurance, marchés financiers, *etc.*). Les contrats de commercialisation que l'agriculteur conclut avec l'organisme stockeur, coopératives ou négoces, peuvent être considérés comme des instruments d'externalisation du risque de marché.

L'exploitation peut aussi se constituer une épargne de précaution propre pour faire face, dans le temps, aux fluctuations de revenu. La diversification en termes de cultures, d'ateliers ou d'activités commerciales vise à organiser un portefeuille d'activités permettant de compenser les pertes et les bénéfices (Mishra *et al.*, 2004). La diversification agronomique est un outil qui permet aux exploitants de réduire leur exposition au risque en variant les sources de revenus. De plus, l'exploitant peut conserver des économies d'échelle sur le matériel ou les intrants pouvant être utilisés pour plusieurs cultures.

III.1.2.1) Les stratégies de commercialisation de la production

En grandes cultures, les contrats entre agriculteurs et organismes stockeurs, sont un moyen d'assurer, d'une part un débouché aux agriculteurs et d'autre part un approvisionnement pour les industriels (MacDonald et Korb, 2011). Les contrats remplissent aussi de multiples objectifs dans les filières agricoles : la performance, l'exercice de pouvoir de marché et la répartition des risques (Bouamra-Mechemache *et al.*, 2015). Concernant ce dernier point, le transfert de risques entre acheteur et vendeur peut varier selon la structure du contrat. Nous nous intéressons ici, plus particulièrement, à la façon dont la structure du contrat répartit le risque de production et de marché entre les parties.

Différents types de contrats sont proposés aux producteurs céréaliers selon les structures de commercialisation (coopératives ou sociétés de négoce). Tous ces contrats ont en commun d'établir les éléments suivants : i) un niveau d'engagement sur la qualité¹⁸; ii) un niveau d'engagement sur le volume livré ; iii) une date de livraison ; iv) un prix et ; v) un mode de stockage. On distingue les contrats primaires des contrats secondaires. Les contrats primaires engagent le mode de commercialisation, les contrats secondaires concernent d'autres engagements additionnels de type « filière » (mode de production, qualité). Les contrats secondaires ne seront pas étudiés ici car spécifiques à chaque production, à chaque organisme stockeur et à chaque zone de production. On distingue trois types de contrats primaires de commercialisation¹⁹. Les contrats à prix moyen qui procèdent par acompte à la récolte puis par complément de prix versé en plusieurs fois sur la campagne permettent de lisser le prix sur l'année. Les contrats à prix fixé ou « *forward* », signés

¹⁸ La qualité est évaluée en fonction de différents critères selon les cultures : taux protéique (blé dur et tendre), le taux d'humidité (maïs) ou le niveau d'impureté (toutes cultures) *etc.*

¹⁹ Cette analyse est issue d'un travail d'enquêtes de terrain auprès de responsables de commercialisation et de marché de trois coopératives. Les contrats d'une des coopératives ont été consultés afin de connaître les différentes clauses constitutives des contrats de commercialisation. Les différentes typologies de contrats réalisées dans ce travail ont été validées par les experts de la filière.

avant récolte, constituent des engagements avant récolte sur un prix fixé ou un prix objectif. Enfin, le troisième type est constitué des transactions après récolte au marché du jour ou « *spot* ».

Le contrat à prix moyen²⁰ est rémunéré par un acompte à la livraison puis par un complément de prix versé, selon l'observation du marché et les ventes opérées par l'organisme stockeur sur plusieurs périodes. Le prix final payé au producteur est donc lissé sur les ventes de l'année de la coopérative. C'est au final la coopérative qui gère le risque de fluctuation du prix dans l'année car elle le mutualise entre ses adhérents. L'agriculteur n'est cependant pas protégé des fluctuations de prix interannuelles et profite moins des opportunités de prix hauts.

Les contrats *forward* à prix ferme avant récolte proposent, selon les organismes, plusieurs modes de fixation du prix. Soit le prix est fixé, soit il est convenu d'un « prix-objectif ». D'autres contrats d'engagement avant récolte sont indexés sur le marché à terme des cultures, s'il existe. L'agriculteur se prémunit ainsi des fluctuations à venir du marché. Cependant, les contrats signés avant récolte peuvent potentiellement amplifier le risque de production encouru par l'agriculteur. En effet, s'engageant sur un volume à livrer, il risque des pénalités si celui-ci n'est pas honoré, du fait, par exemple d'aléas climatiques et sanitaires.

La troisième catégorie de transaction est la commercialisation après récolte, dite « *spot* ». Si l'agriculteur n'a pas signé d'engagement avant récolte, il peut la vendre au prix courant observé, dit prix « *spot* ». Le prix est établi à la vente en fonction de la qualité de la production livrée. Par ailleurs, l'absence d'engagement sur le volume avant récolte ne garantit pas à l'agriculteur que sa marchandise puisse être collectée au moment où il souhaite la livrer. Dans les transactions après récolte au prix *spot*, c'est l'agriculteur qui gère entièrement le risque lié à la fluctuation du prix de marché, intra-annuelle et interannuelle, à la baisse, mais aussi à la hausse. Ainsi, l'agriculteur doit choisir entre : i) une recherche de prix lissé sur l'année ; ii) une stratégie de contractualisation sécurisante à prix ferme avant récolte et ; iii) une stratégie de vente après récolte, sans engagement, avec une plus forte exposition à la volatilité des prix. On peut faire l'hypothèse que les caractéristiques du contrat et des contractants vont déterminer l'adoption de ces contrats selon leurs impacts sur les différents risques, et en particulier selon l'attitude des contractants par rapport aux risques (Paulson *et al.*, 2010). Un bref résumé de la littérature empirique sur les déterminants de l'adoption de contrats de commercialisation en grande culture est proposé par Franken *et al* (Franken *et al.*, 2012). Les travaux sur les contrats commerciaux en grande culture portent principalement sur les Etats-Unis et se focalisent, le plus souvent, au sein d'échantillons de producteurs de taille modeste à moyenne (d'une cinquantaine à plusieurs centaines de producteurs). Ils s'intéressent à la part de contrats signés avant récolte à prix fixés, que ce soient des contrats *forward* ou des contrats sur les marchés à terme, dits *futures*.

La taille de l'exploitation en hectares, son niveau d'endettement et une faible diversification sont presque toujours corrélés positivement à l'adoption de contrats *forward* (Shapiro et Brorsen, 1988, Sartwelle *et al.*, 2000, Pennings *et al.*, 2008). Dans une moindre mesure, certains travaux mentionnent que l'adoption de contrats *forward* peut être corrélée positivement à l'aversion pour le risque (Goodwin et Schroeder, 1994, Musser *et al.*, 1996, Pennings *et al.*, 2008, Franken *et al.*, 2012). L'âge et l'expérience sont des facteurs qui jouent de manière plus ambiguë sur la mise en œuvre d'instruments de gestion du risque par la commercialisation (Tableau 12).

²⁰ Appelé sous différents noms selon les coopératives : prix construit, prix moyen de campagne

Tableau 12 : Facteurs affectant le choix de commercialisation des céréaliers dans la littérature

Auteur	Age	Expérience	Education	Aversion risque	Assurance	Dettes/ Capital	SAU	Chiffre d'affaires
Contrat Forward								
<i>Goodwin et Schroeder (1994)</i>	Abs	NS	+	NS	NS	NS	+	Abs
<i>Musser et al. (1996)</i>	-	Abs	+	+	Abs	+	Abs	-
<i>Sartwelle et al. (2000)</i>	Abs	NS	Abs	NS	+	Abs	+	Abs
<i>Katchova et Miranda (2004)</i>	NS	Abs	NS	Abs	NS	NS	Abs	+
<i>Velandia et al. (2009)</i>	-	Abs	+	Abs	Abs	NS	+	Abs
<i>Franken et al. (2012)</i>	-	Abs	+	+	Abs	NS	+	Abs
Contrat à terme								
<i>Shapiro et Brorsen (1988)</i>	Abs	-	-	NS	NS	+	+	Abs
<i>Sartwelle et al. (2000)</i>	Abs	-	Abs	NS	+	Abs	NS	Abs
Contrat Spot								
<i>Sartwelle et al. (2000)</i>	Abs	NS	Abs	NS	-	Abs	-	Abs
<i>Franken et al. (2012)</i>	+	Abs	-	-	Abs	NS	NS	Abs

Légende : Abs : variable non testée ; + : corrélation positive significative ; - : corrélation négative significative ; NS : Non significatif

III.1.2.2) La diversification des assolements

Diversifier les cultures sur l'exploitation agricole présente de nombreux intérêts. Du point de vue agronomique et environnemental, cela permet de réduire l'utilisation d'intrants et de limiter les effets néfastes sur l'environnement liés à leur utilisation intensive. De plus, il s'agit d'une stratégie d'adaptation reconnue comme efficace face au changement climatique (Bradshaw *et al.*, 2004, Olesen *et al.*, 2011). Economiquement, la diversification agronomique est considérée comme un outil de gestion du risque. Elle permet d'accroître la résilience économique des exploitations agricoles pour deux raisons (Chavas, 2008). Tout d'abord, elle réduit l'exposition au risque des agriculteurs en variant les sources de revenus. Les agriculteurs diversifient leur assolement et sélectionnent plusieurs cultures qui ont des niveaux différents de tolérance aux stress biotiques (ravageurs, maladies, *etc.*) et abiotiques (sécheresse, luminosité, *etc.*) ainsi que, parfois, des expositions différentes au risque de marché. Les agriculteurs sont ainsi moins dépendants des aléas climatiques et des fluctuations des marchés (intrants et production). Même si le rendement d'une culture est affecté par un aléa, l'agriculteur peut s'assurer un revenu minimum grâce aux autres cultures tout en réalisant des économies d'échelle sur les intrants ou la mécanisation. La diversification des assolements permet également de réduire les charges des agriculteurs. En effet, l'alternance de cultures permet de concevoir des systèmes de cultures économes en intrants et de réduire la dépendance des exploitations aux intrants chimiques. De plus, l'alternance de cultures peut permettre d'étaler les pics de travaux sur l'année et ainsi de limiter le recours à de la main d'œuvre ponctuelle.

La diversification agronomique est généralement étudiée afin d'évaluer ses effets sur l'usage d'intrants (Liebman et Staver, 2001, Zentner *et al.*, 2002) ou la productivité des cultures (Di Falco et Chavas, 2009, Di Falco *et al.*, 2010, Kasem et Thapa, 2011, Chavas et Di Falco, 2012) en lien avec l'accroissement de la rentabilité des exploitations. Aujourd'hui, il existe peu de travaux sur les déterminants de l'adoption de stratégies de diversification agronomique par les agriculteurs. La littérature se concentre majoritairement sur la diversification d'activités à l'échelle de l'exploitation (Mishra *et al.*, 2004, Finocchio et Esposti, 2008, Vik et McElwee, 2011, Meraner *et al.*, 2015).

Une étude collective de l'INRA sur les freins et les motivations à la diversification des cultures, commanditée par le Ministère de l'Agriculture, a permis d'explorer les enjeux de l'accroissement de la diversité des cultures pour les agriculteurs (Meynard *et al.*, 2013). Outre la rentabilité économique, il ressort quatre autres critères clefs qui affectent la diversification des assolements : i) les conditions pédoclimatiques ; ii) la disponibilité en équipement et en main d'œuvre ; iii) la disponibilité en conseil lié à la technicité de la conduite culturale (Kasem et Thapa, 2011) et ; iv) la présence de débouchés et les opportunités de commercialisation (Kasem et Thapa, 2011).

Les conditions de production et la disponibilité en ressources ne sont pas faciles à faire évoluer par les organismes de conseil agricole et les pouvoirs publics. Concernant la technicité de la conduite culturale, il existe un manque de références et de recherches sur des espèces minoritaires (soja, lin, lupin, féverole) pouvant expliquer leur faible adoption par les agriculteurs. Merrien *et al.* (2013) évaluent les freins à la diversification des assolements d'agriculteurs vendéens, et la technicité de la conduite culturale apparaît aussi comme un critère décisif. Un apport d'informations et de conseils allié à des efforts de recherches permettraient de lever ce frein à la diversification en valorisant des productions aujourd'hui minoritaires. En parallèle, du fait de la concentration de la production vers un nombre réduit de cultures, un phénomène de verrouillage sociotechnique de la filière est

constaté par plusieurs auteurs (Kasem et Thapa, 2011, Magrini *et al.*, 2013). Les débouchés de certaines productions sont limités et les organismes stockeurs ne peuvent mettre en place des moyens logistiques importants pour des volumes réduits de production. Ce verrouillage inciterait les agriculteurs à rester dans des systèmes de production maîtrisés, compétitifs et composés des grandes espèces majoritaires (maïs, blé, tournesol, *etc.*). Le soutien de la diversification agronomique passe donc en partie par un processus complexe de restructuration intégrant la promotion de nouvelles filières et mobilisant tous les acteurs de la recherche et du développement.

Du point de vue microéconomique, même si certains auteurs ont montré un effet positif de la taille de l'exploitation sur la diversification des assolements (Pope et Prescott, 1980), d'autres études montrent, au contraire, une tendance vers la spécialisation des grandes exploitations dans le but de réaliser des économies d'échelles (Kasem et Thapa, 2011). Ils constatent aussi un effet négatif de la richesse de l'exploitant sur le nombre de cultures sur l'exploitation. Ce résultat est en adéquation avec les théories sur le risque. En effet, les agriculteurs moins riches sont plus averses au risque²¹ et tendent vers plus de diversification pour réduire leur exposition au risque (Di Falco et Perrings, 2005, Chavas, 2008, Bezabih et Sarr, 2012).

III.2) Echantillon étudié

III.2.1) Statistiques descriptives des agriculteurs de l'enquête

Une enquête a été réalisée auprès d'agriculteurs spécialisés de quatre coopératives du Sud-Ouest²². Il s'agit d'agriculteurs spécialisés dans deux systèmes de culture : la monoculture de maïs et la rotation courte de blé dur sur tournesol. Les exploitants ont été sélectionnés au sein des coopératives en fonction de deux critères. Tout d'abord, leur siège d'exploitation se situe dans une zone traditionnelle de production du système de culture concerné. D'autre part, leur sole est consacrée à plus de 50 % au système de culture. Les enquêtes ont eu lieu entre janvier et décembre 2014. Elles se sont déroulées dans les mêmes conditions d'entretien en groupe ou individuellement. Les agriculteurs répondaient directement sur le questionnaire en version papier et sans aucune interaction les uns avec les autres. Au total, 215 agriculteurs ont répondu à notre enquête : 110 pour le système blé dur sur tournesol et 105 pour le système en monoculture de maïs. Environ 11 %, soit 24 enquêtes ne sont pas exploitables, 8 pour les questionnaires en maïs et 16 pour le blé dur sur tournesol. Après dépouillement des questionnaires, certaines variables n'ont pas pu être exploitées. Les données comptables concernant la trésorerie, les actifs et les dettes des exploitants ont dû être exclues des analyses car plus de la moitié des agriculteurs n'ont pas souhaité ou pu²³ les communiquer. Des statistiques descriptives sur l'échantillon des 191 agriculteurs enquêtés sont présentées. Elles comprennent les moyennes et écart-types des variables décrivant les exploitants et leur exploitation pour l'échantillon complet et pour chacun des deux systèmes de culture (Tableau 13). Dans le tableau, les lignes grisées contiennent les variables pour lesquelles on ne peut pas conclure à des différences significatives entre les deux systèmes.

On constate que les caractéristiques socio-économiques des exploitants ne sont pas différentes selon le système de culture de référence, à l'exception du niveau de formation et de l'implication dans une

²¹ L'aversion au risque est considérée comme décroissante avec la richesse (von Neumann et Morgenstern, 1944)

²² Les coopératives partenaires sont : Arterris, Maïsadour, Terres du Sud et Vivadour

²³ On retrouve une difficulté habituelle : il est très difficile de collecter des informations financières ou économiques observées précises à partir d'une enquête directe chez les agriculteurs

organisation professionnelle. Ainsi, en moyenne, les agriculteurs ont un peu plus de 50 ans, ce qui correspond aux moyennes régionales des régions Midi-Pyrénées et Aquitaine²⁴. Les agriculteurs ont, très majoritairement (80 % des agriculteurs enquêtés), repris la ferme familiale et sont, en moyenne, chefs d'exploitation depuis 23 ans. Concernant leur situation familiale, ils ont, en moyenne, une personne à charge dans leur foyer et près de 80 % des agriculteurs sont en couple ou mariés (variable *Sit Fam*). La proportion d'agriculteurs avec un niveau de formation initiale supérieur au baccalauréat est plus élevée dans notre échantillon que dans la population agricole française (variable *Formation sup*). Presque un tiers des agriculteurs ont un niveau de formation initiale supérieur au baccalauréat, la moyenne nationale étant de 17 %. (Données Recensement Agricole 2010). De plus, la proportion d'agriculteurs avec un niveau de formation initiale supérieure au baccalauréat est plus élevée chez les maïsiculteurs que chez les producteurs de blé dur sur tournesol. Enfin, 65 % des agriculteurs de l'échantillon sont impliqués dans une organisation professionnelle (syndicat, organisation de producteurs, CUMA, etc. : variable *Org Pro*).

Si certaines des caractéristiques socio-économiques des agriculteurs sont homogènes au sein de la population étudiée, la structure des exploitations diffère selon le système de culture de référence. La Surface Agricole Utile moyenne (variable *SAU*) des exploitations enquêtées est d'environ 120 ha, soit une valeur supérieure à la moyenne des exploitations spécialisées en grandes cultures de Midi-Pyrénées (97 ha selon les données de la Chambre d'Agriculture de Midi-Pyrénées en 2013 (Chambre d'agriculture Midi-Pyrénées, 2013)). Les agriculteurs produisant du blé dur sur tournesol ont des exploitations de 140 ha en moyenne. Les maïsiculteurs ont des exploitations plus petites, 100 ha, mais sont propriétaires de 70 % de leur SAU contre 50 % en blé dur sur tournesol (variable *SAU prop/SAU*). En terme de main d'œuvre, les agriculteurs en blé dur sur tournesol de l'échantillon produisent 100 ha par unité de travail (UTH) ce qui est proche de la moyenne de la région Midi-Pyrénées (112 ha/UTH⁸). Les maïsiculteurs enquêtés quant à eux, cultivent en moyenne 66 ha par UTH (variable *SAU par UTH*).

On peut penser que le fort degré de spécialisation des exploitations enquêtées augmente leur exposition au risque. Pour se prémunir des fluctuations des prix et/ou des aléas sur le rendement, les exploitants peuvent diversifier leurs sources de revenus sur et hors de l'exploitation. Les indicateurs de diversification des sources de revenu hors exploitation apparaissent comme significativement différents en fonction du système de culture. Ainsi, la proportion d'agriculteurs ayant un revenu hors exploitation est plus élevée chez les producteurs de blé dur sur tournesol que chez les maïsiculteurs. Le secteur des grandes cultures est celui qui regroupe le plus grand nombre de chefs d'exploitation pluriactifs (Recensement agricole 2010 (MSA, 2012)). Dans notre échantillon total, plus d'un tiers des agriculteurs sont pluriactifs ce qui correspond à la tendance des deux régions (38 % en Aquitaine et 30 % en Midi Pyrénées)(Agreste Midi-Pyrénées, 2011, Agreste Aquitaine, 2013). Cependant, la proportion d'agriculteurs pluriactifs est plus importante dans le système de blé dur sur tournesol que dans le système maïs, respectivement 38 % et 23 % de pluriactifs. De plus, au sein du foyer, 73 % des conjoints de producteurs de blé dur sur tournesol assurent un revenu extérieur alors que presque la moitié des foyers des producteurs de maïs sont exclusivement dépendants du revenu agricole (variable *Conjoint travaillant*). Concernant la diversification des productions sur l'exploitation, on distingue deux stratégies : la diversification d'atelier et la diversification agronomique. Les

²⁴ La moyenne d'âge des agriculteurs en 2010 est de 51 ans en Midi-Pyrénées et 48 ans en Aquitaine selon le recensement agricole (Agreste Midi-Pyrénées, 2011, Agreste Aquitaine, 2015)

maïsiculteurs (qui ont dans moins d'un cas sur deux un revenu hors exploitation) ont des exploitations plus diversifiées en termes d'ateliers de production que les producteurs de blé dur sur tournesol (variable *Atelier*). Presque 70 % d'entre eux possèdent au moins un autre atelier que les grandes cultures (arboriculture, maraîchage, foresterie, élevage). Par ailleurs, si plus des deux tiers des producteurs de blé dur sur tournesol n'ont pas d'autres ateliers de production, ils disposent de cultures diversifiées sur leur exploitation. On observe en moyenne plus de deux cultures de diversification autres que le blé dur et le tournesol (variable *Nb cult div*), qui représentent plus de 20 % de leur SAU, contre 15 % en système maïs (variable *Surf div/SAU*).

Les dernières variables du Tableau 1 permettent d'approcher la conduite culturale des agriculteurs en termes de raisonnement et de difficultés rencontrées. En effet, les difficultés agronomiques rencontrées par les agriculteurs dans leurs pratiques peuvent affecter leur comportement d'adoption d'innovations agricoles. On constate que les producteurs de blé dur sur tournesol déclarent raisonner sur plus de trois ans leur assolement contre seulement deux ans pour les producteurs en monoculture de maïs (variable *Vision assolement*). En considérant le nombre de cultures dans l'assolement, les maïsiculteurs sont moins diversifiés, impliquant des raisonnements sur des rotations courtes voire des monocultures. En rotation blé dur sur tournesol, les agriculteurs font face à plus de difficultés agronomiques qu'en monoculture de maïs (variable *Nb diff agro*). Parmi une liste de huit difficultés agronomiques couramment rencontrées par les agriculteurs²⁵, les producteurs de blé dur sur tournesol déclarent en rencontrer plus de cinq de manière récurrente. Les producteurs de maïs déclarent quant à eux être soumis à moins de trois d'entre elles en moyenne. Ce résultat est cohérent avec les entretiens et *focus groups* réalisés avec les agriculteurs en rotation blé dur sur tournesol, qui ont indiqué faire face à des impasses agronomiques en termes de gestion des adventices et des ravageurs. Par ailleurs, plus de 70 % des agriculteurs enquêtés font ou ont déjà fait des essais (comprenant des essais culturaux, variétaux, phytosanitaires *etc.*). Cette proportion est légèrement supérieure chez les producteurs de maïs.

²⁵ Les huit difficultés agronomiques couramment évoquées par les agriculteurs sont : la fertilité des sols; la structure des sols; l'enherbement; les maladies; les attaques parasitaires; la gestion de l'eau (sécheresse, excès d'eau); la gestion des pics de travail; la technicité de la conduite culturale.

Tableau 13: Statistiques descriptives des agriculteurs enquêtés

	Echantillon Complet		Système Maïs		Système Blé/Tournesol	
	Moyenne	E-Type	Moyenne	E-type	Moyenne	E-Type
Caractéristiques socio-économiques						
Age	50,4	11,3	48,4	10,8	52,2	11,5
Expérience	23,3	11,8	22,9	11,4	23,5	12,2
Reprise	80,1 %	-	79,7 %	-	80,4 %	-
Foyer	1,1	1,3	1,1	1,3	1,2	1,4
Sit fam (Couple)	78,2 %	-	78,6 %	-	77,7 %	-
Formation sup	32,2 %	-	38,6 %	-	26,5 %	-
Org. Pro	65,2 %	-	70,7 %	-	60,0 %	-
Structure de l'exploitation						
SAU	123,1	79,7	102,3	75,9	141,4	78,7
SAU prop/SAU	57,4	32,9	62,4	31,8	52,8	33,4
SAU par UTH	84,1	48,9	66,6	43,1	100,6	48,6
Diversification des revenus						
Conjoint travaillant	65,1 %	-	53,8 %	-	73,2 %	-
Pluriactif	31,3 %	-	22,9 %	-	38,0 %	-
Diversification agricole						
Autre atelier	51,1 %	-	68,1 %	-	34,8 %	-
Nb cult de div	1,9	1,6	1,3	1,4	2,4	1,6
Surf div / SAU (%)	17,9	18,2	15,3	18,9	20,2	17,3
Vision assolement (ans)	2,9	2,3	2,5	1,7	3,2	2,6
Nb diff agro	4,3	2,9	2,7	1,8	5,4	3,1
Essai	60,1 %	-	69,0 %	-	52,0 %	-

Source : Données de l'enquête 2014

Reprise = L'agriculteur a repris l'exploitation familiale (Oui/Non). La modalité « Oui » est la référence

Foyer = Nombre de personnes à charge au sein du foyer

Sit Fam = Situation familiale de l'agriculteur : « Célibataire/Veuf » ou « Couple /Marié ». « Couple » est la référence

Form Sup = Formation initiale supérieure au baccalauréat (Oui/Non). La modalité « Oui » est la référence

Org Pro = Appartenance à une organisation professionnelle (Oui/Non). La modalité « Oui » est la référence

SAU prop/SAU = Proportion de la SAU en propriété (%)

Conjoint Travaillant = Le conjoint a une activité professionnelle (Oui/Non). La modalité « Oui » est la référence

Pluriactif = L'agriculteur a une autre activité professionnelle (Oui/Non). La modalité « Oui » est la référence

Autre atelier = L'exploitant a un atelier (hors grandes cultures) (Oui/Non). La modalité « Oui » est la référence

Nb cul div = Nombre de cultures présentes sur l'exploitation autres que le blé dur et le tournesol ou le maïs

Surf div / SAU = Proportion représentée par les cultures de diversification dans la SAU

Vision assolement = Nombre d'années sur lequel l'agriculteur raisonne son assolement

Nb diff agro = Nombre de difficultés auxquelles l'agriculteur fait face dans une liste de huit possibilités

Essai = L'agriculteur effectue ou a effectué des essais (Oui/Non). La modalité « Oui » est la référence

III.2.2) Les perceptions du risque des agriculteurs

Les perceptions des deux principaux risques auxquels les agriculteurs font face ont été évaluées : le risque de marché et le risque de production. Pris conjointement, ces risques amplifient le risque de revenu de l'agriculteur. Pour déterminer les perceptions de ces risques par les agriculteurs deux méthodes d'évaluation ont été mises en œuvre : les auto-déclarations sur échelle (Pennings et Garcia, 2001, Dohmen, 2005) et la révélation des distributions de fréquences par intervalles. (Hardaker *et al.*, 2004a).

III.2.2.1) Les indicateurs de perception du risque

Concernant les déclarations sur échelles, dans l'enquête, les répondants doivent indiquer leur évaluation du risque lié à la volatilité des marchés. Deux indicateurs sont disponibles :

- La perception de la volatilité des prix de marché est évaluée sur une échelle graduée de 0 (stable) à 10 (très volatil) (variable : *Perception Volatilite*)
- L'évaluation du caractère risqué ou non de la volatilité des prix de marché est mesurée sur une échelle colorimétrique échelonnée de 0 en vert (opportunité) à 6 en rouge (risque) (variable *Risque Volatilite*) (Figure 5)

Sur le gradient suivant veuillez indiquer le niveau de risque ou d'opportunité :
(Faire une croix dans la zone concernée)

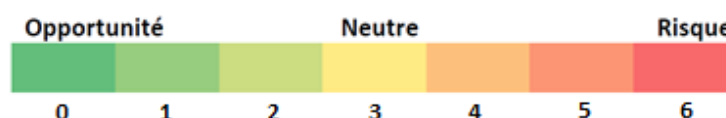


Figure 5 : Evaluation du caractère risqué de la volatilité sur échelle colorimétrique (extrait du questionnaire)

Les échelles utilisées sont symétriques, c'est-à-dire avec un nombre impair d'échelons, permettant à l'exploitant de disposer d'un échelon dit neutre. Il n'existe pas de consensus sur le nombre optimum d'échelons, celui-ci pouvant aller jusqu'à plus d'une dizaine lorsque l'on souhaite plus de précision. (Matell et Jacoby, 1971). Cependant, plus le nombre d'échelons est grand, plus la question est complexe et peut entraîner une lassitude chez le répondant. Au vu de la longueur du questionnaire, il a été choisi de présenter aux agriculteurs des échelles réduites de 11 et 7 échelons. Les deux échelles ont des tailles différentes afin d'éviter l'effet d'Halo, c'est-à-dire la tendance à une même réponse lorsque la même échelle est proposée (Thorndike, 1920).

La méthode de déclaration des distributions de fréquences par intervalles permet d'évaluer les perceptions du risque des agriculteurs en établissant des distributions. Il s'agit d'une méthode utilisée en économie pour révéler les probabilités subjectives des individus en présentant des intervalles de taille identique et en nombre impair (Hardaker *et al.*, 2004a). Dans le questionnaire, cette méthode a été utilisée pour évaluer les distributions de prix et de rendement pour les cultures principales des systèmes étudiés (blé dur, tournesol et maïs). Les intervalles de rendement proposés ont été sélectionnés à partir de déclarations de trois experts de l'INRA en fonction des rendements

obtenus dans les régions Midi-Pyrénées et Aquitaine ces dix dernières années. Les intervalles de prix sont basés sur les historiques de prix des cultures sur les dix dernières campagnes. Pour les différents intervalles proposés, les agriculteurs doivent indiquer la fréquence d'apparition du rendement/prix dans chaque intervalle sur la base de leur souvenir des dix dernières campagnes (Figure 6).

Sur 10 récoltes de blé dur, en moyenne combien de fois pensez-vous obtenir chacun des rendements suivants ?

(Veuillez remplir le tableau suivant)

Rendement	45-50	51-55	56-60	61-65	66-70	Somme
Nombre de récoltes	/10	/10	/10	/10	/10	=10/10

Figure 6 : Exemple de distribution des fréquences par intervalles pour le rendement du blé dur

Une distribution de prix et de rendements est ainsi révélée pour chaque agriculteur permettant de calculer deux indicateurs à partir de ces distributions :

- Le coefficient de variation de la distribution donnée par chaque individu : il s'agit du rapport entre l'écart type et la moyenne de la distribution donnée par chaque agriculteur. Il est calculé pour les prix (variable *Coeff Var Prix*) et pour les rendements (variable *Coeff Var Rdt*),
- Les espérances²⁶ de prix et de rendement sont calculées pour chaque distribution des agriculteurs et sont comparées aux espérances de l'échantillon de la population. Si cet indicateur est négatif l'agriculteur a une espérance inférieure à celle de la population, s'il est positif elle est supérieure (variables *Esp Prix /Population* et *Esp Rdt /Population*). Sa valeur absolue renseigne sur l'ampleur de l'écart par rapport à la population (5):

$$Esp\ Prix /Population = \frac{Esp\ Prix_{individu} - Esp\ Prix_{population}}{Esp\ Prix_{population}} \quad (5)$$

III.2.2.2) Les perceptions du risque des agriculteurs : risque de production et risque de marché

En moyenne sur l'échantillon, les agriculteurs perçoivent une volatilité des prix élevée de 7,7/10. Au sein de l'échantillon on constate une variabilité de la perception de la volatilité avec un écart-type de 1,8. De plus, les exploitants associent, en moyenne, la volatilité plus à un risque qu'à une opportunité (note moyenne de 5,1/6) (Tableau 14). Ces deux indicateurs sont issus d'une méthode déclarative sur échelle (graduée ou colorimétrique). Cette méthode nous permet de quantifier des informations d'ordre qualitatif. Cependant elle présente des biais dont notamment le biais de tendance centrale où les répondants ont tendance à éviter les réponses extrêmes. D'autre part, la tournure ou les termes de la question peuvent induire la réponse, le répondant perçoit ce qu'attend l'enquêteur et donne une réponse orientée (Mucchielli, 1993).

Concernant les distributions de prix déclarées par les agriculteurs, on relève un coefficient de variation moyen de 30 % sur les dix dernières campagnes sur l'ensemble de l'échantillon. Sur l'ensemble de l'échantillon, on constate peu de dispersion de la variable *Esp Prix/Population* (Figure

²⁶ L'espérance correspond à la moyenne pondérée d'une distribution

7). On observe ainsi une distribution normale centrée autour de 0. Concernant les distributions de rendements, ceux-ci apparaissent, en moyenne, comme moins variables que les prix. On observe un coefficient de variation moyen sur les dix ans de 10 % sur l'échantillon. Cependant, contrairement au prix, on remarque que la variable *Esp Rdt /Population* est très dispersée et ne suit pas une loi normale (Figure 8).

Tableau 14 : Indicateurs de perception du risque des agriculteurs pour l'échantillon complet

Variables	Moyenne	E-Type	Min	Max
Perception Volatilite	7,7	1,8	2,0	10,0
Risque Volatilite	5,1	1,3	1,0	7,0
Coeff Var Prix	27,9 %	21,9	0,0 %	80,5 %
Esp Prix/Population	0,0 %	8,8	-30,4%	31,1 %
Coeff Var Rdt	9,8 %	6,2	0,0 %	31,4 %
Esp Rdt/Population	0,0 %	8,4	-12,4 %	20,5 %

Source : Données de l'enquête 2014

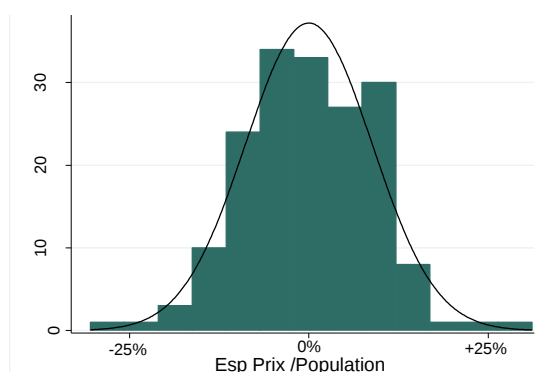


Figure 7 : Distribution des espérances de prix (*Esp Prix / Population*) sur l'échantillon complet

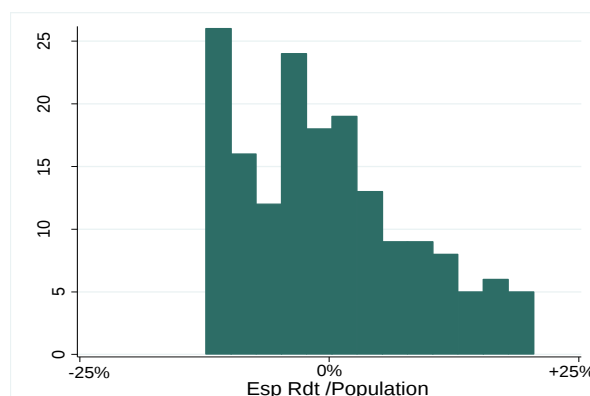


Figure 8 : Distribution des espérances de rendement (*Esp Rdt / Population*) sur l'échantillon complet

L'évaluation des perceptions par des échelles permet de facilement quantifier les perceptions. Ce type de méthodes montre un fort pouvoir explicatif concernant l'évaluation des consentements à prendre des risques (Dohmen *et al.*, 2011). Cependant, elles présentent différents biais. Tout d'abord, un biais hypothétique dans la réponse car, contrairement aux méthodes de révélation de l'aversion au risque, aucune incitation financière n'est effectuée. De plus, il n'est pas possible de

contrôler l'interprétation individuelle des échelons. Les échelles sont ordonnées mais on ne peut pas présumer que les échelons sont égaux (Cohen *et al.*, 2000). Afin de s'assurer de la cohérence des réponses un test de corrélation de Pearson a été effectué. Il permet d'identifier les relations linéaires entre les différents indicateurs de perception (Tableau 15).

Tableau 15 : Corrélations des différents les indicateurs de perception du risque (Test de Pearson)

	Perception Volatilite	Risque Volatilite	Coef Var Prix	Coef Var Rdt
Perception Volatilite	/	/	/	/
Risque Volatilite	0,0234	/	/	/
Coef Var Prix	-0,019	-0,088	/	/
Coef Var Rdt	-0,098	0,054	0,218	/

Les deux déclarations sur échelle, de la perception de la volatilité des prix et du risque associé à cette volatilité, sont corrélées positivement. Ainsi, comme on peut le supposer intuitivement, plus un agriculteur perçoit une volatilité des prix élevée, plus il l'associe à un risque plutôt qu'à une opportunité. On constate aussi une corrélation positive entre les coefficients de variation du prix et du rendement. Les agriculteurs qui déclarent des prix très variables déclarent aussi des rendements très variables. Les résultats semblent donc cohérents avec la réalité des choix de production des agriculteurs laissant penser que les agriculteurs ont répondu de manière cohérente.

Plusieurs analyses de régressions simples ont été effectuées pour rechercher quels facteurs affectent les perceptions du risque des agriculteurs. Il en résulte que seul le système de culture de référence des agriculteurs semble affecter certains des indicateurs de perception (Tableau 16). On remarque que les maïsiculteurs perçoivent, en moyenne, une volatilité plus élevée que les producteurs de blé dur sur tournesol, avec un score respectif de 8 et 7/10. Ce résultat est appuyé par la variabilité du prix déclaré sur dix ans. Les producteurs de maïs déclarent des prix de vente plus variables que les producteurs de blé dur. Le coefficient de variation du prix sur dix ans est proche de 50 % en maïs et de 12 % pour le blé dur. Cependant, les producteurs de maïs associent à cette volatilité un caractère moins « risqué » (score de 4,8/6) que les producteurs de blé dur sur tournesol (score de 5,3/6). Même s'ils perçoivent que les cours du maïs et des intrants sont fluctuants, les maïsiculteurs ne pensent pas nécessairement que cette volatilité génère des risques. Concernant le risque de production, les perceptions sont moins contrastées entre les deux systèmes. Le coefficient de variation moyen du rendement est de 12 % pour le maïs et 7 % pour le blé dur.

Tableau 16 : Indicateurs de perception du risque des agriculteurs par système de culture de référence

Variables	Système Maïs			Système Blé/Tournesol		
	Individus	Moyenne	E-Type	Individus	Moyenne	E-Type
Perception Volatilité	80	8,2	1,7	95	7,2	18
Risque Volatilité	84	4,8	1,5	88	5,3	1,1
Coef Var Prix	81	46,1 %	19,8	93	12,1 %	4,3
Esp Prix/Population	81	0,0 %	9,6	93	0,0 %	8,2
Coef Var Rdt	75	12,8 %	7,7	95	7,3 %	3,1
Esp Rdt/Population	75	0,0 %	9,3	95	0,0 %	7,8

Source : Données de l'enquête 2014

III.2.3) La gestion actuelle du risque des agriculteurs

III.2.3.1) Les choix de commercialisation actuels par type de contrats

Dans le questionnaire, les agriculteurs ont indiqué le pourcentage de leur production en grandes cultures (toutes cultures confondues) commercialisé en quatre catégories : contrat à prix moyen, contrat avant récolte (*forward*), vente sur le marché physique (négoce ou *spot*) et vendue après stockage. Les choix de commercialisation sont ainsi regroupés en trois catégories en fonction de l'exposition au risque de l'agriculteur et de la période d'engagement de l'agriculteur : avant récolte ou après récolte. Ces contrats sont identiques que l'exploitant vende au sein d'une coopérative ou à un négoce.

- Les contrats *forward* regroupent tous les types de contrats qui fixent le prix de vente, dans son intégralité ou partiellement, avant la récolte. Comme dans les travaux de Goodwin *et al* (1994) et Katchova *et al* (2004), les contrats indexés sur les marchés à terme sont intégrés dans cette catégorie (Goodwin et Schroeder, 1994, Katchova et Miranda, 2004). Les contrats à termes sont généralement signés avant récolte et fixent un prix de vente moyennant une indexation sur le marché à terme, plus un complément de prix connu à l'avance appelé option.
- Les contrats à « prix moyen », notés *PM*, sont rémunérés par un acompte à la livraison puis un complément de prix. Le prix final payé au producteur est lissé sur l'ensemble des ventes de l'année de l'Organisme Stockeur (OS). C'est donc au final l'OS qui mutualise le risque-prix entre ses adhérents.
- La commercialisation sur le marché physique, notée *spot*, correspond au choix d'agriculteurs qui commercialisent leur production au prix du marché au jour de la vente. Dans cette catégorie sont inclus les agriculteurs qui stockent et n'ont pas de contrats avant récolte. On considère ici que ces agriculteurs stockent dans l'objectif de vendre sur le marché *spot*.

Pour l'échantillon complet, en moyenne 37 % de la production des agriculteurs est vendue en contrat *PM* et 37 % au marché *spot* (Tableau 17). Les exploitants vendent une part moins élevée de leur production en contrats *forward* (environ 25 %).

Dans l'échantillon, les producteurs spécialisés en maïs vendent 40 % de leur production en contrat *PM*, 35 % en contrat *forward* et 22 % en contrat *spot*. Concernant l'échantillon des agriculteurs

spécialisés en blé dur sur tournesol, commercialisent la moitié de leur production au marché *spot* et plus de 30 % en contrat *PM*. Les producteurs de maïs, plus fortement exposés à la volatilité des prix du fait de leur plus fort degré de spécialisation, semblent adopter plus systématiquement une stratégie de couverture face au risque. Ils sécurisent ou lissent le prix de vente pour près de 80 % de leur production avec des contrats *forward* ou *PM*. A l'inverse, les producteurs de blé dur sur tournesol tentent plutôt de profiter des opportunités des marchés en commercialisant la moitié de leur production au prix du marché *spot*.

Tableau 17 : Répartition des choix de commercialisation au sein de l'échantillon et par système de culture

	Echantillon complet		Système maïs		Système Blé dur	
	Moyenne	E-Type	Moyenne	E-Type	Moyenne	E-Type
Forward	25,39 %	29,75	35,16 %	35,16	16,96 %	23,17
PM	37,47 %	35,55	42,36 %	39,88	33,26 %	30,95
Spot	37,09 %	36,37	22,19 %	34,62	49,77 %	32,99

Source : Données de l'enquête 2014

III.2.3.2) Les portefeuilles de contrats des agriculteurs de l'enquête

L'agriculteur peut combiner différents types de commercialisation. Il peut ainsi se prémunir du risque sur une partie de sa production tout en essayant de profiter de la volatilité des marchés sur l'autre partie.

Une classification ascendante hiérarchique, basée sur le pourcentage de production vendue pour les trois types de contrats, a été réalisée afin d'identifier différents types de portefeuilles de commercialisation chez les agriculteurs enquêtés. Elle regroupe des individus de l'échantillon en classes les plus homogènes et les plus différenciées des autres possibles (Saporta, 2006). A chaque regroupement, on cherche à obtenir une inertie intra-classe la plus réduite possible (méthode de Ward) (Milligan et Cooper, 1987). Le nombre de classes a été choisi de telle sorte que les indices de Duda et Calinski aient des valeurs optimales. (Duda et Hart, 1973) (Caliński et Harabasz, 1974) (Milligan et Cooper, 1985). Quatre classes de stratégies de commercialisation distinctes sont ressorties de l'analyse (Tableau 18).

- La classe 1, orientée *spot*, est composée d'individus commercialisant en moyenne plus des deux tiers de leur production en stratégie *spot*. Le reste de leur production est réparti entre des ventes en contrats *forward* ou au prix moyen (*PM*). Il s'agit de la classe avec le plus grand effectif soit plus de 45 % des individus.
- La classe 2, orientée *forward*, représente des agriculteurs qui commercialisent en moyenne plus de 80 % de leur production avant la récolte en contrat *forward*. Cette classe regroupe un peu plus de 10 % des agriculteurs de l'échantillon.
- La classe 3, orientée *PM*, regroupe les individus qui commercialisent la quasi-totalité (99 %) de leur production en contrat *PM*. Les agriculteurs de cette classe représentent environ 15 % de l'échantillon.

- La classe 4 rassemble des exploitants qui diversifient leur portefeuille de contrats de commercialisation. En moyenne, la moitié de leur production est vendue par la coopérative et rémunérée au prix moyen. Près de 40 % de leur production est contractualisée avant récolte en contrats *forward* et le reste de la production (10 %) est vendue aux cours du marché *spot*. Cette classe, dites « diversifiée » représente un quart des agriculteurs de l'échantillon.

Ces mêmes stratégies de portefeuille de commercialisation ont déjà été observées dans certains travaux sur la commercialisation des céréaliers (Ricome, 2012). Les classes de commercialisation ont été présentées aux responsables de la commercialisation de deux coopératives. Ils ont validés qu'elles correspondent bien à des stratégies de commercialisation qu'ils observent dans leur structure.

Tableau 18 : Description des classes obtenues par la classification ascendante hiérarchique

Nom	N ²⁷	Forward		PM		Spot	
		Moyenne	E-Type	Moyenne	E-Type	Moyenne	E-Type
1 Orienté Spot	83	12,2%	18,6	16,9%	21,4	70,8%	22,6
2 Orienté Forward	20	87,7%	14,5	6,2%	11,8	6,0%	11,9
3 Orienté PM	27	0,0%	0,0	99,5%	1,9	0,4%	1,9
4 Diversifié	45	37,1%	11,5	51,9%	16,3	10,5%	13,6

Source : Données de l'enquête 2014

III.2.3.3) Indicateurs de diversification des assolements

Le second instrument de gestion du risque étudié est la diversification des cultures, ou diversification agronomique, au sein de l'exploitation. Il s'agit d'une stratégie de portefeuille qui permet à l'exploitant de ne pas dépendre des performances et du marché d'une seule culture. On dispose, grâce aux données de l'enquête, de trois indicateurs de diversification agronomique de l'exploitation :

- Le nombre de cultures de diversification. Cette variable correspond au nombre de cultures présentes sur l'exploitation autres que les cultures principales (blé dur et tournesol ou maïs selon le système de culture de référence) (variable *Nb cult de div*)
- Le pourcentage de la SAU totale représenté par ces cultures de diversification (variable *Surf Div / SAU*)
- L'indice de Shannon pour mesurer la diversification agronomique de l'exploitation (variable *Div Agro*). Il s'agit d'un indicateur d'entropie utilisé pour mesurer la biodiversité qui prend en compte à la fois le nombre de cultures et la surface représentée par chacune d'elles pour évaluer un score (Peet, 1974, Pope et Prescott, 1980). Dans les écosystèmes naturels l'indice varie de 0 à 5, cependant dans les agroécosystèmes il excède rarement 3 (Meng *et al.*, 1999) (6).

$$Div_{agro} = - \sum_k P_k \times \log P_k$$

Avec P_k la proportion de la culture k dans l'assolement ($P_k = \frac{surf_k}{SAU_{tot}}$)

(6)

²⁷ Nombre d'individus

En moyenne sur l'échantillon, les agriculteurs ont deux cultures de diversification qui représentent 18 % de la SAU (Tableau 19). L'indicateur de Shannon est en moyenne de 0,8 ce qui représente une faible diversité agronomique (Koocheki *et al.*, 2008). Quel que soit l'indicateur étudié, on constate une différence en termes de diversification agronomique entre les deux systèmes de culture de référence. En effet, les producteurs de blé dur sur tournesol sont plus diversifiés que les producteurs de maïs en termes de surface et de nombre de cultures de diversification. Leur score d'entropie est aussi plus élevé ; 1 contre 0,5 pour les maïsiculteurs.

Tableau 19 : Indicateurs de diversification agronomique

	Echantillon complet		Système maïs		Système Blé/Tournesol	
	Moyenne	E-Type	Moyenne	E-Type	Moyenne	E-Type
Nb Cult de div.	1,9	1,6	1,3	1,4	2,5	1,6
Surf Div / SAU	18 %	18	15 %	19	20 %	17
Div Agro	0,8	0,4	0,5	0,3	1,1	0,3

Source : Données de l'enquête 2014

Les deux outils de gestion du risque étudiés, par la commercialisation et la diversification, sont utilisés par les exploitants de l'échantillon. On remarque une adoption différente de ces outils selon le système de culture d'origine. Ainsi, les producteurs de blé dur sur tournesol de l'échantillon commercialisent, en moyenne, la moitié de leur production au marché *spot*, plus risqué. Cependant, ils produisent en moyenne plus de deux cultures de diversification sur 20 % de leur surface. A l'inverse, les maïsiculteurs sont fortement spécialisés avec en moyenne, une autre culture que le maïs sur leur exploitation qui représente 15 % de leur SAU. Cependant, on constate une orientation de la commercialisation vers des contrats qui réduisent l'exposition au risque de marché (*forward* et *PM*).

Si le système de culture actuel est un élément explicatif de l'adoption d'outils de gestion du risque, d'autres éléments dans la littérature, prêtent à penser que d'autres caractéristiques des exploitants et de leur exploitation, affectent la mise en place d'outils de gestion du risque. La section suivante s'intéresse donc aux déterminants de l'adoption d'outils de gestion du risque en intégrant, les déterminants étudiés dans des travaux antérieurs mais aussi des indicateurs de perception du risque.

III.3) Méthodes d'analyse des choix de commercialisation et de diversification agronomique

III.3.1) Outils d'analyse des choix de commercialisation

Concernant l'analyse des déterminants de l'adoption de stratégies de commercialisation, celle-ci est réalisée en deux étapes. En premier lieu, on étudie les facteurs qui affectent le pourcentage de production vendu dans chacun des trois types de commercialisation, indépendamment. III.3.1.1) Ensuite, on s'intéresse aux quatre classes de stratégies de commercialisation identifiées et on étudie les facteurs qui influencent l'adoption d'une stratégie de portefeuille de commercialisation plutôt qu'une autre

III.3.1.1) Méthode d'analyse du taux de production vendu par type de commercialisation

Afin d'analyser les facteurs qui influent sur le pourcentage de production vendu dans chacun des trois types de commercialisation, nous disposons donc de trois variables dépendantes. Il s'agit du taux de commercialisation vendue : i) avant récolte (contrat *forward*) ; ii) au prix moyen (*PM*) et ; iii) au marché *spot* (*spot*). Les variables dépendantes, observées par pourcentage de production commercialisé, sont bornées de 0 à 100. L'utilisation d'une régression linéaire mènerait à des estimations erronées (Tobin, 1958). Un modèle Tobit censuré est utilisé et peut être écrit (7) :

$$\begin{aligned}
 Y_i^* &= \beta X_i + \varepsilon_i \\
 Y_i &= Y_i^* \text{ si } L_{inf} < Y_i^* < L_{sup} \\
 Y_i &= L_{inf} \text{ si } Y_i^* < L_{inf} \\
 Y_i &= L_{sup} \text{ si } Y_i^* > L_{sup}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Y_i^* est la variable dépendante qui ne peut être entièrement observée ainsi Y_i correspond à la variable dépendante observée et bornée pour l'individu i , X_i est le vecteur des variables explicatives pour l'individu i , β le paramètre du type de commercialisation choisi (*spot*, *forward* ou *PM*), ε_i le terme d'erreur et L_{inf} et L_{sup} les bornes inférieure et supérieure d'observation de la variable dépendante (ici 0 et 100).

III.3.1.2) Méthode d'analyse de l'adoption d'une des stratégies de commercialisation

Pour étudier les facteurs qui influencent l'adoption d'une stratégie de portefeuille de commercialisation plutôt qu'une autre on utilise un modèle *logit* multinomial. Il est utilisé lorsque la variable dépendante est composée de plusieurs modalités. Ici les agriculteurs ont choisi une des quatre stratégies de commercialisation identifiées (Mc Fadden, 1973). Ainsi, l'agriculteur i appartient à la stratégie j parmi les quatre stratégies de commercialisation : orienté *forward*, orientée *spot*, orientée *PM* et *diversifiée*. L'utilité observable de l'individu i pour la stratégie j est fonction de β_j le vecteur des paramètres pour la stratégie j et X_i le vecteur des variables explicatives pour l'individu i (8).

$$U_{ij} = \beta_j X_i \tag{8}$$

La probabilité d'appartenir à la catégorie j parmi les J stratégies est exprimée sous la forme d'une fonction de répartition logistique (9).

$$P(j/X_i) = \frac{e^{\beta_j X_i}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta_j X_i}} \tag{9}$$

III.3.2) Outils d'analyse de la diversification agronomique sur l'exploitation

Pour analyser les facteurs qui affectent la diversification agronomique des agriculteurs de l'échantillon, deux modèles de régression différents ont été utilisés en fonction des caractéristiques des variables à expliquer. Concernant, le nombre de cultures de diversification (variable *Nb Cult Div*)

et l'indicateur d'entropie (variable *Div Agro*), qui sont des variables numériques continues, des régressions linéaires classiques ont été réalisées (10).

$$Y_i = \beta X_i + \varepsilon_i = U_i + \varepsilon_i \quad (10)$$

Où Y_i est la variable dépendante, c'est-à-dire soit le nombre de cultures de diversification soit l'indicateur d'entropie, pour l'individu i . Pour la variable de pourcentage de la SAU consacrée aux cultures de diversification qui est comprise entre 0 et 100 et donc bornée, nous avons utilisé une régression de type *Tobit* déjà présentée précédemment (7).

III.4) Déterminants de l'adoption d'outils de gestion du risque

III.4.1) Analyse empirique des déterminants des choix de commercialisation

Concernant le pourcentage de production vendue dans chacun des trois types de commercialisation (*forward*, *spot*, *PM*), les résultats montrent que les facteurs qui affectent le volume commercialisé sont distincts en fonction du type de commercialisation. De nombreuses variables ont été testées mais pour plus de clarté seules les variables qui apparaissent comme statistiquement significatives sont présentées. Ainsi les facteurs explicatifs peuvent être explicités de la façon suivante (11) :

$$\begin{aligned} U_i = & \beta_1 \text{ Age} + \beta_2 \text{ Expérience} + \beta_3 \text{ Foyer} + \beta_4 \text{ Formation sup} + \beta_5 \text{ Pluriactif} + \beta_6 \text{ Atelier} \\ & + \beta_7 \text{ SurfDiv/SAU} + \beta_8 \text{ NbDiff agro} + \beta_9 \text{ Essai} + \beta_{10} \text{ Sdc} + \beta_{11} \text{ Coeff Var Rdt} \\ & + \beta_{12} \text{ Coeff Var Prix} + \beta_{13} \text{ Esp Prix/Population} + \beta_{14} \text{ Esp Rdt/Population} \\ & + \beta_{15} \text{ PerceptionVolatilite} + \beta_{16} \text{ Risque Volatilite} + \text{Constante} \end{aligned} \quad (11)$$

Le pourcentage de commercialisation en contrat *forward* évalue le degré d'engagement de l'agriculteur dans une commercialisation qui sécurise son revenu (Tableau 20). Il est négativement corrélé avec le niveau de diversification en termes d'ateliers (variable *Atelier*) ainsi qu'avec le niveau de diversification agronomique, mesuré par la part de surface en cultures de diversification (variable *Surf Div/SAU*). L'engagement dans des essais, tout type d'essai confondu, est lié positivement avec le taux de commercialisation en contrats *forward*. Concernant les caractéristiques individuelles des exploitants, on constate que la commercialisation en contrat *forward* est corrélée positivement au nombre de personnes à charge (variable *Foyer*). En revanche, on ne mesure pas d'effet significatif des variables de perception du risque.

A l'inverse des contrats *forward*, le pourcentage de volume commercialisé au marché *spot* évalue la prise de risque de l'agriculteur qui, par ce type de commercialisation, s'expose plus à la volatilité des marchés. Le taux de commercialisation au marché *spot* est plus élevé, en moyenne, chez les agriculteurs qui produisent du blé dur sur tournesol. On constate un effet négatif du niveau de formation supérieur au baccalauréat. Concernant les perceptions du risque, le pourcentage de commercialisation au marché *spot* est lié au fait de percevoir la volatilité comme un risque plutôt qu'une opportunité.

Le pourcentage de cultures commercialisé au prix moyen (*PM*) est affecté par un grand nombre de variables significatives. Ainsi, les caractéristiques des agriculteurs telles que l'âge et le nombre de personnes à charge ont un effet négatif sur le taux de commercialisation en *PM*. A l'inverse, on remarque un effet positif du niveau d'expérience. Concernant la conduite des cultures, le nombre de

difficultés agronomiques rencontrées affecte positivement le taux de commercialisation en *PM* alors que la mise en place d'essais l'affecte négativement. Les difficultés agronomiques rencontrées sur l'exploitation peuvent expliquer le choix des agriculteurs de déléguer une plus grande partie de la commercialisation de leur production à la coopérative au *PM*, afin de dégager du temps à la gestion technique et agronomique de l'exploitation. Concernant les perceptions, le taux de commercialisation au *PM* est corrélé négativement à la perception d'un niveau de volatilité élevé ainsi qu'à une perception « risquée » de la volatilité.

Tableau 20 : Résultats des *tobit* par type de commercialisation

	<i>Forward</i>		<i>Spot</i>		<i>PM</i>	
	Coef.	<i>E-Type</i>	Coef.	<i>E-Type</i>	Coef.	<i>E-Type</i>
<i>Caractéristiques des exploitants</i>						
Age	1,33	0,75	1,59	0,90	-2,46**	0,91
Expérience	-1,06	0,70	-0,86	0,85	1,96*	0,87
Foyer	8,02*	3,50	2,69	4,20	-12,19**	4,46
Formation sup (Oui)	4,44	10,22	-25,54*	12,32	20,22	11,94
Pluriactif (Oui)	-18,33	10,45	30,60*	11,96	-9,22	12,12
<i>Caractéristiques de l'exploitation</i>						
Atelier (Oui)	-23,62*	10,35	-3,88	12,09	21,09	11,95
Surf Div /SAU	-68,89*	27,39	-20,44	31,89	73,33*	30,47
Nb diff agronomique	-0,38	1,95	-3,26	2,23	5,35*	2,30
Essai (Oui)	22,18*	10,47	10,50	11,86	-28,37*	12,23
SdC (blé dur/tournesol)	-6,34	21,35	69,03*	27,10	-43,67	25,51
<i>Perceptions du risque</i>						
Coeff Var Rdt	23,64	91,92	-41,90	116,70	65,23	112,52
Coeff Var Prix	44,88	45,83	13,47	57,81	-32,81	56,02
Esp Prix /Population	60,68	65,80	-72,42	77,48	-0,45	75,92
Esp Rdt / Population	7,37	59,14	93,41	71,10	-84,82	69,92
Perception volatilité	3,85	3,12	3,66	3,76	-7,60*	3,76
Risque volatilité	2,08	3,74	9,77*	4,89	-9,88*	4,54
Constante	-77,79	51,96	-144,01*	63,37	222,42***	61,58
Sigma	43,41	4,42	50,74	5,17	51,95	5,35
N		124		124		124
Mc Fadden R^2 ajusté		0,05		0,07		0,06
LL		-366,47		-375,66		-381,18
AIC		768,95		787,33		798,37

* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

Les résultats obtenus dans les *Tobit* sont significatifs, cependant, les indicateurs de qualité du modèle, le R^2 ajusté et le *log likelihood ratio* (LL), sont faibles. Les R^2 ajustés obtenus sont de 0,05 pour les contrats *forward*, 0,07 pour les contrats *spot* et 0,06 pour les contrats *PM*. Les *log likelihood* (LL) sont compris entre -381 et -366. Les travaux récents sur les déterminants des choix de

commercialisation obtiennent des R^2 ajustés de l'ordre de 0,1 et les LL de -145 (Sartwelle *et al.*, 2000, Franken *et al.*, 2012). Ce résultat laisserait penser que l'analyse de la seule variable du pourcentage commercialisé dans chaque type de contrat ne serait pas suffisante pour expliquer les choix de commercialisation des agriculteurs.

Les agriculteurs pouvant combiner l'utilisation de plusieurs types de commercialisation, quatre stratégies de commercialisation distinctes ont été identifiées par une classification ascendante hiérarchique : « orientée *spot* », « orientée *forward* », « orientée *PM* » et « diversifiée » (Tableau 18). On souhaite étudier les déterminants de l'appartenance à l'une de ces stratégies par rapport à une stratégie définie comme la référence, la plus sécurisante : la stratégie orientée *forward*.

Une régression de type *logit* multinomial a été estimée (12). Le R^2 ajusté du modèle de 0,32 démontre une meilleure qualité prédictive de ce modèle que le précédent pour expliquer les choix de commercialisation :

$$\begin{aligned}
 U_i = & \beta_1 \text{ Age} + \beta_2 \text{ Expérience} + \beta_3 \text{ Foyer} + \beta_4 \text{ SAU} + \beta_5 \text{ PLuriactif} + \beta_6 \text{ Atelier} + \beta_7 \text{ Surf Div/SAU} \\
 & + \beta_8 \text{ Essai} + \beta_9 \text{ Sdc} + \beta_{10} \text{ OrganisationPro} + \beta_{11} \text{ Coeff Var Prix} \\
 & + \beta_{12} \text{ Esp Prix/Population} + \beta_{13} \text{ Risque Volatilite} + \text{Constante}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Concernant les agriculteurs qui adoptent une stratégie orientée *PM*, on constate des effets identiques à ceux analysés avec la régression *Tobit* pour les variables telles que l'âge, l'expérience, le nombre de personnes au sein du foyer et le fait d'avoir réalisé des essais (Tableau 21). Les agriculteurs en stratégie orientée *PM*, sont plus souvent producteurs de maïs et plus diversifiés en termes de surface de diversification que les agriculteurs en stratégie *forward*.

Les agriculteurs orientés *spot*, sont aussi plus diversifiés que les agriculteurs orientés *forward* concernant la proportion de surface de diversification. Ils sont moins investis dans des organisations professionnelles. Enfin, les agriculteurs en *spot* perçoivent plus la volatilité des prix comme un risque que les agriculteurs *forward*.

Les agriculteurs qui diversifient leur commercialisation sont, en moyenne, plus jeunes que les agriculteurs en stratégie *forward* et sont moins engagés dans des organisations professionnelles. Ils sont généralement producteurs de blé dur sur tournesol et ont un assolement assez diversifié en termes de cultures.

Tableau 21 : Résultats du *logit* multinomial sur les déterminants de l'adoption des stratégies de commercialisation

		<i>Orienté Forward</i>	<i>Orienté Spot</i>		<i>Orienté PM</i>		<i>Diversifié</i>	
			Coef.	E-Type	Coef.	E-Type	Coef.	E-Type
<i>Caractéristiques de l'exploitant</i>								
Age	-		-0,110	0,077	-0,195*	0,089	-0,158*	0,080
Expérience	-		0,106	0,069	0,171*	0,082	0,110	0,070
Foyer	-		-0,239	0,322	-1,238**	0,440	-0,175	0,320
Pluriactif (Oui)	-		1,132	1,150	0,516	1,438	0,040	1,185
Organisation pro (Oui)	-		-3,825*	1,549	-2,891	1,643	-3,995*	1,566
<i>Caractéristiques de l'exploitation</i>								
Atelier (Oui)	-		0,250	0,989	2,000	1,185	-0,279	1,006
SAU	-		0,000	0,005	0,000	0,007	-0,008	0,006
Surf Div /SAU	-		12,845**	4,685	16,530***	4,930	10,629*	4,678
Essai (Oui)	-		-0,973	0,955	-2,767*	1,121	-0,809	0,960
SdC (blé dur/tournesol)	-		2,947*	1,492	0,232	1,699	3,937*	1,648
<i>Perceptions du risque</i>								
Coeff Var Prix	-		-0,091	2,889	-4,088	3,519	5,030	3,187
Esp Prix /Population	-		-1,803	5,179	-2,799	5,942	-2,669	5,523
Risque volatilité	-		0,804*	0,345	0,395	0,401	0,399	0,338
Coeff Var Rdt	-		2,241	6,881	8,966	8,802	1,882	6,717
Esp Rdt /Population	-		6,318	5,337	-3,667	6,702	6,252	5,411
Constante	-		1,380	3,826	6,271	4,347	5,114	4,023
N			135					
Pseudo <i>R</i> ²			0,324					
LL			-113,995					
chi2			109,367					
AIC			323,989					

* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

III.4.2) Analyse empirique des déterminants de la diversification des assolements

Face à la nouvelle réglementation européenne, qui conditionne l'obtention de 30 % des aides à la présence de trois cultures sur l'exploitation, il apparaît d'autant plus important d'évaluer les déterminants de la diversification agronomique chez les agriculteurs céréaliers du Sud-Ouest. En effet, si sur le territoire français, la très grande majorité des exploitations (75 %) répondent à l'exigence de diversification, la situation du Sud-Ouest apparaît comme plus complexe. En Aquitaine, la monoculture de maïs représente 41 % de la SAU et l'étude du Commissariat général au développement durable a mis en évidence que 20 % des exploitations qui ne respectent pas la mesure de diversification ont une sole couverte à plus de 70 % par du maïs. Par ailleurs, dans le Lauragais et la Lomagne, la rotation courte traditionnelle de blé dur sur tournesol représente de 30 à plus de 50 % de la SAU des agriculteurs (Fuzeau *et al.*, 2012). La diversification des assolements est un instrument de gestion du risque pour les agriculteurs du Sud-Ouest concernant les risques de marché et de production. Par ailleurs, face à la nouvelle contrainte réglementaire de diversification des assolements, il s'agit aussi d'un outil de gestion du risque institutionnel. Outre le système de culture de référence, certaines variables socio-économiques ainsi que des variables de perception semblent expliquer le niveau de diversification agronomique des agriculteurs de l'échantillon. Pour les trois indicateurs étudiés, le vecteur des variables explicatives est le même, l'utilité observée U_i , est tel que (13).

$$U_i = \beta_1 \text{ Age} + \beta_2 \text{ Expérience} + \beta_5 \text{ PLuriactif} + \beta_{10} \text{ Nb diff Agro} \\ + \beta_{11} \text{ Coeff Var Prix} + \beta_{13} \text{ Coeff Var Rdt} + \text{Constante} \quad (13)$$

Concernant la proportion de la SAU consacrée à des cultures de diversification, on constate qu'elle est liée négativement avec la pluriactivité de l'exploitant (Tableau 22). En termes de perception des risques de marché et de prix, les agriculteurs avec la plus grande proportion de cultures de diversification, perçoivent des rendements variables mais des prix stables sur les dix dernières campagnes.

Pour le nombre de cultures de diversification présentes sur l'exploitation, on remarque que les mêmes variables sont significatives : l'âge, la pluriactivité et la variabilité des prix. La régression sur le nombre de cultures de diversification présentes sur l'exploitation a un R^2 ajusté supérieur à celui de la régression sur la surface de diversification, 0,15 et 0,05 respectivement. Les LLR des deux régressions sont proches autour de - 270.

Enfin, concernant l'indicateur d'entropie, on constate une seule corrélation significative et négative entre le coefficient de variation des prix. Par ailleurs, des trois régressions réalisées, cette dernière est la plus robuste avec un R^2 ajusté de 0,26 et un LLR de -43.

Tableau 22 : Résultats du modèle Tobit (variable *Surf Div / SAU*) et des régressions linéaires (pour les variables *Nb Cult Div* et *Div Agro*) pour expliquer les déterminants de la diversification agronomique des exploitations

	<i>Surf Div / SAU</i>		<i>Nb Cult Div</i>		<i>Div Agro</i>	
	Coef.	E-Type	Coef.	E-Type	Coef.	E-Type
Age	0,006*	0,003	-0,040*	0,017	-0,007	0,004
Experience	-0,056	0,002	0,015	0,016	0,003	0,004
Pluriactif (Oui)	-0,009	0,038	-0,616*	0,271	-0,009	0,065
Nb diff agronomique	-0,194	0,007	0,082	0,048	0,019	0,011
Coeff Var Prix	-0,772*	0,107	-2,392**	0,768	-0,848***	0,183
Coeff Var Rdt	0,532***	0,362	0,493	2,574	-0,620	0,613
Constante	0,006*	0,113	4,192***	0,794	1,331***	0,189
Sigma	0,270	0,014	-	-	-	-
N	150		150		150	
Mac Fadden R^2 ajusté	-		0,138		0,261	
LL	-6,793		-272,007		-56,723	
AIC	-29,586		558,014		127,446	

* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

III.5) Discussion et conclusions

Les agriculteurs sont quotidiennement confrontés aux risques et cela d'autant plus que le contexte de production est de plus en plus incertain (climat, réglementation, volatilité des marchés, etc.). L'aversion au risque des agriculteurs les amène à réduire leur exposition au risque par l'emploi d'instruments de gestion du risque. Dans le contexte actuel, deux de ces instruments présentent un intérêt croissant pour les exploitants. Tout d'abord, la multiplication des modalités de commercialisation par les organismes stockeurs permet à l'exploitant de gérer de plus en plus en autonomie son risque-prix. En fonction de leurs attitudes face au risque, les agriculteurs peuvent gérer la volatilité des prix des productions par des choix de commercialisation adaptés. Par ailleurs, la diversification des assolements, comme une stratégie de portefeuille, permet aux agriculteurs de se prémunir des variations des prix. Il s'agit pour l'exploitant de diversifier les revenus liés aux grandes cultures mais aussi, grâce à l'alternance des cultures, de réduire la dépendance à l'usage d'intrants (fertilisants, pesticides, eau ou main d'œuvre). La nouvelle réglementation européenne (PAC 2014-2020) a pour objectif de contraindre les agriculteurs à diversifier leur assolement afin de réduire les externalités négatives de la production intensive de grandes cultures sur l'environnement et à adapter en conséquence la conduite des cultures. Elle conditionne donc l'obtention d'un tiers des aides directes à la production à la présence d'au moins trois cultures sur l'exploitation. La diversification des assolements apparaît donc aujourd'hui à la fois comme un instrument de gestion du risque de marché et comme un moyen de réduire l'exposition au risque institutionnel des agriculteurs.

Dans ce chapitre, l'analyse empirique du comportement face au risque de 191 agriculteurs spécialisés en grandes cultures du Sud-Ouest de la France met en évidence le rôle des caractéristiques des exploitations et des agriculteurs, y compris leurs perceptions du risque, dans la mise en place de ces deux instruments de gestion du risque. Les agriculteurs de l'enquête déclarent percevoir, en moyenne, un niveau de risque de marché élevé. Ils perçoivent une volatilité élevée des prix de marchés et y associent un risque plutôt qu'une opportunité. De plus, les prix perçus par les agriculteurs sont très variables avec un coefficient de variation de 30 % sur les dix dernières campagnes. Concernant le risque de production, les rendements sont perçus comme peu variables d'une année sur l'autre (10 % de variation). Cependant, les espérances de rendement déclarées par les agriculteurs au sein de l'échantillon sont très dispersées. Ce résultat souligne sans doute la variabilité des contextes pédoclimatiques. De plus, le système de culture de référence des agriculteurs semble affecter les perceptions du risque de production des agriculteurs, ce qui soutient cette hypothèse d'un effet « zone ». On remarque une corrélation des différents indicateurs mobilisés de perception du risque de prix et du risque de rendement, ce qui laisserait penser que les perceptions du risque sont, au moins pour partie, indépendantes de la nature du risque (prix ou rendement) et qu'elles pourraient être, tout comme l'aversion, une caractéristique absolue, psychologique des individus.

Concernant la gestion du risque de marché par la commercialisation, les agriculteurs les plus fortement spécialisés, qui n'ont pas d'autres ateliers et moins de surface de diversification, s'exposent de manière accrue au risque. Ces derniers choisissent préférentiellement des contrats de commercialisation qui sécurisent le revenu avant récolte de type *forward*. Il s'agit généralement d'exploitants engagés dans des organisations professionnelles, disposant d'informations sur les marchés et sur les contrats disponibles. Les agriculteurs qui adoptent une commercialisation plus

risquée, comme la vente au prix *spot*, sont eux moins investis dans des organisations professionnelles et ont un niveau de formation initiale inférieur au baccalauréat. Leurs perceptions du risque lié à la volatilité des marchés sont plus élevées, ce qui pourrait s'expliquer par leur exposition plus importante au risque de marché dans cette stratégie.. Ce type de commercialisation est plus présent chez les exploitants en système blé dur sur tournesol. Les agriculteurs qui mutualisent la commercialisation par des contrats à *prix moyen* sont eux plus présents dans le système maïs et ont plus d'expérience agricole. Ils sont fortement diversifiés à la fois du point de vue agronomique et en termes d'ateliers. Ils rencontrent des difficultés agronomiques et perçoivent de manière réduite la volatilité des prix et le risque associé. On peut penser que la commercialisation d'une forte part de la production à prix moyen est une forme de délégation du risque-prix aux organismes stockeurs. Ayant externalisé ce risque de marché, les agriculteurs perçoivent moins la volatilité des prix comme un risque. Enfin, les agriculteurs qui choisissent de diversifier leur portefeuille de commercialisation sont en moyenne plus jeunes et perçoivent de fortes variations de prix sur les dix dernières années ce qui pourrait expliquer leur choix de diversifier leur portefeuille de commercialisation. Concernant le choix de diversifier l'assolement, les agriculteurs jeunes et ceux n'ayant pas d'activité professionnelle extra-agricole semblent plus enclins à diversifier leur exploitation. On peut penser que les agriculteurs pluriactifs ont moins de temps à consacrer à leur exploitation et préfèrent des systèmes spécialisés qui optimisent le temps de travail agricole. Enfin, il apparaît que les perceptions du risque des agriculteurs affectent significativement les choix de diversification agronomique. Les agriculteurs les plus diversifiés perçoivent ainsi un risque prix réduit.

Il apparaît que les agriculteurs combinent peu les deux instruments de gestion du risque étudiés. Les agriculteurs qui sont fortement spécialisés dans un système de production choisissent de se prémunir des risques par des contrats avant récolte. A l'inverse, une diversification des assolements semble permettre aux agriculteurs de choisir des stratégies de commercialisation plus risquées pour profiter de la volatilité des marchés. De plus, le fait de contractualiser une assurance n'est pas un déterminant de l'adoption. En effet, on ne constate aucun effet de l'assurance sur les deux instruments de gestion du risque. Aujourd'hui la très grande majorité des agriculteurs, plus de 75 % de l'échantillon, contractualisent une assurance. Il s'agit donc d'un outil de gestion du risque peu discriminant.

L'accroissement de l'exposition au risque des agriculteurs les a amenés à adapter leur système de production afin de se prémunir des aléas. La commercialisation est un outil de gestion du risque bien connu et étudié dans la littérature. Cependant, aujourd'hui les politiques publiques cherchent à augmenter la diversification des assolements pour des enjeux environnementaux. Malgré la mise en place d'une réglementation restrictive, les assolements des agriculteurs céréaliers restent fortement spécialisés. La mise à disposition d'information et de conseil adapté est une des solutions les plus mises en avant aujourd'hui par les pouvoirs publics pour soutenir les agriculteurs vers une démarche de diversification en réduisant leurs perceptions du risque. Nos résultats confortent ce choix dans la mesure où il apparaît nécessaire d'adapter ou de moduler les réglementations et les programmes de soutien en fonction de critères agronomiques comme les systèmes de culture actuels et les zones de production. De plus, des critères socio-économiques tels que l'accès à l'information doivent être pris en compte. Ainsi, un accès facilité à des informations formelles ou informelles doit être mis en place pour la population agricole qui y a le moins accès ou moins de temps à y consacrer : les agriculteurs pluriactifs, les moins formés (niveau de formation inférieur au bac) ou non engagés dans organisations professionnelles.

Bibliographie

- Agreste Aquitaine, 2013. Recensement agricole, Analyse et résultats : Un agriculteur sur quatre exerce un second métier Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R7213A03.pdf>.
- Agreste Aquitaine, 2015. Mémento de la statistique agricole. Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R7215C04.pdf>.
- Agreste Midi-Pyrénées, 2011. Premières tendances : recensement agricole 2010. Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf_R7311A13.pdf.
- Antón, J., 2009. *Managing Risk in Agriculture: A Holistic Approach*. Oecd.
- Bezabih, M., Sarr, M., 2012. Risk preferences and environmental uncertainty: Implications for crop diversification decisions in Ethiopia. *Environmental and Resource Economics* 53: 483-505.
- Binswanger, H. P., Sillers, D. A., 1983. Risk aversion and credit constraints in farmers' decision-making: A reinterpretation. *The Journal of Development Studies* 20: 5-21.
- Bouamra-Mechemache, Z., Duvaléix-Tréguer, S., Ridier, A., 2015. Contrats et modes de coordination en agriculture. *Économie rurale* 345: 7-28.
- Bradshaw, B., Dolan, H., Smit, B., 2004. Farm-level adaptation to climatic variability and change: crop diversification in the Canadian prairies. *Climatic Change* 67: 119-141.
- Caliński, T., Harabasz, J., 1974. A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics-theory and Methods* 3: 1-27.
- Chambre d'agriculture Midi-Pyrénées, 2013. Les grandes cultures Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.mp.chambagri.fr/IMG/pdf/tableau_bord_2013_cultures_page9-10.pdf.
- Chavas, J.-P., Di Falco, S., 2012. On the Productive Value of Crop Biodiversity: Evidence from the Highlands of Ethiopia. *Land Economics* 88: 58-74.
- Chavas, J. P., 2008. On the economics of agricultural production. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 52: 365-380.
- Cohen, L., Manion, L., Morrison, K., 2000. *Research Methods in Education* London: Routledge Falmer.
- Couture, S., Reynaud, A., Dury, J., 2010. Farmer's risk attitude: Reconciling stated and revealed preference approaches?, *Fourth World Congress of Environmental and Resource Economists*, Montreal, Canada.
- Di Falco, S., Chavas, J.-P., 2009. On Crop Biodiversity, Risk Exposure, and Food Security in the Highlands of Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics* 91: 599-611.
- Di Falco, S., Penov, I., Aleksiev, A., van Rensburg, T. M., 2010. Agrobiodiversity, farm profits and land fragmentation: Evidence from Bulgaria. *Land Use Policy* 27: 763-771.
- Di Falco, S., Perrings, C., 2005. Crop biodiversity, risk management and the implications of agricultural assistance. *Ecological Economics* 55: 459-466.
- Dohmen, T., 2005. Individual risk attitudes: New evidence from a large, representative, experimentally-validated survey. IZA Discussion Papers.
- Dohmen, T., Falk, A., Huffman, D., Sunde, U., Schupp, J., Wagner, G. G., 2011. Individual risk attitudes: Measurement, determinants, and behavioral consequences. *Journal of the European Economic Association* 9: 522-550.
- Duda, R. O., Hart, P. E., 1973. *Pattern classification and scene analysis*. Wiley New York.
- Finocchio, R., Esposti, R., 2008. Determinants of farm diversification and interaction with the CAP. An application to FADN of Marche region (Italy), *12th Congress of the European Association of Agricultural Economists-EAAE Ghent*.
- Franken, J. R. V., Pennings, J. M. E., Garcia, P., 2012. Crop production contracts and marketing strategies: What drives their use? *Agribusiness* 28: 324-340.
- Fuzeau, V., Dubois, G., Therond, O., Allaire, G., 2012. Diversification des cultures dans l'agriculture française : états des lieux et dispositifs d'accompagnement Consulté le : 25/01/2016,

- Disponible sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/E_D_67_diversification_des_cultures_16_07_2012.pdf.
- Goodwin, B. K., Schroeder, T. C., 1994. Human capital, producer education programs, and the adoption of forward-pricing methods. *American Journal of Agricultural Economics* 76: 936-947.
- Hardaker, J., Huirne, R., Anderson, J., Lien, G., 2004a. *Coping with risk in agriculture*. CABI Publishing.
- Hardaker, J. B., Richardson, J. W., Lien, G., Schumann, K. D., 2004b. Stochastic efficiency analysis with risk aversion bounds: a simplified approach. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 48: 253-270.
- Harrison, G. W., Lau, M. I., Rutström, E. E., 2007. Estimating Risk Attitudes in Denmark: A Field Experiment. *Scandinavian Journal of Economics* 109: 341-368.
- Harwood, J. L., Heifner, R., Coble, K., Perry, J., Somwaru, A., 1999. *Managing risk in farming: concepts, research, and analysis*. US Department of Agriculture, Economic Research Service.
- Kasem, S., Thapa, G. B., 2011. Crop diversification in Thailand: Status, determinants, and effects on income and use of inputs. *Land Use Policy* 28: 618-628.
- Katchova, A. L., Miranda, M. J., 2004. Two-step econometric estimation of farm characteristics affecting marketing contract decisions. *American Journal of Agricultural Economics* 86: 88-102.
- Koocheki, A., Nassiri, M., Gliessman, S. R., Zarea, A., 2008. Agrobiodiversity of Field Crops: A Case Study for Iran. *Journal of Sustainable Agriculture* 32: 95-122.
- Liebman, M., Staver, C. P., 2001. *Crop diversification for weed management*, in *Ecological management of agricultural weeds*. Cambridge Univ. Press.
- MacDonald, J. M., Korb, P., 2011. *Agricultural Contracting Update: Contracts In 2008*, DIANE Publishing.
- Magrini, M.-B., Triboulet, P., Bedoussac, L., 2013. Pratiques agricoles innovantes et logistique des coopératives agricoles. *Économie rurale* 338: 25-45.
- Matell, M. S., Jacoby, J., 1971. Is There an Optimal Number of Alternatives for Likert Scale Items? Study. *Educational and psychological measurement* 31: 657-674.
- Mc Fadden, D., 1973. Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. *Frontiers in Econometrics*: 105-142.
- Menapace, L., Colson, G., Raffaelli, R., 2013. Risk Aversion, Subjective Beliefs, and Farmer Risk Management Strategies. *American Journal of Agricultural Economics* 95: 384-389.
- Meng, E. C. H., Smale, M., Rozelle, S., Ruifa, H., Huang, J., 1999. The cost of Wheat diversity in China, *Meetings of the American Agricultural Economics Association*, Nashville, Tennessee.
- Meraner, M., Heijman, W., Kuhlman, T., Finger, R., 2015. Determinants of farm diversification in the Netherlands. *Land Use Policy* 42: 767-780.
- Merrien, A., Arjaure, G., Carof, M., Leterme, P., 2013. Freins et motivations à la diversification des cultures dans les exploitations agricoles : étude de cas en Vendée. *OCL* 20.
- Meynard, J. M., Messéan, A., Charlier, A., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., Magrini, M. B., Savini, I., 2013. *Freins et leviers à la diversification des cultures : Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières*, in *Rapport d'étude*. INRA.
- Milligan, G. W., Cooper, M. C., 1985. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika* 50: 159-179.
- Milligan, G. W., Cooper, M. C., 1987. Methodology review: Clustering methods. *Applied psychological measurement* 11: 329-354.
- Mishra, A. K., El-Osta, H. S., Sandretto, C. L., 2004. Factors affecting farm enterprise diversification. *Agricultural Finance Review* 64: 151-166.
- MSA, 2012. La pluriactivité dans l'agriculture française en 2010. Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.pluriactivite.org/IMG/pdf/La_pluriactivite_en_agriculture_en_2010_MSA_mai2012.pdf.

- Mucchielli, R., 1993. *Le questionnaire dans l'enquête psycho-sociale: connaissance du problème, applications pratiques*. ESF éditeur.
- Musser, W. N., Patrick, G. F., Eckman, D. T., 1996. Risk and grain marketing behavior of large-scale farmers. *Review of Agricultural Economics* 65-77.
- Olesen, J. E., Trnka, M., Kersebaum, K. C., Skjelvåg, A. O., Seguin, B., Peltonen-Sainio, P., Rossi, F., Kozyra, J., Micale, F., 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy* 34: 96-112.
- Paulson, N. D., Katchova, A. L., Lence, S. H., 2010. An empirical analysis of the determinants of marketing contract structures for corn and soybeans. *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* 8.
- Peet, R. K., 1974. The measurement of species diversity. *Annual review of ecology and systematics*: 285-307.
- Pennings, J. M. E., Garcia, P., 2001. Measuring producers' risk preferences: a global risk-attitude construct. *American Journal of Agricultural Economics* 83: 993-1009.
- Pennings, J. M. E., Isengildina-Massa, O., Irwin, S. H., Garcia, P., Good, D. L., 2008. Producers' complex risk management choices. *Agribusiness* 24: 31-54.
- Pope, R. D., Prescott, R., 1980. Diversification in relation to farm size and other socioeconomic characteristics. *American Journal of Agricultural Economics* 62: 554-559.
- Reynaud, A., Couture, S., 2012. Stability of risk preference measures: results from a field experiment on French farmers. *Theory and Decision* 73: 203-221.
- Ricome, A., 2012 *Analyse économique des décisions de commercialisation et de production des exploitants agricoles exposées à la volatilité des prix : application au secteur des grandes cultures en région Midi-Pyrénées* These Université de Toulouse
- Saporta, G., 2006. *Probabilités, Analyse des données et Statistiques*. ISBN 978-2-7108-0814-5, Paris.
- Sartwelle, J., O'Brien, D., Tierney, W., Eggers, T., 2000. The effect of personal and farm characteristics upon grain marketing practices. *Journal of agricultural and applied economics* 32: 95-111.
- Shapiro, B. I., Brorsen, B. W., 1988. Factors affecting farmers' hedging decisions. *North Central Journal of Agricultural Economics*: 145-153.
- Thorndike, E. L., 1920. A constant error in psychological ratings. *Journal of applied psychology* 4: 25-29.
- Velandia, M., Rejesus, R. M., Knight, T. O., Sherrick, B. J., 2009. Factors affecting farmers' utilization of agricultural risk management tools: the case of crop insurance, forward contracting, and spreading sales. *Journal of agricultural and applied economics* 41: 107-123.
- Vik, J., McElwee, G., 2011. Diversification and the Entrepreneurial Motivations of Farmers in Norway. *Journal of Small Business Management* 49: 390-410.
- von Neumann, J., Morgenstern, O., 1944. Theory of Games and Economic Behavior (1944). *Nature* 246: 15-18.
- Zentner, R. P., Wall, D. D., Nagy, C. N., Smith, E. G., Young, D. L., Miller, P. R., Campbell, C. A., McConkey, B. G., Brandt, S. A., Lafond, G. P., 2002. Economics of crop diversification and soil tillage opportunities in the Canadian prairies. *Agronomy Journal* 94: 216-230.

Chapitre IV

COMPORTEMENT DES PRODUCTEURS DE BLE DUR

FACE A LA DIVERSIFICATION DES ASSOLEMENTS

SOMMAIRE

Introduction.....	131
IV.1) Performances et enjeux de la rotation blé dur sur tournesol	133
IV.1.1) La rotation actuelle de blé dur sur tournesol : performances agronomiques et économiques	133
IV.1.2) Les difficultés agronomiques des agriculteurs.....	134
IV.1.3) Perceptions des cultures de diversification	137
IV.1.4) Conclusions	140
IV.2) Farmers' préférences for crop diversification attributes.....	141
IV.2.1) Introduction	141
IV.2.2) Literature on adoption behavior.....	142
IV.2.3) Design of a choice modelling approach	143
IV.2.4) Choice models.....	144
IV.2.5) Empirical analysis	145
IV.2.6) Discussion and conclusion	152
IV.3) Déterminants socio-économiques de l'adoption d'une culture de diversification	153
IV.3.1) Déterminants étudiés socio-économiques qui affectant l'adoption d'une culture de diversification	153
IV.3.1.1) Les déterminants disponibles	153
IV.3.1.2) Résultats.....	155
IV.3.2) Intensité d'adoption d'une culture de diversification dans l'assolement	157
IV.3.2.1) L'intensité d'adoption de la culture de diversification	157
IV.3.2.2) Les déterminants de l'intensité d'adoption.....	158
IV.4) Discussions	160

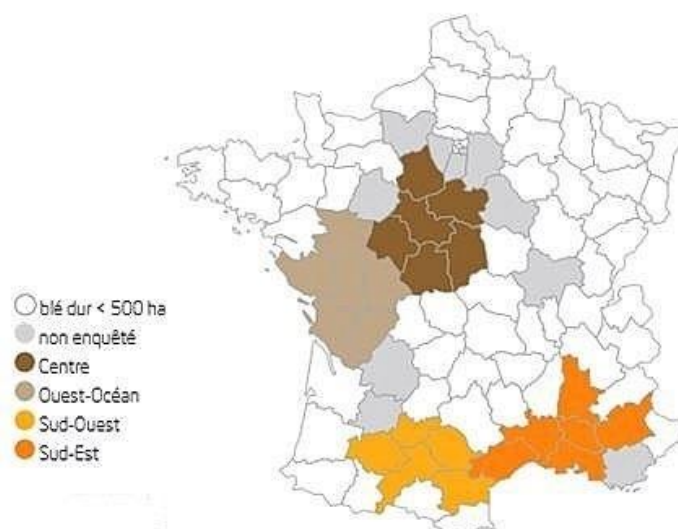
Introduction

En France, il existe une forte spécialisation régionale en production céréalière. Concernant la production de blé dur, 94 % de la production est produite dans quatre bassins de production : Centre, Ouest-Océan, Sud-Est et le Sud-Ouest (Figure 9). Cette spécialisation fait de la France l'un des principaux acteurs du marché mondial du blé dur. Le Sud-Ouest regroupe 32 % de la production française de blé dur principalement dans l'Aude, le Lauragais et la Lomagne. Le blé dur est traditionnellement cultivé en sec en rotation courte avec le tournesol. Le tournesol, est un bon précédent cultural, peu gourmand en intrants (eau, pesticides et fertilisants) et ne présente pas de difficultés particulières quant à sa conduite culturale. Cependant, l'alternance blé dur sur tournesol engendre un retour des cultures fréquent ainsi qu'une couverture réduite des sols en hiver. Face à ce système de culture, aujourd'hui, les agriculteurs sont confrontés à des problématiques agronomiques d'érosion, de baisse de fertilité des sols, de résistance des adventices et des ravageurs aux pesticides. Dans un contexte de volatilité des marchés sur les intrants et sur les productions, leur exposition au risque de marché ne fait que croître. En parallèle, les exploitants sont aussi affectés par les nouvelles réglementations européennes. La PAC 2014-2020 renforce son verdissement en conditionnant l'obtention d'un tiers des aides directes à la production à, entre autres, la mise en place d'un assolement composé d'au moins trois cultures sur l'exploitation. Face à cette situation complexe pour les agriculteurs on constate une évolution des assolements. Les surfaces en blé dur ont diminué dans le Sud-Ouest de 22 % par rapport à 2010 généralement au profit du blé tendre. Il s'agit d'une substitution liée à la conjoncture des marchés du blé dur et du blé tendre. Les charges opérationnelles du blé tendre sont, en moyenne, plus basses et ces dernières années la volatilité des prix du marché du blé dur a réduit l'écart de prix entre ces deux productions (Arvalis, 2013). En 2012, les rendements bas du blé dur dans les zones traditionnelles de production dans un contexte de baisse des cours du blé dur ont conduit à des marges brutes moyennes plus élevées pour le blé tendre que pour le blé dur. Cependant, le recul des surfaces mondiales en blé dur, de l'ordre de 13 % depuis 2003, met en tension ce marché. Les prix en sont en forte hausse en 2014. Le blé dur cotait 247 €/T début novembre 2013, au 18 novembre 2014, il valait 451 €/T (FranceAgriMer, 2015). Il est donc possible que les agriculteurs intègrent de nouveau plus de blé dur dans l'assolement. Par ailleurs, il ne s'agit pas aujourd'hui d'une diversification de la rotation mais d'une substitution d'un blé par un autre. Ceci ne répond donc pas aux objectifs de diversification des politiques européennes, mais montre une volonté d'adaptation des agriculteurs.

Si la diversification de l'assolement par l'introduction d'une culture supplémentaire est aujourd'hui nécessaire, elle engendre des incertitudes supplémentaires pour les agriculteurs. Ils connaissent peu le potentiel agronomique, les marchés ou encore la technique de production des nouvelles cultures. Tout comme l'adoption d'une nouvelle technologie, la mise en place d'une nouvelle culture nécessite des investissements en matériel (nouveaux outils, nouveaux produits phytosanitaires) et immatériel (informations sur les cultures, conseils sur les pratiques culturales, etc.). Dans la littérature, de nombreux déterminants microéconomiques affectent le choix d'adoption des exploitants (cf. Chap. I). D'une part, des déterminants observables d'ordre agronomique ou socio-économique sont connus pour influencer la décision des agriculteurs. D'autre part, en fonction de leurs connaissances, de leur expérience ou de leurs contraintes structurelles, les exploitants développent des perceptions et des préférences non seulement vis-à-vis du risque lié à la nouvelle culture mais aussi par rapport à l'innovation elle-même et ses caractéristiques. Ces derniers déterminants, non directement observables, apparaissent aujourd'hui comme des freins majeurs à l'adoption. Aussi, il est

aujourd'hui nécessaire de mieux connaître les possibles freins et motivations des agriculteurs afin de favoriser la diversification des assolements par l'introduction de nouvelles cultures dans les rotations.

En se concentrant sur un échantillon de 100 agriculteurs spécialisés en rotation de blé dur sur tournesol, nous tenterons dans ce chapitre d'investiguer les déterminants de l'adoption d'une culture de diversification. Ce chapitre s'articule en trois parties autour des trois types de déterminants investigués ; les perceptions, les préférences et les déterminants socio-économiques. Dans un premier temps, les perceptions des agriculteurs concernant à la fois les performances et les contraintes du système blé dur sur tournesol actuel sont présentées. Les perceptions de cultures de diversification potentielles sont aussi étudiées afin d'évaluer les possibles blocages des exploitants. Ensuite, la section IV.2 s'intéresse aux préférences des agriculteurs pour les caractéristiques d'une culture de diversification grâce à une expérience de *choice modelling*. Il s'agit d'un article en anglais soumis dans *l'European Review of Agricultural Economics* qui évalue le poids des attributs monétaires et non monétaires, agronomiques, dans la décision d'adoption d'une nouvelle culture dans la rotation. De plus, l'hétérogénéité des préférences au sein de l'échantillon est investiguée. Enfin, la section IV.3 propose de compléter le modèle de choix d'adoption d'une culture de diversification en intégrant des déterminants individuels des exploitants.



Source : FranceAgrimer / Enquêtes collecteurs 2013

Figure 9 : Les quatre grands bassins de production du blé dur français

IV.1) Performances et enjeux de la rotation blé dur sur tournesol

Au total 100 agriculteurs en rotation courte de blé dur sur tournesol ont été enquêtés entre janvier et juin 2014. La liste des exploitants a été fournie par deux coopératives du Sud-Ouest en fonction de deux critères de sélection. Tout d'abord, les exploitations se situent dans des zones historiques de production du blé dur et afin de s'assurer de la spécialisation des exploitations, au moins 50% de la production de 2013 de ces agriculteurs étaient du blé dur et du tournesol. Au sein des listes fournies par les partenaires, les agriculteurs ont été sélectionnés aléatoirement. Les enquêtes ont eu lieu en groupes ou individuellement. Les mêmes conditions d'enquête ont été respectées dans les deux cas. Les agriculteurs ont répondu individuellement au questionnaire et pouvaient faire appel à l'un des membres de l'équipe de recherche pour plus de précision. L'enquête comprend quatre parties : la description de l'exploitant et de son exploitation, les performances et difficultés du système de culture actuel, une expérience de *choice modelling* pour révéler les préférences des agriculteurs pour les caractéristiques d'une culture de diversification et enfin leurs perceptions des cultures de diversification potentielles (cf. Chap. II). L'expérience de *choice modelling* met les exploitants en situation d'adoption d'une culture de diversification virtuelle, définie uniquement par ses caractéristiques. Afin de ne pas biaiser les réponses, les questions concernant des cultures de diversification potentielles ont été volontairement intégrées à la fin du questionnaire. Quatre cultures sont ressorties de manière récurrente lors des enquêtes exploratoires auprès d'experts de la filière céréalière et les *focus groups* avec des agriculteurs : le blé tendre, le colza, le sorgho et le pois. Il s'agit de cultures de diversification ayant des caractéristiques très différentes qui peuvent correspondre aux attentes des agriculteurs en fonction de leur contexte de production.

IV.1.1) La rotation actuelle de blé dur sur tournesol : performances agronomiques et économiques

Les 100 agriculteurs enquêtés ont indiqué les caractéristiques et performances actuelles de leur système de culture de blé dur sur tournesol. Ainsi, ils produisent en moyenne 82 ha en blé dur et tournesol, ce qui représente 60 % de la SAU moyenne. Concernant les performances du système, les agriculteurs déclarent des marges brutes d'environ 750 et 550 €/ha pour le blé dur et le tournesol respectivement (Tableau 23). Ces résultats sont proches des moyennes régionales de la chambre d'agriculture de Midi-Pyrénées de 777 €/ha pour le blé dur et 541 €/ha pour le tournesol (Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées, 2011). Les rendements déclarés moyens sont de 55 quintaux par hectare pour le blé dur et 25 quintaux par hectare pour le tournesol. Ces rendements sont supérieurs aux moyennes régionales de 48 quintaux pour le blé dur et 19 quintaux pour le tournesol.

Afin d'évaluer les perceptions des agriculteurs vis-à-vis des évolutions de prix et de rendements, ils ont déclaré les prix et les rendements obtenus pour les deux cultures sur 10 ans. En fonction des intervalles de prix et de rendements proposés, définis avec les experts de la filière à partir des données historiques, ils ont indiqué combien de fois sur 10 ans ils ont obtenu des prix/rendements compris dans chacun des intervalles (méthode de l'impact visuel (Hardaker *et al.*, 2004). Cette méthode permet de disposer de deux indicateurs de perception des performances des cultures : un indicateur de performance moyen, l'espérance, et un indicateur de dispersion, le coefficient de variation. Les espérances de rendement calculées à partir de ces distributions (variable *Esp Rdt*) sont très proches des rendements moyens déclarés (54 q/ha pour le blé dur et 24 q/ha pour le tournesol). En termes de variabilité perçue, on constate que les rendements du blé dur sont perçus comme plus variables que ceux du tournesol, avec des coefficients de variation de respectivement 15% et 11%

(variable *Coeff Var Rdt*). Concernant les prix de vente, le prix moyen sur dix ans est de 23 €/q pour le blé dur et 38 €/q pour le tournesol (variable *Esp Prix*). Selon les exploitants, les prix des deux cultures sont peu variables avec un coefficient de variation inférieur à 10% (variable *Coeff Var Prix*).

A partir des distributions de prix et de rendements, les niveaux de marges brutes espérées des agriculteurs ont été évaluées (variable *Esp MB*). L'espérance de marge brute du tournesol est très proche de la marge moyenne déclarée par les agriculteurs. Pour le blé dur, on constate une différence de 50 €/ha entre les deux indicateurs de marges. Il semblerait que les agriculteurs aient tendance à surestimer la marge brute du blé dur lorsqu'ils la déclarent directement. On peut noter que, pour les deux cultures, les niveaux de marges sont très variables sur les 10 ans. La variation est plus importante pour le blé dur avec un coefficient de variation de 76 % et de 57 % pour le tournesol.

Tableau 23 : Performances actuelles du système blé dur sur tournesol

	Blé dur		Tournesol	
	Moyenne	E-type	Moyenne	E-type
Déclarations directes des agriculteurs				
MB déclarée (€/ha)	743,8	282,9	553,2	238,1
Rdt déclaré (q/ha)	54,7	6,2	24,6	4,8
Charges déclarées (€/ha)	549,2	135,2	355,8	137,3
Calculs à partir des distributions				
Esp Rdt (q/ha)	54,2	4,2	24,1	2,3
Esp Prix (€/q)	22,9	1,8	3719	3,6
Esp MB (€/ha)	695,8	171,4	557,6	176,6
Coeff Var Prix (%)	9,2%	3,5	7,8%	2,9
Coeff Var Rdt (%)	14,9%	6,1	11,5%	4,2
Coeff Var MB (%)	76,9%	50,2	57,2%	42,2

Source : Enquêtes 2014

IV.1.2) Les difficultés agronomiques des agriculteurs

Au cours des entretiens exploratoires, menés durant la première année de la thèse, les agriculteurs en rotation blé dur sur tournesol ont déclaré rencontrer des impasses agronomiques importantes qui affectent leurs rendements. A partir des déclarations des entretiens, une liste de huit difficultés fréquemment rencontrées par les agriculteurs (Figure 10) ainsi qu'une liste de huit solutions pouvant être mises en place pour y faire face ont été réalisées (Figure 11). Les agriculteurs ont indiqué les difficultés auxquelles ils font face et leurs fréquences (récurrente ou ponctuelle) pour le blé dur et le tournesol.

Etes-vous confronté aux problèmes suivants sur vos parcelles en blé dur ?

(Veuillez remplir le tableau ci-dessous)

Difficultés	Présence sur l'exploitation		Si 'Oui', Est-ce ponctuel ou récurrent ?		Si 'Récurrent' depuis quelle année
Fertilité des sols	Oui	Non	Ponctuel	Récurrent	
Structure des sols	Oui	Non	Ponctuel	Récurrent	
Enherbement	Oui	Non	Ponctuel	Récurrent	
Maladies (fongiques, virus,...)	Oui	Non	Ponctuel	Récurrent	
Attaques parasitaires	Oui	Non	Ponctuel	Récurrent	
Gestion de l'eau (sécheresse, excès d'eau ...)	Oui	Non	Ponctuel	Récurrent	
Gestion des pics de travail	Oui	Non	Ponctuel	Récurrent	
Technicité de la conduite culturale	Oui	Non	Ponctuel	Récurrent	

Figure 10 : Fréquence des difficultés agronomiques rencontrées par les agriculteurs en blé dur (extrait du questionnaire)

Pour faire face à ces problèmes de manière générale, quelles stratégies avez-vous mis en place ?

(Veuillez remplir le tableau ci-dessous)

Stratégies	Présence sur l'exploitation		Quantité	Unité
Plus de travail du sol	Oui	Non		Nombre de labour, passage de herse ou déchaumage en plus par an
Diversification	Oui	Non		Quelles cultures
Plus d'apports de potasse/phosphore	Oui	Non		Nombre d'unité par hectare
Plus d'insecticides	Oui	Non		Nombre de passages en plus par an
Nouvelles variétés	Oui	Non		Nouvelles variétés utilisées
Plus de fongicides	Oui	Non		Nombre de passages en plus par an
Plus d'herbicides	Oui	Non		Nombre de passages en plus par an
Plus d'apports d'azote	Oui	Non		Nombre d'unité par hectare

Figure 11 : Solutions mises en œuvre pour faire face aux difficultés agronomiques rencontrées dans la production de blé dur et de tournesol (extrait du questionnaire)

Concernant la culture de blé dur, la principale difficulté rencontrée par les agriculteurs est la gestion des adventices (Figure 12). Près de 20% des agriculteurs y font face de manière récurrente. Environ 10% des agriculteurs ont des difficultés de gestion de l'eau. Cette difficulté regroupe d'une part, la gestion des sécheresses pour cette production en sec, et d'autre part la difficulté d'accès aux parcelles lors des chantiers. La troisième difficulté la plus fréquemment rencontrée en blé dur est la gestion des maladies. Pour le tournesol les deux principales difficultés sont aussi l'enherbement récurrent et la gestion de l'eau, respectivement 15% et 10% des agriculteurs y font face. On remarque ensuite que 10% des agriculteurs ont des difficultés pour gérer les ravageurs sur le tournesol. Plus de 50% des agriculteurs déclarent avoir subi des pertes de rendements liées à ces difficultés agronomiques en blé dur et 80% en tournesol. Les agriculteurs, ont aussi quantifié les pertes de rendement et estiment, en moyenne, une perte par hectare de 11 quintaux en blé dur et 7 quintaux en tournesol soit respectivement 20 et 30% de perte.

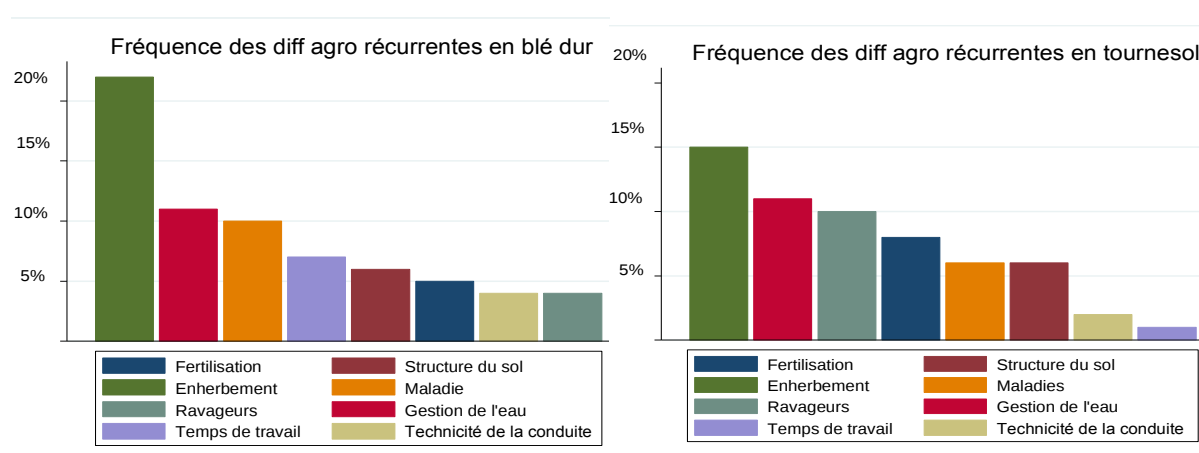


Figure 12 : Difficultés agronomiques déclarées par les agriculteurs pour la production de blé dur (à gauche) et de tournesol (à droite)

Les deux principales stratégies de gestion des difficultés agronomiques mises en place, par plus de 15 % des agriculteurs enquêtés, sont liées à la diversification des assolements : introduction de nouvelles variétés et de nouvelles cultures (Figure 13). Les deux stratégies suivantes impliquent un changement des pratiques culturales des agriculteurs avec des herbicides supplémentaires (14 % des agriculteurs) et un travail du sol différent en lien avec leur problématique d'enherbement (13 % des agriculteurs). Enfin, en moyenne, 10 % des agriculteurs pensent mettre en place les autres stratégies d'apports supplémentaires d'azote, de fumure de fond, d'insecticides et de fongicides.

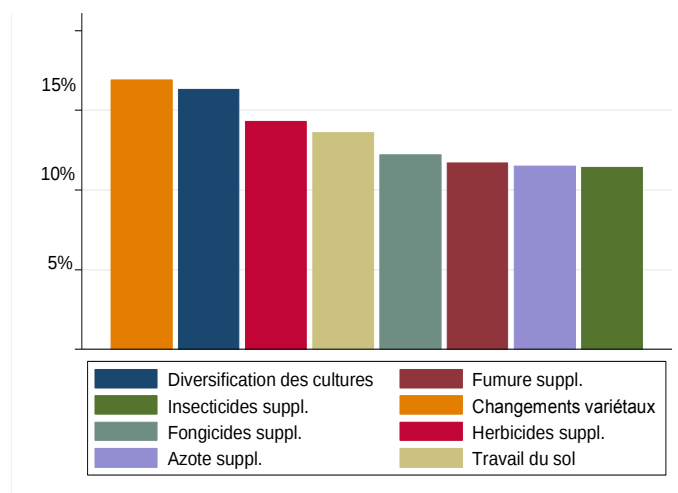


Figure 13 : Stratégies mises en place par les agriculteurs face aux difficultés agronomiques rencontrées

IV.1.3) Perceptions des cultures de diversification

Quatre cultures de diversification potentielles ont été évoquées par les agriculteurs et les experts du secteur lors des entretiens exploratoires : le blé tendre, le sorgho, le colza et le pois. Les agriculteurs ont indiqué, au sein de cette liste, la culture de diversification qu'ils souhaiteraient mettre en place en premier lieu sur leur exploitation. Les résultats montrent que 45 % des agriculteurs choisissent le blé tendre et 27 % le colza (Figure 14). Le sorgho apparaît comme la culture de diversification la moins choisie (11 %).

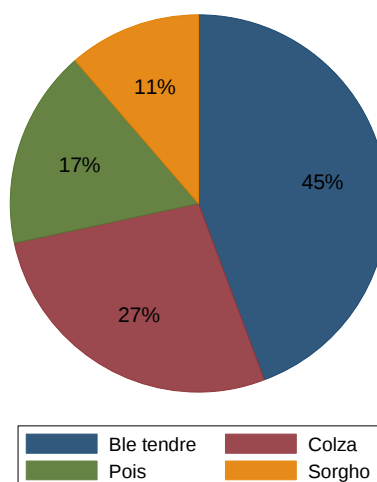


Figure 14 : Culture de diversification privilégiée par les agriculteurs

Les agriculteurs ont expliqué avoir plusieurs blocages quant à la mise en place d'une culture de diversification sur leur exploitation. Tout d'abord, ils ont souligné l'importance du niveau de marge dans le choix de la culture de diversification. Ensuite, les agriculteurs ont évoqué le risque de rendement. En effet, il leur est difficile d'évaluer le potentiel de rendement des cultures de diversification sur leur exploitation. Enfin le dernier frein est la « *technicité de la conduite culturale* ». Ces freins font écho aux résultats obtenus sur les freins à la diversification des assolements chez des exploitants vendéens (Merrien *et al.*, 2013).

Lors des discussions, la définition de la « *technicité* » est restée floue. Dans le questionnaire, les agriculteurs ont sélectionné ce qui caractérise une culture « *technique à conduire* » en fonction des différents critères clefs ressortis lors des entretiens exploratoires : le besoin important en surveillance de la culture ; les opérations culturales précises ; le nombre important d'opérations culturales et le risque de ne pas pouvoir réaliser les opérations culturales (pour des raisons climatiques, d'accès à la parcelle, *etc.*). Plus de 50 % des agriculteurs enquêtés définissent en premier lieu la technicité de la conduite culturale en fonction du besoin en surveillance de la culture (critère 1 Figure 15). Le deuxième critère, pour plus de 40 % des agriculteurs, est la précision nécessaire pour réaliser les opérations culturales (critère 2 Figure 15). Enfin, le troisième critère pris en compte est, pour 45 % des agriculteurs, le nombre d'opérations à effectuer pour produire la culture (critère 3 Figure 15).

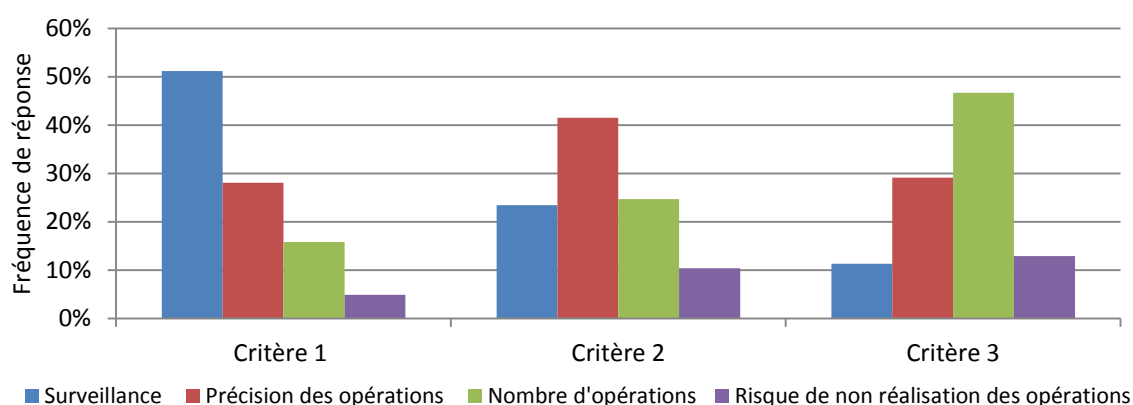


Figure 15 : Critères pour définir la technicité de la conduite culturale d'une culture

Les agriculteurs ont indiqué, sur des échelles de Likert, leur perception des trois freins à la mise en place d'une culture de diversification : le risque de rendement, l'intérêt de la marge et la technicité de la conduite culturale. Les agriculteurs ont répondu pour les quatre cultures de diversification ainsi que pour les deux cultures principales : le blé dur et le tournesol.

Pour déclarer l'intérêt perçu de la marge brute, les agriculteurs choisissent une des quatre modalités proposées : « *très intéressante* », « *intéressante* », « *peu intéressante* » et « *pas intéressante* ». La marge brute du blé dur, du colza et du blé tendre est perçue, par la très grande majorité des agriculteurs, comme « *intéressante* » (Figure 16). Pour le tournesol, 50 % des agriculteurs déclarent la marge « *intéressante* » et 40 % « *peu intéressante* ». A l'inverse, pour le sorgho et le pois près de 50 % des agriculteurs enquêtés déclarent que leur marge brute est « *peu intéressante* » et 40% comme « *intéressante* ».

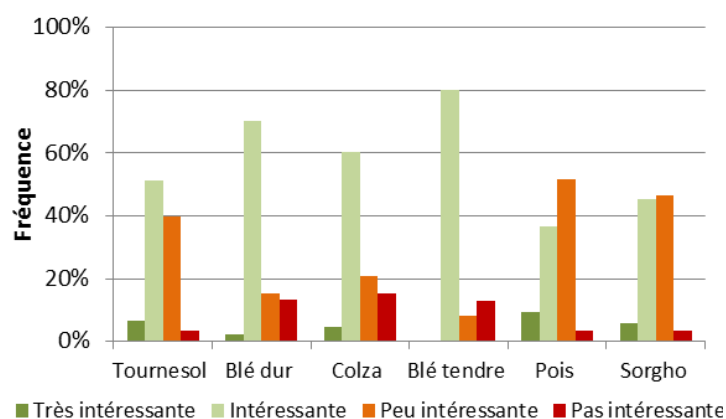


Figure 16 : Perception de l'intérêt de la marge des cultures de diversification

Pour le risque de rendement, les agriculteurs indiquent s'ils pensent que la culture est : « *pas risquée* », « *peu risquée* », « *risquée* » ou « *très risquée* » du point de vue de son rendement (Figure 17). Le tournesol et le blé tendre sont considérés comme « *peu risqués* » du point de vue du rendement par plus de 60 % des agriculteurs. Concernant le blé dur et le sorgho, on constate que même si 50 % des agriculteurs déclarent ces cultures comme « *peu risquées* » du point de vue du rendement, près de 30 % des agriculteurs pensent qu'elles sont « *risquées* ». Enfin, le colza et le pois sont perçus par plus de 50 % des agriculteurs comme des cultures « *risquées* » du point de vue du rendement et près de 20 % des agriculteurs pensent qu'elles sont « *très risquées* ».

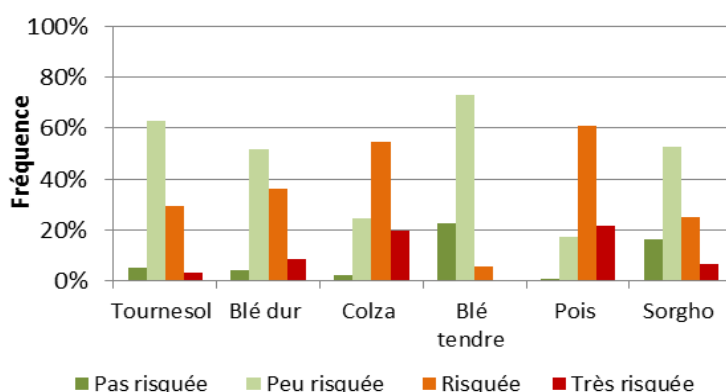


Figure 17 Perception du risque de rendement des cultures de diversification

Enfin concernant la technicité, de la même manière que précédemment, les agriculteurs ont déclaré leur perception de la technicité de la conduite culturale en choisissant une des quatre modalités proposées : « *pas technique* », « *peu technique* », « *technique* » et « *très technique* » (Figure 18). Les résultats montrent que la majorité des agriculteurs considère la conduite culturale du tournesol, du blé tendre et du sorgho comme « *peu technique* ». La production de blé dur et de pois est perçue comme « *technique* ». Enfin, Le colza est perçu comme « *très technique* » à produire par 70 % des agriculteurs.

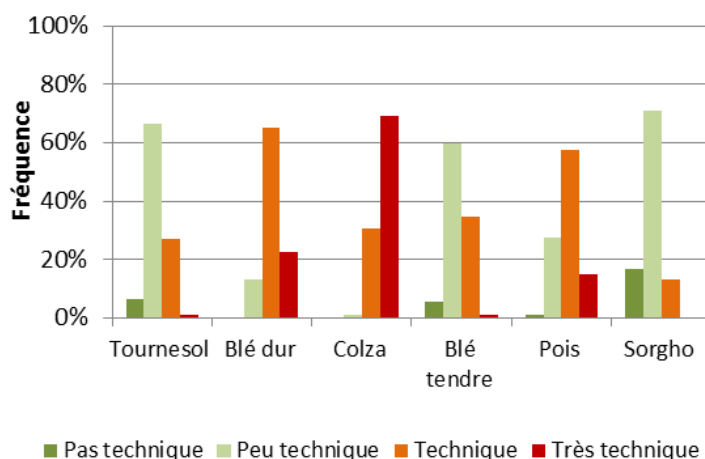


Figure 18 : Perception de la technicité culturelle des cultures de diversification

IV.1.4) Conclusions

La rotation courte de blé dur sur tournesol, traditionnellement produite dans le Sud-Ouest de la France, reste économiquement performante. En effet, la marge brute moyenne déclarée est de l'ordre de 750 €/ha pour le blé dur et de 550 €/ha pour le tournesol. Cependant, les agriculteurs font face à de nouveaux enjeux majeurs. D'une part, le retour fréquent des mêmes cultures entraîne une réduction de la fertilité des sols ainsi que le développement de résistances aux pesticides des adventices, des maladies et des ravageurs. Les agriculteurs constatent, en moyenne, une perte de 20 à 30 % de rendement liée à des difficultés agronomiques récurrentes sur l'exploitation. Ce risque accru sur le rendement est aussi illustré par la variabilité déclarée des rendements des cultures. Sur dix ans, les coefficients de variation du rendement du blé dur est de 15 % et 11 % pour le tournesol. Face à ces problématiques agronomiques, les deux principales solutions envisagées par les agriculteurs sont la diversification variétale et la diversification des cultures. Or, les exploitants doivent aujourd'hui disposer de trois cultures sur leur exploitation sous peine de la perte d'un tiers de leurs aides directes à la production (PAC 2014-2020). La mise en place de systèmes plus diversifiés sur l'exploitation est une nécessité pour répondre aux contraintes réglementaires mais aussi agronomiques. On voit aujourd'hui une légère évolution des assolements des producteurs de blé dur sur tournesol, notamment avec la réduction des surfaces en blé dur au profit du blé tendre, moins couteux en intrants. Ceci montre que les agriculteurs sont capable et d'adapter leur système de culture en fonction de leur contexte de production. Cependant, pour faire évoluer les systèmes de cultures vers plus de diversité, les exploitants expriment plusieurs freins. Les premiers sont d'ordres économiques tels que le niveau de marge brute et l'exposition au risque de production. Ils évoquent aussi des freins techniques liés, entre autre, à la technicité de la conduite culturale. Lors de la phase exploratoire quatre cultures de diversification ont été évoquées : le blé tendre, le colza, le sorgho et le pois. Près de la moitié des agriculteurs enquêtés mettraient préférentiellement en place du blé tendre. Cette culture est perçue favorablement par les agriculteurs avec une marge brute est intéressante, un rendement peu risqué et un conduite culturale peu technique. Un quart des agriculteurs pensent mettre en place du colza malgré un rendement perçu comme risqué et une conduite culturale très technique. Seul 10 % des agriculteurs pensent mettre du sorgho alors que son rendement est perçu comme peu risqué et qu'il est peu technique à conduire. Ceci peut s'expliquer par une marge brute perçue comme moins intéressante que le colza ou le blé tendre. Ces résultats montrent que les céréaliers ont des préférences différentes pour les caractéristiques de la culture de

diversification. Afin de favoriser la mise en place de nouvelles cultures sur l'exploitation pour allonger les rotations, il apparaît nécessaire de mieux appréhender les attentes, les perceptions et les préférences des agriculteurs afin de lever leurs blocages et concevoir des politiques de soutien adaptées.

IV.2) Farmers' préférences for crop diversification attributes

Cette section est un article en anglais en cours de soumission dans une revue à comité de lecture.

Résumé :

Les producteurs céréaliers européens doivent aujourd'hui évoluer vers des systèmes de culture plus diversifiés. Tout d'abord, pour répondre aux nouvelles exigences européennes qui conditionnent un tiers des aides à la production à la diversification des assolements, mais aussi pour faire face aux difficultés agronomiques amenées par la production intensive de céréales : résistances des maladies et des ravageurs, érosion, baisse de fertilité des sols, etc. Ce papier présente une expérience de *choice modelling* conçue pour analyser les préférences de céréaliers pour les attributs d'une culture de diversification. Au sein d'un échantillon de 100 agriculteurs spécialisés en rotation de blé dur sur tournesol, les résultats mettent en évidence le poids des attributs non monétaires dans le processus d'adoption. De plus, la sensibilité des agriculteurs pour les attributs agronomiques est accrue lorsque les exploitants font face à des conditions restrictives de production. Il apparaît aussi une hétérogénéité des préférences significative au sein de l'échantillon étudié.

Abstract:

European cash crop farmers have to move towards more diversified cropping systems. Firstly, because the new CAP reform requires crop diversification on the farm but also because crops grown under short rotations are confronted with yield losses due to pest resistance. Based on a choice modelling approach, this paper analyses cereal farmers' preferences for the attributes of a diversification crop. Results show that non-monetary attributes play a key role in the adoption process. Farmers' preferences for agronomic attributes are even stronger when they have restrictive cropping conditions. Farmers also display heterogeneous preferences across the crop attributes.

IV.2.1) Introduction

Global grain productivity has increased considerably in the past century due to technical improvement in chemistry, machinery and crop varieties. Farm specialization in cereals, with short rotations, allows economies of scale and farmers are skilled in implementing the crop management to reach high levels of yield in favorable climate-soil areas. However, the spread of specialized cropping systems in cereal production regions leads to agronomic difficulties. No alternation of crops reduces soil fertility and implies an intensive use of mineral fertilizers. Furthermore, the recurrent use of the same type of molecules increases pest and weed resistances.

France is the main producer of grain in the European Union and cereal production occupies more than 50% of the total French arable area. Southwestern France is a vast grain production region where farmers traditionally implement the short rotation of durum wheat on sunflower. Agronomists and farmers point out that this current intensive cropping system leads to yield stagnancy and agronomic impasse. In parallel, European environmental regulations tend to limit the negative

impact of farming activities on natural resources. A restrictive policy framework on pesticide use jointly with CAP-greening and cross-compliance incentives lead farmers to move towards more diversified systems (notably through the obligation to compose the crop acreage with at least three crops from different families).

Lengthening the rotation implies uncertainties for farmers since they lack experience or information on the agronomic potential of the new crop in their own field. Thus, for specialized grain farmers, introducing a new crop in the rotation is considered adopting a new agricultural technology. Farmers' characteristics, farm production context or farm structure is widely studied as determinant of farm technology adoption (Feder *et al.*, 1985, Fernandez-Cornejo *et al.*, 1994, Johnson *et al.*, 2010, Paxton *et al.*, 2011, Baffoe-Asare *et al.*). Based on their knowledge and production conditions, farmers develop preferences. In consumer theory, individuals have preferences for the products' characteristics. Lancaster's theory assumes that the global utility of a product is the sum of the utilities of each attribute composing this product (Lancaster, 1966). Transposed to production economics, farmers are considered as consumers of agricultural technology and develop preferences for the characteristics of the technology itself (Asrat *et al.*, 2010, Useche *et al.*, 2013). Stated preferences methods enable evaluating the potential heterogeneity of the demand for a new technology and the weight of each attribute in the adoption decision. Choice-modelling approaches have been used for many years in marketing or environmental economics research to evaluate consumer's preferences for product attributes (Hanley *et al.*, 2001, Birol *et al.*, 2006). This method allows to jointly measuring the monetary values of the attributes (Alriksson et Öberg, 2008).

In this paper, a survey-based method is built up to face farmers with the choice of a virtual crop that they have not implemented on their field. A discrete choice modelling approach is employed to evaluate farmers' preferences for monetary and non-monetary attributes of a diversification crop and to evaluate their willingness to pay for the different non-monetary crop attributes.

IV.2.2) Literature on adoption behavior

When farmers implement a new technology on their farm they face new uncertainties about yield potential, crop management or the prices expected. The subjective expected utility (SEU) of Savage seems a relevant conceptual framework to analyze the adoption behavior of farmers (Savage, 1972). This framework assumes that choices under uncertainty are guided by individuals' perceptions. Individuals choose the alternative that maximizes their perceived utility (Marra *et al.*, 2003). Many studies analyze how farmers' heterogeneity affects the adoption behavior. The analysis of the determinants of agricultural technology adoption is a vast research topic and some recent surveys focus on a country or a technology (Mercer, 2004, Knowler et Bradshaw, 2007, Prokopy *et al.*, 2008). However, only a little number of determinants is admitted to consistently and unambiguously affect adoption behavior such as education, information, liquidity constraints (Feder et Umali, 1993). Due to the specificity of farm context and of the technology studied, a large panel of socio-economic, institutional or agronomic determinants can play a key role in the adoption choice (Prokopy *et al.*, 2008).

As farming activity is highly subject to risk, risk perceptions and farmers' subjective assessments of the technology are known as a major break in the adoption choice. Smale et al (1994) show that when farmers perceive a high level of yield risk on their current production, the adoption of high-

yield-potential-varieties increases (Smale *et al.*, 1994). A crop perceived as less risky is also more easily adopted than another crop with identical expected profit (Adesina et Baidu-Forson, 1995). Quantitative methods that allow a direct assessment of farmers' perceptions enable economists to integrate unobservable perceptions directly into the analysis (Norris et Kramer, 1990, Machina et Schmeidler, 1992). In addition to the risk linked to implementing of a new technology on the farm, farmers also perceive differently the characteristics of the technology itself. Based on their perceptions and beliefs, farmers develop individual preferences for the attributes of the innovation. Sociologists firstly underline the role of perceptions in the adoption behavior (Kivlin et Fliegel, 1967). Studies on agricultural technology adoption focus on the perceived relative advantage in terms of efficiency (Tosakana *et al.*, 2010, Abdulai et Huffman, 2014), profitability (Paudel *et al.*, 2008) and adaptability (Gillespie *et al.*, 2007). In economics, consumer theories have brought to light the significance of product characteristics in consumer demand. Thus, as consumers, farmers develop preferences for the characteristics or attributes of the technology (Useche *et al.*, 2013).

Stated preferences methods enable studying the unobservable determinants of the technology adoption such as the preferences for the technology attributes. The underlying choice model is the random utility framework (Train, 2009). The perceived utility of a product for an individual is the sum of two components: a determinist component and an unobservable one. The determinist and observable part of the utility function is defined as a function of the product attributes and of the individuals' characteristics. The stochastic and unobservable part contains the error term that captures unobservable factors influencing utility (Walker et Ben-Akiva, 2002). Stated preferences and the related choice modelling methods have been used for many years in marketing research. The number of applications in the field of environmental and agricultural economics has grown (Adamowicz *et al.*, 1998, Hanley *et al.*, 1998, Alpizar *et al.*, 2001, Birol *et al.*, 2006). The method measures how a respondent states he will react in a given situation. Choice modelling methods mimic a choice situation and respondents choose, rate or rank the alternatives. By varying the levels of the attributes presented to the respondents, the preferences structure of the respondents is revealed (Alriksson et Öberg, 2008). The willingness to pay or to accept corresponding to each attribute can be derived from the evaluation of respondents' preferences (Louviere *et al.*, 2000).

IV.2.3) Design of a choice modelling approach

A questionnaire is built in two parts. The first part collects data on farmers' characteristics, farm structure and economic variables (gross margins, income, debt ratio). Farmers' perceptions and difficulties concerning their current management practices are also collected. The second part of the questionnaire is the Choice Modelling (CM) experiment. It aims to assess farmers' preferences for the attributes of a diversification crop considering monetary and non-monetary attributes. Farmers face repeated crop acreage choices of fifteen virtual diversification crops.

The choice modelling (CM) experiment has a twofold objective: i) hierarchize farmer's preferences for the crop attributes and ii) analyze the observed and unobserved heterogeneity of preferences within the sample. Based on these results, farmers' willingness to pay is quoted to quantify the weight of each attribute in the adoption decision and their variability between farmers.

Thus, the CM design consists in defining a set of attributes and their levels to characterize in a credible way a diversification crop. Several focus groups and interviews have been organized in order

to select consistent attributes. Eight farmers, four researchers from INRA (French National Institute of Agronomic Research), six experts from Arvalis²⁸ and seven cooperative experts have been consulted. This exploratory step resulted in the selection of five relevant attributes divided in two categories. Firstly, the “crop-intrinsic” attributes: gross margin, cropping season and technicality of the crop management. Secondly, the “crop rotational effects” attributes: nitrogen restitution and effect on pesticide use for the next crop. Since durum wheat is the main crop in this rotation due to the high level of gross margin, the diversification crop is assumed to be the previous crop. To limit the hypothetical bias, farmers are put in a situation that they face every year: the crop acreage choice. Based on an experimental plan, individuals are given fifteen hypothetical diversification crops and asked to choose whether they wish to introduce this crop in the rotation. Each crop is described by five attributes that take on different levels (Table 24).

Table 24 : Attributes and levels of the choice modelling

Attribute	Description	Levels
Nitrogen restitution (<i>Nitro</i>)	Number of nitrogen units available for durum wheat (UN)	0 / 25 / 50
Rotational effect on pesticide (<i>Pest</i>)	Additional pesticide treatments comparatively to sunflower (treatment)	-1 / 0 [†] / +1
Gross margin (<i>Margin</i>)	Gross margin per hectare (€/ha)	325 / 400 / 475 / 525 / 600
Cropping season (<i>Season</i>)	Cropping season of the crop	Summer / Winter [†]
Technicality of the cropping management (<i>Tech</i>)	Technicality of the crop management including monitoring requirement and number of technical operations	Low technicality (ex: sunflower) Medium technicality (ex: wheat) [†] High technicality (ex: rapeseed)

[†] These modalities are used as references in the analysis

IV.2.4) Choice models

The adoption choice of a diversification crop is reduced to a binary choice of adoption or rejection. Relying on the random utility framework, the unobserved utility is composed of two components (14):

$$V_{ij} = U_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

$$\text{With } U_{ij} = \beta X_{ij}$$
(14)

V_{ij} is the utility of a j good for individual i . U_{ij} is the determinist and observable part of the utility function and ε_{ij} is the stochastic part, the error term that captures unobservable factors. The determinist part of utility is a function of the attributes of the good and the characteristics of the individual X_{ij} . Two models are estimated. Firstly the *logit* model evaluates the adoption probability of the good j in each choice situation. Individuals are assumed to choose the product that maximizes their utility. The probability of adoption of the good j by individual i follows a logistic distribution. The

²⁸ Technical institute specialized in cereals

error terms are assumed to be Independent and Identically Distributed (IID). Secondly, the random parameter *logit* (RPL) or mixed effects *logit* model is a more flexible model which accounts for unobserved and unconditional heterogeneity within individuals (15).

$$V_{ij} = \beta_i X_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (15)$$

With the random component ε_{ij} is assumed to be IID extreme value. The coefficient vector β_i is a random variable of density function $f(\beta|\theta)$ where θ are the parameters of the distribution of β_i over the population (Train, 2009). Conditional on β_i , the probability p_{ij} that individual i adopt the good j over h follows a logistic distribution. Since β_i is random and unobservable, the choice probability p_{ij} is (16):

$$p_{ij} = P[V_{ij} > V_{ih}|\theta] = \int P[V_{ij} > V_{ih}|\beta_i] f(\beta_i|\theta) d\beta_i \quad (16)$$

IV.2.5) Empirical analysis

The questionnaire was reviewed beforehand by agricultural scientists and cooperative stakeholders. The final version was tested on a sample of eight farmers to check respondents' understanding of the survey. Farmers were randomly selected, within cooperatives members, considering two selection criteria. Firstly, the farm is located in a traditional area of production of durum wheat on sunflower rotation. Secondly, at least 50 % of their cropping area is occupied by this rotation. This sampling procedure ensures that farmers are principally grain farmers but also allows farm diversity within the sample. From January to July 2014, 100 were surveyed using face-to-face interviews or meetings without interactions between individuals. Both types of interviews are conducted following the same sequences. In introduction, the objective and progress of the survey is presented. It is specified that the data are anonymous and not available for the cooperative, but only for the research team. Thus, farmers individually answer directly on paper. The survey is concluded with an oral debriefing open to farmers' questions about the survey. The average duration of the whole interview is about 2 hours.

Table 25 reports descriptive statistics of the sample. Concerning the farmers' characteristics, the mean age of farmers is 50 years old, which is the same as the regional mean. Respondents are farmers for more than 20 years and most of them do not have a secondary school-leaving degree (Baccalaureate). More than one third of the farmers have an off-farm employment. The mean total agricultural area is over 150 ha while it is about 100 ha in the region. Concerning the production context, data show that half of the farms have sloping plots. Farmers face on average 1.5 recurrent difficulties on their farm within the following list: soil fertility, soil structure, weed pressure, crop pest and disease, water management (drought or excess), labor management, crop management technicality. The current level of durum wheat gross margin is in line with the regional average (770 €/ha compared to 777 €/ha in the Midi-Pyrenees region) even if the standard deviation is high (230 €/ha) showing a high heterogeneity within the sample. Finally, most of the farmers are cooperative members. Concerning the experimentation, 60% of farmers have already done experimentation on their field in the past. This variable takes into account any type of experimentation (pesticide, crops, practices etc.) supervised by the cooperative or researchers.

Table 25 : Descriptive statistics of the sample

	Description	Mean	Std. Dev.
Farmer characteristics			
Age	Farmer's age in years	50.1	11.8
Education	= 1 if the farmer has baccalaureate and 0 otherwise	0.3	-
Experience	Farming experience of the farmer in years	22.1	11.9
Household size	Number of household dependent members	2.6	0.8
Off farm work	= 1 if the farmer works off-farm and 0 otherwise	0.4	0.4
Farm characteristics			
Total land	Total land size of the farmer in hectare	151.4	81.2
Working unit	Number of workers on the farm (farmer included)	1.8	1.7
Agronomic difficulties	Number of recurrent agronomic difficulties	1.5	1.9
Slope	= 1 if sloping plot 0 otherwise	0.5	-
Wheat gross margin	Farmer current gross margin in durum wheat (€/ha)	769.7	237.9
Information			
Coop member	= 1 if the farmer is a coop member 0 otherwise	0.9	-
Experiments	= 1 if the farmer do or have done experiment	0.6	-

Source : Survey 2014

The *logit* regression enables analyzing dichotomous choices of adoption or rejection of the diversification crop. As a starting point, the basic specification of the indirect utility is a linear function of the attributes and the constant (*Constant*) (17).

$$U_{ij} = \beta_j X_{ij} = \beta_1 \text{Margin} + \beta_2 \text{Nitro} + \beta_3 \text{Tech} + \beta_4 \text{Pest} + \beta_5 \text{Season} + \text{Constant} \quad (17)$$

Tech is the technicality of the crop management and *Pest* the effect on pesticide use. *Tech* and *Pest* have three levels described in Table 1. The reference modalities are “0 additional treatment” for the pesticide use attribute (*Pest*) and “medium technicality” for the crop management (*Tech*). The *Season* attribute is a dummy variable equal to 1 for summer and 0 for winter. *Margin* and *Nitro* are quantitative variables. *Margin* is the annual gross margin expressed in hundred euros per hectare and *Nitro* is the level of nitrogen restitution for the next crop expressed in units of nitrogen per hectare.

The estimates of the basic specification *logit* model are presented in the first column of (Table 26). The overall fit of the model measured by the Mac Fadden's R^2 is 0.19 and the model correctly predicts 72 % of choices. The hypothesis of all coefficients equal to zero is rejected at 1 %. Most of the coefficients are significant and all the signs are as expected. The cropping season (*Season*) is the only insignificant attribute estimate. The gross margin (*Margin*) and the pest management (*Pest*) attributes estimates are highly significant (p-values $<10^{-4}$). Thus, in the same line as the recent literature, farmers' preferences for the agronomic attributes have the same level of significance as for the monetary attribute. As expected, the monetary attribute estimate, the gross margin, is positive. Conversely, the requirement of an additional treatment negatively affects adoption. Farmers with short rotation are exposed to weed and pest resistances due to recurrent treatments in

the field which entails yield stagnation. Thus, farmers avoid crops that contribute to increase the number of treatments.

The technicality of the cropping management (*Tech*) also appears highly significant in farmer's adoption behavior (p-value of 0.004). High technicality in the crop management implies a bigger workload and many technical operations, but also a higher yield risk. Therefore, farmers probably prefer crops with a lower level of technicality. Results also show that nitrogen restitution (*Nitro*) positively affects the adoption of a diversification crop. Indeed, nitrogen is a limiting factor for grain production especially for durum wheat in short rotation. An increase in nitrogen restitution can reduce fertilization costs for farmers. This result is consistent with the previous result about gross margin attribute, showing that farmers prefer more profitable crops.

Table 26 : Results of the basic specification and the interaction *logit* estimates

Attributes	Basic Specification Model			Interaction Model		
	Coef.	Std. Err.	P> z	Coef.	Std. Err.	P> z
Margin	0.948	0.072	0.000***	1.395	0.120	0.000***
Nitro	0.011	0.004	0.005**	-0.009	0.007	0.218
Tech = High technicality	-0.542	0.188	0.004**	-0.543	0.195	0.005**
Tech = Low technicality	0.395	0.178	0.027*	0.196	0.209	0.418
Pest = +1 Treatment	-0.839	0.195	0.000***	-0.886	0.202	0.000***
Pest = -1 Treatment	0.089	0.189	0.637	-0.551	0.347	0.112
Season = Summer	-0.053	0.152	0.726	-0.607	0.342	0.076
Nitro X Calc. Soil	-	-	-	0.018	0.006	0.008**
Nitro X Slope	-	-	-	0.013	0.005	0.011*
Margin X Contract	-	-	-	-0.001	0.000	0.002***
Margin X Wheat GM	-	-	-	-0.055	0.011	0.000***
Low Tech X Agro. Diff	-	-	-	0.198	0.067	0.003**
Pest -1 X Sunflow. Disease	-	-	-	0.308	0.134	0.022*
Summer X Peaks	-	-	-	-0.096	0.044	0.030*
Constant	-4.289	0.396	0.000***	-4.602	0.394	0.000***
N		1065			1065	
LL		-592			-557	
Mac Fadden R^2 ajusté		0.19			0.23	

Significance levels where α equal * 0.1, ** 0.05 and *** 0.01

In order to capture the observed heterogeneity in the sample a *logit* model is estimated where several farm-specific characteristics interact with the attributes of the diversification crop. The indirect utility function becomes (18):

$$\begin{aligned}
 U_{ij} = & \text{Margin} (\beta_{1_1} + \beta_{1_2} * Z_i) + \text{Nitro} (\beta_{2_1} + \beta_{2_2} * Z_i) + \text{Tech} (\beta_{3_1} + \beta_{3_2} * Z_i) \\
 & + \text{Pest} (\beta_{4_1} + \beta_{4_2} * Z_i) + \text{Season} (\beta_{5_1} + \beta_{5_2} * Z_i) + \text{Constant}
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Z_i is a vector of farm characteristics. After testing several possible interactions, seven interactions have been selected based on their significance. The final model is presented in the second column of

Table 26. The interaction *logit* model exhibits a rather high fit with a Mac Fadden R^2 of 0.23 (Hensher et Johnson, 1981). The model correctly explains 75 % of the choices. The estimates for gross margin, additional treatment and high level of technicality significantly affect the adoption in the same way as the basic specification model.

The interactions reveal that individual characteristics affect farmers' sensitivity to the diversification crop attributes. Firstly, the gross margin attribute interacts with two farm characteristics. The effect of the gross margin significantly decreases with the farmer's current level of durum wheat gross margin (*Margin X Wheat GM*). Thus, farmers with a high level of current wheat gross margin probably can afford to adopt less profitable crops. Furthermore, farmers who partially insure their income with production contracts put a lower value on the gross margin of the diversification crop (*Margin X Contract*).

Crops requiring a low level of technicality are preferred by farmers that express a higher number of difficulties in their farm (*Low Tech X Agro. Diff*). Similarly, farmers that already have disease problems on sunflower prefer crops with a lower number of treatments (*Pest -1 X Sunflow. Disease*).

The nitrogen restitution attribute (*Nitro*) positively interacts with two soil-climate characteristics. Calcareous soils (*Calc. soil*) and sloping plots (*Slope*) on the farm positively affects farmers' preference for the nitrogen attribute. This is coherent with the fact that fertilizers efficiency is strongly dependent on soil-climate conditions. Nitrogen is less mineralized in calcareous soils and nitrogen leaks are considerable in sloping plots. To reduce production costs, farmers prefer high levels of nitrogen restitution. Finally, the *Season* attribute estimate appears significant only for farmers with high labor constraint (*Peaks*). Farmers with a high number of labor peaks favor a winter crop to alternate the cropping season to smooth the workload in the year.

Both *logit* models show that, in addition to the monetary attribute, agronomic attributes can strongly affect farmers' choice for a diversification crop. Furthermore, the diversity of the production contexts and strategies affect farmers' preferences for both monetary and agronomic attributes.

The *logit* model with interactions shows that observable farm characteristics affect farmers' preferences for the crop attributes. The recent literature on adoption behavior underlies the importance of heterogeneity in preferences due to individuals' unobservable characteristics. The previous *logit* models assumed fixed effects of preferences between individuals. Thus, a random parameter *logit* is estimated to analyze unobserved heterogeneity. The attributes are random and assumed to be independent and normally distributed with the exception of the monetary attribute (*Margin*). We consider that individuals' marginal utility is constant within this range of margin variation (Ruud, 1996). Furthermore, a fixed attribute simplifies the implementation of the model. A basic specification is tested with crops attributes (19).

$$U_{ij} = \beta_{1i} \text{Margin} + \beta_{2i} \text{Nitro} + \beta_{3i} \text{Tech} + \beta_{4i} \text{Pest} + \beta_{5i} \text{Season} + \text{Constant} \quad (19)$$

Results are reported in Table 27. The introduction of random parameters improves the model's overall fit with an increase in the log likelihood ratio compared with the two fixed-parameters models. Considering the mean parameters estimates, the results are close to the fixed-parameters models. The standard deviation estimates exhibit heterogeneity in taste for the nitrogen attribute

(*Nitro*). The standard deviation estimate is greater than the mean estimate. Thus, within the sample, farmers' valuation for the nitrogen restitution attribute is highly heterogeneous. This variability of preference is partially explained by observable characteristics. Indeed, the interaction model shows that soil condition (slope and soil type) affect farmers' sensitivity to this attribute.

Table 27 : Results of the random parameter *logit* estimates

Attributes	Coef.	Std. Err	P> z
Margin	1.26	0.110	0.000***
Nitro	0.015	0.006	0.006**
Tech = High technicality	-0.662	0.240	0.008**
Tech = Low technicality	0.598	0.223	0.008**
Pest = +1 Treatment	-1.182	0.241	0.000***
Pest = -1 Treatment	0.157	0.259	0.545
Season = Summer	-0.028	0.216	0.895
Constant	-6.051	0.568	0.000***
Standard deviation	Coef.	Std. Err	
Nitro	0.022***	0.007	-
Tech = High technicality	0.316	0.679	-
Tech = Low technicality	6.18 10 ⁻⁷	0.666	-
Pest = +1 Treatment	0.041	4.316	-
Pest = -1 Treatment	1.030	0.309	-
Season = Summer	0.971	0.2555	-
Constant	1.059	0.198	-
N	1065		
LL	-540		

Significance levels where α equal * 0.1, ** 0.05 and *** 0.01

The marginal willingness to pay (WTP) is equivalent to the individual's surplus for a change in the level of an attribute. It represents the marginal monetary value of an attribute. The marginal WTP is defined as the negative ratio of the marginal utility of each attribute over the marginal utility of the monetary attribute (20):

$$WTP = - \frac{\beta_{\text{attribute}}}{\beta_{\text{monetary}}} \quad (20)$$

The marginal willingness to pay (WTP) is computed from the results of the random parameter *logit* (Table 28). The results show that the mean marginal WTP for nitrogen is 1.21 €/unit. It is comparable to the market value of a nitrogen unit. The market price of nitrogen varies from 0.32 to 2.11 €/unit. In the experiment, an additional pest treatment is valued 93€ by farmers. Considering the global cost of a pest treatment (product, fuel and machinery), this WTP is close to the current market cost of a herbicide treatment in Southwestern France (about 80 €/ha based on extension services data). Both results back up our experiment since estimates are close to the market price.

The calculation of the WTP also assigns monetary value to non-market attributes. The effort to implement a crop with a high level of technicality of the crop management is valued 52 € by farmers.

Contrarily, farmers will accept to pay 47 € to reduce the level of technicality for medium to low level of technicality.

Table 28 : Mean marginal willingness to pay (in €) for crop traits

Attribute	Estimate	95% Interval	
		Lower bound	Upper bound
Nitro	1.21 (€/U)	0.32	2.11
Tech = Highly technical	-52.2 (€/ha)	-89.4	-15.1
Tech = Slightly Technical	47.2 (€/ha)	12.2	82.1
Pest = +1 IFT	-93.3 (€/ha)	-131.2	-55.4
Pest = -1 IFT	12.4 (€/ha)	-27.6	52.4
Season = Summer	-2.2 (€/ha)	-35.7	31.2

Heterogeneity in farmers' preferences is due to observed and unobserved heterogeneity. The observed heterogeneity is captured in the interaction *logit* which shows that farm characteristics such as soil conditions affect farmers' sensitivity to the nitrogen attribute. The random parameters *logit* model also reveals unobserved heterogeneity in preferences for the nitrogen restitution attribute (*Nitro*). To evaluate both observed and unobserved heterogeneity, the WTP for the nitrogen restitution attribute (*Nitro*) is estimated according to both main farm characteristics that affect preferences: soil type and plot slope. As expected, farmers with calcareous soil value nitrogen restitution more than farmers with clay soil: respectively 1.24 and 0.74 €/unit. However, the coefficient of variation indicates heterogeneity of the WTP. More precisely, within the subsample of farmers with clay soil, the valuation of the nitrogen restitution is highly heterogeneous with a coefficient of variation of 180 % (Figure 19). In parallel, the slope of the field partially explains the heterogeneity in preferences. The mean willingness to pay for farmers with sloping plots is 1.5 € per nitrogen unit whereas for farmers in the plain it is 0.9 €. Furthermore, preferences are highly heterogeneous within the plain subsample compared to the hillside (Figure 20). Farm characteristics and specifically soil conditions strongly affect farmers' preferences for the diversification crop attributes. However, a share of the farmers' heterogeneity in preferences is still not directly observable. Farmers' preferences can be affected by a large range of factors endogenous or exogenous to the farmers that the experience does not capture.

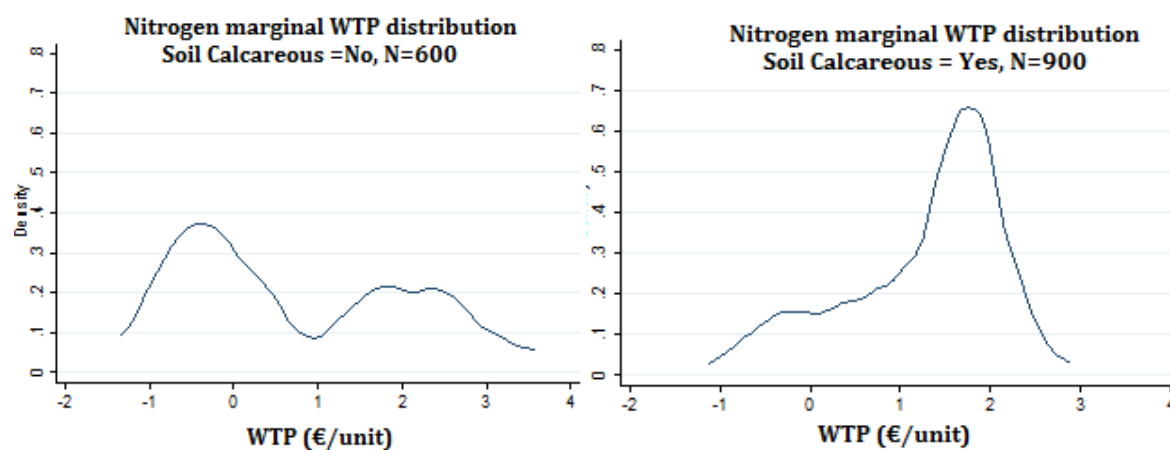


Figure 19: Marginal WTP distribution for the nitrogen restitution attribute by type of soil

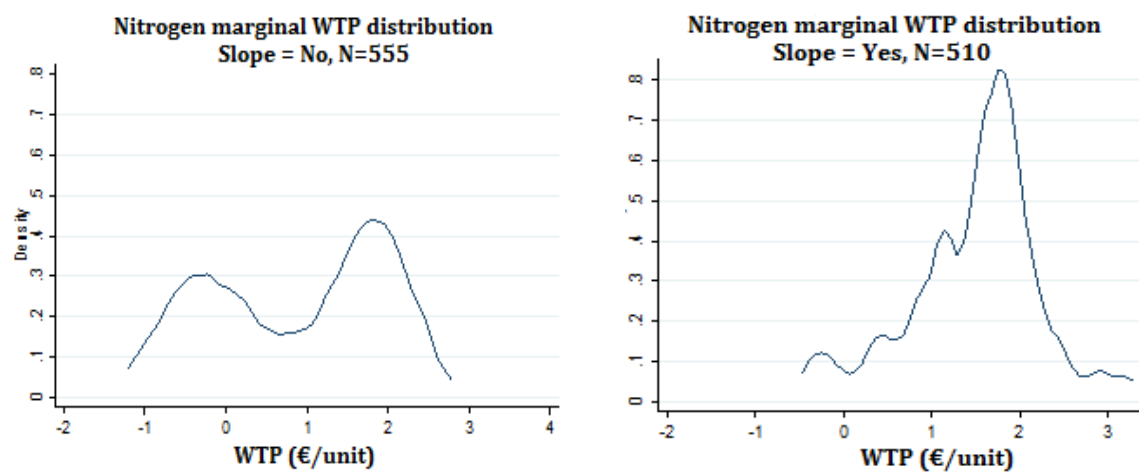


Figure 20: Marginal WTP distributions for the nitrogen restitution attribute considering the slope of the fields

IV.2.6) Discussion and conclusion

Crop diversification is a major concern in specialized crop farms in Europe. Environmental regulation combined with an increase in agronomic difficulties drive farmers to redesign their cropping systems by introducing a new crop to lengthen the rotations. In this paper, Lancaster's consumer theory is transposed to the analysis of farmers' preferences. Farmers' preferences for a diversification crop attributes are measured with a choice modelling approach. In agricultural economics literature, the key role played by monetary determinants in the adoption behavior is widely accepted. However, short term profit maximization seems to be a restrictive view of farmers' adoption behavior (Just, 2000). Based on a survey procedure, this paper brings to light the role played by non-monetary attributes in farmers' adoption of a crop diversification. We show that agronomic attributes such as the level of nitrogen restitution and the pest management are highly valued by farmers. This trend is even stronger when farmers are already facing difficulties in their current cropping system or have restrictive soil-climate conditions. Results show that farmers' preferences are linked to their production context, which can restrain their adoption choice. Before promoting crop diversification, assessing current management practices is useful to understand farmers' expectations. To design effective support policies, it seems necessary to assess the adoption of innovations at a homogeneous small agricultural region scale. Furthermore, we show that farmers reject high technicality of the crop management. The increase in risk exposure due to yield variation and the additional working time probably lead farmers to prefer crops with a low level of technicality. Extension services and researchers can improve the adoption of highly technical crops by relaying objective information on crop agronomic performance to farmers. However, even if farmers' characteristics enhance the understanding of farmers' adoption behavior, a share of the farmers' heterogeneity in preferences is still not identified. Farmers' preferences are affected by a large range of farm characteristics but also by farmers' knowledge, experience and perceptions that are difficult to capture.

IV.3) Déterminants socio-économiques de l'adoption d'une culture de diversification

Le paragraphe précédent a permis de mettre en évidence que, au sein de l'échantillon, les agriculteurs ont des préférences pour les caractéristiques de la culture de diversification. Il apparaît que les préférences des exploitants pour les attributs non monétaires jouent aussi un rôle dans le processus d'adoption. Les préférences individuelles guident donc, pour partie, le choix d'adoption d'une nouvelle culture dans l'assolement par les exploitants. Cependant, une vaste littérature montre que d'autres déterminants, tels que les caractéristiques socio-économiques des exploitants ou encore les conditions d'exploitation, peuvent affecter la décision d'adoption. En se basant sur les résultats précédents ainsi que sur la revue de littérature sur les déterminants de l'adoption d'innovations, nous tenterons d'affiner l'analyse du comportement d'adoption. Des déterminants observables mais aussi inobservables telles que les perceptions des agriculteurs sont intégrés afin d'analyser leur comportement d'adoption.

IV.3.1) Déterminants étudiés socio-économiques qui affectant l'adoption d'une culture de diversification

IV.3.1.1) Les déterminants disponibles

En se basant sur la revue de littérature sur les déterminants de l'adoption d'innovations agricoles (cf. Chap. I), un corpus de variables, disponibles dans le questionnaire et susceptibles d'affecter le comportement d'adoption des agriculteurs, a été constitué (Tableau 29). Ces variables sont regroupées en cinq catégories. Tout d'abord, les variables descriptives de l'exploitant concernent ses caractéristiques individuelles telles que son âge, la taille de son foyer ainsi que son expérience agricole et les conditions de son installation et de sa possible succession. La seconde catégorie s'intéresse à la structure de l'exploitation en termes de ressources ainsi que les contraintes structurelles ou pédoclimatiques (type de sol, parcellaire, etc.). La troisième catégorie regroupe les variables liées aux sources de revenus disponibles pour l'exploitant et son foyer comprenant les revenus agricoles liés à d'autres ateliers de production que les grandes cultures (arboriculture, maraichage, élevage, etc.) ainsi que les revenus hors exploitation de l'agriculteur ou de son conjoint. Le quatrième groupe de variables rassemble les données relatives à l'accès à l'information de l'agriculteur de manière formelle, c'est-à-dire via des organisations professionnelles, ou, informelle, par la consultation de revues agricoles. Des données sur l'évolution de la gestion à long terme de l'exploitation, c'est-à-dire si l'exploitant a fait des changements ou a des projets, sont aussi disponibles. On peut penser que si l'exploitant a ou va faire des changements sur son exploitation il s'est procuré ou se procurera de la documentation technique et du conseil. Enfin la dernière catégorie se concentre sur les perceptions déclarées des agriculteurs concernant le risque de marché et de production. Nous évaluons, d'une part, la perception de la volatilité et du risque associé par des échelles psychométriques. D'autre part, nous élicitons les distributions de prix et rendement sur 10 ans afin de disposer d'indicateurs d'espérance de variance pour chaque individu.

Tableau 29: Liste des déterminants de l'adoption disponibles dans l'enquête

Variables	Description	Unité/Modalité
Caractéristiques de l'exploitant		
Age	Age du chef d'exploitation en années	ans
Experience	Nombre d'années d'expérience du chef d'exploitation	ans
Education	Formation de l'agriculteur (inférieur ou supérieure au Bac)	≤ Bac / > Bac
Reprise	L'agriculteur à repris la ferme familiale	Oui /Non
Succession	L'agriculteur dispose d'un successeur	Oui /Non
Household size	Nombre de personnes à charge au sein du foyer	-
Structure de l'exploitation		
Total land	Surface agricole utile de l'exploitation (SAU)	ha
SAU prop/ SAU	Pourcentage de la surface cultivée en propriété	%
Working Unit	Unité de Travail Humain (UTH) (emploi permanent à plein temps)	-
SAU / UTH	Nombre d'hectares cultivés par UTH	ha
Spécialisation	Pourcentage de la SAU cultivée en rotation blé dur sur tournesol	%
Travail ateliers	Pourcentage du temps de travail consacré à d'autres ateliers	%
Slope	La majorité des parcelles de l'agriculteur sont en pente	Oui/Non
Parcelles groupées	La majorité des parcelles de l'agriculteur sont groupées	Oui/Non
Soil Type	Type de sol majoritaire sur l'exploitation	Calc / Arg
Sources de revenus		
Wheat GM	Marge brute moyenne actuelle du blé dur	€/ha
Sunflower GM	Marge brute moyenne actuelle du Tournesol	€/ha
Off-farm work	L'agriculteur a une autre activité professionnelle	Oui/Non
Revenu ateliers	Part du revenu agricole représenté par les autres ateliers	%
Conjoint travaillant	Le conjoint de l'exploitant travaille hors de l'exploitation	Oui/Non
Informations, conseil		
Org Pro	L'agriculteur appartient à une organisation professionnelle	Oui/Non
Revue	L'agriculteur est abonné à des revues de grandes cultures	Oui/Non
Experiements	L'agriculteur réalise ou a réalisé des essais sur son exploitation	Oui/Non
Projet	L'agriculteur a des projets pour son exploitation dans les 5 ans	Oui/Non
Changement	L'agriculteur a fait de grands changements depuis son installation	Oui/Non
Perception des agriculteurs		
Coef. Var. Prix BD	Coefficient de variation du prix du blé dur sur 10 ans	%
Coef. Var. Rdt BD	Coefficient de variation du rendement du blé dur sur 10 ans	%
Coef. Var. Prix Tsol	Coefficient de variation du prix du tournesol sur 10 ans	%
Coef. Var. Rdt Tsol	Coefficient de variation du rendement du tournesol sur 10 ans	%
Perception volatilité	Perception de la volatilité des prix à (stable) 10 (très volatil)	1 à 10
Risque Volatilité	Risque associé à la volatilité des prix 1 (opportunité) 6 (risque)	1 à 6

IV.3.1.2) Résultats

Les résultats obtenus dans le paragraphe précédent (IV.2) mettent en évidence que les agriculteurs ont des préférences hétérogènes pour les attributs de la culture de diversification et plus spécifiquement pour l'attribut de restitution en azote (*Nitro*). Le modèle *logit* à paramètres aléatoires apparaît donc comme le plus adapté pour expliquer l'adoption d'une culture de diversification en intégrant l'hétérogénéité observée et inobservée des individus.

Le modèle obtenu regroupe à la fois les attributs de la culture de diversification, les variables socio-économiques, la constante ainsi que les interactions possibles entre ces deux catégories de variables. L'effet de toutes les variables du Tableau 7 a été testé. Afin de ne pas réduire la taille de l'échantillon à cause des réponses manquantes et pour plus de clarté, seules les variables significatives ont été conservées. L'attribut « *Nitro* » est considéré comme aléatoire. On obtient ainsi le modèle suivant (21) :

$$\begin{aligned}
 U_i = & \text{Margin } (\beta_{1_1} + \beta_{1_2} \text{ Contract} + \beta_{1_3} \text{ Wheat GM}) + \text{Nitro } (\beta_{2_{i_1}} + \beta_{2_{i_2}} * \text{Slope}) + \beta_3 \text{Tech} + \beta_4 \text{Pest} \\
 & + \beta_5 \text{Season} + \beta_6 \text{Education} + \beta_7 \text{Travail ateliers} + \beta_8 \text{Parcelles Groupées} \\
 & + \beta_9 \text{Revenus ateliers} + \beta_{10} \text{Projet} + \beta_{11} \text{Changement} + \text{Constante}
 \end{aligned}
 \tag{21}$$

L'intégration des variables socio-économiques permet d'accroître le pouvoir explicatif du modèle. L'indicateur de *log likelihood* augmente par rapport au modèle précédent (Tableau 30). Concernant les effets des attributs de la culture de diversification, on obtient des résultats proches de ceux du paragraphe précédent. Une marge brute élevée ainsi qu'une technicité réduite de la conduite culturale sont positivement corrélées à l'adoption d'une culture de diversification. A l'inverse, une technicité élevée ou la nécessité de traitements phytosanitaires supplémentaires semble réduire l'adoption d'une culture de diversification. On remarque qu'il existe des interactions significatives entre les attributs de la culture et des variables descriptives de l'exploitant et de son exploitation. Tout d'abord, les préférences pour la marge brute de la culture sont affectées par les caractéristiques de l'exploitation. Les exploitants qui contractualisent leur production avant récolte ainsi que ceux qui ont actuellement un niveau de marge brute élevé pour le blé dur, semblent moins sensibles au niveau de marge brute. Les exploitants qui ont des marges élevées ou qui sécurisent leur niveau de marge par des contrats avant récolte fixent les niveaux de prix, peuvent choisir une culture moins rentable permettant de limiter les effets néfastes de la rotation courte. D'autre part, les agriculteurs qui ont des parcelles en pente, semblent plus fortement valoriser la restitution azotée de la culture de diversification. En effet, le lessivage de l'azote lors d'épisodes pluvieux est lié à l'inclinaison de la pente des parcelles. En outre, on constate un effet aléatoire significatif de cet attribut de la restitution azotée. Ce résultat signifie que les exploitants de l'échantillon ont des sensibilités différentes concernant cet attribut en fonction de caractéristiques non observables dans l'enquête.

Certaines caractéristiques socio-économiques des agriculteurs apparaissent comme des déterminants de l'adoption. Ainsi, on remarque un effet positif de l'éducation sur l'adoption. Les agriculteurs avec un niveau de formation initial supérieur au baccalauréat seraient plus amenés à adopter une nouvelle culture dans leur rotation. Concernant le temps de travail, une charge de travail élevée dans des ateliers autres que les grandes cultures réduisent l'adoption d'une nouvelle culture. Cependant, plus ces ateliers assurent une part importante du revenu des exploitants plus l'adoption d'une nouvelle culture dans la rotation semble facilitée. Par ailleurs, les exploitants qui

disposent d'un parcellaire groupé auraient moins tendance à diversifier leur assolement. Enfin, des variables liées à l'évolution passée et future de l'exploitation expliquent aussi pour partie le comportement d'adoption des agriculteurs. Ainsi, on constate un effet positif sur l'adoption du fait d'avoir déjà effectué de grands changements sur l'exploitation depuis l'installation (arrêt ou la mise en place d'un atelier, construction de bâtiments, changement de pratiques (AB), *etc.*) A l'inverse, les exploitants qui ont des projets de changements dans les cinq prochaines années seraient eux moins amenés à faire évoluer leur assolement.

Tableau 30: Résultats du *logit* à paramètres aléatoires

	Coef.	E-type	P>z
<i>Attributs</i>			
Margin	1,660***	0,179	0,000
Nitro	0,005	0,007	0,417
Pest= -1 treatment	0,070	0,217	0,748
Pest = +1 treatment	-1,168***	0,227	0,000
Tech= Low technicality	0,657**	0,213	0,002
Tech = High technicality	-0,489*	0,222	0,028
Season	-0,022	0,176	0,901
<i>Interactions attributs</i>			
Nitro X Slope	0,018*	0,009	0,031
Margin X Contract	-0,003***	0,001	0,001
Margin X Wheat GM	-0,001***	0,000	0,001
<i>Déterminants socio-économiques</i>			
Education = Sup Bac	0,587*	0,289	0,042
Travail ateliers	-0,047**	0,017	0,006
Parcelles Groupées	-0,676*	0,349	0,050
Revenus ateliers	0,053*	0,021	0,011
Projet = Oui	-0,758**	0,279	0,007
Changement = Oui	0,917*	0,400	0,022
Constante	-5,052***	0,706	0,000
<i>Ecart Type</i>			
Nitro	0.019***	0.006	-
Constante	0.742	0.153	-
N		1020	
LL		-508.296	

* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

IV.3.2) Intensité d'adoption d'une culture de diversification dans l'assolement

IV.3.2.1) L'intensité d'adoption de la culture de diversification

En plus du choix d'adoption, c'est-à-dire le choix binaire oui/non, les agriculteurs ont indiqué pour chacune des cartes de choix, la surface actuellement en blé dur sur tournesol qu'ils consacraient à la culture de diversification décrite. Ainsi nous disposons d'une donnée plus précise sur l'intensité d'adoption de la culture de diversification.

Sur les 1065 réponses au *choice modelling*, 43 % sont positives, dans le sens où l'exploitant accepterait d'adopter la culture. Dans le cas d'une adoption, en moyenne, les agriculteurs souhaitent engager 20% de leur surface actuellement en blé dur sur tournesol. On remarque une forte dispersion du pourcentage de sole engagée (Figure 21). Un peu plus de 60 % des agriculteurs adopteraient la culture de diversification sur une part significative (plus de 10 %) de leur SAU. On peut penser que les autres exploitants se positionnent dans une situation d'essai de la culture de diversification. Il s'agit alors d'une adoption incrémentale de la culture sur leur surface en fonction de son potentiel agronomique. Cette apparente dispersion des surfaces adoptées laisse penser que, même au sein des exploitants choisissant la culture de diversification, il existe des déterminants de l'intensité d'adoption de cette culture.

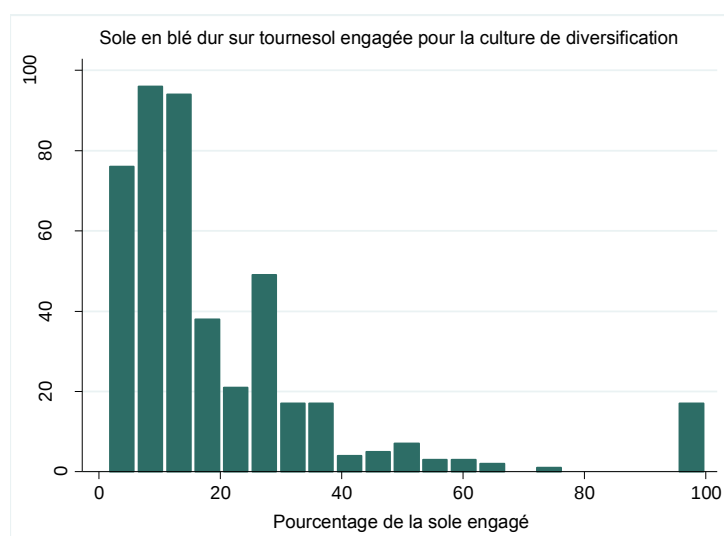


Figure 21 : Pourcentage de la sole actuellement en blé dur sur tournesol consacrée à la culture de diversification

IV.3.2.2) Les déterminants de l'intensité d'adoption

Afin d'analyser l'intensité d'adoption un modèle de type *Tobit* a été utilisé (Tobin, 1958) . Il permet d'analyser des variables dépendantes tronquées ou bornées. Dans le cas de la variable étudiée, l'intensité d'adoption est représentée par le pourcentage de la surface actuellement en blé dur sur tournesol engagée en culture de diversification. Il s'agit donc d'une variable bornée de 0 à 100% (22) :

$$\begin{aligned}
 Y_i^* &= \beta X_i + \varepsilon_i = U_i + \varepsilon_i \\
 Y_i &= Y_i^* \text{ si } L_{inf} < Y_i^* < L_{sup} \\
 Y_i &= L_{inf} \text{ si } Y_i < L_{inf} \\
 Y_i &= L_{sup} \text{ si } Y_i > L_{sup}
 \end{aligned}
 \tag{22}$$

Y_i^* est la variable dépendante qui ne peut être entièrement observée ainsi Y_i correspond à la variable dépendante observée et bornée pour l'individu i , X_i est le vecteur des variables explicatives pour l'individu i , β le paramètre à estimer, ε_i le terme d'erreur et L_{inf} et L_{sup} les bornes inférieure et supérieure d'observation de la variable dépendante (ici 0 et 100 %).

Après avoir testé l'effet des différents déterminants disponibles dans le questionnaire, le modèle final pour lequel le *log likelihood* de -273 est tel que (23) :

$$\begin{aligned}
 U_i = & \text{Margin } (\beta_{11} + \beta_{12} \text{Wheat GM}) + \text{Nitro } (\beta_{21} + \beta_{22} \text{Slope}) + \beta_3 \text{Tech} + \beta_4 \text{Pest} + \beta_5 \text{Season} \\
 & + \beta_6 \text{Age} + \beta_7 \text{Experience} + \beta_8 \text{Reprise} + \beta_9 \text{Spécialisation} + \beta_{10} \text{Travail ateliers} \\
 & + \beta_{11} \text{Revenu ateliers} + \beta_{12} \text{Changement} + \text{Constante}
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

En ce qui concerne les coefficients des attributs de la culture de diversification on observe des résultats proches des autres modèles estimés (Tableau 31). Tout comme pour l'analyse de la décision d'adoption, la marge brute ainsi qu'une technicité réduite de la conduite culturale ont un impact significatif et positif sur l'intensité d'adoption. A l'inverse, une technicité importante de la conduite et des traitements supplémentaires semble réduire l'intensité d'adoption.

On constate aussi des effets d'interactions entre certaines variables socio-économiques et les attributs de la culture de diversification. Ainsi, les agriculteurs qui ont des sols calcaires semblent plus sensibles à la restitution azotée de la culture de diversification que les agriculteurs ayant un sol argileux. Les exploitants avec les plus hauts niveaux de marge brute en blé dur semblent quant à eux moins valoriser la marge brute de la culture de diversification.

Certaines variables socio-économiques sont significatives pour expliquer l'intensité d'adoption. Tout comme la décision d'adoption, les exploitants qui ont des ateliers de productions autres que les grandes cultures semblent particulièrement affectés. Le temps de travail important que requièrent ces ateliers affecterait négativement l'intensité d'adoption. A l'inverse, la part du revenu du ménage assurée par ces ateliers est significativement et positivement liée à l'intensité d'adoption. Par ailleurs, comme il a pu être observé dans le modèle précédent, le fait d'avoir déjà effectué des grands changements sur l'exploitation semblerait favoriser l'adoption et l'intensité d'adoption de la culture de diversification sur l'exploitation.

Du point de vue de l'exploitant lui-même, l'âge de ce dernier ainsi que le fait qu'il ait repris l'exploitation familiale ont une influence positive sur l'intensité d'adoption. Cependant, le nombre d'années d'expérience agricole en tant que chef d'exploitation semble réduire l'intensité d'adoption de la culture de diversification tout comme le niveau actuel de spécialisation de l'atelier grandes cultures. Ainsi les agriculteurs qui sont très fortement spécialisés en rotation courte de blé dur sur tournesol et fortement expérimentés sembleraient moins engager de surface pour la diversification. Enfin, on observe que, contrairement au choix d'adoption, l'intensité d'adoption est, elle, liée aux perceptions des agriculteurs. Les exploitants qui perçoivent des prix variables, avec un coefficient de variation du blé dur sur dix ans élevé, adopteraient moins de surface de diversification.

Tableau 31: Déterminants de l'intensité d'adoption de la culture de diversification (modèle *tobit*)

	Coef.	E-type	P>t
<i>Attributs</i>			
Margin	0,173	0,015	0,000***
Nitro	-0,00	0,001	0,0102**
Pest= -1 treatment	-0,002	0,024	0,926
Pest = +1 treatment	-0,102	0,027	0,000***
Tech= Low technicality	0,052	0,024	0,034*
Tech = High technicality	-0,060	0,025	0,018*
Season	-0,004	0,021	0,838
<i>Interactions attributs</i>			
Nitro X Calc. Soil	0,005	0,001	0,000***
Margin X Wheat GM	0,000	0,000	0,000***
<i>Déterminants socio-économiques</i>			
Age	0,006	0,001	0,000***
Experience	-0,008	0,001	0,000***
Reprise = Oui	0,069	0,025	0,007**
Spécialisation	-0,004	0,001	0,000***
Travail ateliers	-0,006	0,001	0,000***
Revenu ateliers	0,005	0,001	0,002**
Changement = OUi	0,100	0,033	0,003**
Coef Var Prix BD	-0,011	0,003	0,001***
Constante	-0,520	0,090	0,000***
N		975	
LL		-276,083	

* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

IV.4) Discussions

Ce chapitre permet de mettre en évidence que la rotation courte de blé dur sur tournesol est un système rentable avec des marges brutes moyennes déclarées élevées (750 €/ha pour le blé dur et 550€/ha pour le tournesol). Cependant, il est aujourd'hui rattrapé par les effets néfastes de l'agriculture intensive. Les exploitants constatent un accroissement des résistances des ravageurs et des adventices aux produits phytosanitaires ainsi que des difficultés de gestion de l'eau face à l'évolution du climat. Ces difficultés se traduisent par des pertes non négligeables de rendements de l'ordre de 20 % à 30 % ainsi que des rendements aléatoires en fonction des campagnes. Afin de parer à ces difficultés, les exploitants se tournent vers des solutions de diversification des variétés ou des cultures. Dans le cadre de la nouvelle politique européenne (PAC 2014-2020), un tiers des aides à la production sont conditionnées, entre autre, à la production de trois cultures sur l'exploitation. La diversification apparaît donc aujourd'hui comme une nécessité de ce système de production pour des raisons réglementaires et agronomiques. Cependant, même si on constate une légère évolution des assolements, principalement au profit du blé tendre, il s'agit plutôt d'un comportement opportuniste en fonction des évolutions des prix des cultures. Pour diversifier durablement leur système de cultures les exploitants mettent en avant l'importance, d'une part, de la rentabilité de la culture de diversification, mais aussi, d'autre part, des critères d'ordre agronomique et technique. La technicité de la conduite culturale apparaît comme un frein majeur dans l'adoption d'une culture de diversification. Ce résultat est en accord les travaux de Merrien *et al* chez des agriculteurs vendéens (Merrien *et al.*, 2013).

Une expérience de *choice modelling*, menée auprès de 100 producteurs de blé dur sur tournesol, a été mise en œuvre afin d'évaluer les préférences des caractéristiques d'une culture de diversification dans leur décision d'adoption. Les résultats montrent que l'attribut monétaire, la marge brute de la culture, est un élément clef de la décision d'adoption. Cependant, elle peut être mitigée par une forte rentabilité actuelle de l'exploitation. Les exploitants avec de hauts niveaux de marge brute actuelle en blé dur ou ayant signé des contrats permettant de sécuriser le prix de vente (contrats *forward*) semblent se permettre d'adopter des cultures moins profitables à court terme. En plus des attributs monétaires, les agriculteurs accordent de l'importance à des attributs non-monétaires d'ordre agronomique ou technique. Ainsi, en évaluant leur consentement à payer, il faudrait rémunérer les agriculteurs à hauteur de 93 €/ha pour qu'ils mettent en place une culture qui implique des traitements phytosanitaires supplémentaires dans la rotation. A l'inverse, les agriculteurs sont prêts à payer 47 €/ha pour éviter de mettre en place une culture peu technique à conduire plutôt que technique. En fonction des difficultés agronomiques rencontrées, les agriculteurs valorisent différemment la technicité. Les exploitants fortement soumis à des problématiques agronomiques seraient plus amenés à adopter des cultures perçues comme peu techniques comme le sorgho. Enfin, l'attribut lié à la restitution azotée apparaît comme particulièrement intéressant. En effet, la fertilisation azotée est un poste de dépense important dans les charges de production des céréales mais son efficacité est fortement liée au contexte pédoclimatique des agriculteurs. De ce fait, les agriculteurs avec des parcelles pentues ou des sols calcaires accordent plus d'importance à la restitution azotée dans leur choix de la culture de diversification. On peut donc penser que dans les zones de production de coteaux calcaires, comme dans le Gers, les producteurs auront plus tendance à se tourner vers des cultures qui restituent ou fixent l'azote comme le colza ou le pois. En outre, il apparaît une forte hétérogénéité des préférences liées à cet attribut. Les sensibilités hétérogènes face à cette caractéristique ne sont donc pas entièrement expliquées par les caractéristiques de

l'exploitation et d'autres caractéristiques non observables affectent les préférences des agriculteurs de l'enquête pour cet attribut.

En adéquation avec la littérature sur l'adoption d'innovation agricole²⁹, ce travail montre un effet positif de l'éducation sur l'adoption de l'innovation (Feder *et al.*, 1985, Knowler et Bradshaw, 2007, Prokopy *et al.*, 2008). L'existence d'autres sources de revenu favorise aussi l'adoption. Les agriculteurs n'étant pas uniquement dépendant de l'activité agricole peuvent se permettre de prendre plus de risque. Cependant, comme dans les travaux de Gedikoglu, lorsque les autres activités de l'agriculteur représentent une concurrence en termes de temps de travail, cela réduit l'adoption (Gedikoglu et McCann, 2007, Gedikoglu *et al.*, 2011). Des variables liées à la gestion à long terme de l'exploitation, à notre connaissance non étudiées dans des travaux sur l'adoption d'innovations agricoles, affectent le comportement des exploitants. Si l'exploitant a déjà réalisé des changements sur son exploitation il semble plus enclin à adopter une nouvelle culture. Il s'agit sûrement là d'un effet d'expérience. Ces agriculteurs se sont déjà exposés au risque lors du changement et sont peut-être plus à même de le gérer. De plus, dans leur démarche de changement ils ont peut-être acquis des compétences et des connaissances supplémentaires leur permettant d'appréhender plus facilement l'adoption d'une nouvelle culture sur l'exploitation. A l'inverse les agriculteurs qui ont des projets de changements dans le futur proche (5 ans), qui ont donc peut-être déjà investi dans du matériel spécifique ou en connaissances, adoptent moins une culture de diversification.

Les agriculteurs qui ont choisi d'adopter la culture de diversification la mettent en place, en majorité, sur une part significative de leur exploitation (plus de 10 % de leur SAU). Les variables liées au temps de travail et au revenu représentés par les autres ateliers, affectent de la même manière le choix d'adoption et l'intensité d'adoption. Les exploitants plus âgés et ayant repris l'exploitation familiale semblent investir de plus grandes surfaces. Grâce au recul qu'ils ont sur l'évolution de leur exploitation (même avant leur installation), ces agriculteurs seraient peut-être plus habitués à s'adapter à large échelle. A l'inverse, les agriculteurs fortement spécialisés en blé dur sur tournesol semblent être dans une démarche plus incrémentale. Leur forte spécialisation peut expliquer qu'ils ont peu de connaissances techniques dans la conduite d'autres cultures et souhaitent engager des petites surfaces avant de mettre en place un système de culture diversifié sur une plus grande surface. Enfin, la perception du risque de prix réduit aussi la surface engagée par les agriculteurs. S'ils perçoivent déjà un fort risque de prix, les agriculteurs mettront moins en place des cultures qui leur paraissent plus risquées pour ne pas accroître leur exposition au risque.

La diversification des assolements dans les zones de production de blé dur sur tournesol est une solution qui semble être privilégiée par les agriculteurs. De manière générale sur l'échantillon, le blé tendre est la culture de diversification qui répond au mieux aux préférences des agriculteurs du point de vue technicoéconomique. Cependant, cette culture ne permet pas d'accroître la diversité du système de culture et ne répondra pas aux exigences réglementaires. Pour les trois autres cultures de diversification (sorgho, colza et pois) des recommandations peuvent être faites à partir de ce travail. D'une part, dans des zones fortement soumises à des contraintes agronomiques de résistances ou de maladies, le sorgho semble particulièrement approprié. Il permet de promouvoir la diversité sans augmenter la technicité de la conduite culturale pour les agriculteurs déjà en difficulté. Cependant, sa marge brute reste perçue comme moins intéressante que d'autres cultures de diversification ce

²⁹ Les déterminants de l'adoption d'innovations agricoles sont développés dans la revue de littérature dans le Chapitre I

qui peut limiter son adoption. Le développement d'une filière spécifique sorgho pourrait permettre de lever ce blocage. D'autre part, face à l'importance de la gestion de la fertilisation azotée dans les zones de coteaux ou de sols calcaires, le colza et le pois pourraient être mis en place pour leur effet rotationnel. Toutefois, ces deux cultures présentent des blocages forts du point de vue technique mais aussi amplifient le risque de production perçu par les agriculteurs. Un apport d'informations ciblé sur ces deux productions semble nécessaire afin de réconcilier les agriculteurs avec leur conduite culturale et permettre leur introduction dans les rotations. Il apparaît donc qu'au vu de la variété des contextes de production et de l'hétérogénéité des préférences des agriculteurs, différents systèmes de culture verront donc le jour. Cela permettra d'accroître la diversité des agroécosystèmes à l'échelle du Sud-Ouest de la France tout en répondant aux exigences réglementaires et aux attentes sociétales d'une agriculture durable.

Bibliographie

- Abdulai, A., Huffman, W., 2014. The Adoption and Impact of Soil and Water Conservation Technology: An Endogenous Switching Regression Application. *Land Economics* 90: 26-43.
- Adamowicz, W., Boxall, P., Williams, M., Louviere, J., 1998. Stated Preference Approaches for Measuring Passive Use Values: Choice Experiments and Contingent Valuation. *American Journal of Agricultural Economics* 80: 64-75.
- Adesina, A. A., Baidu-Forson, J., 1995. Farmers' perceptions and adoption of new agricultural technology: evidence from analysis in Burkina Faso and Guinea, West Africa. *Agricultural Economics* 13: 1-9.
- Alpizar, F., Carlsson, F., Martinsson, P., 2001. Using Choice Experiments for Non-Market Valuation.
- Alriksson, S., Öberg, T., 2008. Conjoint analysis for environmental evaluation. *Environmental Science and Pollution Research* 15: 244-257.
- Arvalis, 2013. Grandes cultures 2013-2014 Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.gard.chambagri.fr/fileadmin/Pub/CA30/Internet_CA30/Documents_Internet_CA30/Grandes_Cultures/2013_Octobre_Arvalis.pdf.
- Asrat, S., Yesuf, M., Carlsson, F., Wale, E., 2010. Farmers' preferences for crop variety traits: Lessons for on-farm conservation and technology adoption. *Ecological Economics* 69: 2394-2401.
- Baffoe-Asare, R., Danquah, J. A., Annor-Frempong, F., 2013. Socioeconomic Factors Influencing Adoption of Codapek and Cocoa High-tech Technologies among Small Holder Farmers in Central Region of Ghana. *American Journal of Experimental Agriculture* 3.
- Biol, E., Karousakis, K., Koundouri, P., 2006. Using a choice experiment to account for preference heterogeneity in wetland attributes: The case of Cheimaditida wetland in Greece. *Ecological Economics* 60: 145-156.
- Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées, 2011. Références technico-économiques en systèmes de grandes cultures Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.mp.chambagri.fr/IMG/pdf/references_grandescultures_2009.pdf.
- Feder, G., Just, R. E., Zilberman, D., 1985. Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic development and cultural change* 33: 255-298.
- Feder, G., Umali, D. L., 1993. The adoption of agricultural innovations: A review. *Technological Forecasting and Social Change* 43: 215-239.
- Fernandez-Cornejo, J., Beach, E. D., Huang, W.-Y., 1994. The adoption of IPM techniques by vegetable growers in Florida, Michigan and Texas. *Journal of agricultural and applied economics* 26: 158-172.
- FranceAgriMer, 2015. Note de conjoncture : Turbulences sur le marché du blé dur ? Retour sur la campagne 2014/2015 et perspectives 2015/16. Consulté le : 26/01/2016, Disponible sur : <http://www.franceagrimer.fr/content/download/39301/363815/file/06%20bis%20-%20Note%20de%20conjoncture%20march%C3%A9%20du%20bl%C3%A9%20dur.pdf>.
- Gedikoglu, H., McCann, L., 2007. Impact of off-farm income on adoption of conservation practices, *American Agricultural Economics Association Annual Meeting*, Portland, OR.
- Gedikoglu, H., McCann, L., Artz, G., 2011. Off-Farm Employment Effects on Adoption of Nutrient Management Practices. *Agricultural and Resource Economics Review* 40: 293.
- Gillespie, J., Kim, S., Paudel, K., 2007. Why don't producers adopt best management practices? An analysis of the beef cattle industry. *Agricultural Economics* 36: 89-102.
- Hanley, N., Mourato, S., Wright, R. E., 2001. Choice Modelling Approaches: A Superior Alternative for Environmental Valuation? *Journal of Economic Surveys* 15: 435-462.
- Hanley, N., Wright, R., Adamowicz, V., 1998. Using Choice Experiments to Value the Environment. *Environmental and Resource Economics* 11: 413-428.
- Hardaker, J., Huirne, R., Anderson, J., Lien, G., 2004. *Coping with risk in agriculture*. CABI Publishing.
- Hensher, D. A., Johnson, L. W., 1981. *Applied discrete choice modelling*. Wiley.

- Johnson, R. J., Doye, D., Lalman, D. L., Peel, D. S., Raper, K. C., Chung, C., 2010. Factors affecting adoption of recommended management practices in stocker cattle production. *Journal of agricultural and applied economics* 42: 15-30.
- Just, R. E., 2000. Some guiding principles for empirical production research in agriculture. *Agricultural and Resource Economics Review* 29: 138-158.
- Kivlin, J. E., Fliegel, F. C., 1967. Differential perceptions of innovations and rate of adoption. *Rural Sociology* 32: 78-91.
- Knowler, D., Bradshaw, B., 2007. Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy* 32: 25-48.
- Lancaster, K. J., 1966. A new approach to consumer theory. *The journal of political economy* 74: 132-157.
- Louviere, J., Hensher, D., Swait, J., 2000. *Stated choice methods: analysis and applications*. Cambridge University Press.
- Machina, M. J., Schmeidler, D., 1992. A More Robust Definition of Subjective Probability. *Econometrica* 60: 745-780.
- Marra, M., Pannell, D. J., Abadi Ghadim, A., 2003. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve? *Agricultural Systems* 75: 215-234.
- Mercer, D. E., 2004. Adoption of agroforestry innovations in the tropics: A review. *Agroforestry Systems* 61-62: 311-328.
- Merrien, A., Arjaure, G., Carof, M., Leterme, P., 2013. Freins et motivations à la diversification des cultures dans les exploitations agricoles : étude de cas en Vendée. *OCL* 20.
- Norris, P. E., Kramer, R. A., 1990. The elicitation of subjective probabilities with applications in agricultural economics. *Review of Marketing and Agricultural Economics* 58: 127-147.
- Paudel, K. P., Gauthier, W. M., Westra, J. V., Hall, L. M., 2008. Factors influencing and steps leading to the adoption of best management practices by Louisiana dairy farmers. *Journal of agricultural and applied economics* 40: 203.
- Paxton, K. W., Mishra, A. K., Chintawar, S., Roberts, R. K., Larson, J. A., English, B. C., Lambert, D. M., Marra, M. C., Larkin, S. L., Reeves, J. M., 2011. Intensity of precision agriculture technology adoption by cotton producers. *Agricultural and Resource Economics Review* 40: 133.
- Prokopy, L. S., Floress, K., Klotthor-Weinkauff, D., Baumgart-Getz, A., 2008. Determinants of agricultural best management practice adoption: Evidence from the literature. *Journal of Soil and Water Conservation* 63: 300-311.
- Ruud, P., 1996. Approximation and simulation of the multinomial probit model: an analysis of covariance matrix estimation. *Department of Economics, Berkeley*: 1-17.
- Savage, L., 1972. *The foundations of statistics*. DoverPublications. com.
- Smale, M., Just, R. E., Leathers, H. D., 1994. Land Allocation in HYV Adoption Models: An Investigation of Alternative Explanations. *American Journal of Agricultural Economics* 76: 535-546.
- Tobin, J., 1958. Estimation of relationships for limited dependent variables. *Econometrica: journal of the Econometric Society*: 24-36.
- Tosakana, N. S. P., Van Tassell, L. W., Wulfhorst, J. D., Boll, J., Mahler, R., Brooks, E. S., Kane, S., 2010. Determinants of the adoption of conservation practices by farmers in the Northwest Wheat and Range Region. *Journal of Soil and Water Conservation* 65: 404-412.
- Train, K., 2009. *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge university press.
- Useche, P., Barham, B. L., Foltz, J. D., 2013. Trait-based Adoption Models Using Ex-Ante and Ex-Post Approaches. *American Journal of Agricultural Economics* 95: 332-338.
- Walker, J., Ben-Akiva, M., 2002. Generalized random utility model. *Mathematical Social Sciences* 43: 303-343.

Chapitre V

LA MONOCULTURE DE MAÏS

FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET

A L'EVOLUTION DES MARCHES

SOMMAIRE

Introduction.....	167
V.1) La monoculture de maïs du Sud-Ouest de la France : performances et enjeux perçus par les maïsiculteurs	170
V.1.1) Les performances agronomiques et économiques de la monoculture de maïs.....	170
V.1.1.1) L'échantillon de maïsiculteurs enquêtés	170
V.1.1.2) La monoculture et les pratiques associées au sein de l'échantillon.....	172
V.1.2) Evolution du contexte de production : perceptions des maïsiculteurs	173
V.1.2.1) Perceptions du changement climatique et de ses conséquences sur la production de maïs	173
V.1.2.2) Perceptions de l'évolution du contexte réglementaire	176
V.2) Mise en situation des maïsiculteurs face à l'évolution de leur contexte de production : conception d'une expérience de <i>choice modelling</i>	177
V.2.1) Mise en situation	178
V.2.2) Conception des expériences de choix : attributs et niveaux	179
V.3) Evolution des assolements des maïsiculteurs face à des scénarii climatiques et économiques	181
V.3.1) Adoption et intensité d'adoption des innovations	181
V.3.2) Stratégies d'adaptation.....	186
V.4) Eléments explicatifs des résultats du <i>choice modelling</i>	190
V.4.1) Une contrainte sur l'eau contrastée	190
V.4.1.1) Disponibilité, origine et gestion de l'eau d'irrigation	190
V.4.1.2) Sécheresses et restrictions de consommation en eau d'irrigation.....	192
V.4.2) Systèmes de production des agriculteurs de l'enquête.....	193
V.4.2.1) Contraintes liées à la présence d'autres ateliers de production sur l'exploitation ...	194
V.4.3) Préférences pour les productions alternatives.....	195
Conclusion	197

Introduction

Le maïs est la céréale la plus produite au monde. En France, sa production se concentre dans l'Est (Alsace) et dans le Sud-Ouest (Aquitaine et Midi-Pyrénées) (Figure 22). Entre 2006 et 2011 plus de la moitié de la sole de maïs était en monoculture (Agreste Aquitaine, 2013). Le pédoclimat favorable permet sa production de manière intensive et les débouchés sont nombreux grâce à une filière organisée : alimentation animale, amidonnerie, semoulerie, biocarburants, etc. Cependant, face au changement climatique, la monoculture de maïs apparaît comme un système de culture particulièrement affecté et peu résilient. Tout d'abord du point de vue de la ressource en eau, différentes études sur le changement climatique indiquent un accroissement du nombre des épisodes de sécheresse et les scénarii de perspectives de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne « Garonne 2050 » prévoient une baisse des précipitations moyennes de l'ordre de 15% (AEAG, 2014). La monoculture de maïs du Sud-Ouest est irriguée et ce, principalement durant la période estivale, alors que le niveau des nappes phréatiques est au plus bas. En considérant une stabilité de la demande, un déficit de deux milliards de mètres cubes par an pour la satisfaction des besoins actuels de l'industrie, de l'agriculture et l'alimentation en eau potable serait observé à l'horizon 2050 en France selon l'observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC, 2009). La raréfaction de la ressource en eau risque de réduire fortement les potentiels de rendement. Les pertes de rendement liées aux sécheresses pourraient atteindre 23% selon les experts (Debaeke et Bertrand, 2008). D'autre part, dans ce contexte de raréfaction de la ressource en eau, les collectivités du bassin versant de l'Adour-Garonne s'attendent à devoir faire face à une augmentation de la température de 2 à 6 °C d'ici 2050. A l'échelle européenne, les prévisions du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) envisagent une augmentation de la température de 2 à 4 °C d'ici 2100 par rapport au début du XX^e siècle (ONERC, 2009). Cette hausse de la température affecte bien évidemment la demande en eau de la culture mais aussi les potentiels de rendement car les températures hautes (supérieures à 32 °C) nuisent à l'efficacité de la photosynthèse.

Les enjeux liés à la ressource en eau sont aussi qualitatifs. La production intensive de maïs en monoculture est, depuis de nombreuses années, remise en question par les agronomes (Lacroix, 1995). Entre autre chose, la non-alternance des cultures facilite l'implantation des adventices et ravageurs. Cette situation amène les agriculteurs à avoir recours à une utilisation récurrente de pesticides. Parmi eux, les herbicides sont plus spécifiquement visés car leurs substances actives sont particulièrement rémanentes et contaminent les milieux aquatiques. En 2011, dans les secteurs hydrographiques du Sud-Ouest de la France, on a détecté des contaminations de pesticides dans les nappes phréatiques et des concentrations moyennes en pesticides supérieures au seuil réglementaire de potabilisation dans les cours d'eau (SOeS *et al.*, 2014) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable., Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Dans le cadre du verdissement de la PAC 2014-2020, l'Europe cherche à limiter la production céréalière en monoculture et conditionne 30% des aides directes à des mesures pour la protection et l'entretien de l'environnement. Les agriculteurs doivent, entre autres, justifier d'une diversification de leur assolement. Trois cultures minimum doivent être présentes sur l'exploitation dont la principale ne doit pas dépasser 75 % de la SAU. On estime aujourd'hui que 20% des exploitations qui ne la respectent pas ont une sole composée à plus de 70 % de maïs (Fuzeau *et al.*, 2012).

La rentabilité de ce système de culture explique son maintien dans certaines parties du territoire malgré les contraintes climatiques et réglementaires. En effet, la marge brute actuelle du maïs est comprise entre 800 à 1400 €/ha dans le Sud-Ouest (Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées, 2009, Chambre d'Agriculture des Landes, 2015). Cependant, la tendance haussière du prix du pétrole depuis plusieurs années affecte les charges de production des agriculteurs (fertilisation, énergie) déjà élevées en production de maïs (environ 600 à 800 €/ha). En parallèle, le marché des matières premières agricoles est très volatil. Dans ce contexte, la production spécialisée de maïs est de plus en plus risquée.

Ce nouveau contexte économique, réglementaire et climatique risque de modifier, dans un futur proche, les pratiques de production des agriculteurs. Les acteurs de la filière ainsi que les décideurs publics s'interrogent quant à l'évolution de ce système. Les maïsiculteurs vont devoir faire face à une refonte partielle ou totale de leur système de culture, en particulier en introduisant plus de diversification dans les cultures de l'assolement. Face à l'hétérogénéité des territoires de production du maïs, touchés différemment par les conséquences du changement climatique, il est aujourd'hui difficile d'évaluer l'évolution de ce système de culture dans les années à venir. Dans un contexte de production plus contraignant, quelles seront les stratégies adoptées par les maïsiculteurs ?

L'objectif de ce chapitre est d'analyser les évolutions des assolements des maïsiculteurs spécialisés selon différents scénarii de changements de contexte de production à la fois du point de vue climatique, économique et réglementaire. Pour cela, nous présentons, dans la section V.1, les performances agronomiques et économiques de la monoculture de maïs actuelle. Nous nous intéressons aussi aux perceptions de l'évolution du contexte de production des maïsiculteurs concernant d'une part le changement climatique et ses conséquences et d'autre part la réglementation et la gestion de la ressource en eau. La section V.II présente la conception d'une expérience de *choice modelling* pour analyser l'évolution des assolements des maïsiculteurs face à des contextes de production contraignants. Puis, la section V.III expose les résultats de l'expérience pour enfin, conclure en section V.4 sur les éléments explicatifs du comportement des agriculteurs face à l'évolution de leur contexte de production.

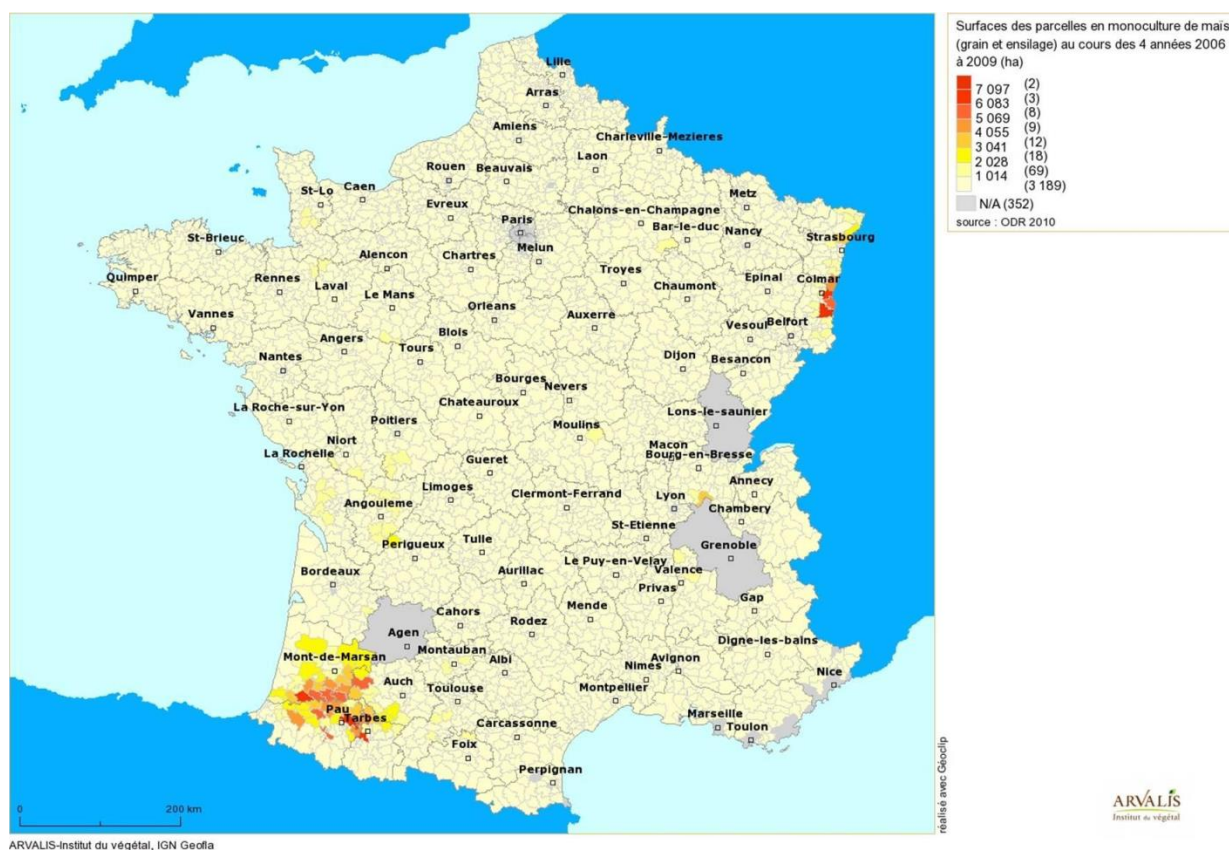


Figure 22 : Zones de production de la monoculture de maïs en France

V.1) La monoculture de maïs du Sud-Ouest de la France : performances et enjeux perçus par les maïsiculteurs

V.1.1) Les performances agronomiques et économiques de la monoculture de maïs

V.1.1.1) L'échantillon de maïsiculteurs enquêtés

Une liste d'agriculteurs producteurs en monoculture de maïs a été fournie par les coopératives Maïsadour, Terres du Sud et Vivadour. Ces agriculteurs produisent sur au moins la moitié de leur sole céréalière de la monoculture de maïs. Au sein de cette liste, un échantillon a été sélectionné aléatoirement pour les enquêtes. Les enquêtes se sont déroulées de janvier à décembre 2014. Tout comme les agriculteurs enquêtés dans le système blé dur sur tournesol, les exploitants producteurs de maïs ont été interrogés en groupes ou individuellement dans des conditions d'enquête identiques. Ils ont complété individuellement le questionnaire composé de quatre parties principales : i) description de l'exploitant et de son exploitation ; ii) système de culture actuel et difficultés rencontrées ; iii) expérience *de choice modelling* sur l'évolution des assolements dans différents scénarii climatiques et économiques et enfin ; iv) perception de l'évolution du contexte de production (réglementation et changement climatique). Au total, 89 maïsiculteurs ont été enquêtés sur le territoire des trois coopératives.

Une typologie spatiale de la sole de maïs a été réalisée par Arvalis Institut du Végétal à l'échelle française, puis par la coopérative Vivadour pour le Sud-Ouest (Projet Maiseo³⁰). Cette segmentation des zones de production du Sud-Ouest a été réalisée grâce à des entretiens chez des agriculteurs coopérateurs afin de collecter des données d'ordres agronomiques, pédoclimatiques et technico-économiques. Ce travail permet d'identifier des zones homogènes en termes de pratiques agronomiques liées au type de sol et aux conditions climatiques. Les exploitants de l'enquête sont ainsi regroupés dans trois zones de production : la Vallée de l'Adour et coteaux du Béarn, la Vallée de la Garonne et la zone de l'Armagnac nommées par la suite Adour, Garonne et Armagnac (Figure 23).

Ces trois zones ont des caractéristiques très distinctes. La zone Adour est vaste, s'étendant du piémont pyrénéen (coteaux du Béarn) à la vallée de l'Adour. Les sols varient d'alluvions limoneuses dans le piémont à des sols limono-argileux dans les plaines. Cette zone bénéficie d'une forte pluviométrie grâce à l'influence de l'Océan Atlantique et l'accès à l'eau est peu limitant. Les sols, peu drainants, limitent l'accès aux parcelles lors des pluies printanières. De plus, les exploitants peuvent être confrontés à des gelées tardives dans les zones de piémont. Dans la zone Armagnac les sols sont hétérogènes de sableux à argilo-calcaires. Tout comme dans la zone Adour, les gelées tardives sont fréquentes et les pluies printanières peuvent bloquer les agriculteurs lors des semis. L'accès à l'eau est limité et les pluies peu nombreuses ce qui réduit les potentiels de rendement. Enfin, la zone de la Garonne bénéficie de sols d'alluvions profondes avec une teneur en matière organique élevée. L'accès à l'eau est facilité grâce à des nappes phréatiques peu profondes et des restrictions très rares. Le cumul de températures est élevé dans cette zone.

³⁰ Le projet MAÏSEO vise à proposer un système « de gestion de précision » des apports d'eau aux agriculteurs par l'application d'une génétique optimisée pour sa résistance au stress hydrique et par l'utilisation d'outils informatiques pour l'accompagnement à la mise en place des cultures, puis pour le pilotage de l'irrigation. Le porteur du projet est la coopérative Vivadour.

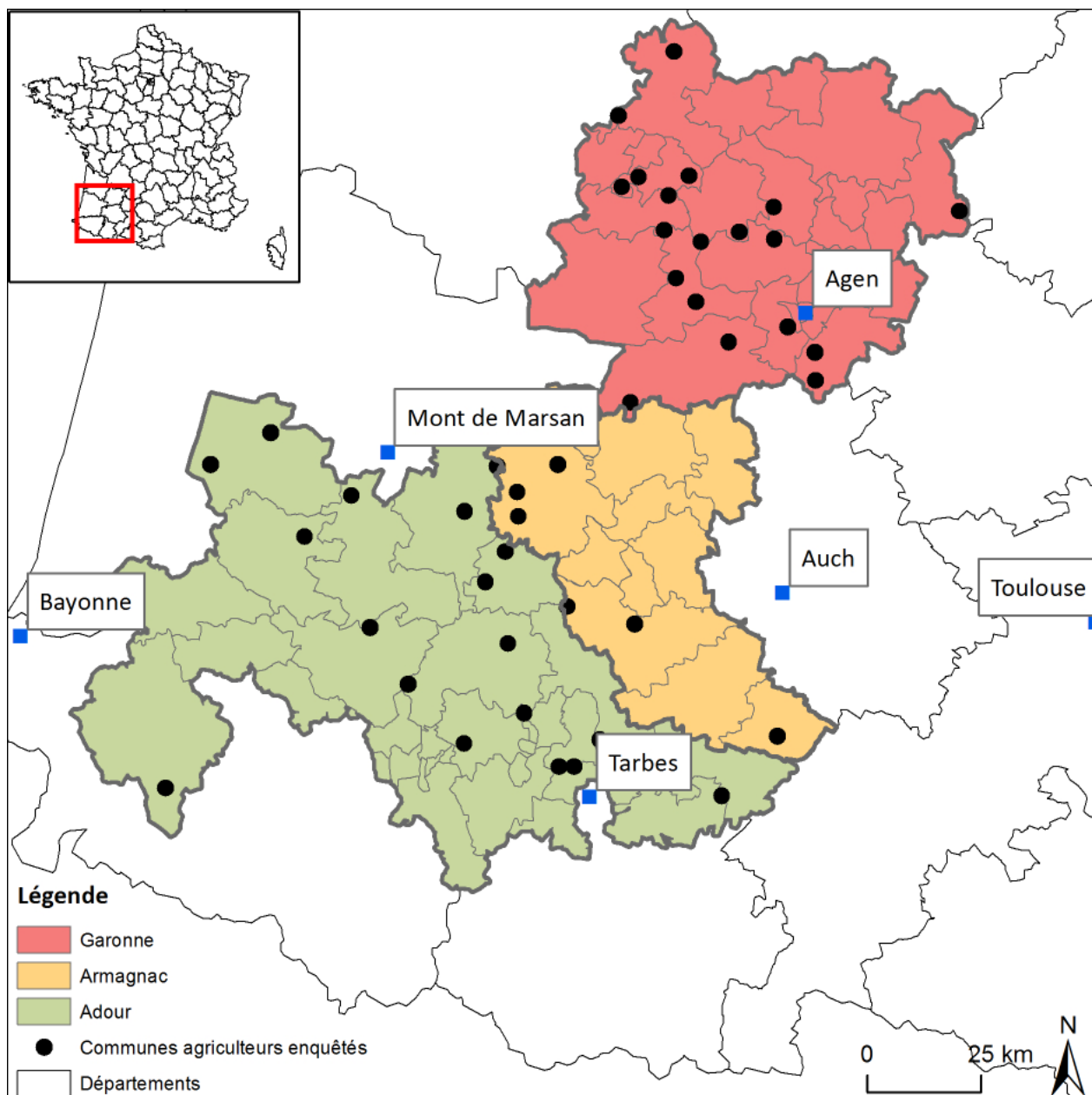


Figure 23 : Terrain d'étude et zones de production

V.1.1.2) La monoculture et les pratiques associées au sein de l'échantillon

Le maïs du Sud-Ouest est principalement cultivé pour son grain contrairement aux régions d'élevage, comme la Bretagne, où il est utilisé pour le fourrage du bétail. Chaque variété de maïs grain est définie par son niveau de précocité qui correspond à la durée du cycle de développement de la plante entre le semis et la récolte. Un indice de précocité est évalué à partir du besoin en unité de chaleur de la plante. Plus il est faible, plus le cycle de développement est court et plus le maïs est précoce. Les variétés sont ainsi réparties entre six groupes : très précoces, précoces, semi-précoces, semi-tardifs, tardifs et très tardifs en fonction de leur indice de précocité. Dans les régions Midi-Pyrénées et Aquitaine, où le cumul des températures est important, le maïs tardif ou très tardif reste majoritairement produit (Arvalis, 2013). Ces variétés sont considérées comme plus productives que les maïs plus précoces. Cependant, le cycle de développement long du maïs tardif nécessite une implantation au début du printemps ce qui peut être rendu difficile par des pluies printanières ou des gelées tardives. De plus, la période de floraison du maïs tardif peut coïncider avec des périodes de sécheresse et fortement grever le niveau de rendement de ces variétés. Malgré leur potentiel de rendement plus faible, les variétés plus précoces de maïs présentent des avantages pour les maïsiculteurs. Premièrement, lorsqu'elles sont semées en même temps que les variétés tardives, elles atteignent plus rapidement le stade sensible de la floraison et peuvent éviter les épisodes de sécheresse. De plus, le maïs précoce est mature plus tôt permettant soit, de le laisser sécher au champ pour limiter les frais de séchage soit, de permettre l'implantation d'intercultures pour couvrir les sols l'hiver. Deuxièmement, elles peuvent être semées plus tard dans les zones où l'implantation printanière pose problème (accès à la parcelle ou gel).

Au sein de l'échantillon enquêté, le maïs en monoculture représente, en moyenne, 58% de la sole totale des agriculteurs dont plus de 73 % de maïs tardif (Tableau 32). Sur l'ensemble de l'échantillon, les agriculteurs déclarent un rendement moyen de 116 q/ha. Ce rendement est supérieur au rendement moyen du maïs irrigué en Aquitaine qui est de 93 q/ha (Irribarren, 2015). Cependant, la campagne 2013 a été difficile pour les producteurs de maïs avec de forts épisodes pluvieux lors des périodes de semis et des événements climatiques extrêmes dans certaines zones productrices de maïs (inondations et orages de grêle) ce qui peut expliquer cet écart à la moyenne statistique des producteurs de maïs. La marge brute moyenne des agriculteurs enquêtés est proche de 1 000 €/ha. Cependant, au sein de l'échantillon les niveaux de marge brute sont très hétérogènes avec un écart type important de 463 €/ha qui correspond à un coefficient de variation de 47 %. Cette variabilité observée est conforme aux données disponibles sur les niveaux de marges brutes dans les différentes régions qui varient de 700 €/ha en Midi Pyrénées en moyenne à plus de 1400 €/ha dans certains départements d'Aquitaine.

La moitié des agriculteurs de l'échantillon sont soumis à des quotas de consommation en eau d'irrigation. Le niveau moyen du quota d'eau est de 1 900 m³/ha. Sachant que la consommation moyenne d'eau par hectare de maïs tardif est de 1 660 m³/ha, ce niveau, en moyenne, ne paraît pas contraignant actuellement. Mais il faut noter que les niveaux de quota autorisé et de consommation en eau sont fortement hétérogènes au sein de l'échantillon (écart-type de 620 et 580 m³/ha respectivement). Enfin, concernant la répartition spatiale des sièges d'exploitation, presque la moitié se situe dans la Vallée de la Garonne, un tiers dans la Vallée de l'Adour et 15 % dans la zone de l'Armagnac.

Tableau 32 : Description du système en monoculture de maïs actuel

Caractéristiques	Moyenne	Ecart-type
Maïs total / SAU (%)	58,8	-
Proportion de maïs tardif / maïs total (%)	73,1	-
Rendement maïs tardif déclaré (q/ha)	116,7	17,9
Marge maïs tardif déclarée (€/ha)	986,1	463,3
Présence de quota (Oui) (%)	48,3	-
Niveau du quota (m ³ /ha)	1906,4	620,9
Consommation (m ³ /ha)	1666,9	588,9
Zone de production (%) :		
Adour	34,8	-
Armagnac	17,9	-
Garonne	47,2	-

Source : Enquête 2014, n=89

V.1.2) Evolution du contexte de production : perceptions des maïsiculteurs

V.1.2.1) Perceptions du changement climatique et de ses conséquences sur la production de maïs

Pour faire évoluer les systèmes de culture face au changement climatique, les agriculteurs doivent avoir observé une réelle variation dans les conditions de production et être capable d'apprécier les conséquences (Gbetibouo, 2009). Au sein de l'échantillon enquêté, 74 % des agriculteurs ont déclaré que « le changement climatique est une réalité ».

Un modèle de régression de type *logit* permet d'analyser les caractéristiques des agriculteurs « climatosceptiques », c'est-à-dire qui déclarent ne pas percevoir le changement climatique. La variable dépendante, est binaire et indique si oui ou non (1=oui, 0=non) l'exploitant perçoit le changement climatique (variable *Percep CC*). La probabilité que l'individu *i* perçoive le changement climatique, c'est-à-dire la probabilité que la variable soit égale à 1, est fonction de X_i le vecteur des variables explicatives pour l'individu *i* et β le vecteur de paramètres associé. La probabilité est exprimée sous la forme d'une fonction de répartition logistique (Train, 2009) (24).

$$P_i(1|X_i) = \frac{e^{\beta X_i}}{1 + e^{\beta X_i}} \quad (24)$$

Le modèle testé présente un R^2 ajusté de 0,26. Dans la littérature, on considère qu'un R^2 ajusté haut, supérieur à 0,2, représente un fort pouvoir explicatif du modèle (Hensher et Johnson, 1981). Certaines caractéristiques des agriculteurs et de leur exploitation affectent significativement la perception du changement climatique(25).

$$\beta X_i = \beta_1 \text{ Age} + \beta_2 \text{ Expérience} + \beta_3 \text{ Total Land} + \beta_4 \text{ Presence quota} + \beta_5 \text{ Consommation} + \beta_6 \text{ Zone} \quad (25)$$

Les variables explicatives significatives de la perception du changement climatique, X_i , comprennent à la fois des caractéristiques de l'exploitant mais aussi de son exploitation. Les agriculteurs les plus expérimentés semblent plus percevoir le changement climatique (effet positif de la variable *Experience*), alors que les plus âgés y sont moins sensibles (effet négatif de la variable *Age*). Quatre variables descriptives de l'exploitation affectent la sensibilité des agriculteurs à l'évolution du climat : la SAU (variable *Total Land*), la présence de quota d'irrigation (variable *Presence quota*), le niveau de consommation en eau moyen pour l'irrigation d'un hectare de maïs (variable *Consommation*) et, enfin, la zone de production (variable *Zone*) (Tableau 33).

Ainsi, les agriculteurs les plus expérimentés disposent de plus d'informations et de références, sur plusieurs campagnes, et sont plus conscients du changement climatique. Pour les caractéristiques de l'exploitation, la taille affecte négativement la perception du changement climatique. La disponibilité et la gestion de la ressource en eau apparaissent également comme significativement liées à la perception du changement climatique. Le fait d'être soumis à un quota sur l'irrigation, quel que soit son niveau, impacte négativement la perception du changement climatique. A l'inverse, le niveau de consommation moyen en eau, influe significativement et négativement. Ces résultats sont en adéquation avec la littérature qui indique que les exploitants disposant d'irrigation non restrictive, c'est-à-dire pouvant consommer beaucoup d'eau d'irrigation sans quota, sont plus résilients au changement climatique (Gbetibouo, 2009). Enfin, pour la zone de production, on remarque que les agriculteurs ayant une exploitation dans l'Armagnac ou la Vallée de l'Adour seraient plus amenés à percevoir le changement climatique que les agriculteurs de la Vallée de la Garonne. Il s'agit ici sûrement de différences climatiques à l'échelle des petites régions agricoles. Le changement climatique peut être plus ou moins perceptible selon les zones. Des trois zones de production étudiées, la zone de la Garonne dispose du plus haut niveau de pluviométrie et d'un accès à l'eau peu limitant, les exploitants de cette zone sont donc moins contraints par les aléas du climat liés à l'eau.

Tableau 33 : Résultats du modèle *logit* sur la perception du changement climatique

Caractéristiques	Coef.	Std. Err	P> z
Age	-0,036**	0,012	0,002
Expérience	0,049***	0,013	0,000
Total Land	-0,012***	0,002	0,000
Présence de quota = Oui	0,587*	0,238	0,014
Consommation	-0,001***	0,000	0,000
Zone = Adour	2,113***	0,401	0,000
Zone = Armagnac	1,819***	0,289	0,000
Zone = Garonne	Ref.	-	-
Constante	3,181***	0,609	0,000
N		83	
Mac Fadden R^2 ajusté		0,268	
LL		-316,234	

* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

Dans un second temps, les exploitants ont indiqué les conséquences actuellement visibles du changement climatique sur leur exploitation. Lors des entretiens exploratoires, les experts et les

agriculteurs avaient déjà indiqué une liste d'effets observables du changement climatique. Suite à ces entretiens, une liste de cinq effets a été retenue puis présentée aux agriculteurs dans le questionnaire : l'augmentation des événements extrêmes (tempêtes, sécheresses, inondations, etc.) ; l'augmentation de la température moyenne ; la diminution de la température moyenne ; la diminution de la ressource en eau liée à la baisse des précipitations annuelles ; le décalage des saisons avec des printemps et des étés plus tardifs.

Les résultats montrent que plus de 90 % des agriculteurs enquêtés pensent que le changement climatique se traduit/traduira par une augmentation des événements extrêmes et plus de 50 % par une augmentation de la température. En revanche, le décalage des saisons et la diminution de la ressource en eau ne sont perçus que par, respectivement, 14 et 12 % des agriculteurs. Moins de 3 % des agriculteurs croient à une diminution de la température. Un test d'indépendance (test de Chi²) a permis de déterminer que la zone de production affecte significativement les perceptions des agriculteurs sur les conséquences du changement climatique (Figure 24). Ainsi, l'hypothèse d'indépendance des variables peut être rejetée avec un seuil de confiance de 5 % pour trois des cinq effets listés : l'augmentation de la température, le décalage des saisons et la diminution de la ressource en eau. Pour les maïsiculteurs de la vallée de la Garonne, un décalage des saisons semble plus probable que dans les autres zones. Dans la Vallée de l'Adour, les agriculteurs semblent plus sensibles à une hausse des températures que les agriculteurs des autres zones. Enfin, dans la zone de l'Armagnac la proportion d'agriculteurs qui pensent faire face à une réduction de la ressource en eau liée au changement climatique est plus importante que dans les autres zones de production.

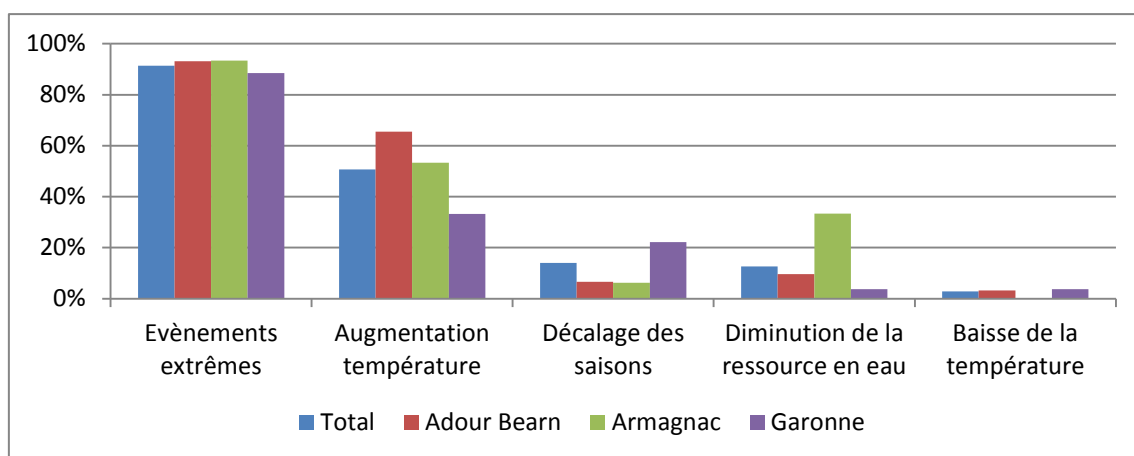


Figure 24: Conséquences du changement climatique perçues par les maïsiculteurs

Face au changement climatique, les maïsiculteurs ont aussi indiqué qu'elles sont ou seront les conséquences sur leur système de culture. Principalement, ils pensent qu'ils subiront une perte de rendement liée à l'augmentation du stress hydrique sur leur culture (60 % de l'échantillon). Près de 40% des agriculteurs estiment que les variétés actuellement produites, c'est-à-dire principalement des variétés tardives de maïs, ne seront plus adaptées au climat. Environ 20 % de l'échantillon déclare qu'il sera plus difficile d'accéder aux parcelles lors des chantiers (semis ou récolte notamment). Ces difficultés d'accès sont principalement liées au décalage des saisons évoqué par les agriculteurs. Les semis seraient réalisés durant des périodes plus pluvieuses ce qui peut empêcher les agriculteurs d'accéder aux champs. Enfin, près de 20 % des agriculteurs pensent que leurs pratiques culturales actuelles ne seront plus adaptées. Les agriculteurs ont aussi indiqué, parmi une liste de six

possibilités, les stratégies qu'ils ont ou pensent mettre en place pour adapter leur système de culture. La majorité des agriculteurs déclarent qu'ils mettront en place de nouvelles variétés (58 %) ou de nouvelles cultures (51 %). En termes de pratiques culturales, un tiers des exploitants changeront de travail du sol et 23 % de stratégie d'irrigation. Enfin, plus de 20 % des agriculteurs diversifieront leurs productions avec la mise en place d'un nouvel atelier.

V.1.2.2) Perceptions de l'évolution du contexte réglementaire

La diminution de la ressource en eau liée à l'évolution du climat augmente la tension entre les différents puits de consommation (industrie, domestique et agricole). Pour assurer une gestion équilibrée et économe, les mesures liées au contrôle de la consommation en eau risquent de se multiplier à l'avenir (Prospective Garonne 2050).

La forte consommation en eau d'irrigation du maïs rend les exploitants particulièrement sensibles à d'éventuelles mesures de contrôle et de restriction de la consommation en eau. Plusieurs questions liées à l'évolution de la réglementation sur l'eau ont été posées aux agriculteurs. Dans l'enquête, plus de 90% des agriculteurs pensent qu'une réglementation leur sera imposée dans les cinq années à venir, cependant, seule la moitié d'entre eux pensent qu'une telle réglementation est nécessaire. Les exploitants enquêtés pensent que cette réglementation comprendra une limitation de la consommation en eau et une hausse du prix de l'eau. Concernant la consommation, en moyenne, les exploitants pensent qu'elle sera limitée à 1 420 m³/ha, ce qui représente, en moyenne sur l'échantillon, une baisse de 25 % du niveau du quota actuel. Ces perceptions sont supérieures au niveau de réduction de 15 % de l'irrigation proposé dans les travaux de protective de l'Agence de l'eau (AEAG, 2014). Les agriculteurs pensent que le prix de l'eau sera augmenté en moyenne de 25 % par rapport au niveau actuel.

A long terme, une baisse de la disponibilité en eau réduira les prélèvements pour l'irrigation des agriculteurs. Les pertes de rendement liées au stress hydrique sont difficiles à évaluer et dépendent du contexte de production des agriculteurs (climat, type de sol, pratiques culturales, etc.) (Menapace *et al.*, 2014). En utilisant la méthode des distributions de fréquences par intervalles (Hardaker *et al.*, 2004), les agriculteurs ont déclaré leurs distributions de rendements espérés en maïs tardif pour deux niveaux de consommation en eau : 1 800 et 1 200 m³/ha. La première limite de 1 800 m³/ha s'approche du quota moyen actuel de l'échantillon. La seconde limite, de 1 200 m³/ha traduit une restriction importante de l'irrigation pour les agriculteurs. On constate que les distributions de rendement sont différentes en fonction du niveau de quota autorisé (Figure 25). L'espérance de rendement moyen des agriculteurs avec une consommation maximale de 1 800 m³/ha est de 113,7 q/ha. Ce rendement est très proche du rendement moyen directement déclaré par les agriculteurs de l'échantillon (116 q/ha). L'espérance de rendement moyen des agriculteurs avec une consommation limitée à 1 200 m³/ha est en revanche de 105,2 q/ha. Une diminution de l'irrigation de l'ordre de 600 m³/ha entraîne une baisse de l'espérance de rendement moyen de près de 10 quintaux en moyenne sur l'échantillon. Par ailleurs, la diminution de la disponibilité en eau n'augmente pas la variabilité du rendement espéré. En moyenne, l'écart-type des distributions de rendement des agriculteurs sur 10 ans est de près de 5 quintaux pour 1 800 m³/ha comme pour 1 200 m³/ha de quota.

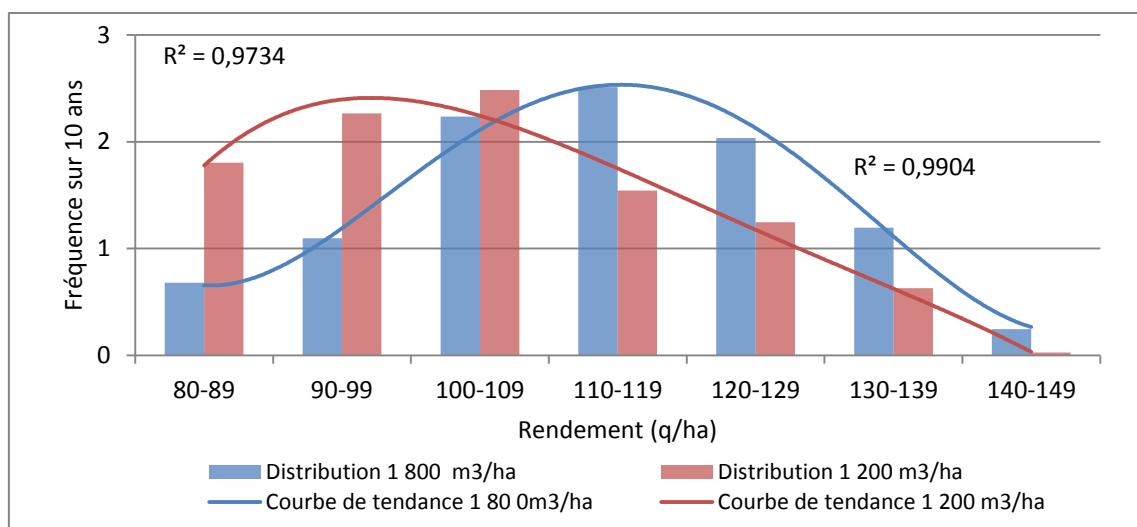


Figure 25 : Distributions moyennes de rendements en fonction du niveau de quota autorisé

Les agriculteurs enquêtés sont conscients que leur contexte de production risque d'évoluer dans un futur proche et d'affecter leur production de maïs. L'ensemble de ces résultats valide donc l'intérêt d'analyser le comportement d'adaptation des maïsiculteurs pour les accompagner dans ce changement. Ainsi, il faut appréhender, d'une part, la sensibilité des maïsiculteurs aux différentes caractéristiques du contexte de production (économiques, climatiques ou réglementaires), et d'autre part, évaluer l'effet sur leur choix de production.

V.2) Mise en situation des maïsiculteurs face à l'évolution de leur contexte de production : conception d'une expérience de *choice modelling*

Même si la majorité des exploitants constatent un changement climatique et perçoivent ses conséquences sur la monoculture de maïs, dans le contexte de production actuel, ce système de culture évolue peu. Ceci s'explique par la forte rentabilité du système et le peu de difficultés de conduite culturale rencontrées. Cependant, les nombreux travaux de prospectives sur le climat, sur la ressource en eau et sur l'évolution des marchés, mettent en évidence un contexte de production plus contraignant pour les maïsiculteurs dans un futur proche. La monoculture apparaît comme peu résiliente face à ces évolutions aussi il est nécessaire de connaître les intentions des maïsiculteurs face à des conditions de production plus restrictives. En se basant sur les prospectives, il est possible de concevoir des scénarii d'évolution du contexte de production des agriculteurs. La méthode du *choice modelling* nous permet de confronter les maïsiculteurs à ces scénarii hypothétiques pour appréhender leur comportement d'adaptation (Adamowicz *et al.*, 1998). L'enjeu de cette expérience est double car elle permet d'évaluer la sensibilité des agriculteurs aux caractéristiques du changement de contexte de production mais aussi les stratégies qu'ils mettront en place pour s'adapter. Les trois paragraphes suivants décrivent les étapes de conception de l'expérience de choix : la conception des scénarii de contexte de production (V.2.1), la mise en situation de choix d'assolement (V.2.2) et les modèles d'analyse des choix des maïsiculteurs (V.2.3).

V.2.1) Mise en situation

Les scénarii de contexte de production présentés aux agriculteurs sont volontairement contraignants afin de les pousser à choisir les innovations proposées. En effet, dans le contexte actuel, peu de cultures atteignent le niveau de rentabilité du maïs dans la zone d'étude. Sans évolution du contexte de production, les maïsiculteurs interrogés risquent de choisir de conserver la monoculture de maïs tardif. Pour l'expérience de *choice modelling* des productions alternatives sont proposées à l'exploitant et ont été sélectionnées en concertation avec les acteurs de la filière maïs (agriculteurs, chercheurs, coopératives) (cf. Chap. II). Elles correspondent à deux stratégies de production distinctes qui peuvent être mises en œuvre indépendamment ou conjointement par les agriculteurs pour faire face à un changement de contexte de production.

La première alternative, est un changement de variété de maïs qui correspond à une stratégie d'esquive du stress hydrique. Aujourd'hui la majorité du maïs produit dans le Sud-Ouest est du maïs tardif. Il s'agit de mettre en place des variétés plus précoces de maïs, du maïs semi-tardif et du maïs semi-précoce, ce qui présente deux principaux avantages. En premier lieu, du point de vue du stress hydrique, le cycle végétatif est décalé plus tôt dans l'année. Ainsi, les stades sensibles de production, où le potentiel de rendement se détermine (floraison et remplissage du grain), se déroulent pendant des périodes où le stress hydrique et/ou le risque de sécheresse est moins important. D'autre part, « précocifier » les variétés peut permettre de réduire les charges de production. Le maïs est récolté plus tôt ce qui évite un dernier passage d'irrigation en fin de campagne et permet un séchage du grain plus long au champ pour réduire les frais de séchage de l'exploitant. Cependant, le potentiel de rendement des maïs semi-tardifs ou semi-précoces est plus faible que celui des variétés tardives traditionnellement cultivées dans le Sud-Ouest. Par ailleurs, pour les agriculteurs, les deux variétés proposées, maïs semi-tardif et maïs semi-précoce, représentent deux niveaux de rupture distincts. Le maïs semi-tardif est déjà présent, dans certaines zones comme l'Adour et l'Armagnac, alors que les variétés semi-précoces sont encore très rares sur le territoire.

Une seconde alternative proposée aux agriculteurs dans l'expérience est celle d'une redistribution de la ressource en eau en introduisant une nouvelle culture, en sec. Elle permet de s'approcher des exigences européennes en termes de diversification des assolements. De plus, l'eau économisée sur les parcelles non-irriguées peut être utilisée pour la production de maïs sur une autre partie de l'exploitation. Le blé tendre a été sélectionné car il s'agit d'une culture peu coûteuse en intrants, avec un niveau de marge intéressant dans la zone de production. De plus, il s'agit d'une culture souvent mise en place pour comme substitut du maïs dans le Sud-Ouest (Iribarren, 2015).

Dans chacun des contextes de production proposés, l'agriculteur doit faire un choix d'assolement. Il répartit sa sole en maïs entre les quatre différentes productions proposées : le blé tendre, le maïs semi-tardif, le maïs semi-précoce et le maïs tardif. Il peut choisir de conserver la totalité de sa surface en maïs tardif comme actuellement (statu quo) ou seulement une partie. Il peut aussi décider d'arrêter toute production si le contexte de production lui paraît trop contraignant.

V.2.2) Conception des expériences de choix : attributs et niveaux

Dans notre expérience, les contextes de production hypothétiques sont décrits par des attributs. Ces derniers représentent les éléments de choix sur lesquels se basent les agriculteurs pour évaluer leur contexte de la production. Même s'ils sont hypothétiques, les attributs doivent être crédibles, c'est-à-dire correspondre aux réelles potentialités de changement de contexte et exprimés de manière claire et parlante pour les agriculteurs. Pour permettre une bonne compréhension et ne pas rendre le choix trop complexe pour le répondant, le nombre d'attributs doit être réduit, généralement compris entre 4 et 6 (Louviere *et al.*, 2000).

Lors de la conception du questionnaire, des experts ont été consultés afin de déterminer les attributs à sélectionner (*cf.* Chap. II). Quatre attributs ont été retenus : i) le quota d'eau disponible ; ii) le prix de vente des cultures ; iii) le risque de sécheresse et de restrictions et ; iv) l'évolution du prix de l'énergie (Tableau 34). Les niveaux des attributs ont été déterminés à partir de données historiques ou issues de prospectives. Les quatre attributs ont trois niveaux chacun et sont quantitatifs et ordonnés.

Le premier attribut s'intéresse à la gestion de la ressource en eau, principal facteur limitant pour la production de maïs. Il présente aux agriculteurs le quota maximum autorisé pour l'irrigation en mètres cubes par hectare. Cet attribut a trois niveaux illustrant différents scénarii de raréfaction de la ressource en eau. Pour être réaliste, les niveaux ont été choisis par rapport aux quotas actuels des agriculteurs et à des données de Garonne 2050 (Agence de l'Eau Adour Garonne). Le quota moyen sur le bassin est de 1 800 m³/ha, il a donc été utilisé comme référence. Les deux autres niveaux sont plus bas, 1 500 et 1 200 m³/ha.

Le deuxième attribut est monétaire et illustre différentes situations des prix du marché des cultures (niveau de prix de vente en euros par quintal). L'agriculteur peut choisir entre plusieurs productions alternatives : des variétés précoces de maïs et du blé tendre. Le prix de vente du maïs n'est pas lié à son indice de précocité. Par ailleurs, les distributions de prix du blé tendre et du maïs étant fortement corrélées, l'attribut du prix de vente des cultures présente un niveau identique pour les deux cultures proposées.³¹ En effet, ce sont des céréales substituables qui tendent donc à avoir des distributions de prix conjointes (OCDE, 2010). Cette option nous permet de limiter le degré de complexité du choix des agriculteurs. Par ailleurs, du point de vue de l'analyse, il aurait été difficile de distinguer l'effet du niveau de prix de celui de l'écart de prix relatif entre les deux cultures. Les agriculteurs considèrent donc uniquement les niveaux absolus de prix des cultures et non leurs niveaux relatifs. Trois niveaux sont proposés à partir des données historiques de prix des coopératives 180 ; 150 et 120 €/T.

Le troisième attribut correspond à l'augmentation du risque de sécheresses et de restrictions dans un contexte de changement climatique. En cas de sécheresse, les prélèvements pour l'irrigation sont réduits voire interdits par arrêté préfectoral. Ceci représente un risque important pour les agriculteurs qui peuvent voir leur rendement fortement affecté. Sur la base des focus group, le niveau de référence pour l'attribut de fréquence des épisodes de sécheresse qui fait consensus est de « 2 sécheresses tous les 10 ans ». Le changement climatique risque d'amplifier ce phénomène, les

³¹ Selon les travaux de l'OCDE, le coefficient de corrélation des cultures de maïs et de blé tendre est de 0.71 sur les prix des cultures aux Etats Unis

deux autres niveaux sont donc supérieurs : 4 et 6 sécheresses tous les 10 ans. Proposer un risque de sécheresse très important est sensé pousser les agriculteurs vers des cultures moins sensibles au stress hydrique.

Enfin, le quatrième attribut est lié à la rentabilité de la culture. Cet attribut est représenté par le niveau d'augmentation du prix de l'énergie par rapport au niveau actuel qui sert de référence. La production de maïs nécessite des coûts de production importants de l'ordre de 800 €/ha (Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées, 2009, Chambre d'Agriculture des Landes, 2015). Ces coûts impliquent des besoins de trésorerie élevés tout au long de la campagne. Dans le contexte haussier des prix de l'énergie, ces charges de production risquent d'augmenter. Les intrants azotés, l'énergie liée au pompage pour l'irrigation, la mécanisation des opérations culturales sont autant de postes de dépenses liés au cours de l'énergie. Ainsi trois niveaux sont proposés pour le prix de l'énergie : actuel, actuel + 20 % et actuel + 40 %. Même si une hausse du prix de l'énergie affectera les coûts de production par hectare de toutes les cultures, le maïs est la céréale produite dans le Sud-Ouest qui a le plus haut niveau de charges par hectare (hors production de semences) et qui risque donc d'être la plus concernée par cette hausse.

Tableau 34: Niveaux et définition des attributs retenus pour le *choice modelling*

Attributs	Description	Niveaux
Quota disponible (Quota)	Quantité d'eau maximale disponible en m ³ /hectare	1200 m ³ /ha 1500 m ³ /ha 1800 m ³ /ha
Prix de vente des cultures (Prix)	Prix de vente des cultures de maïs et de blé tendre en €/T	120 €/T 150 €/T 180 €/T
Risque de sécheresse et de restriction (Secheresse)	Nombre de sécheresse dans les années à venir	2 années sur 10 4 années sur 10 6 années sur 10
Prix de l'énergie (Energie)	Hausse du prix de l'énergie exprimé par rapport au niveau actuel. L'énergie comprend le prix de l'électricité, du fuel et de l'azote	Actuel Actuel + 20 % Actuel +40 %

En combinant tous les attributs et leurs niveaux il est possible de générer tous les contextes de production possibles à proposer aux agriculteurs. Chaque combinaison représente ce qui est appelé une carte de choix. Pour réduire le nombre de choix possibles potentiellement très élevé, afin de conduire une expérience faisable auprès des participants, un plan d'expérience est construit. A partir des quatre attributs, un plan d'expérience optimisé composé de neuf cartes de choix a été construit (Benoist *et al.*, 1994). Ces cartes de choix caractérisent différents contextes de production et sont présentées aux agriculteurs dans un ordre aléatoire entre les individus pour limiter le biais lié à l'effet de lassitude des répondants sur les dernières cartes de l'expérience. Pour chaque carte l'agriculteur doit indiquer la surface qu'il alloue à chaque production : maïs tardif, maïs semi-tardif, maïs semi-précoce et blé tendre. L'exploitant doit raisonner uniquement par rapport à sa surface actuelle en maïs. La Figure 26 présente un exemple de carte de choix. Durant l'enquête, les agriculteurs disposent d'une fiche explicative qui regroupe les définitions des différentes innovations proposées

ainsi que des attributs du contexte de production décrits et leurs niveaux possibles (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Veuillez indiquer votre assolement dans le contexte suivant :

Consommation maximale en eau possible	1800 m3
Prix de vente des cultures	Maïs 180€/T Blé tendre 180€/T
Fréquence des épisodes de sécheresse ou de restriction	2 années sur 10
Prix de l'énergie	Actuel +20%


Vous mettez en place :



..... ha de maïs « tardif »

..... ha de maïs « semi-tardif »

..... ha de maïs « semi précocoe »



..... ha de blé tendre

Figure 26 : Exemple de carte de choix présenté aux agriculteurs

V.3) Evolution des assolements des maïsiculteurs face à des scénarii climatiques et économiques

L'analyse de l'évolution des assolements des maïsiculteurs face à différents scénarii de contexte de production est effectuée en deux étapes. Tout d'abord, dans la section V.3.1., on analyse le choix et l'intensité d'adoption de chacune des productions alternatives proposées (maïs tardif, maïs précocoe ou blé tendre). Deux types de modèles sont utilisés afin de considérer d'une part, le choix binaire d'adoption ou de rejet de la production et, d'autre part, l'intensité d'adoption de la production, c'est-à-dire le pourcentage de la SAU actuellement en monoculture de maïs consacré à la nouvelle production. Dans un second temps, comme l'exploitant peut adopter plusieurs productions simultanément, on identifie plusieurs stratégies de combinaison des productions par les agriculteurs. On analyse alors l'adoption d'une stratégie d'assolement par rapport aux autres.

V.3.1) Adoption et intensité d'adoption des innovations

Au total, 89 exploitants ont répondu à l'expérience de *choice modelling*. On dispose ainsi de 89 x 9, soit 801 réponses exploitables. On constate que, pour plus de la moitié des réponses, les agriculteurs ont conservé du maïs tardif sur, en moyenne, plus de 70 % de leur surface actuellement en monoculture de maïs (Tableau 35). Concernant les deux variétés de maïs proposées, le maïs semi-tardif et le maïs semi-précocoe, on remarque de fortes différences entre les deux variétés. Le maïs semi-tardif est choisi dans presque la moitié des réponses des agriculteurs. Lorsqu'ils choisissent de le mettre en place ils substituent plus de 56 % de leur sole. Concernant le maïs semi-précocoe, qui est aujourd'hui très peu répandu dans le Sud-Ouest, les agriculteurs de l'enquête ne l'adoptent que dans 18 % des cas. Ce faible taux confirme que le maïs semi-précocoe est un choix plus en rupture pour les

agriculteurs enquêtés que le maïs semi tardif, et peut-être moins bien adapté aux différents pédoclimats de l'enquête.

Les deux choix de variétés précoces proposées ont été regroupés en une seule catégorie nommée « précoce », car cela permet d'étudier le choix d'adopter une variété plus précoce et ceci quel que soit le niveau de rupture. Sur l'ensemble des cartes proposées, 51 % des réponses introduisent du maïs précoce. En moyenne, ils substituent 70 % de leur sole en monoculture de maïs en maïs précoce. Enfin, dans 50 % des réponses, les agriculteurs mettent en place du blé, en moyenne, sur 50 % de leur sole actuellement en monoculture de maïs. Cette première analyse des réponses met en évidence que, lorsque les exploitants choisissent de faire évoluer leur assolement, quel que soit la production choisie (blé tendre ou maïs précoce), ils substituent une part significative de leur sole actuellement en monoculture de maïs. Ce résultat permet de penser que l'expérience était crédible pour les agriculteurs et qu'ils se sont réellement mis en situation pour faire évoluer leur assolement en fonction du contexte de production.

Tableau 35 : Description des réponses des maïsiculteurs à l'expérience de *choice modelling*

	Nombre de réponses	Fréquence des réponses	Pourcentage moyen de la sole substitué	Ecart-Type
Tardif	421	52,6 %	71,3 %	31,8
Semi-tardif	371	46,3 %	56,6 %	31,4
Semi-précoce	149	18,6 %	49,9 %	53,8
Précoce	409	51,1 %	70,1 %	43,3
Blé	396	49,4 %	52,2 %	61,1

Source : Enquêtes 2014

L'effet des attributs du contexte de production sur les décisions d'assolement des agriculteurs est analysé en deux étapes. Tout d'abord, un modèle de choix de type *logit* est estimé pour chacune des productions alternatives (3). L'utilité observée de l'individu i pour la production alternative, est fonction de X_i le vecteur des variables explicatives pour l'individu i et de β est le vecteur des paramètres associés (Train, 2009).

$$U_i = X_i\beta$$

(26)

La probabilité d'adoption est exprimée sous la forme d'une fonction de répartition logistique (27) :

$$P_i(1|X_i) = \frac{e^{\beta X_i}}{1 + e^{\beta X_i}}$$

(27)

Dans un second temps, on s'intéresse aux effets des attributs sur l'intensité d'adoption des productions alternatives. Comme l'intensité d'adoption est une variable tronquée, on utilise un modèle *tobit* (Tobin, 1958) (5). Il permet d'analyser l'intensité d'adoption représentée ici par le pourcentage de la surface actuellement en monoculture de maïs substitué par la production proposée. Il s'agit donc d'une variable bornée de 0 à 100 % :

$$Y_i^* = \beta X_i + \varepsilon_i$$

$$Y_i = Y_i^* \text{ si } L_{inf} < Y_i^* < L_{sup}$$

$$Y_i = L_{inf} \text{ si } Y_i^* < L_{inf}$$

$$Y_i = L_{sup} \text{ si } Y_i > L_{sup} \quad (28)$$

Y_i est la variable dépendante observable bornée, l'intensité d'adoption, pour l'individu i , X_i le vecteur des variables explicatives, β le vecteur de paramètres à estimer et L_{inf} et L_{sup} les bornes inférieure et supérieure d'observation de la variable dépendante (ici 0 et 100). Les résidus ε_i sont distribués selon une loi normale $N = (0, \sigma_\varepsilon^2)$.

Pour les deux types de modèles, *logit* et *tobit*, le vecteur des variables explicatives du choix étudié, X_i , est le même et est composé des quatre attributs du contexte de production : le quota disponible (variable *Quota*), le prix de vente des cultures (variable *Prix*), le risque de sécheresse et de restriction (variable *Secheresse*) et le prix de l'énergie (variable *Energie*). En raison de la forte hétérogénéité des territoires de l'enquête, une variable indicatrice de la zone de production est aussi intégrée (variable *Zone*). La zone de la Garonne est considérée comme la référence car elle a le plus grand effectif.

Les résultats obtenus montrent que, concernant la ressource en eau, l'augmentation des risques de sécheresse, n'est pas significative dans le choix d'adoption d'une nouvelle production (Tableau 36). Concernant le quota, une diminution de son niveau affecte négativement le choix ainsi que l'intensité de production du maïs tardif. Par ailleurs, une limite de consommation de 1 500 m³/ha a un impact significatif et positif sur l'adoption de blé tendre dans l'assolement. Ces résultats montrent la volonté des agriculteurs de réduire la part de culture gourmande en eau, comme le maïs tardif, au profit de productions plus économes comme le blé tendre dans des situations de diminution de la ressource.

Du point de vue économique, une baisse du prix de vente des productions a un effet négatif sur le choix et l'intensité d'adoption du maïs tardif. A l'inverse, une tendance haussière des prix de l'énergie affecte donc positivement la mise en place de blé tendre. Ces résultats sont en adéquation avec les hypothèses de départ. Lors de situations de baisse des prix de vente et/ou de hausse des coûts de l'énergie, le maïs, qui nécessite des charges de production élevées est remplacé par des cultures moins dépendantes aux intrants qui seront moins affectées par les hausses de prix des intrants (eau, fertilisants ou pesticides).

Le bassin de production de l'agriculteur apparaît comme significatif dans tous les modèles de choix analysés. Ainsi, les agriculteurs de l'Adour et de l'Armagnac semblent avoir plus tendance à conserver du maïs tardif dans leur assolement que dans la Vallée de la Garonne. De plus, les résultats du modèle *Tobit* montrent que les producteurs de l'Adour garderaient une surface en maïs tardif plus importante que ceux de la Garonne. Concernant, le maïs précoc, on constate un effet significatif et positif de l'appartenance aux zones de l'Adour et de l'Armagnac, et ce pour les modèles *logit* et *tobit*. Ainsi dans ces zones les producteurs seraient plus enclins à mettre en place du maïs précoc et sur des surfaces plus importantes que dans la Vallée de la Garonne. Il apparaît donc que, dans les zones de l'Armagnac et de l'Adour, les agriculteurs ont tendance à conserver plus de maïs, tardif ou précoc, que dans la Vallée de la Garonne. Il est possible, que dans ces zones, les agriculteurs soient dépendants de la production de maïs, par exemple par l'autoconsommation destinée aux ateliers d'élevage. Les maïsiculteurs de l'Armagnac et l'Adour semblent plus enclins à adopter du blé tendre (effet significatif et positif), contrairement à ceux de la Garonne (effet significatif et négatif). Les résultats ne sont pas significatifs concernant l'intensité d'adoption. Ces derniers résultats mettent en évidence un comportement particulier des producteurs de la Garonne. Il apparaît qu'ils seraient moins amenés à mettre en place des productions alternatives que les exploitants des autres zones. Il

est possible que les maïsiculteurs de cette zone choisissent d'arrêter la production en cas de contexte de production restrictif pour se consacrer à un autre atelier ou une autre activité.

Même si l'on peut rejeter l'hypothèse nullité de toutes les variables ($Prob > \chi^2$ comprise entre 0 et 0,06), c'est-à-dire que notre modèle est plus explicatif que la constante seule, les modèles estimés ont un pouvoir explicatif limité. Concernant les modèles de type *logit*, les R^2 ajustés sont faibles, inférieurs à 0,1³². Les modèles expliquent correctement 64 % des choix, cependant, ils ont une mauvaise qualité discriminatoire. Les représentations graphiques de la qualité discriminatoire par les courbes ROC (*Receiver operating characteristics*), montrent que l'aire sous la courbe varie entre 0,65 et 0,66, indiquant un très faible niveau de discrimination (Long et Freese, 2006) (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Concernant, les modèles *tobit*, les Pseudo R^2 sont aussi très faibles. De plus, la corrélation entre les valeurs prédites et les valeurs observées est seulement de 1 et 5 %.

Les modèles présentés ne semblent donc pas assez fiables pour expliquer entièrement les choix d'assolement des agriculteurs. On peut penser que les variables dépendantes, le choix ou l'intensité d'adoption par type de production, ne reflètent pas le processus de décision global de l'agriculteur. En effet, les agriculteurs sont amenés à prendre en compte plusieurs productions possibles et il leur est possible de les combiner. Pour appréhender le comportement d'adoption, il semble donc nécessaire de s'intéresser aux combinaisons des différentes productions plutôt qu'au type de production de manière individuelle.

³² Hensher et Johnson considère qu'un R^2 supérieur à 0,2 est nécessaire pour obtenir un bon pouvoir explicatif du modèle (Hensher et Johnson (1981))

Tableau 36: Résultats des *logit* et *tobit* sur l'adoption et l'intensité d'adoption des innovations proposées

	Maïs tardif				Maïs précoce				Blé tendre			
	<i>Logit</i>		<i>Tobit</i>		<i>Logit</i>		<i>Tobit</i>		<i>Logit</i>		<i>Tobit</i>	
	Coeff	E-Type	Coeff	E-Type	Coeff	E-Type	Coeff	E-Type	Coeff	E-Type	Coeff	E-Type
Quota = 1800 m ³ /ha	Ref	-	Ref	-	Ref	-	Ref	-	Ref	-	Ref	-
Quota = 1500 m ³ /ha	-0,363	0,230	-0,156*	0,074	0,013	0,224	-0,030	0,086	0,581**	0,222	0,205*	0,097
Quota = 1200 m ³ /ha	-0,484*	0,193	-0,175**	0,064	0,040	0,192	0,004	0,074	0,312	0,188	0,134	0,083
Prix	-0,281*	0,124	-0,110**	0,040	-0,040	0,123	-0,026	0,047	0,213	0,120	0,087	0,052
Sécheresse = 2/10 ans												
Sécheresse = 4/10 ans	0,031	0,200	0,024	0,068	0,009	0,206	0,033	0,079	-0,073	0,204	-0,005	0,086
Sécheresse = 6/10 ans	0,167	0,224	0,041	0,074	0,058	0,226	0,046	0,086	0,011	0,224	0,036	0,094
Energie = Actuel												
Energie = +20 %	-0,048	0,189	-0,050	0,062	0,089	0,188	0,031	0,072	0,144	0,184	0,050	0,081
Energie = + 40 %	-0,319	0,194	-0,155*	0,064	0,057	0,192	0,020	0,074	0,496**	0,192	0,207*	0,082
Zone = Garonne												
Zone = Adour	1,045***	0,178	0,268***	0,057	1,049***	0,171	0,240***	0,067	1,074***	0,174	0,038	0,074
Zone = Armagnac	0,406*	0,204	-0,017	0,070	1,572***	0,243	0,376***	0,079	0,918***	0,214	0,171	0,088
Constante	0,796***	0,262	0,438***	0,078	-0,064	0,240	0,042	0,095	-0,660***	0,235	-0,300**	0,112
Sigma	-	-	0,628***	0,024	-	-	0,722***	0,028	-	-	0,786***	0,030
N	801		693		801		693		801		693	
Mc Fadden Pseudo R ²	-		0.033		-		0.020		-		0.012	
Mac Fadden R ² ajusté	0,027		-		0,047		-		0,038		-	
Prob> chi ²	0,000		0,000		0,000		0,001		0,000		0,065	
LL	-496,780		-626,787		-488,582		-666,907		-499,001		-671,513	

*p<0,1 ; ** p<0,05 ; *** p<0,001

V.3.2) Stratégies d'adaptation

L'expérience de *choice modelling* laisse à l'exploitant le choix de combiner les différentes cultures proposées : le maïs tardif, le maïs précoce (comprenant maïs semi-tardif et semi-précoce) et le blé tendre. On peut ainsi identifier cinq stratégies d'assolement possibles (Figure 27). En premier lieu, l'exploitant peut choisir de conserver la monoculture de maïs tardif (stratégie « *Monoculture* »). Dans ce cas l'agriculteur ne fait pas évoluer son assolement, cette stratégie peut être assimilée à un *statu quo*. A l'extrême, si le contexte de production est trop restrictif, il peut choisir d'arrêter toute production céréalière (stratégie « *Arrêt* »). Entre ces deux possibilités, l'agriculteur a la possibilité d'intégrer une ou plusieurs productions alternatives sur une partie ou la totalité de sa sole. Ainsi, trois autres stratégies d'assolement peuvent être choisies par l'exploitant. Il peut choisir de substituer, pour partie ou en totalité, son maïs tardif par des variétés précoces de maïs (stratégie « *Variétés précoces* »). En fonction de la date à laquelle l'exploitant sème les variétés précoces de maïs elles présentent différents intérêts. Les variétés précoces de maïs ont des cycles de développement plus court. Ainsi, si elles sont semées à la même période que les variétés tardives, elles atteignent leur maturité plus tôt. L'agriculteur peut donc éviter des passages d'irrigation en période estivale et éviter le stress hydrique en cas de restrictions. Les agriculteurs peuvent aussi les semer plus tard dans les zones où les périodes de semis sont soumises à des risques climatiques lors des chantiers de semis (gelées tardives ou pluies limitant l'accès aux champs). L'agriculteur, peut aussi choisir d'intégrer du blé tendre dans l'assolement (stratégie « *Blé tendre* »). En produisant cette céréale en sec, il peut réallouer sa ressource en eau disponible pour le maïs. Enfin, il peut combiner les avantages de ces deux production en diversifiant son assolement avec du maïs et du blé tendre (stratégie « *Diversification* »). Lorsque l'agriculteur choisi d'intégrer des productions alternatives, il peut toujours conserver une partie de sa sole en maïs tardif. Le niveau de rupture de son changement d'assolement est donc lié à l'intensité d'adoption de ces nouvelles productions, c'est-à-dire la surface qu'il leur consacre dans sa sole.

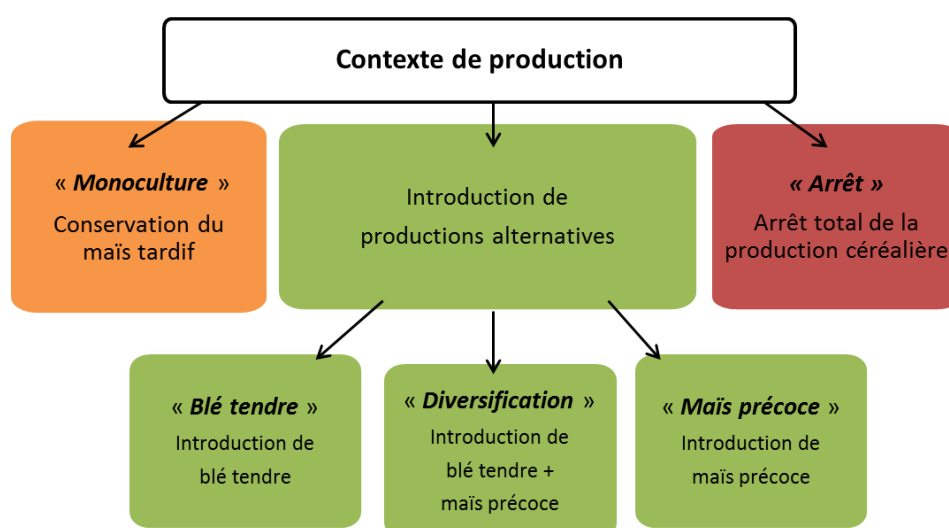


Figure 27 : Stratégies d'assolement possibles dans le *choice modelling*

Dans l'expérience, on constate que 15 % des réponses indiquent une conservation de la monoculture de maïs sur la totalité de la sole (Tableau 37). Pour l'introduction de variétés précoces et du blé tendre, là aussi environ 15 % des réponses des agriculteurs correspondent à ces stratégies. Enfin, la stratégie de diversification représente près de 50% des réponses de l'expérience et seuls 6 % des réponses indiquent un arrêt total de la production.

Tableau 37: Répartition des réponses des maïsiculteurs par stratégie d'adaptation dans le *choice modelling*

Stratégie	Nombre de réponses	Fréquence
Monoculture de maïs tardif	119	14,9 %
Arrêt de la production	49	6,1 %
Variétés précoces	132	16,4 %
Blé tendre	120	14,9 %
Diversification	382	47,7 %

Source : Enquête 2014

Dans cette analyse, on ne traite pas l'intensité du changement, c'est-à-dire la part de l'assolement consacrée aux nouvelles productions, mais uniquement le choix d'adopter une des stratégies de production. L'objectif est de déterminer les éléments des contextes de production qui poussent les exploitants vers une stratégie plutôt qu'une autre. Un *logit* multinomial est utilisé car la variable à expliquer présente cinq modalités : *Monoculture*, *Arrêt*, *Variétés précoces*, *Blé tendre* et *Diversification* (McFadden, 1978). Pour l'analyse, la modalité de référence est la conservation du système de culture actuel : la monoculture de maïs tardif. L'utilité observable que l'individu i retire de la stratégie j , U_{ij} , est fonction de β_j le vecteur des paramètres pour la stratégie j et X_i le vecteur des variables explicatives pour l'individu i (29).

$$U_{ij} = \beta_j X_i \quad (29)$$

La probabilité d'appartenir à la catégorie j parmi les J stratégies est exprimée sous la forme d'une fonction de répartition logistique (30).

$$P(j/X_i) = \frac{e^{\beta_j X_i}}{\sum_{j=1}^J e^{\beta_j X_i}} \quad (30)$$

Les résultats obtenus montrent que les exploitants choisissent des stratégies d'adaptation distinctes en fonction du contexte de production proposé (Tableau 38). Ainsi, un niveau de quota légèrement restrictif, de 1 500 m³/ha, a un impact significatif et positif sur l'adoption d'une stratégie de diversification ou de blé tendre. Une baisse des quotas pousserait donc les agriculteurs à mettre en place un assolement plus diversifié que la monoculture de maïs actuelle. Cependant, si la contrainte sur le quota s'accroît à 1 200 m³/ha, alors on constate que les exploitants ont tendance à arrêter leur production céréalière (Stratégie *Arrêt*).

La baisse des prix de vente des cultures affecte significativement et positivement l'adoption de toutes les autres stratégies de production que la monoculture de maïs tardif, à l'exception de l'introduction de maïs précoce. Comme pour les analyses précédentes, le risque de sécheresse

n'apparaît pas comme affectant significativement l'adoption d'une stratégie d'assolement plutôt qu'une autre. Une hausse importante, de 40 %, du prix de l'énergie affecte positivement la mise en place d'une stratégie de diversification de l'assolement et d'introduction du blé tendre. Enfin, on constate des différences significatives de comportement d'adaptation de l'assolement en fonction de la zone de production. Ainsi, l'arrêt de la production céréalière est négativement lié à la zone de l'Adour. Dans un contexte de production restrictif, les exploitants de la Vallée de la Garonne auraient plus tendance à abandonner la production céréalière que ceux de l'Adour. Par ailleurs, l'introduction de maïs précoce apparaît comme positivement liée à la zone de l'Armagnac. Enfin, la diversification de l'assolement est positivement liée aux zones de l'Adour et de l'Armagnac. Dans ces deux régions, les exploitants seraient plus enclins à diversifier leur assolement que dans la vallée de la Garonne.

Tableau 38: Résultats du *logit* multinominal sur les stratégies d'assolement adoptées par les maïsiculteurs

	Monoculture	Arrêt		Variétés précoces		Blé tendre		Diversification	
		Coeff.	<i>E-Type</i>	Coeff.	<i>E-Type</i>	Coeff.	<i>E-Type</i>	Coeff.	<i>E-Type</i>
Quota = 1800 m ³ /ha	-	Ref	-	-	-	-	-	-	-
Quota = 1500 m ³ /ha	-	1,374	0,725	0,070	0,363	0,938*	0,395	0,628*	0,308
Quota = 1200 m ³ /ha	-	1,114*	0,557	0,108	0,318	0,559	0,343	0,416	0,273
Prix	-	1,234**	0,381	0,099	0,197	0,477*	0,212	0,353*	0,169
Sécheresse = 2/10 ans	-	Ref	-	-	-	-	-	-	-
Sécheresse = 4/10 ans	-	-0,021	0,508	-0,026	0,350	-0,097	0,351	-0,110	0,296
Sécheresse = 6/10 ans	-	-0,447	0,609	0,079	0,385	0,051	0,384	-0,003	0,325
Energie = Actuel	-	Ref	-	-	-	-	-	-	-
Energie = +20 %	-	0,319	0,528	0,167	0,309	0,286	0,329	0,187	0,263
Energie= + 40 %	-	0,931	0,573	0,240	0,329	0,886**	0,341	0,569*	0,278
Zone = Garonne	-	Ref	-	-	-	-	-	-	-
Zone = Adour	-	-3,109**	1,033	-0,071	0,293	0,089	0,292	1,092***	0,240
Zone = Armagnac	-	-1,256	0,795	1,006*	0,394	0,120	0,453	1,618***	0,355
Constante	-	-2,788**	1,025	-0,343	0,318	-1,322**	0,442	-0,339	0,292
N	801								
Mc Fadden R^2	0,069								
Mc Fadden R^2 ajusté	0,033								
Prob> Chi ²	0,000								
LL	-1034,888								

* $p < 0,1$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,001$

V.4) Eléments explicatifs des résultats du *choice modelling*

L'expérience de *choice modelling* présentée dans ce chapitre met en évidence qu'une évolution du contexte de production des agriculteurs affecterait leur choix de production. Cependant, la robustesse des modèles reste limitée. Plusieurs éléments peuvent expliquer ces faibles performances. Tout d'abord, même si nous avons intégré une variable indicatrice des zones de production, la zone d'étude est étendue et les conditions de production sont hétérogènes au sein même des zones définies. Une hétérogénéité importante complexifie l'identification des paramètres des modèles lorsque l'échantillon est restreint. Un *logit* à paramètres aléatoires, comme dans le Chapitre IV, permettrait d'évaluer l'hétérogénéité des préférences des agriculteurs pour les caractéristiques du contexte de production. Cependant, l'échantillon très restreint (seulement 17 individus dans la zone Armagnac) limiterait fortement l'estimation des paramètres. D'autre part, on peut penser que le faible pouvoir explicatif des modèles est lié à certaines caractéristiques de l'exploitant et de son exploitation qui peuvent l'influencer, voire le contraindre dans son choix. Les conditions de production actuelles des exploitants, et notamment en terme de gestion la ressource en eau sont très diverses au sein de l'échantillon. Ceci induit que les attributs proposés dans l'expérience de *choice modelling* ne représentent pas le même niveau de contrainte d'un agriculteur à l'autre.

Les trois paragraphes suivants sont donc consacrés à expliciter les possibles limites notre expérience de *choice modelling*. En premier lieu nous nous intéressons aux conditions de production des agriculteurs, notamment concernant la gestion de l'eau, qui pourraient affecter la sensibilité des agriculteurs aux attributs de l'expérience. Ensuite nous étudions les systèmes de production des exploitants de l'enquête qui pourraient les contraindre dans leurs choix. Enfin, nous discutons de l'hétérogénéité des préférences des agriculteurs par rapport aux productions alternatives.

V.4.1) Une contrainte sur l'eau contrastée

Un des enjeux majeurs de la monoculture de maïs est sa dépendance à la ressource en eau durant la période estivale. Cependant, en fonction des exploitations, on sait qu'il existe des différences de disponibilité et/ou de gestion de l'eau. Ainsi, les attributs qui décrivent la disponibilité de l'eau d'irrigation dans l'expérience de *choice modelling* peuvent donc apparaître comme plus ou moins restrictifs ou crédibles.

V.4.1.1) Disponibilité, origine et gestion de l'eau d'irrigation

Dans l'expérience de *choice modelling*, l'attribut permettant de décrire la disponibilité en eau d'irrigation pour l'agriculteur est le quota maximal d'eau autorisé (trois niveaux: 1 800, 1 500 et 1 200 m³/ha). Cependant, au sein de l'échantillon enquêté, seule la moitié des agriculteurs sont actuellement soumis à un quota de consommation en eau. De plus, cette proportion varie d'une zone de production à une autre. Dans l'Adour et l'Armagnac, plus de 60 % des producteurs sont soumis à un quota de consommation en eau. Dans la zone de la Garonne, cette proportion est moindre, avec 31 %.

Cette différence de gestion de la ressource en eau peut s'expliquer par la provenance de l'eau d'irrigation (Figure 28). En effet, si le pompage en rivière et en réseau collectif est contrôlé par un niveau de quota autorisé, ce n'est pas le cas pour le pompage dans des forages. Ce dernier est uniquement soumis à une déclaration du volume pompé à l'Agence de l'Eau, pour calculer la valeur

de la redevance. Par ailleurs, le pompage dans des lacs individuels n'est pas non plus soumis à un quota de consommation, c'est l'agriculteur qui gère lui-même sa ressource et il est uniquement limité par le volume d'eau de sa retenue. Dans la zone de la Garonne, 40% des agriculteurs déclarent qu'au moins une partie de leur eau d'irrigation provient de forages et/ou de rivière. Dans la zone de l'Armagnac, 30% des exploitants trouvent leur ressource en eau dans des lacs individuels ou collectifs, 15% en rivière et 15% en réseau collectif. En été, la pluviométrie est faible, le pompage en rivière ou sur le réseau peut être limité voire interdit lors d'épisodes de sécheresse estivale. Ce secteur est donc plus sensible à la contrainte en eau l'été. Enfin, dans la zone de l'Adour, la provenance de l'eau est assez diverse, 30% des agriculteurs pompent en rivière, 25% ont accès à un lac, 20% à un forage et 15% se fournissent sur le réseau collectif.

Cette première constatation pourrait expliquer que certains agriculteurs ne se soient pas mis en situation réelle de carence estivale en eau lors de l'expérience. Les maïsiculteurs qui n'ont actuellement pas de quota d'irrigation pouvaient estimer que la mise en place de quota sur leur exploitation n'était pas crédible ou bien ils ont eu des difficultés à déterminer l'impact réel de cette limitation sur leurs pratiques actuelles.

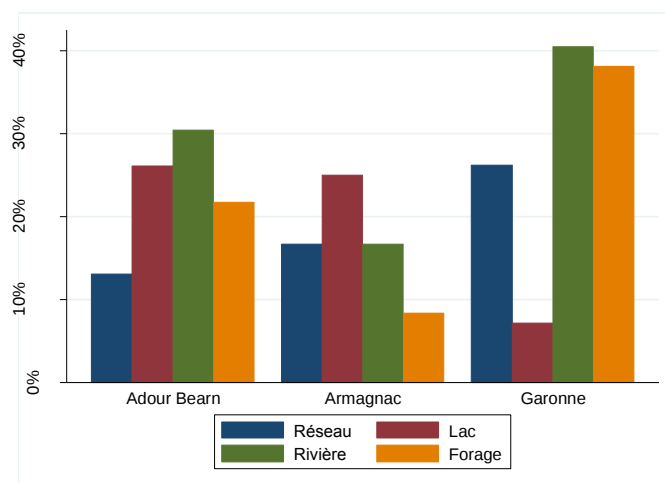


Figure 28 : Provenance de l'eau d'irrigation en fonction des zones de production

Par ailleurs, lorsque les quotas existent, on remarque une disparité en termes de niveaux entre les différentes zones (Tableau 39). Les exploitants sont soumis, en moyenne, à une restriction de 1 900 m³/ha. Ainsi, comme il était souhaité lors de la conception du questionnaire de *choice modelling*, les niveaux de quotas proposés de 1 800, 1 500 et 1 200 m³/ha semblent bien restrictifs pour les agriculteurs. Cependant, il apparait une forte hétérogénéité du niveau du quota au sein de l'échantillon avec un coefficient de variation de plus de 30 %. En moyenne, les agriculteurs de l'Adour ont un quota de 2 000 m³/ha alors que dans l'Armagnac il est de 1 850 m³/ha. Les agriculteurs qui sont soumis à un quota dans la zone de la Garonne ont, en moyenne, le quota le plus faible limité à 1 750 m³/ha. Ainsi, le contexte de production proposant 1800 m³/ha peut être perçu comme restrictif par certains des agriculteurs de la zone Adour mais pas pour d'autres dans la zone de l'Armagnac. De plus, dans ces deux zones de production il existe une forte variabilité interne du niveau de quota avec un coefficient de variation de 30%.

Tableau 39 : Quota et niveaux des quotas au sein de l'échantillon

	Total	Adour	Armagnac	Garonne
Présence de quota	48,3 %	64,5 %	62,5 %	31,0 %
Quota moyen (m³/ha)	1906,4	2007,5	1850,0	1744,5
Coeff. Var. quota	32,6 %	35,8 %	32,1 %	15,6 %

Source enquête 2014

De manière générale, l'accès et la gestion de l'eau sont distincts en fonction des zones de production. Dans la zone de la Garonne, à peine un tiers des agriculteurs sont soumis à des quotas, car une majorité d'entre eux ont accès à des forages. Cependant, dans cette zone, lorsque les agriculteurs sont soumis à des quotas, il s'agit des quotas les plus restrictifs des trois zones étudiées. Dans les zones de l'Adour et de l'Armagnac plus de 60 % des agriculteurs sont soumis à des quotas en moyenne de 2 000 à 1 850 m³/ha respectivement pour les deux zones. Cependant, le niveau des quotas est assez variable au sein de ces zones avec des coefficients de variation de l'ordre de 30 %. On sait cependant que, dans la zone de l'Armagnac, la pluviométrie est plus faible, ce qui peut réduire la disponibilité en eau pour les agriculteurs de cette zone qui dépendent des pompages en lacs et en rivières.

V.4.1.2) Sécheresses et restrictions de consommation en eau d'irrigation

Un deuxième attribut de l'expérience est la disponibilité de la ressource en eau : fréquence des épisodes de sécheresse ou de restrictions. Il décrit le risque d'accroissement des événements extrêmes, évoqué par les agriculteurs comme une des conséquences du changement climatique. Il a été choisi de regrouper les sécheresses et les restrictions au sein d'un même attribut afin que tous les exploitants soient potentiellement limités dans leur consommation en eau. En effet, une restriction ne concernerait pas les maïsiculteurs qui ne sont pas soumis à des quotas de pompage (forage ou lac). A l'inverse, une sécheresse sans restriction ne limiterait pas la consommation des agriculteurs qui pompent sur le réseau. Cet attribut est composé de trois niveaux : 2 années sur 10, 4 années sur 10 et 6 années sur 10. L'expérience de *choice modelling* montre que l'attribut « risque de sécheresse » n'affecte pas significativement les choix d'adaptation des maïsiculteurs. Ce résultat semble contradictoire étant donné la dépendance de la monoculture de maïs à la ressource en eau.

En moyenne dans l'échantillon, les agriculteurs déclarent avoir été soumis à près de 3 épisodes de sécheresse et à 1,5 épisode restriction sur 10 ans (Tableau 40). Concernant les épisodes de sécheresse, les maïsiculteurs de la Garonne et de l'Adour déclarent en subir entre deux et trois par décennie. Les maïsiculteurs de l'Armagnac, qui disposent d'une pluviométrie moindre, font face, en moyenne, à près de 4 épisodes de sécheresses sur 10 ans. Cependant, si l'Armagnac subit de nombreuses sécheresses, il ne s'agit pas de la zone qui a supporté le plus de restrictions. Dans l'Adour, les maïsiculteurs ont été restreints dans leur irrigation à deux à trois reprises sur les dix dernières années. Les zones de l'Armagnac et de la Garonne, ont, elles, fait face à une seule restriction.

De plus, les sécheresses et les restrictions ont des effets distincts en fonction des zones de production. Lors des épisodes de sécheresses, les maïsiculteurs de l'Adour et de l'Armagnac perdent en moyenne plus de 25 q/ha. Dans la Garonne, les agriculteurs déclarent perdre une quinzaine de quintaux par hectare. A l'inverse lors des épisodes de restriction, les maïsiculteurs de la Garonne

déclarent les plus hauts niveaux de perte en moyenne, avec près de 19 q/ha. Dans l'Adour et l'Armagnac les pertes moyennes sont de 5 et 9 q/ha respectivement.

On peut donc constater que la zone de la Garonne est, en moyenne, moins affectée par les sécheresses et les restrictions. L'augmentation des niveaux de l'attribut de « fréquence des sécheresses et des restrictions » semblerait donc être plus contraignante dans cette zone. Cependant, lors des épisodes de sécheresse, les agriculteurs de la Garonne déclarent des pertes de rendement plus faibles. En effet, leur pompage dans les nappes leur permet de bénéficier d'eau d'irrigation et ce même pendant des périodes de sécheresses. A l'inverse, ils sont fortement sensibles à des restrictions en déclarant les pertes les plus élevées des zones de production étudiées. Par ailleurs, dans la zone de l'Armagnac, où les agriculteurs déclarent une fréquence d'épisodes de sécheresse de quatre années sur dix, les deux premiers niveaux de l'attribut proposé ne sont pas plus contraignants que leur contexte actuel.

Il apparaît que les niveaux de l'attribut « fréquence des épisodes de sécheresse et de restriction » peuvent être perçus comme plus ou moins restrictifs en fonction des zones de production. De plus, les conséquences de cet attribut sur la productivité du maïs sont différentes selon qu'il s'agisse d'une sécheresse ou d'une restriction. En effet, les zones qui disposent de forages ne sont pas fortement affectées par la sécheresse. Concernant les effets des restrictions la zone de la Garonne est la plus affectée. Il y a donc un « effet-zone », mais il faut aussi noter qu'au sein des zones de production, les coefficients de variation des pertes associées aux restrictions sont supérieurs à 100 %. Cet attribut apparaît donc comme complexe à interpréter ce qui peut expliquer que, malgré la dépendance de la monoculture de maïs à la ressource en eau, il n'apparaît pas comme significatif dans notre étude.

Tableau 40 : Fréquence des épisodes de sécheresse et de restriction et effet sur la productivité du maïs

	Total		Adour		Armagnac		Garonne	
	Moy ³³ .	Coeff. Var	Moy.	Coeff. Var	Moy.	Coeff. Var	Moy.	Coeff. Var
Nb Sécheresse (/10 ans)	2,7	-	2,2	-	3,7	-	2,7	-
Perte Rdt sécheresse (q/ha)	21,4	87,8 %	25,1	76,9 %	28,3	49,1 %	15	121,6 %
Nb Restriction (/10 ans)	1,5	-	2,5	-	0,9	-	1,1	-
Perte Rdt restriction (q/ha)	11,2	155,8 %	4,7	179,6 %	8,9	121,3 %	18,7	122,5 %

Source Enquête 2014

V.4.2) Systèmes de production des agriculteurs de l'enquête

Les zones de production des agriculteurs expliquent pour partie le choix d'assolement des agriculteurs. Cependant, les conditions pédoclimatiques peuvent contraindre les agriculteurs dans leurs choix d'assolement. Par exemple, les zones soumises à des gelées tardives sont plus adaptées pour des variétés précoces de maïs. A l'inverse, les zones bénéficiant d'un cumul de température important s'orientent vers des variétés plus tardives. Cependant, la distinction des exploitations en zones pédoclimatiques homogènes ne semble pas suffire pour expliquer les choix des exploitants. Aussi, d'autres contraintes ou motivations des agriculteurs peuvent influencer ou contraindre leur choix à l'échelle de l'exploitation. On peut donc penser que le système de production de l'exploitant affecte aussi son choix d'assolement.

³³ Moyenne

V.4.2.1) Contraintes liées à la présence d'autres ateliers de production sur l'exploitation

On constate que, quelle que soit la zone étudiée, près de 70 % des agriculteurs ont un autre atelier que les grandes cultures. Cependant, le type d'atelier diffère en fonction des zones de production (Figure 29). Dans la zone de l'Adour, le second atelier est pour plus de la moitié des enquêtés, un atelier d'élevage. Dans le secteur Armagnac, il s'agit, pour 45 % des exploitations, d'un atelier viticole et pour 25 % d'un atelier élevage. En effet, une partie de ce territoire est axé sur la production viticole (Saint Mont, Madiran, Floc de Gascogne, etc.) et de spiritueux (Armagnac). Enfin, dans la zone de la Garonne, les maïsiculteurs qui ont un second atelier, sont pour 43% aussi maraichers et pour 25 % arboriculteurs.

Les ateliers de maraîchage et d'élevage représentent en moyenne près de la moitié du revenu agricole des exploitants (Figure 30). Les ateliers de viticulture représentent, en moyenne, un tiers du revenu des agriculteurs. Enfin, un peu moins de 20 % du revenu agricole des exploitants en moyenne est assuré par l'atelier arboriculture et/ou foresterie.

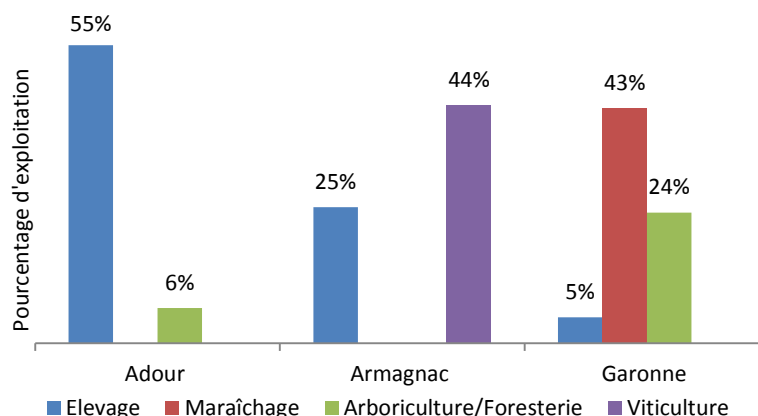


Figure 29 : Répartition des types d'ateliers par zone de production

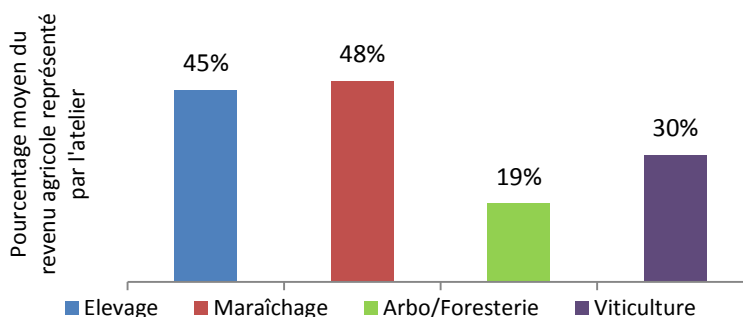


Figure 30 : Pourcentage du revenu agricole par atelier de production

Ces statistiques descriptives sur notre échantillon mettent en évidence qu'il existe des degrés de spécialisation différents selon les zones de production. Ces différences peuvent expliquer des choix divergents des exploitants dans un même contexte. D'une part, certains exploitants ont pu prendre en compte, dans leurs réponses au questionnaire de *choice modelling*, des contraintes additionnelles dans leur choix d'assolement. Ainsi, on peut penser que les maïsiculteurs ayant un atelier d'élevage sont plus dépendants du maïs pour l'autoconsommation des animaux (en moyenne, les ateliers d'élevage représentent près de 45 % du revenu agricole des exploitants). Pour assurer cette activité,

il est possible que les exploitants aient fait leur choix d'assolement en fonction d'un volume de maïs minimum nécessaire pour leur élevage. Cette hypothèse expliquerait que les choix des maïsiculteurs de l'Adour et de l'Armagnac tendent à conserver du maïs (précoce ou tardif) dans leur assolement même dans des conditions restrictives. D'autre part, dans la zone de la Garonne, les maïsiculteurs ont principalement des ateliers de maraîchage. Ce type d'atelier représente, en moyenne, 48 % du revenu agricole des exploitants. La production maraîchère représente une concurrence en temps de travail avec la production céréalière, surtout lors des périodes d'irrigation ou de traitements du maïs. Ainsi, dans des contextes restrictifs sur la ressource en eau qui pourraient affecter la rentabilité de la production céréalière, les exploitants pourraient opérer un choix entre les deux ateliers. Ceci expliquerait la tendance observée chez les agriculteurs de la Garonne d'un abandon de la production céréalière dans des contextes de production fortement restrictifs.

Le système de production des agriculteurs semblent donc bien expliquer leurs préférences pour les productions alternatives. Même s'il apparaît une spécialisation des systèmes de production en fonction des zones de production, certaines zones restent diversifiées en termes d'ateliers, complexifiant, là encore, l'identification des préférences.

V.4.3) Préférences pour les productions alternatives

Le chapitre précédent (cf. Chap. IV), présente aussi les résultats d'un *choice modelling*, axé sur les préférences des agriculteurs pour les caractéristiques d'une innovation : une culture de diversification. L'estimation d'un *logit* à paramètres aléatoires a montré que, malgré un échantillon homogène d'agriculteurs céréaliers spécialisés, les préférences pour les caractéristiques de la culture sont hétérogènes (Revelt et Train, 1998, Birol *et al.*, 2006, Useche *et al.*, 2009). Parmi d'autres éléments, le contexte pédoclimatique de l'exploitant influe fortement sur ses préférences.

L'expérience de *choice modelling* conçue pour les maïsiculteurs est plus complexe. Elle cherche à analyser les choix de production des exploitants en fonction d'un contexte de production fictif identique pour tous les répondants. Nous cherchons donc à évaluer conjointement les préférences des agriculteurs pour les caractéristiques du contexte de production ainsi que les préférences pour les productions alternatives proposées. Les deux paragraphes précédents mettent en évidence que les attributs décrivant le contexte de production peuvent être perçus différemment par les répondants. L'hétérogénéité des contextes de production et des systèmes de production actuels affectent les préférences des agriculteurs pour les attributs. De plus, ils peuvent amener les agriculteurs à prendre en compte des contraintes additionnelles ou à considérer des alternatives non proposées ce qui biaise l'estimation des modèles de choix (Rolfe *et al.*, 2002).

Par ailleurs on peut penser que, comme dans le chapitre précédent (cf. Chap. IV), les agriculteurs ont développé des préférences hétérogènes pour les productions alternatives proposées elles-mêmes. En fonction de leur expérience, de leur niveau d'information ou de leur contexte pédoclimatique, les productions proposées peuvent être perçues différemment. Cette hypothèse peut être d'autant plus marquée que certains exploitants ont déjà introduit des variétés plus précoces de maïs dans leur assolement alors que dans d'autres zones de production la quasi-totalité de la sole en maïs est restée en maïs tardif. Le Tableau 41 indique les choix variétaux de maïs en fonction des zones de production à l'autre. Ainsi, la majorité des exploitants, quelle que soit la zone de production, mettent en place du maïs tardif. Le maïs tardif est même, en moyenne, la principale variété cultivée par les producteurs de la Garonne et de l'Adour (Figure 31). Dans la zone de l'Armagnac, la part du maïs

tardif dans l'assolement varie fortement au sein de l'échantillon, mais elle est plus faible car elle représente en moyenne un quart de la sole. Le maïs semi-tardif est lui mis en place par plus de la moitié des agriculteurs dans les zones de l'Adour et de l'Armagnac, respectivement 55 % et 75 % (Tableau 41). En revanche, seul un tiers des agriculteurs de la Garonne mettent en place du maïs semi-tardif. Il est cultivé, en moyenne, sur 20% (zone Garonne) à 30% (zone Adour) de la surface des maïsiculteurs enquêtés. Enfin, concernant le maïs semi-précoce, il est moins présent dans l'ensemble de l'échantillon. Seule une partie des maïsiculteurs de la vallée de l'Adour, 20%, ont adopté cette variété semi-précoce sur, en moyenne, 20 % de leur sole. Dans l'Armagnac et la Garonne, le maïs semi-précoce est en revanche très peu présent (6 % et 2 % des exploitations respectivement).

La zone de la Garonne dispose d'un climat privilégié pour le maïs tardif (températures cumulées élevées et accessibilité à l'eau). Ceci peut expliquer la réticence des maïsiculteurs de cette zone à mettre en place de variétés plus précoces de maïs, qui ont des rendements potentiels plus bas. A l'inverse, la zone de l'Armagnac est soumise aux gelées tardives et aux sécheresses estivales. Les variétés de maïs précoces, seraient donc plus adaptées à cette zone. De plus, certains agriculteurs en ont déjà mis en place, bénéficient ainsi d'expérience. Cependant, il ne nous est pas possible dans le *choice modelling* conçu, d'évaluer uniquement les préférences des agriculteurs pour les productions alternatives.

Tableau 41: Pourcentage des exploitations enquêtées cultivant les différentes variétés de maïs étudiées

	Semi-précoce	Semi-tardif	Tardif
Adour	22,58%	54,84%	83,87 %
Armagnac	6,25%	75,00%	87,50 %
Garonne	2,38%	30,95%	95,24 %

Source Enquête 2014

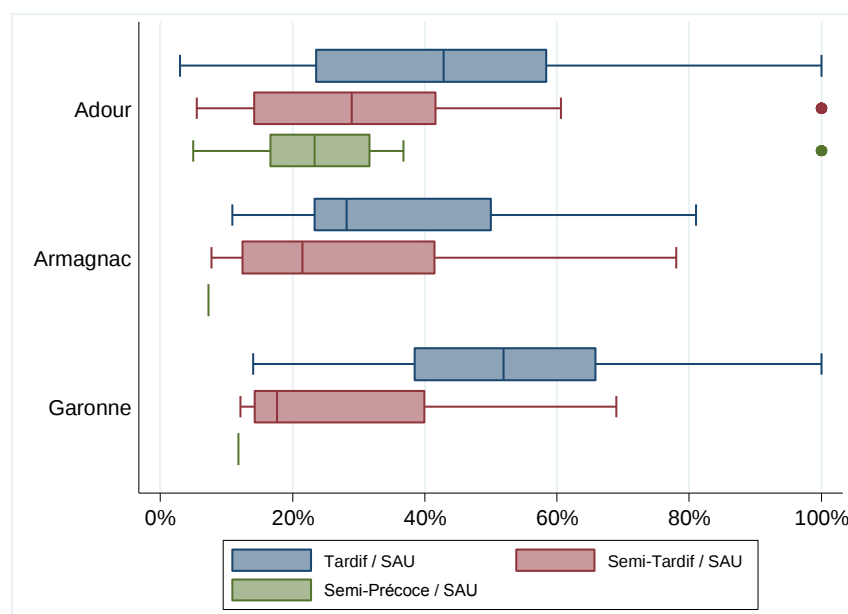


Figure 31 : Pourcentage de la sole cultivée en fonction des variétés de maïs et des zones de production

Conclusion

Le *choice modelling* a permis de mettre en évidence que, dans un contexte de production restrictif, les maïsiculteurs seraient amenés à faire évoluer leur assolement. Une baisse des prix de vente, une augmentation du prix de l'énergie ou encore une baisse des quotas d'eau d'irrigation sont autant de facteurs qui pourraient pousser les maïsiculteurs à abandonner la monoculture de maïs tardif. Les résultats obtenus ne permettent pas de clairement discerner les déterminants des préférences des agriculteurs pour une des deux cultures proposées, au sein des attributs proposés dans l'expérience : le blé tendre ou les variétés précoces de maïs. Cependant, on constate une tendance des agriculteurs à préférer adopter du blé tendre en cas d'augmentation importante du prix de l'énergie. En effet, les charges de production du maïs sont élevées (entre 800 et 100 €/ha), un accroissement du prix de l'énergie pourrait donc freiner certains exploitants à cultiver du maïs lorsqu'ils ont des contraintes de trésorerie.

Lorsque l'on distingue les cinq stratégies d'assolement possibles pour les maïsiculteurs dans l'expérience, on remarque, dans la majorité des réponses, les maïsiculteurs diversifieraient leur assolement en produisant à la fois du maïs (précoce et tardif) et du blé tendre. Ce choix d'assolement leur permet de profiter des avantages des deux cultures proposées : éviter les périodes de stress hydrique avec le maïs précoce et conserver des quotas en produisant une céréale en sec. En diversifiant leur assolement, les exploitants se prémunissent aussi contre les risques de production liés au changement climatique mais aussi contre le risque de marché, ceci en multipliant les sources de revenus. Par ailleurs, la ressource en eau apparaît comme un enjeu majeur. En effet, on observe qu'une restriction du quota d'eau de l'ordre de 1 500 m³/ha pousserait les agriculteurs vers des stratégies de substitution du maïs tardif vers du blé tendre ou de diversification de l'assolement. Par contre, si la contrainte augmente avec un quota de 1 200 m³/ha, alors, les agriculteurs pourraient être amenés à arrêter complètement la production céréalière. On distingue aussi des comportements contrastés en fonction de la zone de production. En effet, les agriculteurs de l'Adour et de l'Armagnac auraient plus tendance à diversifier leur assolement que les producteurs de la Vallée de la Garonne. L'adoption de maïs précoce se concentrerait, elle, sur la zone de l'Armagnac. Il s'agit d'une zone du Sud-Ouest où il existe déjà une production de variétés précoces de maïs. Enfin, dans un contexte de production contraignant, il semblerait que les producteurs de la vallée de la Garonne seraient plus enclins à abandonner la production céréalière que ceux de la Vallée de l'Adour.

L'emploi de la méthode de révélation des préférences comme le *choice modelling* est de plus en plus répandu dans les travaux d'économie agricole ou de l'environnement. Cependant, lorsque l'on s'intéresse au comportement des exploitants dans des contextes de production hypothétiques, ces méthodes présentent des limites majeures. Tout d'abord, la mise en situation est complexe car l'exploitant prend sa décision d'assolement à la fois par rapport au contexte de production proposé mais aussi par rapport aux productions alternatives proposées. Toutefois, lors de l'analyse il n'est pas possible de dissocier les préférences pour les productions de celles liées aux contextes de production. D'autre part, le contexte de production actuel des agriculteurs est intègre de nombreuses composantes (sol, climat, environnement, etc.). Il est difficile de le décrire de manière précise et pertinente par un nombre limité d'attributs comme l'impose ce type de méthode. Cela peut amener à proposer des attributs agrégés ou génériques qui n'auront pas la même signification ou la même conséquence d'un exploitant à l'autre. Enfin, même si l'analyse porte sur le système de

culture principal des exploitants, les contextes de production actuels peuvent être divers. Les niveaux de contrainte des attributs peuvent être perçus différemment, ce qui mène à une hétérogénéité des préférences forte au sein de l'échantillon (Rolfe *et al.*, 2002). De plus, les agriculteurs peuvent prendre en compte des contraintes additionnelles non observables par le chercheur. Une forte hétérogénéité des préférences dans un échantillon réduit rend l'estimation des préférences complexe.

Bibliographie

- Adamowicz, W., Boxall, P., Williams, M., Louviere, J., 1998. Stated Preference Approaches for Measuring Passive Use Values: Choice Experiments and Contingent Valuation. *American Journal of Agricultural Economics* 80: 64-75.
- AEAG, 2014. Rapport Final Garonne 2050 : Etude prospective sur les besoins et les ressources en eau, à l'échelle du bassin de la Garonne. Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : <http://www.eau-adour-garonne.fr/fr/grands-dossiers/la-garonne-2050.html>.
- Agreste Aquitaine, 2013 Application d'intrants sur le maïs grain : Quelles évolutions en 2011. Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/R7213A34.pdf>.
- Arvalis, 2013. Grandes cultures 2013-2014 Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.gard.chambagri.fr/fileadmin/Pub/CA30/Internet_CA30/Documents_Internet_CA30/Grandes_Cultures/2013_Octobre_Arvalis.pdf.
- Benoist, D., Tourbier, Y., German-Tourbier, S., 1994. *Plan d'expériences: construction et analyse*. Lavoisier.
- Birol, E., Karousakis, K., Koundouri, P., 2006. Using a choice experiment to account for preference heterogeneity in wetland attributes: The case of Cheimaditida wetland in Greece. *Ecological Economics* 60: 145-156.
- Chambre d'Agriculture des Landes, 2015. Marges brutes Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.landes.chambagri.fr/fileadmin/documents_CA40/Internet/productions_vegetales/Marges_GrandesCultures.pdf.
- Chambre d'Agriculture Midi-Pyrénées, 2009. Le maïs irrigué Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.mp.chambagri.fr/IMG/pdf/mais_irrigue.pdf.
- Debaeke, P., Bertrand, M., 2008. Évaluation des impacts de la sécheresse sur le rendement des grandes cultures en France. *Cahiers agricultures* 17: 437-443.
- Fuzeau, V., Dubois, G., Therond, O., Allaire, G., 2012. Diversification des cultures dans l'agriculture française : états des lieux et dispositifs d'accompagnement Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/E_D_67_diversification_des_cultures_16_07_2012.pdf.
- Gbetibouo, G. A., 2009. *Understanding Farmers' Perceptions and adaptations to Climate Change and Variability*. Intl Food Policy Res Inst.
- Hardaker, J., Huirne, R., Anderson, J., Lien, G., 2004. *Coping with risk in agriculture*. CABI Publishing.
- Hensher, D. A., Johnson, L. W., 1981. *Applied discrete choice modelling*. Wiley.
- Irribarren, A., 2015. 2014, des niveaux de production meilleurs qu'en 2013. Consulté le : 25/01/2016, Disponible sur : http://www.insee.fr/fr/insee_regions/aquitaine/themes/insee-conjoncture/inc_005/inc_005_agriculture.pdf.
- Lacroix, A., 1995. Des solutions agronomiques à la pollution azotée. *Cahiers agricultures* 4: 333-342.
- Long, J. S., Freese, J., 2006. *Regression models for categorical dependent variables using Stata*. Stata press.
- Louviere, J. J., Hensher, D. A., Swait, J. D., 2000. *Stated choice methods: analysis and applications*. Cambridge University Press.
- McFadden, D., 1978. Modelling the choice of residential location. *Institute of Transportation Studies*.
- Menapace, L., Colson, G., Raffaelli, R., 2014. Farmers' Climate Change Risk Perceptions: An Application of the Exchangeability Method, *EAAE 2014 Congress*, Ljubjana, Slovenia.
- OCDE. 2010. *Gestion des risques dans l'agriculture*. Éditions OCDE.
- ONERC. 2009. *Changement climatique : Coûts des impacts et pistes d'adaptation* Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer
- Revelt, D., Train, K., 1998. Mixed logit with repeated choices: households' choices of appliance efficiency level. *Review of economics and statistics* 80: 647-657.

- Rolfe, J., Bennett, J., Louviere, J., 2002. Stated values and reminders of substitute goods: Testing for framing effects with choice modelling. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics* 46: 1-20.
- SOeS, S. d. l. o. e. d. s., Dubois, A., Lacouture, L., 2014. Les pesticides dans les eaux douces. Consulté le : 26/01/2016, Disponible sur : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/f/1831/1902/pesticides-eaux-douces.html>.
- Tobin, J., 1958. Estimation of relationships for limited dependent variables. *Econometrica: journal of the Econometric Society*: 24-36.
- Train, K., 2009. *Discrete choice methods with simulation*. Cambridge university press.
- Useche, P., Barham, B. L., Foltz, J. D., 2009. Integrating technology traits and producer heterogeneity: A mixed-multinomial model of genetically modified corn adoption. *American Journal of Agricultural Economics* 91: 444-461.

Chapitre VI CONCLUSIONS ET DISCUSSIONS

Sommaire

VI.1) Principaux résultats issus du travail de thèse	205
VI.2) Discussion et implications de ce travail de thèse	208
VI.2.1) Limites du travail.....	208
VI.2.2) Implication pour les acteurs de la filière céréalière.....	209
Bibliographie.....	211

Le modèle de production céréalière actuel est fortement remis en question face aux nouvelles injonctions réglementaires, aux attentes sociétales, aux enjeux environnementaux, à l'évolution climatique ainsi qu'au contexte économique de plus en plus incertain. L'innovation est aujourd'hui au centre des questionnements sur l'évolution des systèmes de culture céréaliers. Longtemps orientée vers les innovations de procédés ou de produits, l'agriculture doit aujourd'hui mettre en place des innovations systémiques en adéquation avec les objectifs de développement durable, tout en maintenant des rendements élevés. Les systèmes de culture innovants, qui conjuguent des techniques de production novatrices avec des outils agronomiques traditionnels comme la diversification des assolements, semblent aujourd'hui faire consensus auprès des experts de la filière. Les niveaux de rupture des systèmes de culture innovants avec les pratiques actuelles peuvent être modulés en fonction des enjeux et des contraintes des agriculteurs grâce à des approches participatives. Cependant, malgré l'augmentation du nombre de projets de recherche et de développement impliquant tous les acteurs de la filière céréalière (agriculteurs, coopératives, instituts et chercheurs), ce type d'innovations, reste peu répandu sur le territoire français.

Etudier les déterminants de l'adoption de ces innovations représente un intérêt majeur afin de concevoir des politiques publiques pertinentes, développer des programmes de soutien adaptés ou encore mettre en place des démarches de conseil ciblées pour accompagner les agriculteurs dans le changement. L'introduction d'un système de culture innovant engendre, pour l'agriculteur, des incertitudes supplémentaires ainsi que, parfois, des investissements (matériels ou immatériels) pour le mettre en œuvre. On sait que le risque reste un des freins majeurs à l'adoption et qu'il peut expliquer le comportement de rejet des innovations de la part des agriculteurs céréaliers. Des déterminants socio-économiques sont aussi reconnus pour limiter l'adoption comme les contraintes financières ou l'accès à l'information. Cependant, on sait que les agriculteurs basent leur choix sur leurs perceptions et leurs préférences. Ces derniers déterminants, non directement observables, peuvent affecter le processus d'adoption d'innovations (cf. Chap. I). Grâce au développement de différents cadres d'analyse du comportement des agents en situation d'incertitude, des outils de révélation de ces déterminants inobservables sont mobilisables.

Le risque influence l'adoption d'innovations agricoles. A l'aide de méthodes déclaratives, sur des échelles psychométriques, nous avons évalué les préférences face au risque des agriculteurs. Nous avons mis en évidence que ces attitudes sont susceptibles de diminuer le potentiel d'adoption d'innovations perçues comme plus risquée que les pratiques actuelles. Ainsi, nous avons fait l'hypothèse que les perceptions du risque des agriculteurs constituent aussi un enjeu-clé de la décision d'adoption. Lors de la prise de décision d'adoption l'agriculteur est en situation d'information imparfaite. En effet, il ne dispose que de peu de références quant au potentiel de l'innovation sur son exploitation ni de connaissances précises quant aux techniques de production. Il évalue l'innovation et prend ses décisions en fonction de ses croyances et de ses perceptions du risque lié à l'innovation. De plus, comme tout consommateur, l'agriculteur développe des préférences pour l'innovation elle-même et plus spécifiquement pour ses caractéristiques. La théorie du consommateur développée par Lancaster et formalisée par Mc Fadden, permet d'évaluer la sensibilité des individus pour les caractéristiques d'un bien. Cette approche peut être transposée aux préférences des agriculteurs vis-à-vis de l'innovation. Elle apparaît comme pertinente dans l'étude de l'adoption d'innovations comme les systèmes de culture innovants. En effet, il s'agit d'innovations complexes, dites agroécologiques, dont les effets sont liés à des dynamiques biologiques sur le long terme. Il est peu probable que les agriculteurs puissent évaluer le bénéfice ou l'utilité globale d'un

système de culture innovant. Ils basent plutôt leur choix sur les caractéristiques observables du système de culture et sur leur sensibilité vis-à-vis de chacune d'elles.

Dans cette thèse nous avons analysé les déterminants de l'adoption d'innovations dans le cadre spécifique de l'adoption de systèmes de culture innovants par les agriculteurs spécialisés en grandes cultures du Sud-Ouest de la France. En se basant sur différents cadres théoriques de la microéconomie, nous avons plus spécifiquement cherché à appréhender le rôle des déterminants non directement observables : les perceptions et les préférences vis-à-vis du risque et des innovations. Afin de disposer de données pertinentes pour l'analyse du comportement, nous avons conçu un questionnaire d'enquête original combinant différents outils de révélations des préférences et des perceptions (*cf.* Chap. II). Pour conclure ce travail nous synthétisons, dans un premier temps, les principaux résultats obtenus, puis, les limites et les perspectives de ce travail.

VI.1) Principaux résultats issus du travail de thèse

Les principaux résultats empiriques de ce travail de thèse sont présentés dans les trois paragraphes suivants dédiés à chacun des chapitres de résultats.

Le **Chapitre III** portait sur le comportement face au risque de 190 agriculteurs céréaliers du Sud-Ouest de la France. L'attitude vis-à-vis du risque des agriculteurs a été évaluée grâce à des méthodes déclaratives sur des échelles psychométriques. Nous avons pu évaluer les perceptions des agriculteurs vis-à-vis de deux types de risques qui affectent particulièrement leur activité : le risque de production et le risque de marché. Nous avons révélé les distributions de prix et de rendement perçues sur 10 ans pour les cultures principales actuelles (blé dur et maïs). Ceci nous a permis de disposer d'indicateurs d'espérance et de variabilité sur ces deux aléas. On constate que la variabilité des prix sur 10 ans est perçue comme plus élevée que celle des rendements (respectivement 30 % et 10 %). La bonne maîtrise technique des cultures actuelles peut expliquer la relative stabilité des rendements sur 10 ans. Cependant, le risque de production est perçu de manière hétérogène au sein de l'échantillon. Les maïsiculteurs perçoivent des risques de rendement plus élevés. Cette distinction avec les producteurs de blé dur sur tournesol est encore plus marquée pour le risque de marché. Les maïsiculteurs perçoivent une variabilité du prix du maïs de l'ordre de 45 % sur 10 ans pour seulement 10 % pour les prix du blé dur. Ceci peut s'expliquer d'une part, par la très forte spécialisation de ces agriculteurs en monoculture, et d'autre part, par un marché du maïs particulièrement volatil. Par ailleurs, les résultats montrent une corrélation des indicateurs de variabilité du rendement et du prix des individus : les agriculteurs qui perçoivent une variabilité élevée du prix déclarent aussi une variabilité importante du rendement. Tout comme l'aversion, la perception du risque pourrait être une caractéristique psychologique des individus. A partir des éléments descriptifs des croyances des individus, nous avons évalué le rôle des attitudes et des perceptions face au risque dans la mise en place de deux types d'outils de gestion du risque : la commercialisation (contrat) et le niveau de diversification agronomique. Depuis la suppression des prix minimum garantis, les agriculteurs doivent gérer par eux-mêmes le risque-prix notamment par des stratégies de commercialisation plus ou moins sécurisantes. Ainsi, les agriculteurs qui perçoivent une forte variabilité des prix privilégient une stratégie de gestion de portefeuille en ayant recours à plusieurs modes de commercialisation. Ils combinent les transactions risquées (marché *spot*) et contrats moins risqués (*forward*). Afin de réduire leur exposition au risque, certains exploitants diversifient leurs sources de revenu agricole en intégrant plusieurs productions. Il apparaît que les agriculteurs qui diversifient leur assolement perçoivent un risque-prix réduit. Nous avons montré que les agriculteurs combinent peu ces deux instruments de gestion du risque. Les agriculteurs fortement spécialisés ont tendance à avoir une proportion des contrats de vente avant récolte plus élevée alors que, à l'inverse, les agriculteurs les plus diversifiés, tendent à adopter des stratégies de commercialisation plus risquées (marché *spot*).

Le **Chapitre IV** s'est concentré sur la rotation courte de blé sur tournesol. Cette rotation fait face à des impasses agronomiques notamment de résistance des adventices et des maladies aux produits phytosanitaires. L'introduction d'une culture de diversification pourrait permettre de bénéficier des effets rotationnels de l'allongement de la rotation pour limiter les difficultés des agriculteurs et faire évoluer leur système. Afin d'évaluer le potentiel d'adoption de cultures de diversification, nous avons analysé les perceptions et les préférences de producteurs en rotation de blé dur sur tournesol pour ces cultures. Lors de la phase exploratoire de la thèse, nous avons sélectionné, à dire d'experts (agriculteurs, chercheurs et coopératives), quatre cultures de diversification potentielles : le blé

tendre, le colza, le sorgho et le pois. Leur adoption dépend, selon les experts, des perceptions des agriculteurs vis-à-vis de trois principaux critères : le niveau de la marge brute, le niveau de risque de rendement et le niveau de technicité de la conduite culturale. L'analyse de la perception de ces critères par les agriculteurs, pour chacune des cultures proposées, montre que le blé tendre serait la culture privilégiée. Cependant, elle ne permet pas d'accroître la diversité de la rotation (qui comprend déjà du blé dur). Les trois autres cultures ne concilient pas tous les critères. Par exemple, le colza est perçu comme profitable mais très technique à produire alors que, à l'inverse, le sorgho est peu technique à produire mais perçu comme peu intéressant du point de vue de la marge brute. L'adoption de la culture de diversification dépendra donc des préférences des agriculteurs pour ses caractéristiques. Une expérience de *choice modelling* a été menée auprès d'une centaine d'agriculteurs pour déterminer et quantifier le rôle des caractéristiques des cultures dans le choix d'adoption. Comme dans de nombreux travaux sur l'adoption d'innovations, l'attribut monétaire de la marge brute est apparu comme très significatif dans le choix d'adoption des agriculteurs. Les résultats montrent également un rôle significatif des attributs non monétaires. Les effets de l'allongement de la rotation sur la gestion de la fertilisation azotée et sur la gestion des pesticides affectent le choix des exploitants. L'évaluation des consentements à payer a permis de donner une valeur monétaire à ces attributs. Les résultats obtenus sont proches des valeurs marchandes observées : une unité d'azote restituée est valorisée en moyenne 1,2 € par les exploitants et un traitement pesticide supplémentaire 90 € par hectare. Nous avons aussi pu révéler la valeur accordée à la technicité de la conduite culturale par les agriculteurs. Ils seraient prêts à payer 47 € par hectare pour mettre en place une culture peu technique à conduire (par rapport à une culture considérée comme technique). Des modèles intégrant des interactions entre les caractéristiques de l'exploitation et les attributs de la culture montrent que la sensibilité des agriculteurs aux attributs agronomiques est accrue dans des contextes de production restrictifs. Les exploitants ayant des sols pentus, plus sujets au lessivage de l'azote, valorisent plus la restitution azotée de la culture. En plus de l'hétérogénéité liée aux conditions de production, l'estimation d'un modèle *logit* à paramètres aléatoires a mis en évidence une forte hétérogénéité des préférences des agriculteurs vis-à-vis de l'attribut de restitution azotée. Malgré l'introduction de nombreuses variables explicatives dans le modèle, une part de l'hétérogénéité des préférences des agriculteurs reste inexpliquée. Par ailleurs, en adéquation avec la littérature, l'adoption d'une culture de diversification est favorisée par des caractéristiques socio-économiques comme la présence de revenus extérieurs et le niveau d'éducation. Ces caractéristiques affectent non seulement le choix mais aussi l'intensité d'adoption des producteurs. Nos résultats montrent également que des variables liées à la gestion à long terme de l'exploitation affectent la décision d'adoption. Ainsi, les agriculteurs qui ont déjà fait de grands changements (d'ateliers, de pratiques, etc.) sont plus enclins à faire évoluer de nouveau leur exploitation. Cet effet d'expérience est aussi visible dans l'analyse de l'intensité d'adoption de la culture de diversification. Les chefs d'exploitation les plus expérimentés ou ayant repris l'exploitation familiale intègrent la culture de diversification sur de plus grandes surfaces. A l'inverse, les agriculteurs très fortement spécialisés, qui ont moins de savoir-faire quant à la production de la culture de diversification, adoptent des surfaces plus réduites, ceci probablement dans une démarche plus incrémentale. Les résultats obtenus permettent de formuler des propositions pour promouvoir l'allongement des rotations. En premier lieu, la mise en place de réseaux d'information et de conseil devrait s'orienter prioritairement sur la production de colza dont le principal blocage est une conduite culturale, considérée comme très technique. Les démarches collectives et l'accès à des expérimentations locales seraient par ailleurs particulièrement utiles afin de générer des effets de

spill over pour une diffusion facilitée des compétences. D'autre part, le développement d'une filière spécifique pour le sorgho permettrait de lever le blocage de la faible rentabilité perçue de cette culture.

Le **Chapitre V** s'est intéressé à un système de culture particulièrement problématique du Sud-Ouest de la France : la monoculture de maïs. La forte rentabilité de cette production dans la région n'oriente pas les agriculteurs vers des démarches innovantes, malgré des réglementations restrictives. De plus, les maïsiculteurs ont peu de difficultés quant à la conduite culturale de cette culture. L'évolution de la monoculture de maïs est particulièrement liée à son contexte de production. Il s'agit d'un système peu résilient face au changement climatique et la forte spécialisation des exploitations expose les agriculteurs de manière accrue au risque de marché. L'enjeu de ce chapitre était de capter l'effet du changement climatique, de l'évolution de la réglementation et des marchés sur les choix d'assolement des maïsiculteurs. Les maïsiculteurs ont déclaré être conscients des conséquences de l'évolution du climat sur leur production de maïs. De plus, ils considèrent qu'ils auront l'obligation de se conformer, à court terme, à une nouvelle réglementation sur l'eau qui réduira leurs capacités d'irrigation d'environ 25 %. Une deuxième expérience de *choice modelling* portant sur ce système de production a montré que dans des situations économiques non favorables à la production de maïs (baisse des prix de vente, hausse du prix de l'énergie), ou dans des situations de restriction de la ressource en eau, les maïsiculteurs préfèrent envisager une évolution de leur assolement. Un contexte haussier des coûts de l'énergie pousserait les maïsiculteurs vers une introduction de blé tendre, moins gourmand en intrants. Dans la majorité des réponses du *choice modelling*, les maïsiculteurs font évoluer leur assolement en intégrant à la fois de nouvelles variétés de maïs et une céréale à paille produite en sec (du blé tendre). Les résultats des modèles de choix estimés obtenus sont moins concluants que dans le chapitre précédent. Ceci peut être expliqué par une hétérogénéité plus forte de cet échantillon qu'au sein de l'échantillon des producteurs de blé dur. Cette hétérogénéité engendre trois principaux biais : un « effet zone », un « effet d'expérience » et, enfin, la prise en compte d'alternatives non disponibles. Concernant la zone de production, les résultats montrent un effet significatif de la zone de production sur les choix de production (vallée de l'Adour, vallée de la Garonne et l'Armagnac). En effet, les conditions de production, notamment d'accès à l'eau sont très différentes selon les territoires. Les agriculteurs de la vallée de la Garonne ont majoritairement accès à l'eau par forage, ce qui leur permet une irrigation non restrictive (c'est-à-dire non soumise aux quotas). Ceci peut expliquer que, dans cette zone, les agriculteurs montrent une plus forte inertie face à l'évolution de la monoculture de maïs. Du point de vue de l'effet d'expérience, certaines innovations comme les variétés précoces de maïs sont déjà mises en place dans certaines zones de productions, comme l'Adour et l'Armagnac, ceci facilite leur adoption par les agriculteurs qui ont déjà de l'expérience quant à leur production. Enfin, en plus des conditions de production, les systèmes de production des maïsiculteurs dans les trois zones d'étude sont très divers. Près de 70 % des maïsiculteurs ont un autre atelier que les grandes cultures. Dans la zone de l'Adour, plus de la moitié des ateliers sont consacrés à l'élevage. Ceci peut expliquer que ces exploitants soient plus enclins à conserver une production de maïs, pour nourrir le bétail. A l'inverse, dans la zone de la Garonne, presque 45 % des ateliers sont dédiés au maraîchage. Aussi, dans des conditions restrictives, les agriculteurs de cette zone font peut-être plus facilement le choix d'abandonner la production céréalière pour se concentrer entièrement à l'atelier maraîchage qui représente déjà, en moyenne, 45 % de leur

revenu. Du fait de ces spécificités, les agriculteurs ont pu considérer des alternatives non proposées dans l'expérience.

VI.2) Discussion et implications de ce travail de thèse

VI.2.1) Limites du travail

Comme tous les travaux de recherche, cette thèse présente des limites. Nous présentons ici les deux principales que nous avons retenues à l'issue de ce travail.

En premier lieu, la taille de l'échantillon, 200 individus, reste objectivement restreinte. Cependant, afin de collecter les déterminants pertinents affectant le processus de décision, notre travail a nécessité de mettre en place un protocole d'enquête et de pré-enquête long et privilégiant les croisements de regards (experts, agriculteurs, chercheurs de plusieurs disciplines). Cette démarche participative nous a permis : i) d'identifier les systèmes de culture représentatifs de la zone d'étude et de définir leurs enjeux ; ii) de sélectionner, à dire d'experts, des innovations pertinentes limitant les freins à l'adoption et ; iii) de concevoir un questionnaire d'enquête permettant de collecter les variables nécessaires à l'analyse des déterminants intégrant les perceptions et les préférences. Cette étape de conception, ainsi que les entretiens en face-à-face, nous ont permis de nous assurer d'un taux de réponse élevé (10 % de questionnaires seulement sont non utilisables). Cependant, les entretiens en face-à-face sont longs, entre 1 heure 30 et 2 heures, et la mobilisation des acteurs limitent le nombre d'enquêtes réalisables. A notre connaissance, peu de travaux cherchent à collecter à la fois les déterminants observables et non observables qui affectent le choix d'adoption d'innovations par les agriculteurs. A l'exception de Blazy *et al.* (2011), les travaux empiriques sur ce sujet, basés sur des enquêtes directes auprès des agriculteurs, réunissent un échantillon du même ordre de grandeur : Asrat *et al.* (2010) 131 individus, Manalo (1990) 208 individus, Tano *et al.* (2003) 299 individus. Cependant, des analyses supplémentaires dans d'autres contextes de production céréalières spécialisés, par exemple pour la monoculture de maïs en l'Alsace ou dans le Sud-Est pour le blé dur, pourraient permettre de compléter le panorama des déterminants, notamment ceux liés au contexte de production.

Ce travail met aussi en évidence des limites quant à l'utilisation de la méthode du *choice modelling*. Ce type de méthode est particulièrement adapté pour évaluer les préférences des agriculteurs pour une innovation spécifique, comme dans notre cas, une culture de diversification (*cf.* Chap. IV). Son emploi se multiplie à la fois dans les travaux en économie de l'environnement, en économie agricole ou dans les processus de conception ou d'évaluation des politiques publiques. Cependant, les résultats peu significatifs obtenus dans le Chapitre V nous ont confrontés à deux contraintes fortes du *choice modelling* qui soulignent les limites de son adaptabilité à tous les contextes. D'une part, pour des raisons d'estimation, il est très difficile, voire impossible, d'identifier les préférences des individus au sein d'échantillons restreints et hétérogènes. Ainsi, même si on dispose d'une population d'enquêtés ciblée, comme les maïsiculteurs du Sud-Ouest, il est nécessaire préalablement de s'assurer qu'ils ont des contraintes initiales similaires afin de ne pas biaiser l'analyse. L'utilisation de ce type de méthode paraît donc peu pertinente lorsque la zone ou le sujet d'étude sont vastes et complexes. D'autre part, un autre élément qui détermine la fiabilité de l'estimation des préférences est le nombre d'attributs présenté pour décrire l'expérience. Les attributs doivent être peu nombreux afin de s'assurer de ne pas complexifier le choix du répondant ainsi que pour des raisons d'estimation statistique. En effet, plus le nombre d'attributs est grand, plus l'échantillon d'enquêtés

doit être grand. Or, cette contrainte implique de s'intéresser à des innovations ou des produits ayant des caractéristiques observables peu nombreuses. Ainsi, le *choice modelling* ne semble pas convenir à des études sur des objets d'étude complexes, difficiles à décrire de manière précise en un petit nombre d'attributs, comme le contexte de production.

VI.2.2) Implication pour les acteurs de la filière céréalière

Cette thèse a permis de mettre en évidence des résultats qui peuvent avoir des implications concrètes pour les acteurs de la filière céréalière.

Nous avons pu constater que, même si les caractéristiques monétaires des innovations jouent un rôle évident dans la décision des agriculteurs, le choix d'adoption ne peut se limiter à ce seul critère. Les attributs non monétaires, agronomiques et techniques, ont aussi un poids significatif dans la prise de décision des agriculteurs. Ceci met en évidence que, malgré un modèle de production de masse centré sur la productivité depuis de nombreuses années, les principes de base de l'agronomie restent au centre de la réflexion des agriculteurs. Cependant, la technicité de la conduite culturale apparaît, entre autres, comme un frein à l'adoption, souligné dans d'autres travaux sur la diversification des assolements (Merrien *et al.*, 2013, Meynard *et al.*, 2013). Suite à la spécialisation des systèmes de culture vers quelques cultures majoritaires, les agriculteurs ont perdu des connaissances et du savoir-faire pour produire d'autres cultures dites minoritaires (pois, lupin, féverole, *etc.*). Le rôle des organismes de recherche et de développement est donc aujourd'hui de promouvoir les innovations en fonction des attentes des agriculteurs. Cela passe principalement par la diffusion des informations sur les performances des cultures, sur leurs intérêts agronomiques et rotationnels et sur les techniques de conduites culturales. Si les instituts techniques (CETIOM, Arvalis Institut du Végétal, *etc.*) diffusent déjà certaines de ces informations, les agriculteurs privilégient, en premier-lieu, les informations et les conseils des techniciens des coopératives. En lien avec ce besoin de références locales, les agriculteurs semblent en attente de conseil spécialisé et non « généraliste », spécialisé dans une production ou un type de pratique culturale. Aussi, le transfert de connaissances entre les instituts de recherche et de développement et les techniciens doit être favorisé et ciblé en fonction des pratiques qui pourraient se développer sur les territoires d'action des conseillers. De plus, il apparaît que les démarches collectives sont attendues par les exploitants qui souhaitent aujourd'hui des informations à l'échelle locale de la petite région agricole, afin de s'assurer de l'adaptabilité des innovations sur leur exploitation. Ceci pourrait notamment se faire par la mise en place de démarches collectives à l'image des groupements de producteurs ou des CETA³⁴. Pour que ces démarches aboutissent, les coopératives doivent être les principaux moteurs du développement et de l'animation de ces nouveaux réseaux de formation et de conseil. Le travail réalisé dans cette thèse, d'analyse des déterminants socio-économiques qui affectent le comportement d'adoption, pourrait permettre de faciliter l'identification des agriculteurs les plus enclins à innover qui pourraient être les précurseurs de ce genre de démarche collective au sein des structures.

Une seconde implication s'oriente vers la mise en œuvre des politiques publiques. Concernant le système de production de blé dur sur tournesol, nous avons montré que l'évolution du système de culture n'est pas directement liée à l'évolution de la réglementation. Ce sont plutôt les contraintes de production des agriculteurs qui les poussent vers des démarches d'adaptation sur une base volontaire. A l'inverse, le système de la monoculture de maïs est plus particulièrement visé par les

³⁴ Centre d'Etude des Techniques Agricoles

injonctions réglementaires en termes de gestion de l'eau ou de verdissement de la PAC. Concernant la gestion de la ressource en eau, les résultats ont montré que, en fonction des territoires de production, les réglementations actuelles n'impliquent pas le même niveau de contrainte pour les agriculteurs. Aussi, il apparaît comme une nécessité de concevoir des réglementations plus territorialisées, à l'instar des MAE-T. Ces territoires doivent être définis avec l'appui des acteurs des territoires et de la filière, sans inclure de limites administratives (régionales, départementales ou de bassin versant). Ils doivent prendre en compte à la fois les conditions pédoclimatiques mais aussi les systèmes de production présents sur le territoire. Ceci aura pour effet, d'homogénéiser le niveau de contrainte des réglementations. Cette démarche réglementaire associée à des plans d'action ciblés de conseil et d'information sur la faible résilience de la monoculture de maïs face au changement climatique pourrait orienter des agriculteurs vers des techniques de production innovantes (*strip till* ou couverts permanents des sols) pour améliorer la structure des sols et donc leur rétention en eau. Les coûts de transactions engendrés par la territorialisation de la politique publique pourraient, être en partie compensés par une plus grande efficacité et une adoption accrue des pratiques innovantes qui limiterait les effets de l'activité agricole sur l'environnement (pollution des eaux, détérioration des sols, etc.).

Un second niveau d'action est lié à la mise en œuvre de la nouvelle PAC 2014-2020. Face aux enjeux environnementaux, les décideurs publics cherchent à faire évoluer les systèmes de culture intensifs comme la monoculture de maïs dans le Sud-Ouest. L'obtention d'un tiers des aides à la production des maïsiculteurs est conditionnée par la mise en place de démarches en faveur de l'environnement comme la diversification de l'assolement. Cependant, la monoculture de maïs reste aujourd'hui le système de culture le plus profitable pour les producteurs dans les zones pédoclimatiques favorables (vallée de l'Adour et de la Garonne). Ces démarches de conditionnalité ne semblent pas incitatives, car le niveau de marge élevé permet aux maïsiculteurs d'assumer la baisse de leur revenu sans faire évoluer leur assolement. Du point de vue du régulateur, l'économie budgétaire ainsi réalisée pourrait être allouée au développement d'un fond d'aides pour promouvoir les initiatives volontaires de changement de pratiques, notamment pour l'investissement en matériel ou la formation professionnelle d'accompagner les maïsiculteurs vers le changement de production ou de pratiques (AB, agriculture raisonnée, etc.). Ainsi, l'évolution du secteur du maïs ne serait pas financée au détriment d'aides à d'autres productions.

Bibliographie

- Asrat, S., Yesuf, M., Carlsson, F., Wale, E., 2010. Farmers' preferences for crop variety traits: Lessons for on-farm conservation and technology adoption. *Ecological Economics* 69: 2394-2401.
- Blazy, J.-M., Carpentier, A., Thomas, A., 2011. The willingness to adopt agro-ecological innovations: Application of choice modelling to Caribbean banana planters. *Ecological Economics* 72: 140-150.
- Manalo, A. B., 1990. Assessing the importance of apple attributes: an agricultural application of conjoint analysis. *Northeastern journal of agricultural and resource economics* 19: 118-124.
- Merrien, A., Arjauré, G., Carof, M., Leterme, P., 2013. Freins et motivations à la diversification des cultures dans les exploitations agricoles : étude de cas en Vendée. *OCL* 20.
- Meynard, J. M., Messéan, A., Charlier, A., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., Magrini, M. B., Savini, I., 2013. *Freins et leviers à la diversification des cultures : Etude au niveau des exploitations agricoles et des filières*, in *Rapport d'étude*. INRA.
- Tano, K., Kamuanga, M., Faminow, M. D., Swallow, B., 2003. Using conjoint analysis to estimate farmer's preferences for cattle traits in West Africa. *Ecological Economics* 45: 393-407.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Main observable determinants and their effect on the adoption of innovations in the literature	42
Table 2: Main indicators of wealth	44
Table 3 : Examples of studies focusing on farmers' preferences for the innovation characteristics....	50
Tableau 4: Liste des experts ayant participé aux entretiens semi-directifs pour définir les systèmes de culture représentatifs de la zone	65
Tableau 5 : Diagnostic agro-économique de la rotation de blé dur sur tournesol à dire d'experts	67
Tableau 6 : Diagnostic agro-économique de la monoculture de maïs à dire d'experts	69
Tableau 7 : Liste des participants à la phase de sélection des systèmes de culture innovants	71
Tableau 8 : Synthèse des entretiens et focus groups sur le système blé dur sur tournesol	73
Tableau 9 : Synthèse des entretiens et focus groups sur le système monoculture de maïs irrigué	76
Tableau 10: Attributs et leurs niveaux pour l'expérience du choice modelling sur la rotation de blé dur sur tournesol	87
Tableau 11 : Attributs et leurs niveaux pour l'expérience du choice modelling sur le maïs	90
Tableau 12 : Facteurs affectant le choix de commercialisation des céréaliers dans la littérature	103
Tableau 13: Statistiques descriptives des agriculteurs enquêtés.....	108
Tableau 14 : Indicateurs de perception du risque des agriculteurs pour l'échantillon complet	111
Tableau 15 : Corrélations des différents les indicateurs de perception du risque (Test de Pearson)	112
Tableau 16 : Indicateurs de perception du risque des agriculteurs par système de culture de référence	113
Tableau 17 : Répartition des choix de commercialisation au sein de l'échantillon et par système de culture	114
Tableau 18 : Description des classes obtenues par la classification ascendante hiérarchique	115
Tableau 19 : Indicateurs de diversification agronomique	116
Tableau 20 : Résultats des tobit par type de commercialisation	119
Tableau 21 : Résultats du logit multinomial sur les déterminants de l'adoption des stratégies de commercialisation	121

Tableau 22 : Résultats du modèle Tobit (variable Surf Div / SAU) et des régressions linéaires (pour les variables Nb Cult Div et Div Agro) pour expliquer les déterminants de la diversification agronomique des exploitations	123
Tableau 23 : Performances actuelles du système blé dur sur tournesol	134
Table 24 : Attributes and levels of the choice modelling	144
Table 25 : Descriptive statistics of the sample	146
Table 26 : Results of the basic specification and the interaction logit estimates	147
Table 27 : Results of the random parameter logit estimates.....	149
Table 28 : Mean marginal willingness to pay (in €) for crop traits.....	150
Tableau 29: Liste des déterminants de l'adoption disponibles dans l'enquête	154
Tableau 30: Résultats du logit à paramètres aléatoires.....	156
Tableau 31: Déterminants de l'intensité d'adoption de la culture de diversification (modèle tobit).	159
Tableau 32 : Description du système en monoculture de maïs actuel	173
Tableau 33 : Résultats du modèle logit sur la perception du changement climatique.....	174
Tableau 34: Niveaux et définition des attributs retenus pour le choice modelling	180
Tableau 35 : Description des réponses des maïsiculteurs à l'expérience de choice modelling	182
Tableau 36: Résultats des logit et tobit sur l'adoption et l'intensité d'adoption des innovations proposées	185
Tableau 37: Répartition des réponses des maïsiculteurs par stratégie d'adaptation dans le choice modelling	187
Tableau 38: Résultats du logit multinomial sur les stratégies d'assolement adoptées par les maïsiculteurs	189
Tableau 39 : Quota et niveaux des quotas au sein de l'échantillon	192
Tableau 40 : Fréquence des épisodes de sécheresse et de restriction et effet sur la productivité du maïs	193
Tableau 41: Pourcentage des exploitations enquêtées cultivant les différentes variétés de maïs étudiées	196

Liste des figures

Figure 1 : Schéma du dispositif méthodologique de conception des questionnaires.....	62
Figure 2 : Carte des orientations technico-économiques des exploitations (OTEX) (Source Agreste Recensement agricole 2010)	63
Figure 3 : Exemple de carte de choix pour le choice modelling du blé dur sur tournesol	87
Figure 4 : Carte de choix pour le choice modelling de la monoculture de maïs irrigué.....	90
Figure 5 : Evaluation du caractère risqué de la volatilité sur échelle colorimétrique (extrait du questionnaire)	109
Figure 6 : Exemple de distribution des fréquences par intervalles pour le rendement du blé dur	110
Figure 7 : Distribution des espérances de prix (Esp Prix/ Population) sur l'échantillon complet	111
Figure 8 : Distribution des espérances de rendement (Esp Rdt / Population) sur l'échantillon complet	111
Figure 9 : Les quatre grands bassins de production du blé dur français	132
Figure 10 : Fréquence des difficultés agronomiques rencontrées par les agriculteurs en blé dur (extrait du questionnaire)	135
Figure 11 : Solutions mises en œuvre pour faire face aux difficultés agronomiques rencontrées dans la production de blé dur et de tournesol (extrait du questionnaire).....	135
Figure 12 : Difficultés agronomiques déclarées par les agriculteurs pour la production de blé dur (à gauche) et de tournesol (à droite)	136
Figure 13 : Stratégies mises en place par les agriculteurs face aux difficultés agronomiques rencontrées	137
Figure 14 : Culture de diversification privilégiée par les agriculteurs	137
Figure 15 : Critères pour définir la technicité de la conduite culturale d'une culture	138
Figure 16 : Perception de l'intérêt de la marge des cultures de diversification.....	139
Figure 17 Perception du risque de rendement des cultures de diversification	139
Figure 18 : Perception de la technicité culturale des cultures de diversification	140
Figure 19: Marginal WTP distribution for the nitrogen restitution attribute by type of soil	151

Figure 20: Marginal WTP distributions for the nitrogen restitution attribute considering the slope of the fields	151
Figure 21 : Pourcentage de la sole actuellement en blé dur sur tournesol consacrée à la culture de diversification	157
Figure 22 : Zones de production de la monoculture de maïs en France	169
Figure 23 : Terrain d'étude et zones de production	171
Figure 24: Conséquences du changement climatique perçues par les maïsiculteurs.....	175
Figure 25 : Distributions moyennes de rendements en fonction du niveau de quota autorisé	177
Figure 26 : Exemple de carte de choix présenté aux agriculteurs.....	181
Figure 27 : Stratégies d'assolement possibles dans le choice modelling	186
Figure 28 : Provenance de l'eau d'irrigation en fonction des zones de production.....	191
Figure 29 : Répartition des types d'ateliers par zone de production	194
Figure 30 : Pourcentage du revenu agricole par atelier de production	194
Figure 31 : Pourcentage de la sole cultivée en fonction des variétés de maïs et des zones de production	196

Résumé

Le modèle de production céréalière actuel est fortement remis en question face aux nouveaux enjeux environnementaux, réglementaires, économiques, climatiques et sociétaux. L'innovation est aujourd'hui au centre des questionnements sur l'évolution du secteur céréalière. Longtemps orientée vers les innovations de procédés ou de produits, l'agriculture s'intéresse aujourd'hui à des formes d'innovation systémiques, plus en adéquation avec les objectifs conjoints de durabilité et de productivité. Les systèmes de culture innovants, qui conjuguent des techniques de production novatrices avec des outils agronomiques traditionnels, font consensus auprès des experts de la filière et apportent des solutions aux impasses techniques qui rencontrent les céréaliers. Cependant, ils restent encore peu répandus sur le territoire français. En effet, l'introduction de ces innovations engendre, pour l'agriculteur, des incertitudes supplémentaires. Le risque ainsi que certains déterminants socio-économiques (contraintes financières, accès à l'information), sont des freins majeurs à l'adoption et peuvent expliquer le faible niveau d'adoption. Par ailleurs, les agriculteurs basent aussi leur choix sur leurs perceptions et leurs préférences. Ces déterminants sont plus complexes à évaluer car ils ne sont pas directement observables. Cette thèse a pour objectif d'analyser les déterminants, observables et non observables, qui affectent le processus d'adoption de systèmes de culture innovants en s'intéressant au cas particulier des agriculteurs céréaliers du Sud-Ouest de la France. L'analyse s'appuie sur 200 enquêtes collectant : i) les caractéristiques socio-économiques des exploitants ; ii) leurs perceptions grâce à des méthodes déclaratives sur des échelles psychométriques, et ; iii) leurs préférences en utilisant à des expériences de *choice modelling*. Deux systèmes de culture traditionnels du Sud-Ouest de la France sont étudiés : la monoculture de maïs irrigué et la rotation de blé dur sur tournesol. Les résultats montrent que les déterminants socio-économiques tels que l'information et l'éducation jouent un rôle clef dans le processus d'adoption d'innovation chez les producteurs céréaliers. Par ailleurs, les perceptions du risque affectent les comportements d'adoption mais aussi les choix de production et de commercialisation des agriculteurs. Du point de vue des préférences, les agriculteurs sont sensibles aux attributs non monétaires des innovations, notamment les caractéristiques techniques et agronomiques. Enfin, les préférences sont liées au contexte de production des agriculteurs, soulignant l'intérêt des analyses à des échelles locales. Ces résultats permettent, entre autres, de proposer des démarches de conseil adaptées pour accompagner les agriculteurs dans le changement et faciliter la diffusion des innovations à l'échelle des territoires.

Mots clefs : adoption, perceptions, préférences, système de culture innovant, *choice modelling*

Abstract

The current grain production model is strongly questioned considering the new environmental, regulatory, economic, climatic and societal expectations. Innovation is the core of concerns for the evolution of cereal production. Up to now, farm innovation process was focused on product and process innovations. However, systemic innovations better suit the joint goals of sustainability and productivity. Innovative cropping systems, combining innovative production techniques with traditional agricultural tools, appear to be a solution for grain farmers. The introduction of these innovations generates additional uncertainties for farmers and these cropping systems are still uncommon in the French territory. The risk and some socioeconomic determinants (financial constraints, access to information), are major brakes in the innovation process and can explain the low rate of adoption. Farmers also base their choice on their perceptions and preferences. These determinants are more complex to evaluate because they are not directly observable. This thesis analyzes the observable and unobservable determinants affecting the adoption of innovative cropping systems by looking at the particular case of grain farmers of Southwestern France. The analysis is based on 200 surveys that collect; i) farms and farmers' socio-economic characteristics; ii) farmers' perceptions using declarative method with psychometric scales, and; iii) farmers' preferences using a choice of modeling approach. Two traditional cropping systems are studied: continuous irrigated maize and durum wheat on sunflower rotation. The results show that socio-economic factors such as information and education play a key role in the innovation adoption process. Risk perceptions affect not only the adoption decision but also farmers' production and marketing choices. Considering farmers' preferences, they are sensitive to non-monetary attributes of the innovations, such as agronomic and technical characteristics of the innovation. The preferences are linked to the farming conditions emphasizing the importance of local scale analysis. These findings allow targeting new relevant extension services to help farmers to adapt their practices.

Keyword: adoption, perceptions, preferences, innovative cropping system, choice modelling