

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par :

Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse)

Discipline ou spécialité :

Agrosystèmes, Écosystèmes et Environnement

Présentée et soutenue par :

Mme CHARLOTTE DAYDE

le mardi 17 janvier 2017

Titre :

Comprendre le processus de prise de décision opérationnelle en agriculture : une approche en rationalité limitée

---

Ecole doctorale :

Sciences Ecologiques, Vétérinaires, Agronomiques et Bioingénieries (SEVAB)

Unité de recherche :

Unité de Mathématiques et Informatique Appliquées de Toulouse (UMIAT)

Directeur(s) de Thèse :

M. ROGER MARTIN CLOUAIRE

M. STEPHANE COUTURE

Rapporteurs :

M. FRANÇOIS GUERRIN, CIRAD MONTPELLIER

M. MARC BENOIT, INRA MIRECOURT

Mme AUDE RIDIER, AGROCAMPUS OUEST

Membre(s) du jury :

M. JEAN-NOEL AUBERTOT, INRA TOULOUSE, Président

M. ROGER MARTIN CLOUAIRE, INRA TOULOUSE, Membre

M. STEPHANE COUTURE, INRA TOULOUSE, Membre

.

Directeurs :

- Stéphane Couture (INRA, Unité MIAT, Toulouse)
- Roger Martin-Clouaire (INRA, Unité MIAT, Toulouse)

Fiancement :

INRA, Département MIA et SAE2.

Thèse :

Charlotte Daydé. Comprendre le processus de prise de décision opérationnelle en agriculture : une approche en rationalité limitée.

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier les rapporteurs et les membres du jury pour leurs retours encourageants et leurs questionnements qui m'ont permis d'approfondir la réflexion sur ma thèse. En particulier, merci Aude pour ton oreille attentive et pour tes conseils toujours précieux et merci Jean-Noël pour m'avoir permis d'explorer de nouvelles pistes au cours de ma thèse.

Merci à mes directeurs. Roger, tu m'as appris à développer mon esprit critique. Stéphane merci pour ta patience, je pense qu'aujourd'hui j'ai compris l'importance du « message » et aussi de l'usage « la diplomatie » !

Je remercie tous les agriculteurs et experts qui ont accepté de répondre à mes nombreuses questions et de réaliser les expériences proposées. Leurs témoignages constituent le socle de ce manuscrit.

Merci aux membres de mon comité de thèse pour leurs conseils et leurs critiques constructives.

Merci aux départements MIA et SAE2 qui m'ont accordé leur confiance et leur soutien matériel pour cette thèse.

Merci à mon unité MIAT. J'y ai passé des moments mémorables et rencontré de merveilleuses personnes. Je remercie particulièrement l'équipe des gestionnaires (Fabienne, Nathalie et Alain) qui sait se mettre en quatre pour satisfaire à tous nos besoins. Merci aussi à toutes les petites mamans de l'unité (Monique, Marie-Jo, Annick...). Merci aussi aux « papas » pas toujours commodes mais toujours bienveillants (je pense notamment à Sylvain et Robert...). Bien entendu, je n'aurais pas pu finir cette thèse sans un brin de folie, une bonne

dose d'amitié et des moments de détentes (toujours mérités) avec mes co-bureaux, co-couloir et co-patio : ceux du tout début (Anaïs, Hiep, Magali, Julia, Céline, Marie-Stéphane, DamienS, Jérôme...), ceux qui sont arrivés après (Franck, Mohamed, Sarah, Alyssa, Clément, Étienne, Sébastien, Léo...), et la relève que j'ai à peine croisé. Merci aussi aux stagiaires, à leur bonne humeur, et particulièrement à Anne-Sophie qui m'a bien aidée au dépouillement des enquêtes.

Merci plus généralement à tous les jeunes et moins jeunes des autres unités et aussi de l'INP Purpan. Je pense surtout à Marc, Marion 1, Marion 2, David, Romain, Caroline... et aussi à mes copines d'école (Juliette et Anne-So) qui ont finalement craqué pour l'INRA et Toulouse... Merci aussi à Karim de m'avoir permis de goûter au plaisir de l'enseignement et à Marie-Hélène pour sa passion communicatrice.

Au delà du travail, merci à mes amis de Toulouse, de Sem, de Goulier, de Rennes et d'ailleurs ! Vous savez comme je vous aime et comme le temps passé avec vous est précieux à mes yeux. Merci d'avoir été là pour moi dans toutes les épreuves et beaux moments proposés par la vie. Malgré parfois la distance, je le sais « les vrais amis sont amis pour la vie »...

J'en viens maintenant aux remerciements à ma famille, sans aucun doute la composante clef nécessaire à mon épanouissant. Papa, maman, Loulou, merci pour votre soutien, votre confiance et votre amour. J'ai beau grandir un peu, j'en ai toujours besoin. Mon petit papi, mamie Loulette, vous ne m'aurez pas vu « médecin » mais votre force m'accompagne. Papi Louis et mamie Janie vous êtes ma soupape, merci pour tout, merci d'être là. J'ai la chance d'avoir une belle et grande famille. Merci à mes taties, à mes tontons et à ma précieuse bande de cousins. Spéciale dédicace à mon filleul chéri et à son petit frère, vous êtes mes soleils. Les moments partagés avec vous sont inestimables et je suis heureuse d'avoir passé ces trois ans au plus près de vous tous.

Enfin, si cette thèse m'a apporté son lot de surprises, la plus belle est sans aucun doute la rencontre avec « mon petit Ibou ». Je pourrais te remercier de milliers de choses mais je dirai simplement merci d'embellir mon quotidien.

Table des matières

Remerciements **5**

Liste des Figures **14**

Liste des Tableaux **16**

I Introduction **17**

1 Le contexte de la thèse **19**

1.1 La nécessité de mieux accompagner les agriculteurs 19

1.2 Les spécificités des décisions opérationnelles en agriculture 21

1.2.1 Des décisions complexes dans un environnement incertain 21

1.2.2 Des décisions personnelles d'experts 23

1.3 La décision opérationnelle dans un contexte de rationalité limitée 24

2 Le cadre théorique **27**

2.1 Définition des notions autour de la décision opérationnelle 27

2.1.1 Sujet, objectifs, processus et modes des décisions opérationnelles des agriculteurs 27

2.1.2 Le processus de décision opérationnelle des agriculteurs 28

2.2 Les modèles de décision utilisés en agriculture et au delà 29

2.2.1 Les modèles économiques 30

2.2.2 Les modèles de planification 30

2.2.3 Les modèles focalisés sur l'information disponible et les connaissances des agriculteurs 32

2.2.4 Les modèles qui décomposent le processus de décision 33
2.2.5 Les modèles de modes de décision 34
2.2.6 Des modèles d'intérêt non appliqués à l'agriculture 36
2.3 Les méthodes d'élicitation du processus de décision à travers les disciplines . 37
2.3.1 Les questionnaires 38
2.3.2 L'observation en situation réelle 39
2.3.3 Les expériences de mise en situation 40
2.3.4 Méthodes d'élicitation des connaissances 41

3 Problématique et contributions 43
3.1 Question de recherche, hypothèse et objectifs de la thèse 43
3.2 La méthode générale de la thèse 44
3.3 Le cas d'étude : La gestion des maladies fongiques du blé tendre en Midi-Pyrénées 45
3.3.1 L'agriculture en Midi-Pyrénées 45
3.3.2 La gestion des maladies fongiques du blé tendre 47
3.4 Contributions 48
3.5 Structure de la thèse 49

II Modélisation conceptuelle du processus de décision des agriculteurs 51

4 Investigating operational decision-making in agriculture 53
4.1 Introduction 54
4.2 What is operational decision making about ? 56
4.2.1 Organisational and time-related constraints 56
4.2.2 Driving factors in operational decision making 58
4.3 Understanding farmers' mental process of choice 60
4.3.1 Need for a paradigmatic change 60
4.3.2 Search, selection and perception of information 61
4.3.3 On the process of choosing actions 62
4.4 Concluding remarks and challenges for future works 64

5 A cognitive model of the farmers' operational decision-making process to explore management variability 67

5.1 Introduction . . . 68
5.2 Material and method . . . 70
5.2.1 How to define the farmer's ODM process ? . . . 70
5.2.2 Conceptual modeling of the farmer's ODM process . . . 72
5.2.3 Application to a case study . . . 75
5.3 Results . . . 79
5.3.1 The farmer's ODM process model . . . 79
5.3.2 The farmer's ODM process regarding fungicide use . . . 84
5.4 Discussion . . . 87
5.5 Conclusion . . . 90

III Exploration expérimentale du processus de DO des agriculteurs 91

6 Capturing the heterogeneity within the farmer's decision-making process to explain management practices. Application to fungicide use on soft wheat in southwestern France. 93

6.1 Introduction . . . 95
6.2 Material and methods . . . 97
6.2.1 The generic survey design . . . 97
6.2.2 Method for the statistical analysis of the survey data . . . 101
6.2.3 Application to a case study . . . 102
6.3 Results and discussion . . . 105
6.3.1 Selected individuals and variables . . . 105
6.3.2 Explanation of management practices . . . 107
6.4 Conclusion . . . 110

7 How farmers select the information in their environment in order to simplify their decision-making process 111

7.1 Introduction . . . 113
7.1.1 Context . . . 113

7.1.2 Case study : Fungus management on soft wheat in the Midi-Pyrénées region . . . 115
7.2 Method . . . 115
7.2.1 Survey . . . 115
7.2.2 Data source and sample . . . 115
7.2.3 Elicitation of farmers' knowledge . . . 116
7.2.4 Elicitation of the information used . . . 116
7.2.5 Statistical analysis . . . 118
7.3 Results . . . 121
7.3.1 Farmers' knowledge . . . 121
7.3.2 Information used . . . 124
7.3.3 Comparison between farmers' knowledge and the information they use 125
7.4 Discussion . . . 130
7.4.1 How do farmers simplify the information available to them ? . . . 130
7.4.2 What kind of support can be provided to farmers : the use of nudges . 132
7.5 Conclusion . . . 134

IV Conclusion générale 135

8 Principaux apports de la thèse 137
8.1 Apports conceptuels . . . 137
8.1.1 Un modèle générique du processus de prise de décision opérationnelle en agriculture . . . 137
8.1.2 L'identification de facteurs de discrimination des modes de décision opérationnelle en agriculture . . . 139
8.2 Apports méthodologiques . . . 139
8.2.1 Une méthode pour l'élicitation des modes de décision . . . 140
8.2.2 Une méthode d'analyse dans le cas d'un grand nombre de variables corrélées et de peu d'individus . . . 140
8.3 Apports empiriques . . . 141
8.3.1 Le lien entre modes de décision et pratiques . . . 141

8.3.2 La simplification du processus de décision opérationnelle par les agriculteurs 142

9 Discussion **145**

9.1 Limites et perspectives de la thèse 145

9.1.1 Vers la compréhension du processus de prise de DO des agriculteurs . 145

9.1.2 Des modes de décision à préciser 147

9.1.3 Evaluation des connaissances et des décisions des agriculteurs 148

9.1.4 Implications des résultats pour le conseil en agriculture 149

9.2 Conclusion 152

Bibliographie **153**

Appendices **167**

A Les enquêtes exploratoires **169**

B Analyse qualitative de la partie scénario **181**

C Mise à l'épreuve des connaissances des agriculteurs **183**

D Le questionnaire d'enquêtes **187**

Table des figures

3.1 Chronologie de la thèse : Une méthode générale à deux volets 44

3.2 Orientation technico-économique des communes de Midi-Pyrénées (Agreste, 2013) 46

3.3 Surface produite en grandes cultures en Midi-Pyrénées d'après le recensement agricole 2010 (Agreste, 2013) 47

5.1 ODM as an iterative and incremental process. State F : inal mental state 72

5.2 A detailed model of the farmer's ODM process with feedback links 80

5.3 Three discriminatory dimensions of decision modes 83

5.4 Pair combinations between the three discriminatory factors of decision modes and the fTFI, representing the relationships between the variables. Green line : regression line. 84

5.5 Agglomerative hierarchical clustering tree of farmers based on their ODM modes 86

5.6 Representation of the groups on the three discriminatory dimensions of the decision modes 87

6.1 A farmer treating a field of wheat. Phytosanitary treatments are considered as a major source of pollution in agriculture. 95

6.2 Survey design organization 104

6.3 Hierarchical tree of the pre-selected explanatory variables. By classifying the variables it is possible to identify redundancy. 105

7.1 Table used to assess farmers' knowledge concerning the impact of different factors on different diseases : example with one farmer's answers. 0 : no im-pact ; + : low impact ; ++ : high impact ; +++ : very high impact ; ? or | : unknown impact. 118
7.2 Number of times farmers do not know the influence of a factor on a disease . 122
7.3 Importance of factors per disease 123
7.4 Number of information items requested by each farmer 125
7.5 Information items requested by the farmers 125
7.6 Comparison of the factors used and perceived as important by the farmers . . 126
7.7 Comparison of the factors used and perceived as being important by the farmers127
7.8 Comparison of the factors used and perceived as having an impact by the farmers 128
7.9 Information used (U), not used (NU), perceived to be important (K) and not important (NK) per factor 128
7.10 Information used (U), not used (NU), perceived as having an impact (K) or not (NK) per factor. 130
7.11 Information simplification : From the available information to the information used in the decision process by farmers 132

B.1 Nombre de fois où les intentions sont changées par scénario et type de variations réalisées 181
B.2 Nombre de fois où les intentions sont changées par agriculteur et type de variations réalisées 182

C.1 Méthode générale pour l'analyse des connaissances des agriculteurs à partir du modèle de simulation IPSIM-Wheat 185
C.2 Méthode de transformation des données d'enquêtes sur les connaissances des agriculteurs afin de les intégrer dans le modèle IPSIM-wheat. Poids local : Poids au sein d'une branche de l'arbre de décision ; Poids global : Poids au sein de l'arbre de décision. 185

Liste des tableaux

2.1 Comparaison des modèles de décision utilisés en agriculture. Connaissances F/E : fixes/évolutives, C/IC : certaines/incertaine, L/IL : limitées/illimitées, ∅ : non précisé. 35

3.1 Données RICA comparées France, Midi-Pyrénées et grandes cultures en Midi-Pyrénées en 2011 (Agreste,2013) 47

5.1 Descriptive statistics of the survey sample (n=29) 76

5.2 V-test and mean values of the groups given by the AHC with associated P-values. NS : non-significant values. 85

5.3 Mean fungicide TFIs on soft wheat per group and p-value of the multinomial regression model. REF : reference group for the regression. 87

6.1 Description of the variables used in the analysis and resulting aggregated variables. The three last categories of variables measure the level of assistance, reactivity and deliberation in the decision process. 106

6.2 Result of the regression explaining farmers TFI, after model selection based on the AIC criteria. * P < 0.05 ; ** P < 0.01 ; *** P < 0.001 107

7.1 Selected diseases used when eliciting farmers' knowledge 117

7.2 Selected factors used when eliciting farmers' knowledge 117

7.3 Information requested and answers given in the "on-request information" experiment 119

7.4 Results of the chi-square test after an ordered logit regression to explain explain the score given by farmers when explaining diseases development 123

A.1 Niveaux relatifs d'expertise dans la région Midi-Pyrénées et de complexité de la production pour le blé tendre, le colza et le tournesol 170
A.2 Facteurs mentionnés par les agriculteurs pour justifier leurs pratiques. Analyse réalisée à partir du logiciel N-Vivo. 174

Première partie

Introduction

Chapitre 1

Le contexte de la thèse

1.1 La nécessité de mieux accompagner les agriculteurs

Dans le contexte actuel de changement climatique, de prise de conscience environnementale et de mondialisation des marchés, le secteur agricole va devoir profondément évoluer au cours des prochaines années. Les agriculteurs, en particulier, vont devoir adapter leurs modes de productions et leurs pratiques aux nouvelles contraintes climatiques, environnementales, économiques et sociétales. Les pouvoirs publics mais aussi les organismes de conseils ont la difficile tâche d'accompagner la profession dans cette mutation. Or les outils mis en place aujourd'hui semblent encore peu adaptés, ou du moins peu acceptés par les agriculteurs. Par exemple, la directive Ecophyto en France, qui visait à réduire de 50% l'utilisation de produits phytosanitaires d'ici à 2018 a échoué et l'objectif a été reporté à 2025 (Ministère de l'agriculture, 2015). Aussi, les outils d'aide à la décision proposés par les instituts techniques ou par les entreprises privées sont en plein développement mais leur utilisation par les agriculteurs est encore très limitée (Gent et al., 2011).

Afin de faire face à la demande alimentaire mondiale d'une population croissante, il est nécessaire aujourd'hui de limiter les pertes que ce soit à l'échelle de la parcelle, de la filière, ou même, du consommateur en limitant le gaspillage alimentaire (Popp et al., 2013). A l'échelle de la parcelle, la maîtrise du développement des adventices, des ravageurs et des maladies est un enjeu majeur. De nombreuses méthodes permettent aujourd'hui de lutter contre ces différentes pestes (rotations, fertilisation maîtrisée, travail du sol, produits phytosanitaires, etc.) (Robin, 2013; Lechenet et al., 2016). La protection intégrée des cultures (PIC) est en

particulier basée sur la prise en compte de ces différents outils de lutte dans l'activité de production agricole. Mais l'utilisation des pesticides est encore pointée du doigt en France car considérée comme un des leviers d'action majoritairement utilisé par les agriculteurs (Nave et al., 2013) alors que des effets délétères tant sur la santé que sur l'environnement sont régulièrement remis en avant (Popp et al., 2013). En particulier, la France est le troisième pays le plus consommateur de pesticides au monde (Aubertot et al., 2005). Si la consommation de produits phytosanitaires est importante, elle est très hétérogène entre agriculteurs (Lechenet et al., 2016). Certains n'utilisent aucun produit chimique de synthèse (ex. en agriculture biologique) alors que d'autres en font une consommation importante. Les outils et les méthodes actuels ne permettent pas d'expliquer cette hétérogénéité des pratiques agricoles notamment lorsqu'elle concerne des agriculteurs évoluant dans des contextes de production similaires.

Une meilleure compréhension des raisons poussant les agriculteurs à se tourner vers telles ou telles pratiques permettrait de proposer de nouveaux outils pour mieux les accompagner (Ohlmér et al., 1998; Urruty et al., 2016). En effet, les différences de pratiques des agriculteurs ont été étudiées. Notamment, elles ont souvent été en partie expliquées par les caractéristiques personnelles de l'agriculteur et par sa situation de production (ex., Nave et al. (2013); Lechenet et al. (2016)). Cependant, le processus de décision menant au choix de ces pratiques, appelé le processus de Décision Opérationnelle (DO), a fait l'objet d'analyses moindres. En particulier, seules quelques études se sont attachées à étudier l'hétérogénéité au sein de ce processus de DO (Rodriguez et al., 2011; van Duinen et al., 2015; Malawska and Topping, 2016). Une meilleure compréhension des spécificités de ce processus de DO permettrait pourtant de mieux accompagner les agriculteurs dans leurs activités. En effet, la mise en évidence des différences au sein du processus de décision entre agriculteurs fournirait de nouvelles pistes pour expliquer l'hétérogénéité des pratiques. Il est donc important d'identifier les modes de DO des agriculteurs, c'est-à-dire, les différentes modalités associées au processus de DO des agriculteurs.

Les modes de DO en agriculture ont peu été étudiés. Quelques études basées sur le modèle Consumat (Jager, 2000; Jager and Janssen, 2012) se sont focalisées sur les différences de degrés de délibération et d'assistance au sein du processus de décision (van Duinen et al., 2015; Malawska and Topping, 2016). D'autres études se sont intéressées au degré de réactivité associé au processus de décision des agriculteurs, parfois appelé "plasticité" (Rodriguez et al.,

2011). Ces quelques études ont montré l'importance d'identifier les différences au sein du processus de décision des agriculteurs et leur impact sur les pratiques. Cependant, elles ne fournissent pas les moyens pour directement étudier in situ ces modes et elles ne différencient que quelques modes de décisions alors que nous pouvons imaginer qu'il en existe une infinité.

Au cours de cette thèse, nous proposerons une nouvelle compréhension du processus de DO des agriculteurs. Pour ce faire, en plus des critères classiquement associés aux décisions, nous étudierons les modes de décision des agriculteurs, ceci, dans l'objectif de proposer de nouvelles pistes afin d'améliorer l'accompagnement de la profession.

1.2 Les spécificités des décisions opérationnelles en agriculture

Les DO des agriculteurs sont spécifiques à deux niveaux. D'une part, ce sont des décisions complexes prises dans un environnement incertain. L'agriculteur doit donc, à la fois, planifier ses actions pour s'organiser, et réagir à la nouvelle information pour continuellement s'adapter à la situation courante. D'autre part, les DO sont des décisions personnelles prises par un agriculteur. Les caractéristiques personnelles de l'agriculteur sont en conséquence importantes dans le processus de DO.

1.2.1 Des décisions complexes dans un environnement incertain

Les DO sont des décisions complexes. En effet, ce sont d'abord des décisions techniques. De nombreux facteurs peuvent impacter le développement des cultures et des pestes associées. Par exemple, différents facteurs peuvent influer sur le développement des maladies des cultures comme la rotation, la météo, le travail du sol, la fertilisation ou encore la variété. L'agriculteur doit en outre répondre à de nombreux objectifs et faire face à différentes contraintes (Dury et al., 2010). Ceux-ci peuvent être liés à la disponibilité de la ressource, aux conditions pédo-climatiques de l'exploitation, à des enjeux environnementaux, à l'organisation spatiale de l'exploitation ou encore à des obligations familiales. La dimension à la fois spatiale et temporelle est aussi source de complexité. Les DO dépendent de et contraignent d'autres décisions : 1) spatialement distribuées (ex., un agriculteur ne peut pas semer son blé et récolter son maïs au même moment (Aubry et al., 1998)) et 2) temporellement distribuées

(ex., choisir de ne pas labourer à l'automne peut conduire à un besoin accru en herbicides au printemps (Macé et al., 2007)).

Pour faire face à cette complexité, les agriculteurs doivent organiser leurs activités sur l'année (cela leur permet par exemple de distribuer leurs ressources). Ils doivent donc, au moins en partie, anticiper leurs décisions, c'est à dire, décider en avance les opérations qu'ils réaliseront plus tard dans l'année. Anticiper les décisions est un moyen à la fois de gagner du temps et de coordonner les activités présentes et futures afin d'atteindre des objectifs prédéterminés (Bratman, 1987; Aubry, 2007). En particulier, les agriculteurs peuvent organiser leurs opérations via un plan qui définit : 1) l'ordre et la temporalité des opérations (ex., leur date de début) et 2) les modalités de ces opérations (ex., le matériel utilisé) (Sebillotte, 1991; Aubry et al., 1998; Martin-Clouaire and Rellier, 2009).

Une planification stricte des opérations nécessite cependant une connaissance précise des objectifs à atteindre mais aussi la prédiction des besoins et des contraintes sur l'horizon de planification. Étant donnée l'incertitude liée à l'environnement de décision des agriculteurs, certaines de ces informations ne peuvent pas être connues à l'avance et il est impossibles pour les agriculteurs de déterminer un planning annuel précis de leurs opérations. Les agriculteurs doivent faire face à une incertitude liée à différents aspects de leur décision (ex. sur les prix, la réglementation, etc.) (Hardaker, 2004; Winsen et al., 2013). La source d'incertitude la plus contraignante en agriculture est le climat. En effet, les conditions météorologiques jouent un rôle essentiel que ce soit pour le développement des plantes, de leurs agresseurs ou encore en ce qui concerne l'accès aux parcelles.

Afin de faire face à cette incertitude, les agriculteurs peuvent attendre que davantage d'informations soient disponibles avant de prendre une décision, c'est-à-dire, ils peuvent prendre des décisions de manière réactive. Une décision est dite réactive si elle est directement liée à la perception par l'agriculteur d'un changement dans son environnement (Dury et al., 2010). Les agriculteurs doivent pour cela reconnaître les changements importants de leur environnement. De tels événements avec des impacts potentiels non négligeables sur les objectifs ou les contraintes des agriculteurs sont parfois appelés des événements critiques. La surveillance (ou monitoring), qui consiste à intégrer l'information de l'environnement, est donc une activité clef des agriculteurs (Nuthall, 2001).

Finalement, afin de gérer la complexité de l'environnement, les agriculteurs doivent coordonner leurs opérations en planifiant leurs activités. Mais les plans ne peuvent pas être complètement définis et doivent continuellement être complétés et modifiés avec l'avancée du temps et l'arrivée de nouvelles informations.

1.2.2 Des décisions personnelles d'experts

Dans la majorité des exploitations agricoles françaises, l'agriculteur est seul à assumer les fonctions à la fois d'exécutant (du moins pour la majorité des opérations techniques), d'acheteur, de vendeur, et aussi et surtout, de décideur. Même s'il peut être supporté par des voisins, des techniciens ou sa famille, seul l'agriculteur décidera, in fine, des actions à mener sur son exploitation. Les caractéristiques personnelles des agriculteurs (ex., ses objectifs, ses connaissances, son expertise) sont donc des facteurs clefs du processus de décision (Rougoor et al., 1998; Nuthall, 2012).

Une des spécificités des décisions opérationnelles est qu'elles concernent pour beaucoup des situations de décisions rencontrées année après année. Les agriculteurs peuvent donc développer de l'expérience. Ils peuvent être considérés comme des experts de leur domaine : ils possèdent des connaissances et des compétences spécifiques acquises au cours des années passées, qui les aident à prendre des décisions de manière rapide et efficace (Nuthall, 2012; McCown et al., 2012). Par exemple, ils peuvent en partie anticiper les besoins et les contraintes à venir afin de planifier, du moins partiellement, leurs activités. A l'extrême, ils peuvent même développer une routine (Cerf and Sebillotte, 1997; Macé et al., 2007), c'est à dire une suite d'opérations à suivre de manière automatique tant qu'aucune information ne s'y oppose. L'analyse précise de cette expertise sera utile à la compréhension du processus de décision des agriculteurs.

De part son expertise, l'agriculteur possède déjà un certain nombre d'informations nécessaires au processus de décision. Cependant, il doit continuellement mettre à jour ces informations pour les ajuster à l'évolution de son environnement et les compléter si besoin. L'agriculteur peut utiliser différentes sources afin de compléter ses connaissances (l'observation, internet, etc.). La capacité de l'agriculteur à reconnaître les informations importantes dans son environnement est donc primordiale (Nuthall, 2012). Par exemple, son expérience peut lui permettre de reconnaître les symptômes sur ses cultures (ex., une carence ou une

attaque parasitaire). Le réseau de chaque agriculteur est aussi une composante importante du processus de décision car il détermine la quantité et la qualité de l'information potentiellement disponible pour l'agriculteur.

Enfin, la motivation personnelle est une composante importante du processus de décision, en particulier les objectifs et les préférences des agriculteurs. Les objectifs sont des objets, des situations ou des résultats que l'agriculteur cherche à atteindre (Ohlmér et al., 1998). Les préférences sont, quant à elles, des postures individuelles définissant des priorités entre ces objectifs. En fixant les buts à atteindre ainsi que leurs priorités, les objectifs et les préférences des agriculteurs guident le processus de décision en limitant les alternatives possibles. Si les objectifs à long terme sont généralement stables (ex. transmettre la propriété aux descendants), les objectifs à court terme ainsi que les préférences peuvent varier avec l'avancée du temps. Il sera important de considérer les objectifs et les préférences, ainsi que leurs évolutions, afin d'appréhender pleinement le processus de DO des agriculteurs (Lichtenstein and Slovic, 2006).

Afin d'étudier le processus de prise de DO des agriculteurs, nous devrons à la fois prendre en compte leur environnement de décision et leurs caractéristiques personnelles. Pour ce faire, une première étape de cette thèse a été de considérer les limites associées à ces deux composantes (environnementales et personnelles) du processus de décision.

1.3 La décision opérationnelle dans un contexte de rationalité limitée

Les agriculteurs sont poussés à prendre toujours plus de paramètres en compte lors de leur prise de décision. De plus en plus d'informations sont mises à leur disposition (via internet, les conseillers, les outils d'aide à la décision...). De nouvelles possibilités techniques leur sont offertes. Par exemple, la gamme de produits phytosanitaires est immense. Les contraintes réglementaires sont de plus en plus présentes et varient continuellement. Il est cependant peu probable que les agriculteurs puissent mémoriser, ni même utiliser, l'ensemble de ces informations lors de leur prise de décision alors même qu'ils doivent déjà gérer la complexité et l'incertitude latentes associées à leur situation de décision.

En effet, comme tout être humain, l'agriculteur possède des capacités cognitives limitées qui l'empêchent, d'une part, de stocker une quantité illimitée d'information, et d'autre part, de traiter l'information à sa disposition de manière optimale. Nous pouvons, par exemple, nous interroger sur la capacité des agriculteurs à analyser l'ensemble des alternatives possibles afin de choisir la meilleure, ou encore, à utiliser des distributions de probabilités lors de l'évaluation d'alternatives. Par exemple, Winsen et al. (2013) montrent que les agriculteurs considèrent le risque associé à leur environnement de manières diverses et qu'ils en font une évaluation principalement qualitative.

Cette contrainte cognitive est d'autant plus forte que les agriculteurs doivent prendre leurs décisions dans un temps limité, notamment, lorsqu'ils doivent faire face à des situations d'urgence (ex. fin de la période optimale de semis, début d'infestation d'une culture par un parasite...). Mais plus généralement, s'il n'a pas été défini au préalable, chaque matin l'agriculteur doit décider d'un plan d'action sur la journée. L'agriculteur a donc un laps de temps limité pour, à la fois, rechercher et traiter l'information à sa disposition.

Afin de prendre en compte ces limites cognitives liées à l'environnement de l'agriculteur, et plus généralement des êtres humains, Simon (1955) propose de faire l'hypothèse de la rationalité limitée. Cette hypothèse, en opposition à l'hypothèse de rationalité parfaite dominant la plupart des modèles formels (notamment économiques) de l'époque, vise à intégrer les limites de calcul et d'information des individus. Elle est basée sur trois constats : 1) l'information n'est pas toute disponible, 2) les décisions doivent être prises dans un laps de temps limité et 3) les capacités cognitives des individus ne sont pas illimitées. Ces trois constats s'appliquent particulièrement bien à la décision opérationnelle en agriculture.

Les hommes (et les agriculteurs) ne seraient donc pas des optimiseurs (ils n'ont ni le temps, ni les capacités pour analyser toutes les alternatives afin de choisir la meilleure) mais des "satisfycers" (Simon, 1992). Le concept du "satisfacing" s'oppose donc à la description de la décision comme la sélection de la meilleure alternative basée sur l'optimisation d'un critère prédéfini. Un "satisfycer" sélectionne au contraire une alternative qui n'est ni nécessairement unique, ni la meilleure mais qui atteint un niveau suffisant de satisfaction au regard d'un ou plusieurs critères.

Nous considérons cette hypothèse de la rationalité limitée comme un a priori dans cette

thèse. De nombreuses questions se posent alors concernant le processus de décision de l'agriculteur. Si l'agriculteur ne peut pas traiter l'ensemble des informations à sa disposition, comment choisit-il a priori l'information pertinente à analyser ? Si toutes les alternatives ne peuvent pas être analysées, comment l'agriculteur fait-il sa sélection ? Puis, comment une alternative est-elle jugée par le décideur comme satisfaisante ? Finalement, quelle est la place de l'individu dans ce processus ? Nous tenterons de répondre à ces questions dans cette thèse. Pour commencer, nous nous attachons dans le chapitre suivant à mieux comprendre comment les différents auteurs ont défini, modélisé et étudié cette décision opérationnelle notamment en agriculture.

Chapitre 2

Le cadre théorique

2.1 Définition des notions autour de la décision opérationnelle

2.1.1 Sujet, objectifs, processus et modes des décisions opérationnelles des agriculteurs

Le terme "décision" est utilisé de manière indifférenciée que ce soit pour parler de ses objectifs (ex., atteindre un certain rendement à l'hectare), son sujet (ex., le type de traitement à réaliser), son processus (ex., une optimisation d'utilité espérée), ou son mode (ex., plus ou moins délibératif). Une première étape dans cette thèse a donc été de définir ces différentes notions relativement aux DO des agriculteurs.

Les DO ont pour sujet la présence, les caractéristiques et les modalités d'activation des opérations techniques sur l'exploitation (Akplogan, 2013; Aubry, 2007; Navarrete and Le Bail, 2007). Elles sont parfois aussi appelées décisions techniques (Aubry, 2007). Par exemple, un agriculteur ayant semé un blé peut avoir à se demander s'il doit faire un traitement insecticide, et si 'oui' selon quelles modalités (ex., avec quel produit, à quelle dose...) et à quelle date.

Les décisions opérationnelles, tactiques et stratégiques sont classiquement distinguées par leurs objectifs. Respectivement, elles sont sensées suivre des objectifs à court terme (quelques jours ou semaines), à moyen terme (une année) ou à long terme (plusieurs années) (Le Gal et al., 2010). Mais d'après l'objet des DO tel que défini ci-dessus, ces dernières peuvent suivre

des objectifs à différentes échelles temporelles (Macé et al., 2007). Par exemple, décider de désherber un champ peut permettre d'atteindre un objectif à court terme (plus de mauvaises herbes), à moyen terme (un bon rendement de la culture) ou à plus long terme (une faible banque de graine dans la parcelle). Les DO ne peuvent finalement pas être définies sur la base de l'horizon de satisfaction de leurs objectifs.

Le processus de DO regroupe l'ensemble des mécanismes mentaux et des états cognitifs de l'agriculteur qui lui permettent de définir et d'organiser les opérations techniques à mener sur son exploitation (une définition plus exhaustive est donnée dans la partie 2.1.2). Dans cette thèse, nous tenterons d'identifier ces mécanismes et ces états afin d'identifier des différences dans les comportements décisionnels des agriculteurs.

Enfin, les modes de DO représentent les différentes modalités d'utilisation de ce processus de DO (Hoc and Amalberti, 2007). Par exemple, l'agriculteur peut utiliser plus ou moins d'informations lorsqu'il prend une décision définissant ainsi des modes plus ou moins délibératifs. Cette thèse tentera d'identifier des moyens de caractériser les différents modes associées aux DO des agriculteurs.

2.1.2 Le processus de décision opérationnelle des agriculteurs

Le processus de décison est traditionnellement considéré comme le processus menant à l'identification d'une alternative comme préférable à toutes les autres (Lipshitz and Strauss, 1997). Nous l'avons vu, étant données la complexité et l'incertitude liées aux situations de DO, il est peu probable que les agriculteurs puissent identifier et analyser l'ensemble des alternatives possibles. La vision proposée par Klein (2008) semble donc plus appropriée. Selon cet auteur, le processus de décision est le processus par lequel un individu s'engage à suivre un choix alors que des alternatives existent même si ces alternatives ne sont pas nécessairement connues ou analysées. Ces deux premières définitions proposent une vision discrète du processus de décision. Elle mettent en avant la notion de "seuil de décision" (ou "decision point" en anglais) qui représente le moment auquel la décision est prise (Clark et al., 2008).

Mais les décisions des agriculteurs sont progressives. Nous avons vu qu'ils anticipent partiellement leurs décisions en construisant des plans flexibles qu'ils complètent ou révisent

avec l'avancée du temps. Certains auteurs ont donc proposé une définition plus dynamique du processus de décision (Ohlmér et al., 1998; Dury et al., 2010, in agriculture). Décider revient à diriger et maintenir un flux continu de comportements dans l'objectif d'atteindre un ou plusieurs objectifs. Crowder (2012) a précisé cette définition en ajoutant la notion de décision incrémentielle. Pour cet auteur, le processus de décision est composé de plusieurs étapes graduelles, chacune d'elles étant construite à partir de la précédente. Cette définition est particulièrement adaptée à la DO ; avec l'avancée du temps et la perception de nouvelles informations, les agriculteurs précisent leurs intentions au sujet des opérations à mener. Plus généralement, Bouyssou et al. (2013) considèrent que le processus de décision lié à une action est le mécanisme de concentration progressive sur des détails de plus en plus précis : pour lui il s'agit de se focaliser sur "the details of smaller and smaller decisions that are closer and closer to the ground".

Outre par sa dynamique, le processus de décision peut être défini sur la base de ses composantes. Par exemple, Rasmussen (1976) définit le processus de décision comme un ensemble d'états cognitifs (ex., objectifs, intentions...) et de mécanismes mentaux (ex., perceptions, interprétations...) agissant sur ces états cognitifs. Le processus de DO en agriculture est alors le processus mental permettant à l'agriculteur de modifier et/ou préciser un ensemble d'états cognitifs avec l'avancée du temps et l'arrivée de nouvelles informations. In fine, les états cognitifs convergent vers un consensus qui définit les modalités d'une action ou une inaction.

Maintenant que ces différentes notions autour de la DO ont été définies, dans la partie suivante nous présentons les principales approches utilisées en agriculture, d'une part pour modéliser, et d'autre part, pour étudier in situ ce processus de décision.

2.2 Les modèles de décision utilisés en agriculture et au delà

Cette section propose une revue de littérature non exhaustive des différentes manières dont les auteurs ont tenté de modéliser le processus de décision opérationnelle des agriculteurs. Les différents modèles sont d'abord présentés puis leurs limites et leurs atouts sont soulignés. Une grille de lecture a été adoptée afin de déterminer la manière dont les modèles considèrent les états cognitifs associés au processus de décision des agriculteurs (notamment,

les préférences, les objectifs et les connaissances), le mécanisme de choix et la temporalité associée au processus de décision. Ces résultats sont synthétisés dans la Table 2.1.

2.2.1 Les modèles économiques

Les modèles de décision les plus utilisés en agriculture sont les modèles économiques. Ces modèles visent cependant à expliquer davantage les choix réalisés que le processus de décision y menant. Le processus de décision est représenté sous la forme de l'optimisation d'une fonction objectif réalisée sous un certain nombre de contraintes (Hazell and Norton, 1986). Un tel processus nécessite d'avoir une information parfaite et des capacités cognitives illimitées pour comparer l'ensemble des alternatives disponibles afin de choisir la meilleure. Cette première représentation est donc en opposition avec le principe de rationalité limitée énoncé précédemment (Simon, 1992).

L'économie comportementale a tenté de limiter les biais associés à l'économie classique. Par exemple, la *subjective expected utiliy theory* considère les connaissances propres de l'individu vis-à-vis du risque (ex., ses probabilités subjectives) (Savage, 1954, 1971). La *prospect theory* (Kahneman, 2003, 2011) prend, quant à elle, en compte les biais dus à la psychologie de l'individu (ex., surévaluation des probabilités d'occurrence faible). De nombreuses études ont appliqué ces cadres en agriculture (Moschini and Hennessy, 2001; Bocquého et al., 2014). Cependant, les modèles proposés restent basés sur un socle d'information important et le processus de décision reste représenté par une optimisation d'une fonction objectif peu représentative du processus de décision de l'agriculteur.

2.2.2 Les modèles de planification

Nous avons vu que les agriculteurs doivent anticiper leurs décisions pour s'organiser mais aussi réagir à la nouvelle information issue de leur environnement. Trois catégories de modèles permettent de représenter ce caractère à la fois réactif et anticipé des décisions en agriculture.

La première catégorie de modèles regroupe les modèles représentant le processus de décision opérationnelle comme l'interprétation itérative d'un plan flexible construit en amont (Martin-Clouaire and Rellier, 2009). Le plan représente les contraintes de l'individu à la fois

organisationnelles (ex., contraintes temporelles entre opérations) et liées aux caractéristiques de l'environnement (ex., pluviométrie nécessaire avant un traitement). La flexibilité du plan peut être assurée par la possibilité d'utiliser différentes opérations en fonction des contraintes exprimées. Ces modèles sont très répandus en agronomie (ex., Aubry et al. (1998); Martin-Clouaire and Rellier (2009); Guillaume et al. (2016); Martin-Clouaire et al. (2016)). Ils sont parfois utilisés au sein de modèles de simulation plus complexes (Keating et al., 2003; Bergez et al., 2016; Robert et al., 2016). La spécificité du plan dépend du modèle considéré. Cependant, il est à noter qu'à l'échelle opérationnelle, la décision est principalement limitée à l'observation de l'environnement et à l'application concordante de règles de décision. Aussi, ces modèles ne détaillent pas à notre connaissance les objectifs des agriculteurs ni le processus de construction du plan.

Un second type de modèles laisse la place à la fois à la réactivité et à l'anticipation : les modèles de planification hiérarchique. Originaires de l'intelligence artificielle (Bitran and Hax, 1977), ces modèles permettent de modéliser la construction progressive du plan. Ainsi, les décisions en amont imposent des contraintes aux décisions en aval qui peuvent donner des informations en rétroaction aux décisions en amont. Akplogan (2013) a appliqué ce cadre aux décisions agricoles. Le modèle propose de différencier trois niveaux de décision (pluri-annuelle, annuelle ou hebdomadaire). Pour une opération donnée, le raffinement du plan se fait donc en trois étapes. Nous notons cependant que les facteurs personnels sont peu pris en compte à l'échelle intra-annuelle puisque seule la priorité entre opérations est considérée. Enfin, si le choix final de l'action est conditionné par des règles de décision, le mécanisme associé à la construction du plan est une procédure d'optimisation qui, nous l'avons vu, est peu compatible avec le contexte de la DO en agriculture.

La dernière catégorie de modèles permet de mieux prendre en compte les caractéristiques personnelles des agriculteurs tout en intégrant la possibilité d'anticiper et de réagir. Il s'agit du modèle de type croyances-desires-intentions (belief-desires-intentiosn (BDI)) proposé par Bratman (1987) en intelligence artificielle. Le modèle a été appliqué par différents auteurs en agriculture (Dury et al., 2010; Taillandier et al., 2012). Les désirs représentent les objectifs des agriculteurs. Les intentions sont les plans que l'agriculteur a décidé de suivre. Les croyances représentent les connaissances de l'agriculteur. Ces dernières sont à l'origine de la réactivité du processus de décision puisque l'agriculteur peut les mettre à jour de manière continue avec

l'arrivée de nouvelles informations. Même si le cadre original en intelligence artificielle permet de nombreuses possibilités, les applications en agriculture en font une utilisation partielle. La décision est limitée à un choix parmi une collection de plans construits en amont. Aussi, bien que les objectifs de l'agriculteur soient considérés, leur construction n'est pas prise en compte dans le processus de décision.

2.2.3 Les modèles focalisés sur l'information disponible et les connaissances des agriculteurs

Nous avons vu que l'information à un rôle clef tout au long du processus de décision. Différents modèles se sont donc focalisés sur l'étude de cette information, celle disponible dans l'environnement, mais aussi celle constituant les connaissances de l'agriculteur.

La première catégorie de modèles focalisés sur l'information est liée au courant de l'agriculture de précision. Ces modèles ont pour objectif de décrire de manière exhaustive l'information qui peut être utilisée lors du processus de décision (Fountas et al., 2006; Sørensen et al., 2010a). La nature de l'information est précisée (ex. quantitative, visuelle...) ainsi que sa source (ex., information issue de capteurs embarqués ou de conseillers techniques). Certains auteurs précisent cette information pour différentes catégories de décision (pluriannuelles, opérationnelles...) ainsi que les flux d'informations entre celles-ci. Cependant, malgré le niveau de détail de l'information disponible, le processus de décision est lui peu précisé. Par exemple, la manière dont les agriculteurs perçoivent cette information et sélectionnent celle qu'ils utiliseront dans leur processus de décision n'est pas explicitée.

Un second type d'approches se focalise davantage sur l'information telle qu'elle est perçue par les agriculteurs. En particulier, les auteurs représentent la manière dont les agriculteurs perçoivent leur environnement via des modèles qualitatifs appelés des cartes mentales (Fairweather and Hunt, 2011; Winsen et al., 2013). Ces cartes ont la forme de réseaux composés d'un ensemble de concepts liés entre eux. Elles peuvent représenter la vision d'un agriculteur ou d'un groupe d'acteurs. Par exemple, Winsen et al. (2013) détaillent la manière dont les agriculteurs perçoivent le risque et l'incertitude liés à leur environnement de décision. Si une étude fait le lien entre ces modèles mentaux et les pratiques des agriculteurs (Vuillot et al., 2016), l'utilisation de cette information contenue dans les modèles mentaux lors du processus de décision n'a pas à notre connaissance été explicitement abordée.

2.2.4 Les modèles qui décomposent le processus de décision

Plusieurs auteurs ont tenté de décomposer le processus de décision en différents mécanismes dans différentes disciplines. Gray et al. (2009) proposent une revue de la littérature de ces modèles en agriculture. La plupart des approches présente une décomposition linéaire du processus de décision composé de mécanismes successifs de reconnaissance d'un problème, de recherche d'information, de comparaison d'alternatives, de prise de décision et d'exécution. Quelques auteurs considèrent en outre un mécanisme d'élaboration des objectifs ou d'apprentissage à la fin du processus. Enfin, seul un auteur propose de représenter le processus de décision de manière non linéaire (Ohlmér et al., 1998). Le modèle qu'il décrit est composé de quatre mécanismes (détection du problème, définition du problème, analyse et choix, et exécution) et de quatre sous-mécanismes (recherche d'information, planification, évaluation, et partage de responsabilité). Chacun des mécanismes peut être répété sans ordre précis et peut faire appel aux différents sous-mécanismes mentionnés. La principale limite de ces différents modèles est qu'ils prennent peu en compte les états cognitifs de l'individu (ex., ses objectifs).

Si de nombreux auteurs se sont focalisés sur les mécanismes au sein du processus de décision, certains auteurs se sont intéressés aux états cognitifs associés à la décision. De nombreuses approches en agronomie se sont en particulier appuyées sur des modèles issus de courants comportementalistes tels que *the theory of planned behaviours* (Ajzen, 1991) ou *the theory of reasoned actions* (Fishbein and Ajzen, 1977). D'après ces modèles, les motivations, les valeurs, les normes et les attitudes des individus permettent de déterminer les actions des décideurs. En agriculture, Heong and Escalada (1999) proposent ainsi un modèle dans lequel les choix de traitements des agriculteurs sont déterminés par leur perception de l'efficacité de ces traitements (leurs attitudes) et leur perception des pertes potentiels (leurs normes). Cependant, même si ces modèles sont souvent mentionnés par les auteurs, les applications en agronomie font souvent une sous-utilisation du cadre proposé (Burton, 2004).

En agriculture, un seul cadre détaille de manière précise les états cognitifs associés au processus de décision : le modèle de l'agent intégré de Feola and Binder (2010). D'après ce cadre, les décisions prises dépendent de l'interaction 1) de facteurs du contexte, 2) des habitudes de l'individu associées à la décision, 3) du degré d'attention du décideur, et 4)

de ses intentions. Les intentions sont définies comme des instructions que l'agriculteur se donne à lui-même à propos de son action. Elles sont définies à partir des sentiments de l'agriculteur, des conséquences supposées de l'action visée et de la culture subjective de l'individu (elle-même déterminée par les valeurs, les normes sociales et le rôle de l'agriculteur dans la société). Malgré l'important niveau de détail des états cognitifs dans le modèle, les mécanismes liant ces états pour aboutir à l'action ne sont quant à eux pas précisés. Enfin, ce modèle est particulièrement adapté pour expliquer des décisions ponctuelles (ex., utilisation d'une protection lors des traitements) mais moins pour l'étude de décisions plus planifiées.

2.2.5 Les modèles de modes de décision

Plusieurs auteurs se sont attachés à modéliser la décision en agriculture, cependant, un seul modèle originairement créé en sciences cognitives permet de mettre en avant les différences de processus de décision entre agriculteurs : le modèle Consumat. Initialement développé par (Jager, 2000; Jager and Janssen, 2012), ce modèle a été appliqué par quelques auteurs aux décisions d'agriculteurs (van Duinen et al., 2015; Malawska and Topping, 2016). Il distingue quatre modes de décision en fonction du niveau de délibération et d'assistance du processus de décision. L'individu peut : 1) répéter son dernier comportement (mode autonome et automatique), 2) copier le comportement d'un autre agriculteur (mode assisté et automatique), 3) observer le comportement d'autres agriculteurs et choisir le plus adapté à sa situation (mode assisté et délibératif) ou 4) évaluer les alternatives possibles et choisir la meilleure (mode autonome et délibératif). D'après le modèle, l'orientation vers l'un de ces modes de décision est uniquement conditionnée par le degré de satisfaction et d'incertitude du décideur. Les applications en agriculture (van Duinen et al., 2015; Malawska and Topping, 2016) se sont focalisées sur les décisions relatives aux choix de culture ou à l'adoption d'innovations.

Certains modèles en agriculture se sont penchés sur le caractère plus ou moins réactif ou anticipé du processus de décisions en agriculture (Rodriguez et al., 2011; Dury et al., 2010). Ce caractère définit des modes de décisions plus ou moins réactifs ou "plastiques". Les applications se focalisent aujourd'hui sur les décisions liées aux choix de rotation des agriculteurs et les modèles proposés sont peu génériques. Cependant, le caractère plus ou moins réactif du processus de décision apparaît comme un paramètre important des DO.

Nous verrons dans la partie suivante que des modèles en sciences cognitives se sont particulièrement intéressés à cette discrimination des modes de décisions sur la base du degré de réactivité dans le processus de décision.

Modèle	**Objectifs et préférences**	**Connaissances**	**Mécanisme de choix**	**Temporalité**	**Exemple de publications**
Économie classique	F	F - IC - IL	Optimization	Réactif	Hazell and Norton (1986)
Prospect theory	F	F - IC - IL	Optimisation	Réactif	Tversky and Kahneman (1992)
Planification flexibles	∅	E - C - IL	Règle de décision	Réactif et anticipé	Aubry et al. (1998); Martin-Clouaire and Rellier (2009)
Planification hiérarchique	F pour les DS ∅ pour les DO	E - IC - IL	Optimisation Règle de décision	Réactif et anticipé	Akplogan (2013)
BDI	F	E - C - L	Optimisation Règle de décision	Réactif et anticipé	Taillandier et al. (2012)
Modèles d'information	∅	E - C - IL	∅	Réactif et anticipé	Fountas et al. (2006); Sørensen et al. (2010a)
Modèle mental	∅	F - C - L	∅	∅	Winsen et al. (2013); Fairweather and Hunt (2011); Vuillot et al. (2016)
Management	F ou E	E - IC - L	Variés : Dépend du modèle	Réactif et/ ou anticipé	Ohlmér et al. (1998); Gray et al. (2009)
Agent centré intégré	E	E - IC - IL	∅	Réactif et anticipé	(Feola and Binder, 2010)
Modèle Consumat	F	F - IC - IL	Optimisation Imitation Répétition Evaluation	Réactif	van Duinen et al. (2015); Malawska and Topping (2016)
Plasticité	F	E - C - IL	Règles de décision	Réactif et anticipé	Rodriguez et al. (2011); Dury et al. (2010)

TABLE 2.1 – Comparaison des modèles de décision utilisés en agriculture. Connaissances F/E : fixes/évolutives, C/IC : certaines/incertaine, L/IL : limitées/illimitées, ∅ : non précisé.

2.2.6 Des modèles d'intérêt non appliqués à l'agriculture

En agriculture, des auteurs ont observé que les agriculteurs développent parfois une routine caractérisée par un ensemble d'opérations avec des règles définissant quand cette routine ne doit plus être utilisée (Cerf and Sebillotte, 1997; Macé et al., 2007). Les modèles à base de règles de décisions peuvent dans une certaine mesure représenter ce type de processus. Mais un modèle spécifique à ces décisions d'experts a été créé en sciences cognitives : the recognition-primed décision model (Klein, 1999). Ce modèle part de l'hypothèse que les experts ont une collection de situations prototypiques en mémoire et que chacune d'elles est associée à un comportement prototypique (ex., une série d'actions). Chaque fois qu'un individu fait face à une situation de décision, il peut donc : 1) la reconnaître comme une situation prototypique, 2) la reconnaître comme une situation proche d'une situation prototypique, ou 3) ne pas la reconnaître. Il pourra alors respectivement 1) exécuter l'action prototypique associée, 2) la modifier, ou alors 3) chercher plus d'information pour se rapprocher d'une situation prototypique et le cas échéant délibérer afin de trouver une nouvelle action à exécuter. Le modèle a été construit dans le but de représenter les décisions réactives dans un contexte dynamique (ex., d'un pompier, d'un pilote ou joueur de handball). Il est à l'heure actuelle moins approprié pour représenter des décisions avec un caractère plus anticipé.

Nous avons vu que les modèles en agriculture ne détaillent pas à la fois les mécanismes mentaux et les états cognitifs du processus de décision. En sciences cognitives, le modèle de Rasmussen (appellé *Rasmussen Ladder*) permet une telle représentation. Huit mécanismes ("data processing activities") sont représentés : activation du processus, observation, identification, interprétation, évaluation, définition des activités, formulation des procédures et exécution. Ils permettent de passer d'un état cognitif ("states of knowledge") à un autre. Huit états cognitifs sont donc aussi présentés (ex., ensemble d'observations, objectifs, etc.). Outre la précision proposée dans le détail des composantes du processus de décision, une des originalités du modèle est la possibilité donnée au décideur de ne pas passer par tous les mécanismes et les états cognitifs proposés. Par exemple, si son expertise le lui permet, l'agriculteur peut décider d'une action sur la base d'une règle de décision sans passer par des phases d'analyse des alternatives ou des objectifs. Le modèle permet donc de représenter (sans les nommer) des modes de décision plus ou moins délibératifs. Cependant, le modèle est conçu pour représenter les décisions de type réactives et laisse peu de place à l'anticipation.

En sciences cognitives, le modèle des modes de contrôle cognitif proposé par Hoc and Amalberti (2007) vise explicitement la représentation des modes de décision. Il apporte une vision complémentaire à celle du modèle Consumat. D'après l'auteur, les modes de décision (et leur utilisation alternative) sont un moyen de garantir la performance du processus de décision tout en assurant un coup cognitif minimal (pour éviter la fatigue cognitive). Deux dimensions sont utilisées pour déterminer ces modes : 1) le niveau d'abstraction de l'information utilisée (définissant des modes plus ou moins délibératifs) et 2) l'origine de l'information utilisée (définissant des modes plus ou moins anticipés). En effet, pour anticiper ses décisions, le décideur ne peut faire appel qu'à ses connaissances (son information interne). A l'opposé, les décisions réactives utilisent les informations disponibles dans l'environnement (informations externes à l'individu). Ce modèle a été appliqué à l'étude de plusieurs décisions (ex., les décisions en conduite, lors d'un match de handball...) (Debanne and Chauvin, 2013; Marcilly et al., 2006) mais jamais à notre connaissance aux décisions agricoles. Il pourra être intéressant dans cette thèse d'évaluer son applicabilité au cas de la DO des agriculteurs.

Cette revue de littérature montre la grande diversité de modèles conceptuels utilisés pour représenter la décision en agriculture (et au delà). Chacun d'eux se focalise sur certains aspects de la décision et en omette d'autres. Aussi, de nombreux modèles ne prennent pas en compte les limites en terme d'information ou de capacités cognitives des agriculteurs. Par exemple, nombre d'entre eux sont basés sur un processus d'optimisation. Finalement, seuls quelques modèlent s'intéressent explicitement aux différences de processus entre agriculteurs. Le challenge est donc de proposer un modèle intégrateur du processus de décision des agriculteurs représentant à la fois les composantes et la dynamique du processus de décision. Ce modèle devra prendre en compte l'hypothèse de rationalité limitée. In fine, il devra permettre de différencier les modes de décision des agriculteurs. Afin de construire un tel modèle, il nous faudra analyser de manière fine ce processus de décision lors d'enquêtes in situ.

2.3 Les méthodes d'élicitation du processus de décision à travers les disciplines

Dans cette section, nous présentons les principales approches utilisées en agriculture pour analyser in situ les décisions des agriculteurs. Pour chacune d'elles, nous présentons les

principaux atouts et limites notamment en terme de coût, de biais et de précision.

2.3.1 Les questionnaires

De nombreuses approches ont permis d'étudier la décision opérationnelle en agriculture. La plus répandue consiste à réaliser une enquête sous forme de questionnaires auprès d'agriculteurs et d'en analyser les résultats à l'aide d'outils statistiques (Blazy et al., 2009; Righi et al., 2011; Meylan et al., 2013). Dans ce cas, les variables à extraire sont généralement sélectionnées en amont. Différents types de questions peuvent être utilisés (des questions ouvertes, fermées, des échelles de valeurs, etc.) en fonction de l'information recherchée. Par exemple, les échelles de Likert, mesurant le niveau d'accord ou de désaccord du répondant avec une affirmation, sont souvent utilisées pour mesurer les croyances des individus ou leurs motivations (Heong and Escalada, 1999). Des choix multiples ont été utilisés pour identifier les objectifs des agriculteurs ou encore leurs sources d'information (Roussy, 2016). Ces questionnaires ont principalement été utilisés pour faire déclarer aux individus de manière directe un certain nombre de composantes de la décision (ex., les connaissances, les préférences, les objectifs, etc.). Cependant, une méthode proposée en sciences cognitives, puis appliquée en agriculture, vise à mesurer les modes de décision des individus. L'hypothèse sous-jacente à cette méthode est que le choix d'un mode de décision est uniquement conditionné par le degré de satisfaction et d'incertitude du décideur relativement à la décision ciblée. La méthode propose donc d'approcher les modes de décision des agriculteurs de manière indirecte à partir de ces deux variables mesurées via un questionnaire. L'avantage de ces questionnaires est qu'ils sont généralement peu coûteux puisqu'ils peuvent être réalisés en autonomie (ils peuvent être envoyés par courrier ou par mail). Une enquête peut donc être réalisée par un grand nombre d'individus. Outre un taux de retour souvent faible selon les modalités de diffusion du questionnaire, la limite de cette approche vient du fait que l'agriculteur déclare les réponses. Il peut donc oublier des éléments, en omettre délibérément ou bien être influencé par la réponse qui serait la plus socialement correcte ou celle qu'il considère comme attendue.

2.3.2 L'observation en situation réelle

L'immersion

Une méthode bien plus coûteuse en terme de temps que les questionnaires mais qui permet d'en limiter un certain nombre des biais, est l'immersion. Celle-ci peut être participative ou non et peut s'étendre sur un temps plus ou moins long. Au delà de la possibilité donnée à l'observateur d'identifier un certain nombre de contraintes en direct, l'intérêt de cette méthode est qu'elle permet de mettre l'agriculteur en confiance afin qu'il réponde plus honnêtement aux questions posées (Vayssières, 2008). Elle donne en outre la possibilité au chercheur de poser un grand nombre de questions à l'agriculteur sans le biais de la fatigue cognitive (les questions sont posées sur un laps de temps long). Cependant, les données collectées sont principalement orales, leur traitement est donc difficile et peut laisser une large part à la subjectivité de l'observateur. Une discipline en sciences cognitives a donc proposé un certain nombre de protocoles pour faciliter cette analyse en situation réelle : la cognitive task analysis (CTA).

La cognitive task analysis

Originaire des sciences cognitives, la CTA (Hoffman and Lintern, 2006; Klein and Hoffman, 2008) vise la compréhension du processus de décision via l'étude de l'information utilisée dans ce processus. Ce cadre, reposant sur une combinaison de méthodes d'enquêtes et de stratégies d'observation, a parfois été appliqué à l'étude des décisions en agriculture (Dury, 2011). Parmi les méthodes proposées, le chercheur peut demander à l'agriculteur de penser à haute voix lorsqu'il prend une décision, il peut chercher à identifier des activités auxquelles il ne s'attend pas en observant l'agriculteur travailler, ou il peut encore lui demander de réagir face à un certain nombre de situations complexes (ex., des situations identifiées a priori comme pouvant constituer des événements critiques). Ces méthodes permettent de guider le travail d'observation en comparaison d'une simple immersion. Cependant, elles sont aussi coûteuses en temps, que ce soit auprès des individus, ou lors de l'analyse des résultats (ex., nécessité de passer par de l'analyse de discours). Différentes méthodes ont donc été proposées pour analyser les décisions des agriculteurs par le biais d'expériences de mise en situation.

2.3.3 Les expériences de mise en situation

Les jeux de rôle

Afin d'étudier les décisions, les chercheurs en agronomie ont conçu de nombreux jeux dans lesquels les agriculteurs ou d'autres acteurs doivent jouer leur propre rôle ou celui d'un autre individu (D'Aquino et al., 2002; Castella et al., 2005; Lardon et al., 2008; Martin et al., 2011). Ces jeux de rôle peuvent être plus ou moins complexes, assistés par un logiciel de simulation informatique ou pas, joués à plusieurs ou seul. Ils ont l'avantage de mettre l'individu dans une situation de décision réelle dans un espace contrôlé. Par exemple, certains jeux permettent de contrôler le temps (Martin et al., 2011), d'autres, l'information donnée aux individus (Lardon et al., 2008). Nous pouvons noter que les protocoles sont souvent construits en réponse à un objectif précis et ils ne sont pas toujours génériques. Aussi à notre connaissance, ces protocoles ont davantage été utilisés pour analyser les jeux d'acteurs, l'impact des décisions ou dans le cadre de la construction de modèles de simulation, et moins, pour l'étude du processus de décision.

L'économie expérimentale

Une discipline en économie a pour objectif d'étudier les décisions des individus à l'aide de mises en situation. Il s'agit de l'économie expérimentale. A l'origine, elle a été créée afin d'évaluer les biais associés aux théories économiques classiques. Plus généralement, l'économie expérimentale permet de mesurer les comportements humains dans un contexte contrôlé. Par exemple, un certain nombre d'expériences ont été conçues pour mesurer les préférences des agriculteurs. Les protocoles d'Holt et al. (2002) ou de Eckel and Grossman (2008) ont en particulier été appliqués à l'agriculture afin de mesurer les préférences vis-à-vis du risque des agriculteurs à partir de jeux de loterie (Couture et al., 2010; Hellerstein et al., 2013). Des expériences de *choice experiment* ont aussi permis de mesurer la valeur associée à différentes pratiques par les agriculteurs (Espinosa-Goded et al., 2010; Broch and Vedel, 2012; Roussy, 2016). Malgré la large diffusion de ces méthodes, nous devons noter dans le contexte de cette thèse que les méthodes proposées dépendent en grande partie de l'hypothèse de rationalité économique qui est peu compatible avec la DO en agriculture.

2.3.4 Méthodes d'élicitation des connaissances

Enfin, puisque les décisions des agriculteurs dépendent en partie de la manière dont ils perçoivent leur environnement, de nombreux auteurs se sont intéressés à l'élicitation de leurs connaissances. Outre les questionnaires classiques, une des méthodes utilisées consiste à faire dessiner aux agriculteurs leurs cartes mentales (Fairweather and Hunt, 2011; Winsen et al., 2013; Vuillot et al., 2016). La méthode est souvent divisée en deux phases. D'abord les agriculteurs doivent choisir un certain nombre de concepts relatifs à un sujet d'étude. Puis, ils définissent des liens entre ces différents concepts. Ces derniers peuvent être des liens de causalité, de dépendance, d'appartenance, etc. Le rôle du chercheur dans les différentes étapes est important, ce dernier doit être entraîné afin de ne pas influencer le répondant. Si ces approches détaillent les connaissances des individus, elles ne font pas à notre connaissance le lien avec le processus de décision des individus.

Six méthodes pour l'analyse in situ de la décision des agriculteurs ont été présentées. Chacune d'elles permet d'aborder différents aspects de la décision. Cependant, il n'est pas apparu de méthode permettant d'étudier directement les différents modes de décision des agriculteurs, ni même permettant d'aborder de manière globale le processus de décision. Au delà du coût variable de ces méthodes, nous pouvons aussi noter que les méthodes comportent toutes un certain nombre de biais. Afin de limiter l'impact de ces biais, il a été proposé de trianguler les données (Denzin, 1970). D'après l'auteur, en multipliant les méthodes pour l'analyse d'une même variable, on peut compenser les différents biais. Dans cette thèse, il nous faudra construire une méthode pour analyser de manière globale le processus de DO et les modes associés mais en prenant soin de limiter au maximum les biais des approches.

Chapitre 3

Problématique et contributions

3.1 Question de recherche, hypothèse et objectifs de la thèse

La situation de production ou les caractéristiques personnelles de l'agriculteur ont largement été étudiées (ex., Blazy et al. (2009); Righi et al. (2011); Nave et al. (2013); Lechenet et al. (2016)) mais elles ne peuvent pas à elles seules expliquer l'hétérogénéité des pratiques des agriculteurs. D'autres facteurs sont alors à étudier. Dans cette thèse, nous proposons en particulier d'explorer le rôle des caractéristiques du processus de décision des agriculteurs. En complément de la prise en compte d'autres facteurs (ex., caractéristiques personnelles et de la situation de production), nous pensons qu'une meilleure compréhension du processus de décisions utilisé par les agriculteurs est nécessaire à la compréhension de la diversité des pratiques observées. Elle permettra d'identifier les traits communs et les différences à l'intérieur du processus de décision des agriculteurs, ceci, dans l'objectif de mieux comprendre leurs pratiques. Nous chercherons donc à répondre à la question suivante : *Quel est le rôle du processus de décisions des agriculteurs, relativement à celui de leur situation de production et de leurs caractéristiques personnelles, dans leurs choix de pratiques ?*

L'hypothèse de cette thèse est donc que les différences au sein du processus de DO des agriculteurs, définissant des modes de DO, expliquent une partie de la diversité des pratiques observées en agriculture. Afin de vérifier cette hypothèse et de répondre à la question de recherche, quatre objectifs ont été fixés. Nous devons dans un premier temps identifier les composantes génériques du processus de décision, mais aussi, leurs relations et leurs dynamiques. Cette première étape est nécessaire à la seconde : identifier les modes de décisions

associés à ce processus, et en particulier, les facteurs permettant de discriminer entre ces différents modes. Il nous faudra ensuite évaluer le rôle de ces modes de décision sur le choix des pratiques des agriculteurs. Enfin, le dernier objectif sera d'identifier des leviers d'action pour un meilleur accompagnement des agriculteurs.

3.2 La méthode générale de la thèse

Nous l'avons vu, ni les modèles de décision ni les méthodes d'enquêtes utilisés aujourd'hui en agriculture ne permettent d'aborder la question de l'hétérogénéité du processus de décision. Seules quelques applications du modèle Consumat et des méthodes d'enquêtes associées permettent aujourd'hui d'étudier par la simulation et par des mesures indirectes les modes de décisions des agriculteurs. Afin de répondre aux objectifs mentionnés, deux challenges méthodologiques vont donc devoir être relevés : 1) modéliser le processus de DO des agriculteurs et 2) construire des méthodes d'enquêtes pour l'analyse in situ des DO.

La méthode générale de cette thèse se décompose donc en deux volets. D'une part, la construction de protocoles d'enquêtes va permettre l'analyse in situ des processus de décision des agriculteurs. D'autre part, la modélisation du processus de DO et des modes de décision associés permettra de proposer une représentation plus juste de ce processus. Ces deux approches sont très liées. Un aller-retour permanent entre les résultats de terrain et la modélisation va permettre à la fois, d'orienter le terrain, et d'affiner la construction du modèle à la lumière des données de terrain (Cf., Figure 3.1).

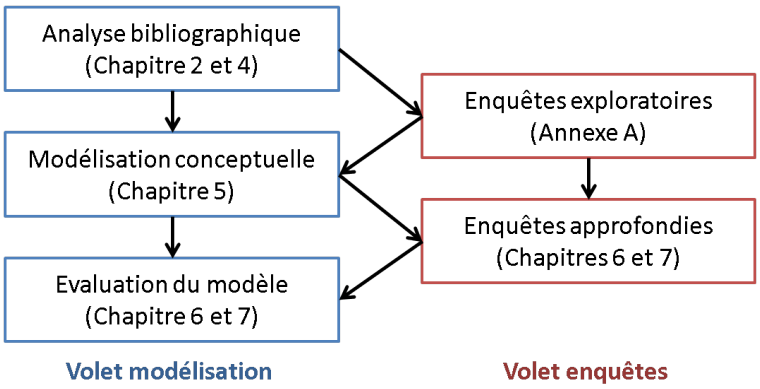


FIGURE 3.1 – Chronologie de la thèse : Une méthode générale à deux volets

La première analyse bibliographique ne nous a pas permis de discriminer entre les différents modèles conceptuels (Cf. Chapitre 4). Une première enquête, dite exploratoire, a donc été réalisée afin d'identifier certaines caractéristiques du processus de décision indépendamment de tout cadre conceptuel (Cf. Annexe A). Nous avons ensuite pu refaire une analyse critique des cadres conceptuels existants à la lumière de ces premières enquêtes afin de proposer un modèle conceptuel du processus de DO ainsi que des facteurs discriminants de ce processus (Cf. Chapitre 5). Une seconde enquête a ensuite été construite afin de préciser certains aspects du processus de décision et d'évaluer le modèle construit (Cf. Chapitre 6 et 7 et Annexe D). Cette alternance de phases d'enquêtes et de réflexions conceptuelles constitue une première originalité de la méthode.

Un seconde originalité à signaler est la pluridisciplinarité de l'approche. En effet, que ce soit dans la construction et l'analyse des enquêtes, ou dans la réflexion sur les cadres conceptuels, la thèse s'appuie sur un grand nombre de disciplines : l'agronomie, l'économie, l'intelligence artificielle, la psychologie cognitive ou encore la sociologie. La richesse de ce travail se trouve dans l'articulation des différents cadres conceptuels et méthodologiques et dans leur utilisation complémentaire pour répondre aux différents objectifs de la thèse.

La méthode proposée dans cette thèse est générique. Tant les modèles conceptuels que les méthodes d'enquête et d'analyse proposés peuvent être utilisés pour étudier différentes décisions en agriculture. Dans cette thèse, nous les avons appliqués à une catégorie de décisions : les décisions relatives à la gestion des maladies fongiques du blé tendre en Midi-Pyrénées.

3.3 Le cas d'étude : La gestion des maladies fongiques du blé tendre en Midi-Pyrénées

3.3.1 L'agriculture en Midi-Pyrénées

Du fait de ses paysages contrastés et de son climat clément, la région Midi-Pyrénées est traditionnellement une région de polyculture-élevage. La production animale garde en effet une place importante dans la région ; cependant, elle est de plus en plus abandonnée au profit des grandes cultures notamment dans les départements du centre de la région (Gers, Tarn, Tarn-et-Garonne et Haute-Garonne) (Cf. Figure 3.2). Ainsi, les céréales, les protéagineux et

les oléagineux s'étendent aujourd'hui sur 962 000 hectares (contre 670 000 hectares consacrés aux prairies et aux cultures fourragères). Les autres secteurs (maraichage, arboriculture, viticulture, etc.) ne représentent qu'une faible surface mais participent à l'image de la région grâce à une production de qualité (Noix du Périgord, Vins de Cahors, Armagnac, etc.).

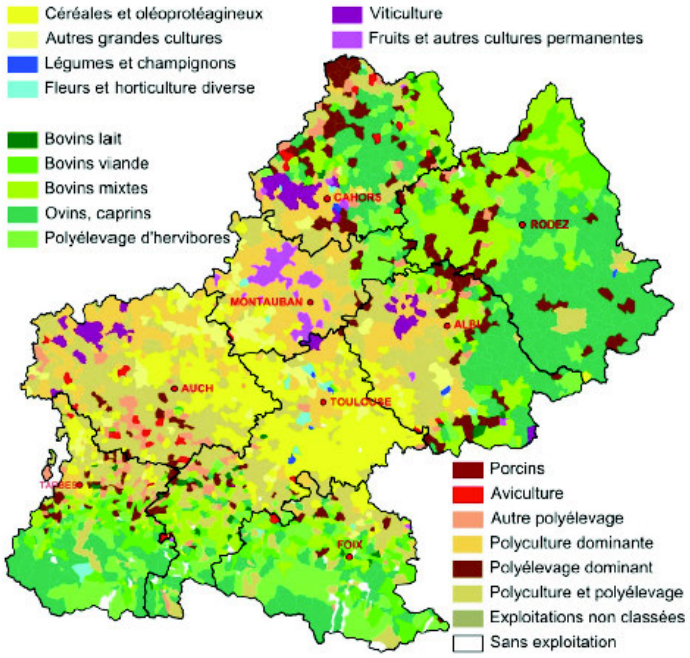


FIGURE 3.2 – Orientation technico-économique des communes de Midi-Pyrénées (Agreste, 2013)

S'il existe une variété de productions dans l'agriculture du Sud-Ouest, les grandes cultures restent majoritaires. Ainsi 24% des exploitations se consacrent uniquement à la production de grandes cultures dans la région. Outre cette spécialisation d'atelier, nous notons une spécialisation au sein même du système en grandes cultures. En effet, il est important de souligner que 79% de la SAU est consacrée à quatre cultures : maïs, blé dur, blé tendre et tournesol (Cf. Figure 3.3). Dans les cultures secondaires, nous trouvons principalement le colza, le sorgho et le triticale. La production de pois et de soja reste, quant à elle, minoritaire. La taille de ces exploitations en grandes cultures est supérieure à la moyenne nationale (et même de la région) avec 97,6 ha pour 1,4 UTH en moyenne. Nous pouvons cependant noter que les résultats économiques des agriculteurs de la région sont en moyenne inférieurs à la moyenne nationale (Cf. Table 3.1). En Midi-Pyrénées, le secteur grandes cultures est donc un secteur efficace mais aussi très spécialisé. Cette spécialisation des cultures induit une spécialisation

des nuisibles associés posant des problèmes sanitaires, économiques, environnementaux et sociétaux. Nous nous intéressons en particulier dans cette thèse aux problématiques associées au développement des maladies fongiques du blé tendre et à leur gestion.

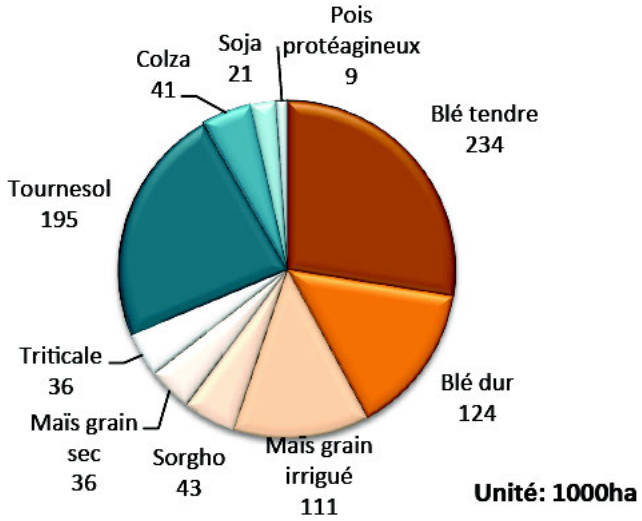


FIGURE 3.3 – Surface produite en grandes cultures en Midi-Pyrénées d'après le recensement agricole 2010 (Agreste, 2013)

Variable	France	Midi-Pyrénées	Grandes cultures
Nombre d'exploitation	308145	25911	6219
SAU moyenne (ha)	85,3	79,7	97,6
Nombre d'UTA	2	1.7	1.4
EBE (kilo euros)	82,3	52.6	60.3

TABLE 3.1 – Données RICA comparées France, Midi-Pyrénées et grandes cultures en Midi-Pyrénées en 2011 (Agreste,2013)

3.3.2 La gestion des maladies fongiques du blé tendre

Dans cette thèse, nous appliquons les méthodes d'enquêtes et les modèles à l'étude des décisions concernant la gestion des maladies fongiques de printemps du blé tendre en Midi-Pyrénées. Ce choix répond à plusieurs enjeux.

Premièrement, ce choix répond à des enjeux techniques relatifs au sujet d'étude. En premier lieu, nous recherchions une culture relativement présente dans la région (pour faciliter les enquêtes). Nous avons vu que le blé tendre est la première culture de la région. Ensuite, nous recherchions à analyser des décisions complexes. Or de nombreuses maladies fongiques

sont présentes dans la région, le nombre de paramètres impactant sur le développement de ces maladies est très important (ex. traitement de semence, fertilisation, variété, pluviométrie, travail du sol, rotation, date de semis, etc.) et leur impact peut dépendre de la maladie considérée (Aubertot and Robin, 2013; Robin, 2013). Enfin, nous recherchions des décisions pour lesquelles il n'y ait pas de consensus sur la décision à prendre. Les pratiques sont très hétérogènes en ce qui concerne la gestion des maladies fongiques du blé. Ainsi l'Indice de Fréquence de Traitements (IFT) fongicides moyen est de 1.68 en France en 2014 (Agreste, 2016). Cependant, alors que certains agriculteurs n'utilisent aucun produit chimique de synthèse (ex., en agriculture biologique), d'autres ont des IFT de 3 ou même supérieurs.

Deuxièmement, ce choix répond à un certain nombre de questionnements sociétaux actuels. En effet, les enjeux tant économiques qu'environnementaux liés à l'utilisation des produits antifongiques sont nombreux. Les produits phytosanitaires, dont les fongicides, sont mis en cause pour leurs impacts sur l'environnement mais aussi sur la santé des individus (tant des agriculteurs qui les manipulent que des consommateurs pouvant en absorber des résidus dans leur consommation) (Popp et al., 2013). Au delà de ces impacts sanitaires, dans un contexte de forte pression sur les prix des intrants, les enjeux économiques liés à l'utilisation efficace des fongicides, a fortiori sur la première culture de la région, sont importants pour la survie des exploitations. Une meilleure compréhension des mécanismes mentaux, des contraintes et des motivations poussant les agriculteurs à utiliser ces produits fongicides permettra de les accompagner dans la réduction de cette consommation.

3.4 Contributions

Différentes contributions sont présentées dans ce manuscrit. Elles peuvent être regroupées en trois catégories : les contributions conceptuelles, méthodologiques et empiriques.

D'un point de vue conceptuel, cette thèse propose en premier lieu une revue des différents modèles utilisés en agriculture et au delà. Sur la base de cette revue un modèle de générique du processus de DO en agriculture est proposé. Enfin, les facteurs discriminants des modes de DO en agriculture sont mis en évidence.

Les apports méthodologiques concernent les méthodes proposées pour l'élicitation du processus de DO ainsi que pour l'analyse des résultats. Nous proposons un protocole d'enquête

à base de questionnaires et d'expériences permettant de mesurer les modes de décision des agriculteurs, mais aussi leurs caractéristiques personnelles et celles de leurs exploitations. Ce protocole d'enquêtes est accompagné d'un protocole de traitement de données permettant de réduire le nombre de variables à analyser dans le cas d'un petit échantillon.

Enfin, cette thèse apporte un certain nombre de contributions empiriques. L'hétérogénéité des pratiques antifongiques des agriculteurs (résumées par leur IFT) est expliquée par trois catégories de variables décrivant : 1) les caractéristiques des agriculteurs, 2) les caractéristiques de leur exploitation et 3) leurs modes de décision. Nous montrons aussi que les agriculteurs ont des connaissances peu spécifiques et qu'ils n'utilisent pas toutes ces connaissances lors de la prise de décision. Enfin, un certain nombre de propositions sont faites afin d'améliorer le conseil pour les agriculteurs.

3.5 Structure de la thèse

Le plan de la thèse n'est pas chronologique mais thématique. Il est divisé en quatre parties : introductive, conceptuelle, empirique et conclusive.

La partie conceptuelle est constituée de deux chapitres. Le premier (Chapitre 4) offre un constat de la situation relative à la compréhension de la décision en agriculture et propose des pistes pour l'amélioration de cette situation. Le chapitre suivant (Chapitre 5) fixe le cadre conceptuel de la thèse. Un premier modèle présente les mécanismes et les états cognitifs constituant le processus de DO des agriculteurs ainsi que leur dynamique. Un second modèle propose trois axes permettant de discriminer les différents modes de décisions des agriculteurs.

La troisième partie de cette thèse décrit la démarche empirique adoptée ainsi que les principaux résultats obtenus suite aux enquêtes. Le Chapitre 6 propose une méthode pour l'analyse in situ des modes de décision des agriculteurs. Une analyse quantitative des résultats valide le recours aux modes de décisions (en plus de facteurs plus classiques) pour expliquer les pratiques des agriculteurs. Le dernier chapitre de la partie 3 (Chapitre 7) offre une analyse plus qualitative de ces enquêtes permettant de préciser les modalités du processus de décision. Ce chapitre conclut sur les impacts potentiels des résultats notamment concernant l'information à apporter aux agriculteurs.

Dans la conclusion finale (Partie 4), nous mettons en avant les contributions de cette thèse, ses limites mais aussi les poursuites possibles pour une plus grande compréhension des pratiques et un meilleur accompagnement des agriculteurs.

Deuxième partie

Modélisation conceptuelle du processus de décision des agriculteurs

Chapitre 4

Investigating operational decision-making in agriculture

Communication : *Ce chapitre a fait l'objet d'une présentation orale lors de l'International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs) qui s'est déroulé du 15 au 19 juin 2014 à San Diego (Etats-Unis). L'article ci-dessous, co-écrit avec Stéphane Couture, Frédéric Garcia et Roger Martin-Clouaire, a été publié dans les actes de la conférence.*

Abstract Farmers, in their role as production managers, have to make daily management decisions about the technical operations to be performed on the biophysical components of their farms. These decisions have important implications in terms of the sustainability of the farm business and deserve in-depth examination with a scientific approach. The traditional decision research paradigm assumes an idealized decision situation in which the farm manager knows all the relevant alternatives, their consequences and probabilities, and has fixed preferences and possesses the cognitive capacity to efficiently process them. Many studies have shown that the farmer's decision-making context does not meet these assumptions. We propose that our understanding of the decision made could be increased by focusing on the natural strategies used by farmers. We present some preliminary thoughts about the issues to be addressed, in particular, the various key notions such as objective, preference, uncertainty, anticipation and rationality. Particular attention is given to the heuristics that farmers use to : (i) select the relevant information to be taken into account ; and (ii) simplify the decision process and make it easily tractable. We argue that a bounded rationality approach is required to examine in situ individual management behavior, explain performance differences between farmers and help identify possible improvements.

Key words : bounded rationality ; mental model ; action ; uncertainty ; preference

4.1 Introduction

When managing an agricultural production system, farmers make different types of decisions that range from setting long-term objectives or commitments (e.g., overall production target, buying extra land or expensive machinery) to taking short-run actions to drive the production process thanks to technical operations. The decisions of the first type are said to be strategic and are amply addressed in the agricultural production literature. The other ones, referred to as operational decisions, are the output of an ongoing cyclical process by which the farmer determines, at least on a daily basis, the operations to be performed. Studying operational farm management behaviour is becoming increasingly important because : (i) decision-making (including operational) is becoming more complex and

knowledge-intensive in agriculture ; (ii) it is a key factor in performance analysis (economic, environmental, organisational) ; and (iii) for many reasons related to the changing context of agriculture (climate change, environmental issues, market and legislation pressure), there is a growing need for a change in management practices. Understanding why some farmers appear to be more successful producers than others is of central importance in farm management research (Gray et al., 2009; Rougoor et al., 1998; Nuthall, 2011). More than ever, science is needed to support the development of new management practices that are critical for coping with new challenges. The objective of this article is to present a preliminary exploration of what is involved in an operational decision-making process and which issues to address in order to make it an object of scientific study.

Farms that operate in similar physical and economic environments have often very different performance outcomes (Solano et al., 2003, 2006). Numerous farm management studies have used surveys to measure the socio-economic variables that define the characteristics of successful farmers. Research shows that the difference is mainly due to the farm manager's decision-making skilfulness, the faculty for dealing with uncertainties, and the ability to properly balance a wide range of factors and adapt to changes. The production performance is critically dependent on the ability of the farm manager to deal with the right problems and opportunities at the right moment in the right way. The majority of farm managers make operational decisions on the basis of knowledge that is largely tacit, resulting from years of experience of outcomes of past decisions and interactions with colleagues and advisers. A limited number of in-depth studies have actually examined the process by which a farmer selectively combines the different types of information that play a role in solving the decision problem (see Gladwin (1989); Ohlmér et al. (1998); Fountas et al. (2006); McCown (2005, 2012) for examples). Such a study could significantly help to identify strengths and weaknesses of a decision behaviour and, therefore, to improve the farmer's managerial ability.

An explanation of decision-making behaviour can be shaped by examining the manager's mental model (Johnson-Laird, 1983). A mental model is a personal, internal representation and inferential process that is used to : (i) interact with the system to be controlled and the world around it ; and (ii) take control actions consistent with the manager's personal view. The mental model conveys the specific understanding that the farmer has about his manage-

ment problem. Mental models thus act as a repository of decision-relevant information and as an inferential framework. The focus on the decision process, rather than the outcome of the decision process, is consistent with the shift of emphasis between cognitive psychology and normative approaches in economics. Understanding how people arrive at their choices is an area of cognitive psychology (Klein et al., 1993) and other disciplines such as behavioural economics, and more generally management science and artificial intelligence (Simon, 1996). In fact, the main metaphor attached to this perspective conceptualizes decision-makers as information processors who use processes of perception, categorization, storing, prediction and other types of problem solving.

Section 2 of this paper outlines what characterizes operational decision-making in agriculture. Section 3 introduces some of the most salient features of the mental process involved in the decision-making process.

4.2 What is operational decision making about ?

A farm system can be decomposed into three constituents (Martin-Clouaire and Rellier, 2009) : a decision system (i.e., the farmer is considered as a manager), an operating system (i.e., resources such as the labor force, machinery, inputs), and a biophysical system (i.e., soils, crops, livestock, etc.). These systems are in constant interaction and influenced by external factors (e.g., weather, epidemic outbreak). This paper focuses on the decision system that has so far been essentially studied within the simplistic rule-based decision paradigm. This section revisits the notion of operational decisions, which are the output of the decision system and the input of the operating system.

4.2.1 Organisational and time-related constraints

Production management in agriculture involves daily, or even more frequent, decision-making moments at which the farmer decides which actions to take to be executed immediately. The determination of these actions is the process that we call operational decision-making.

The chosen actions are undertaken with a view to achieving an intended result and are not improvised. They serve general production goals and are consistent with a plan that

expresses the farmer's production logic. The plan concerns the temporal organization and the tentative coordination of work and required resources. At a given time, such a plan is the result of reflection on prior experiences of production practices, the anticipation of particular goals and probable occurrences of important events. Because of this, plans are not rigid in the sense of a definite and precise specification of the execution steps (Martin-Clouaire and Rellier, 2009, 2011; Dury et al., 2013). A plan guides the flow of work to be done in a responsive manner and can be adapted to different circumstances. Because the context of execution cannot be fully predicted, actions are inevitably situated and require an operational decision-making process responsible for determining actions that are admissible according to the ongoing plan and appropriate given the current situation. Although the actions are incompletely specified by the plan, they are often bound to temporal constraints such as the earliest and latest execution time of execution. Operational decisions thus depend on tactical (work planning) and strategic (goal setting) commitments that provide guidelines but that also impose constraints. Moreover, a plan provides a framework for monitoring actions, and allows the user to determine whether or not he/she is achieving or moving toward the objectives through the expected intermediary states.

A common oversimplification about operational decision-making in the farm systems modeling literature is that decisions are made independently of each other, without regard for anything that has gone before and ignoring that they are made in compliance with the overall production logic expressed by the ongoing plan. Operational decisions are made within a context of previous decisions and have decisional consequences. Every decision made affects the decision stream and the sets of alternatives available immediately and in the future. Therefore, operational decision-making has to consider future actions to facilitate (or enable) the applicability of the plan : what seems good at one point can be in conflict with what is best overall. The present decisions might strongly restrict the freedom for the future ones and, therefore, reduce the permissibility to act optimally in the future if some unfavorable circumstances occur. For example, the farmer may be initially inclined to wait an extra week before applying a chemical treatment to a certain wheat plot. However, given that the same week will probably be extensively devoted to maize sowing activities, the farmer may finally choose to spray the wheat immediately in order to avoid the possible conflict. More generally, the actions might have both short- and long-term consequences,

some desirable and some possibly undesirable, therefore requiring an anticipatory approach.

Since the decision environment continues to evolve as time passes, it is often advisable to put off making a decision until more favorable conditions are met. Information and alternatives continue to grow as time passes. Therefore, in order to have access to the most information and to the best alternatives, it might be better not to commit too early. Nonetheless, it is obvious that some alternatives might no longer be available if too much time passes, making the hoped-for better conditions turn out to be worse. Operational decision-making is clearly confronted with the constraint of the cut-off date for the decision : delaying provides some benefits (e.g., more information) and involves some risks (e.g., alternatives that become unavoidable). Moreover, since some operations need to be done within a given time (e.g., sowing corn in April), the notion of urgency can appear when the deadline of a given operation approaches. By integrating the time available to execute an operation and the importance of its impact, farmers can then define priorities. Little focus has been given to urgency and priorities within farm management literature, whereas they are key notions at the operational level.

4.2.2 Driving factors in operational decision making

In addition to the plan, several other factors influence operational decision-making and may vary among individuals. They include past experience and knowledge, perception of the current state and belief of what might result from particular actions, goals and preferences, as well as other factors that concern the role of effect in decision-making. Understanding these factors and the way they are handled in the decision process (next section) is important to understand the decisions made.

Farmers' decisions are responsive to the data that they value the most, such as the current state of the biophysical system that is observed through the assessment of some physical properties (e.g., soil moisture) or personal indicators (e.g., crop vigor) that provide a synthetic informative clue. Naturally, weather forecasts, market and regulation information are also included. Farmers might also use reports from extensions services or advisory services (e.g., on regional pest outbreaks). These sources are often pervaded by various types of imperfections such as uncertainty (the stochasticity of weather), imprecision (poor or erroneous

measurements) and bias (partisan opinions). These imperfections are a potential cause of adverse outcomes or negative impacts on production. Understanding the way farmers perceive and deal with such risks is thus very important and is especially challenging (Winsen et al., 2013) : How do farmers deal with these risks and how are different attitudes characterized ? Is there any room for a quantitative measure or treatment of these aspects ? How are they considered in the decision-making process ? The work of Lipshitz and Strauss (1997) is one of the rare attempts to investigate the role of uncertainty in decision making by experts (not in agriculture unfortunately).

The farmers' goals and intrinsic values (e.g., ethical principles) are among the driving forces involved in the operational decision process. They may concern very different aspects including agronomic and economic targets, the survival of the farm, family wealth, biodiversity conservation, leisure time, etc. They may be of various natures, ranging from mandatory requirements (e.g., contractual delivery conditions) to desirable benchmarks (e.g., income greater than a given threshold) or optimization objectives (e.g., yield maximization, minimization of environmental impact). On the basis of these values and goals, farmers can derive criteria that are a necessary step toward building a basis for comparing alternative choices. Since some goals may be contradictory (e.g., increasing both the number of irrigations per field and leisure time), the criteria should be supplemented by preferences (i.e., importance of specific criteria in the situation). Despite some recent works (Dury et al., 2010; Nuthall, 2011), eliciting farmers' decision criteria and preferences together with their context-dependent dynamics remains a challenge.

The most important factor to influence farmers' decisions is past experience (Nuthall, 2012). In fact, decision-making behavior is highly determined by knowledge about the functioning of the production system in response to external factors and actions. This knowledge comes from education and, for the most part, from experience acquired through years of farm management practice. How is this essentially tacit knowledge structured and made available when a decision must be made ? How is knowledge about biophysical mechanisms articulated with action-oriented knowledge ? Experience makes it possible to quickly recognize the similarity of the present situation with one previously encountered and solved before (Fountas et al., 2006). How can knowledge and experience be conceptualized so as to lend itself to analogical reasoning ?

4.3 Understanding farmers' mental process of choice

4.3.1 Need for a paradigmatic change

The farm management field has long been dominated by agricultural economists who were themselves strongly influenced by the rational choice approach of microeconomics. They typically considered the decision problem through quantitative models based on the theory of expected utility and the assumption of full rationality. The seminal work of Simon (1955) on bounded rationality renewed the perspective on human decision-making by considering the limitations of available information, the available time to solve a decision problem and the cognitive capabilities of the decision-makers. The application of the classical expected utility framework to the operational decision-making level is severely hindered for several reasons : (i) probabilities about the possible effects of the actions and their respective worth (and, thus, utility functions) are extremely difficult to formalize and to obtain ; (ii) what has to be solved is a sequence of operational decision problems that are all different and therefore require a huge amount of information to be collected and stored ; and (iii) computation time (and capacities) needed to compare alternatives are limited, especially in the case of a situation of urgency. Therefore, how do farmers make operational choices ? These economic models (Chavas, 2004) generally do not spell out the procedures by which decisions are made (see Ohlmér et al. (1998) for an exception). However, to answer this question, we need to understand the mental process involved in decision-making. Mental models are personal, internal representations and inferential processes that managers use to : (i) interact with the system to be controlled and the world around them ; and (ii) make decisions about control actions consistent with this personal view. Mental models are constructed by individuals based on their unique understanding of the world, life experiences, perceptions, goals and values, and managerial attitude.

Simon (1996) argued that any type of serious, complex decision problem involves both deliberate (i.e., causality-based) and action-oriented thought. Deliberate thinking is controllable, conscious, and relies on knowledge about the functioning of the system. Action-oriented knowledge is essentially based on experiential knowledge and allows rapid, automatic and relatively effortless decision-making. Deliberate thinking is used in situations either where the individual cannot rely on past experience or with respect to events that will possibly occur in

the future. What is the role played by such causal knowledge in operational decision-making in agriculture and how is this type of reasoning articulated with the use of action-oriented knowledge ? Some insights are provided in McCown et al. (2012).

Since logical deliberation requires elaborate reasoning and time, farmers very often use action-oriented knowledge. For many researchers who adhere to the bounded rationality philosophy (see, for example, the naturalistic decision-making theory of Klein et al. (1993) or the fast and frugal heuristics of Gigerenzer and Gaissmaier (2011)), decision-makers use heuristics. These reasoning short-cuts (rules of thumb), make it possible to effectively find good enough solutions when the best ones cannot be obtained. Simon argued that because decision-makers lack the ability and resources to arrive at (or even formulate the notion of) an optimal solution, they instead apply their rationality only after having greatly simplified the set of possible choices. Thus, the decision-maker is a "satisficer", one seeking a satisfactory solution rather than the optimal one. Similar notions were used in agricultural system models in which the management component was represented as a set of decision rules (e.g., Aubry et al. (1998); Cros et al. (2004); McCown et al. (2012)). The issue is now to characterize the types of heuristics invoked by farmers and the inferential mechanism that underlies their use.

In order to facilitate the investigation of the decision-making process, we distinguish two parts : (i) the framing of the current decision problem through the selective collection and transformation of information ; and (ii) the choice of actions based on the combination of the collected information with the other knowledge about the farmer's background and aspirations. However, the reader should keep in mind that these two sub-processes are highly intertwined (Ohlmér et al., 1998). For example, while evaluating an alternative, the farmer may seek additional information that is deemed essential at this stage.

4.3.2 Search, selection and perception of information

Information is required throughout the choice process, from problem framing to decision evaluation. However, information is not always readily available. It may be necessary to retrieve it from historical records, collected from observations or from external sources (e.g., advisory services). In many cases, information may require some preliminary processing to be transformed into a synthetic piece of decision-relevant evidence. Decision indicators need to

be developed by combining directly observable data. In any case, farmers have to go through a search process and, as mentioned earlier, they have to carefully select what to search for in order to maintain the rapidity of the decision process. Therefore, the decision problem is significantly truncated by restricting the number of elements taken into account. Reducing the amount of information has the effect of streamlining the subsequent steps of the decision process. The selection process certainly relies on some ready-to-use heuristics resulting from the farmer's experience, but it will probably involve some reasoning as well. In particular, it seems that this process involves a preliminary situation assessment phase to evaluate if everything is as expected or if potential anomalies are visible.

Investigating how farmers select information raises a set of questions. What types of heuristics are mobilized to scrutinize only some information while avoiding cognitive biases that put the decision process on the wrong track ? Do they rely more on (lend more credence to) expected observations and plain facts ? Do they tend to dismiss information or observations that are perceived as uncertain ? What are the patterns that are used in the situation assessment phase and how is the pattern matching done ? What is the importance of perceptions, skills and biases ? What type of inference follows the identification of an anomalous situation and by what mechanism is the decision process changed in order to be more precautionary ? Do heuristics play a role in diminishing the need to store information for potential future needs ?

4.3.3 On the process of choosing actions

The selective collection of information addressed in the previous subsection yields the basic material to be used in the action choice process in combination with the goals, preferences, constraints and relevant knowledge of the farmer. We have seen that optimization procedures that would treat all information and compare all alternatives are materially and cognitively impossible in the context of operational decision-making. Consequentially, which inferential procedures do farmers use to derive satisfactory solutions with a partial view of the current situation given their bounded cognitive capacities and limited time to be allocated to this task ?

A first proposal to simplify the decision problem is to reduce the number of alternatives to be treated. However, the question remains as to how farmers select (or eliminate) alternatives

and, ultimately, how they compare them. We hypothesize that in the context of operational decisions, non-urgent candidate solutions are discarded if others are ; but what does happen in the other cases ?

Classical theory assumes that the goals to be achieved and their relative importance in any decision situation are either predetermined or clear, and representable by utility functions. In operational decision-making, the goals are not given. They are shifting (some develop while others disappear as the context evolves) and are sometimes vague (e.g. under the form of reference points used as basis for decision) as reported by Ohlmér et al. (1998). Therefore, a central problem is to determine which objectives are the most important in the current situation. Farmers often have to deal with a multitude of objectives, many of which may be conflictual. It would also be informative to explore the way decision-makers change their minds (beliefs, views, goals, preferences, priorities) during a decision-making episode and between two of them that are close in time (i.e., where the situation has not changed much in between). The choice problem may have been re-framed or values/attitudes revised as a result of changes in the conditions or other circumstances. Another possibility to make the choice problem tractable is simply to reduce the number of goals and choice criteria, keeping only the most important ones in terms of the farmer's experience. Some alternatives could then be immediately eliminated because they do not give satisfaction with respect to the most important criteria or to enough of them. However, it is still necessary to compare alternatives given criteria that might not be of the same nature. Literature on multi-criteria analysis can provide some insight but further research is needed.

Comparing pro and cons (i.e., polarizing) can be another way to choose an alternative. The issue of making decisions on the basis of arguments that either support or discard the candidate solutions has recently been the object of renewed attention in disciplines such as artificial intelligence (Dubois and Prade, 2008) and cognitive psychology (Raufaste and Vautier, 2008). The idea has also been explored by Tversky and Kahneman (1992) in their prospect theory where the importance of positive and negative aspects is measured separately. However, qualitative approaches (Bitsch, 2000; Bonnefon et al., 2008) seem more appropriate to comply with information, time and the cognitive constraints of operational decision-making.

There has been very little attention given thus far to understanding how and when farmers can make effective use of analogies drawn from their existing mental models when faced with significantly new contexts. How can analogies be conceptualized ? Can they help to reduce the complexity and uncertainty of the new decision problem and how can they produce fresh insights ?

The treatment of uncertainty is another major issue. How do individuals behave when faced with a risky choice ? Our understanding of uncertainty management in operational decision-making is quite limited. Most risk-related works have actually focused on probabilistic representations of risk, including in prospect theory (Tversky and Kahneman, 1992). Within this framework, modelers consider that the decision-makers distort probability distribution (e.g., give too much weight to some of them through loss aversion). However, these models remain in the realm of optimization approaches that have raised much criticism because of the perfect rationality hypothesis underlying them and the overly simplistic view that they convey. Several farm management studies (Winsen et al., 2013) showed that farmers seem to follow a different track in practice because : (i) they lack accurate quantitative data (frequency and potential loss) ; and (ii) the processing of probability distribution on a daily basis requires computational treatment that is neither easy nor convenient for them. Moreover, it seems that much processing is done in a qualitative manner.

4.4 Concluding remarks and challenges for future works

The preliminary exploration presented in this paper assumes that farmers decide what to do on the basis of experience and are guided by a dynamic production management plan. They seem to derive or adjust their goals and preferences dynamically to meet the needs and the perception of the current situation. The final choice stage probably involves only a few alternatives and it seems that no extensive generation of options takes place. In other words, the farmer's decision process is more consistent with the bounded rationality perspective than with the omniscient optimizing one. The traditional decision research paradigm is simply not relevant in the setting of operational decisions.

Understanding decision making in such complex environments requires methods that shed some light on the nature and role played by experiential knowledge, perceptual and

inferential processes, situation appraisal and information gathering strategies. The naturalistic decision-making framework Klein et al. (1993); Lipshitz and Strauss (1997); Schraagen (2008) that focuses on the study of decision-making processes in real-world settings definitely has some theoretical support to offer as a starting point. In particular, the techniques of cognitive task analysis (Crandall et al., 2006) developed in this framework provide a set of useful tools, including structured interviews and methods of work observation, which may be applicable to elicit the mental model underlying the farmer's decision process. However, the understanding of the various forms of heuristics used and the way they are combined with uncertainty and preferences is still the major challenge. This requires additional theoretical work that, we believe, should be based on a thorough survey and analysis of how farmers make operational decisions in situation. From this empirical investigation, we plan to develop conceptual and simulation models of the farmers' mental models identified. Modelling is expected to provide an efficient communication means as well as a framework to support the experimental validation of the empirical findings.

Chapitre 5

A cognitive model of the farmers' operational decision-making process to explore management variability

Communication : *Ce chapitre a fait l'objet d'une soumission dans un journal international à comité de lecture. L'article, co-écrit avec Stéphane Couture et Roger Martin-Clouaire, est en cours de révision. Les résultats de ce chapitre ont de plus été en partie présentés lors d'une communication orale pendant l'International Symposium for Farm System Design qui s'est déroulé du 7 au 10 septembre 2015 à Montpellier (France).*

Abstract : Faced with the difficulty today for public authorities and advisory agencies to support farmers in their transition toward a less input-intensive agriculture, an analysis of farmers' day-to-day needs and action drivers is needed. The heterogeneity of farmers' practices is already known. However, differences between farmers within the decision process that leads to these choices has received little attention. Based on existing decision models in agriculture and in the cognitive sciences, we propose a generic model of the operational decision-making (ODM) process used by farmers. The different ways that farmers use this generic model (referred to as decision modes) are identified and characterized with the objective to explain management variability. Three discriminatory dimensions of these decision modes are considered : the degree of deliberation (vs. automatism), of assistance (vs. autonomy) and of reactivity (vs. anticipation) within the decision process. A survey-based case study focusing on farmers' use of fungicide on soft wheat in southwestern France reveals that deliberative, assisted and reactive decision modes are associated with a lower level of intensification in terms of fungicide use. These results make it possible to corroborate the hypothesis that farmers' decision modes can explain management variability on the basis of the three discriminatory dimensions proposed.

Keywords : Decision-making ; Farm management ; Decision mode ; Management practice diversity ; Conceptual model ; Survey

5.1 Introduction

Within the actual context of climate change, environmental footprint awareness, the shift in consumer demand and the globalization of markets, farmers have to adapt their production and management practices. The use of pesticides is particularly critical since it is one of the main management tools used by farmers at this time. Faced with the difficulty today for public authorities and advisory agencies to support farmers in their transition (e.g., the failure in France of the Ecophyto directive to fulfill the objective of 50% pesticide reduction before 2018, or the under-utilization of decision-support tools), there is the necessity to analyze farmers' day-to-day needs and action drivers. In order to support farmers in their mutation, it is necessary to understand the reasons why they act the way they do. Indeed,

the differences in farmers' practices have been widely analyzed. However, differences between farmers within the decision process that leads to these choices (referred to as decision modes) (Hoc and Amalberti, 2007)) have received little attention (see Rodriguez et al. (2011), Mialhe et al. (2012), Dury et al. (2013), van Duinen et al. (2015) and Malawska and Topping (2016) for exceptions). There is therefore the need to understand farmers' decision-making process specificities as well as differences among farmers in order to build more specific decision support tools for farmers (Ohlmér et al., 1998; McCown et al., 2012; Daydé et al., 2014).

A distinguishing feature of agricultural production is that it heavily depends on many uncertain parameters, mainly weather, prices and the development of diseases (Chavas, 2004). Farmers have the means to limit this uncertainty (e.g., irrigation to limit rainfall uncertainty) or its impacts (e.g., with insurance). However, since they cannot predict all the needs and constraints for the growing season, they cannot strictly plan their activities at the beginning of the year (Martin-Clouaire and Rellier, 2009). They only define a somewhat specified intention (a partial plan to which the farmer is committed) that they complete and modify as new information becomes available. Operational decisions (decisions regarding technical activities to be performed on the farm) are thus partly made during the year in reaction to information updates. Understanding the dynamics of the operational decision-making (ODM) process and, particularly, the dual role of anticipative and reactive behaviors is thus important. By not considering the ODM process as a one-shot process but, instead, as a progressive process, we will overcome this duality. Then, by identifying differences in the dynamics within the farmers' decision process, we will explain the heterogeneity of farmers' management practices.

In addition to differences in dynamics, the farmer's ODM process can be differentiated on the basis of types and quantities of underlying components. Authors typically mention four components to describe the farmer's decision-making process : intentions, objectives (current states regarding things to be attained), preferences (the priority over objectives), and internal information (the information that farmers have in their minds) (Ohlmér et al., 1998; Cerf et al., 1998; Rougoor et al., 1998; Nuthall, 2011; Taillandier et al., 2012). Nevertheless, these components are generally considered as fixed inputs of the decision process, whereas they can evolve throughout the year. For example, internal information is continuously fuelled through farmers' perceptions of external information (e.g., observation of symptoms or

external advice) (Sørensen et al., 2010a; Solano et al., 2003). Even if long-term objectives are generally stable over time (they are sometimes referred to as goals), short-term objectives (e.g., sowing before October, not having pests on wheat) are not fixed and can evolve as time passes and the decision environment changes. Since the components of the decision process are not fixed but can evolve over time, we will refer to them as ODM cognitive states. The need today is to better understand the nature and the evolution of these cognitive states in order to reveal differences between farmers within the decision process and, consequently, explain differences in management practices.

The challenges of this study are threefold. First, the goal is to propose a generic model of the farmer's ODM process, taking both the farmer's cognitive states and their underlying dynamics into account. The second challenge is to highlight discriminatory factors of this generic process that define ODM modes (i.e., different ways of using the generic ODM process). Third, by forming farmer typologies based on these ODM modes, the goal is to explain differences in farmers' practices that will allow us to identify needs and action levers in order to better support agricultural production.

5.2 Material and method

The first step of the method is to precisely define the concept of the farmer's ODM process. Based on existing literature on decision models, an integrative and generic model of the farmer's ODM process is proposed. In a third step, discriminatory factors of such a generic process are identified and characterized to identify ODM modes. In a final case study, we test the ability of these discriminatory factors to be used in practice to identify decision modes and to explain the variability of farmers' practices.

5.2.1 How to define the farmer's ODM process ?

The decision process can first be viewed as the process leading to the identification of an alternative that is preferable to its competitors (Lipshitz and Strauss, 1997). However, given the complexity and uncertainty of the decision situation, it is doubtful that farmers can identify and analyze all the possible alternatives (Simon, 1992). The view proposed by Klein (2008) thus better captures the reality : deciding is committing oneself to a course of action

when alternatives exist, even when these other alternatives are unknown or not analyzed. However, these two definitions propose a discrete view of the decision process. They highlight the notion of "decision point" as the moment when the decision is made (Clark et al., 2008).

We have seen that farmers' operational decisions are made continually and progressively. They can be partially anticipated and, if necessary, revised or clarified. Some authors propose a dynamic view of the decision process (Ohlmér et al., 1998; Dury et al., 2010, in agriculture). For them, deciding is the process of directing and maintaining a continuous flow of behaviors towards a set of objectives, rather than a set of discrete episodes involving choice dilemmas (Ohlmér et al., 1998). Crowder (2012) expands this definition with the notion of incremental decision. For him, the decision-making process involves "a series of gradual steps, each of which build upon the last". This last definition appears well-suited to the uncertain context of farmers' ODM. As time goes by and new information is perceived, farmers refine their decisions regarding technical actions to be performed. More generally, Bouyssou et al. (2013) consider that executing an action "merely means focusing on the details of smaller and smaller decisions that are closer and closer to the ground".

Bratman (1987) defines intention as a more or less specified technical activity that the decision-maker has decided to follow unless something forces him to change it. Given this definition, the ODM process can be considered as the mental process that allows a farmer to develop, modify and clarify a set of intentions as time goes by. Intentions therefore pass through different states over the year.

More generally, we consider that ODM is composed of a set of cognitive states (e.g., internal information, objectives, preferences or intentions) and mechanisms. The mechanisms are the mental activities that allow farmers to extend, modify and refine the set of states. The ODM process definition can therefore be interpreted as the mental process that allows a farmer to develop, modify and clarify a set consisting of cognitive states as time goes by until an action is executed.

Finally, ODM is a dynamic process that is both iterative and incremental (see Fig. 5.1). It is iterative because states are regularly called into question, whereas it is incremental because each state is built upon the last one. The cognitive states evolve until a final state that allows for the execution of an action.

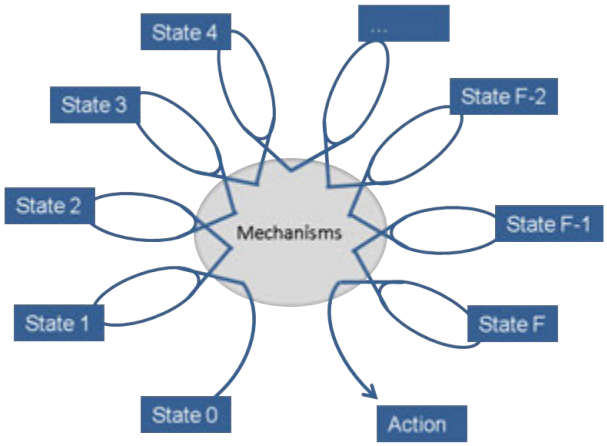


FIGURE 5.1 – ODM as an iterative and incremental process. State F : final mental state

5.2.2 Conceptual modeling of the farmer's ODM process

The building of the generic farmer's ODM process model

According to Juristo and Moreno (2000), a conceptual model can follow three general objectives : (1) to propose a shared framework among various actors ; (2) to allow a better understanding of an observed reality through representation, and (3) to serve as a framework for computer model development. The first two general objectives are central in this study. Then, our model follows three specific objectives. First, we wanted to represent both the anticipative and reactive character of the farmer's ODM process. Second, we wanted to represent the farmer's cognitive states and their evolution during the ODM process. Finally, the model should make it possible to discriminate among farmers' decision modes. Another important point is that, as human beings, farmers make decisions in a context of bounded rationality (Simon, 1996; Ohlmér et al., 1998; McCown et al., 2012; Daydé et al., 2014). They are therefore limited by : (1) access to information ; (2) cognitive capacities ; and (3) time to make their decision. With the objective to be representative of the farmer's ODM process, it is necessary to take this limited context into account.

The farmer's ODM process model is built in two steps. First, the components of the models are identified and the model dynamic is then highlighted. The model building results from the interpretation and integration of different conceptual frameworks found within and outside the literature on decision in agriculture. More specifically, model components or organization from the cognitive sciences are used to deepen some aspects of the farmer's

decision-making process that were lacking in the models from agriculture disciplines.

Seven models or categories of models were selected from the literature to be used as partial input for our conceptual model. This selection was based on the models' precision in term of the description of the cognitive mechanisms and/or states of the decision process and on their capacity to explain the decision process dynamics. Four originated from agriculture disciplines or have already been applied to farmers' decisions. Three of them are entirely from the cognitive sciences and have never been applied (to the authors' knowledge) to farmers' decisions.

First, the distinction between cognitive states and mechanisms is inspired from the Rasmussen Ladder (Rasmussen, 1976). It divides the decision process into (1) states of knowledge (referred to as cognitive states), and (2) data processing activities (referred to as cognitive mechanisms) that are the mental mechanisms that make it possible to pass from one state of knowledge to another. Cognitive states are the input and output of the decision process that can be modified within it. The cognitive mechanisms are the mental activities that allow farmers to extend, modify and refine a set of cognitive states. For the present model, five cognitive states are distinguished : internal information, pertinent information, objectives, preferences, and intentions. Five mechanisms are then highlighted : perception and comprehension, information selection, objective and preference evaluation and change, intention evaluation and change, and intention implementation.

The choice of cognitive states to consider comes mainly from the belief-desire-intention (BDI) framework and the recognition-primed decision model (RpDM). The BDI model proposed by Bratman (1987) details three of the cognitive states : "beliefs" (internal information), "desires" (objectives), and "intentions" (pro-attitudes to which the decision maker is committed) (Dury et al., 2010). Taillandier et al. (2012) then applied these concepts to agriculture. The RpDM (Klein, 1999) used in the naturalistic decision-making approaches represents expert decision-making in a dynamic environment (e.g., firemen). According to this model, an expert does not use all the information he has in mind, but only the information that is considered important in the given situation. Even if this framework has not been implemented in agriculture, farmers are experts in their domain (McCown et al., 2012; Nuthall, 2010) and these conclusions can also be applied to farmers' decisions.

Many authors have attempted to break down the decision process into different mental mechanisms (see Gray et al. (2009) for a review in agriculture). In agriculture, authors classically highlight five key mechanisms : problem recognition, information search, comparison of alternatives, decision-making and execution. In the cognitive sciences, situation awareness concerns the cognitive mechanisms that make it possible to understand the environment critical to decision-makers (Endsley, 2000). Three steps are particularly highlighted : perception of the environment, comprehension of its meaning and projection of the information (e.g., impact on objectives). These models were used as the basis when selecting the mental mechanisms in our model.

The farmer's decision process should not be seen as a linear process (Ohlmér et al., 1998). The second step is thus to describe the dynamic within this decision process. To do so, two kinds of links are introduced between the cognitive mechanisms and states. They represent the input and the output of the mechanisms. Straight links highlight the linear structure of the decision process. Feedback links allow for the re-examination of the states and (if necessary) the reactivation of the underlying mechanisms. For instance, they make it possible for the farmer to re-evaluate his internal information throughout the year as well as his intentions.

The feedback structure of the model is highly inspired from the literature on hierarchical planning (Akplogan, 2013) since intentions (the intended plan) are progressively built. Another important aspect of the decision process is the possibility for farmers to guide information perception (e.g., by intentions). This is inspired first from plan-based models (Keating et al., 2003; Martin-Clouaire and Rellier, 2009; Bergez et al., 2016). The flexible plan restricts the set of possible alternatives and, consequently, streamlines the information to look for. Second, it has roots in the recognition-primed decision model (Klein et al., 1993) that details the role of expectancies (mental simulations of how things should evolve) on information perception.

The integrated model built is presented Section 5.3.1.

Identifying discriminatory factors of the farmer's ODM process

Once the generic model of the farmer's ODM process is proposed, it is essential to identify and characterize the different decision modes encountered among farmers. The goal is therefore to identify discriminatory factors of the proposed generic decision model that make it possible to recognize decision modes (different ways of using the generic decision process). Three discriminatory factors of the decision process have been mentioned in the literature (Wooldridge and Jennings, 1995; Jager, 2000; Hoc and Amalberti, 2007) : the degree of deliberation (vs. automatism), of assistance (vs. autonomy) and of reactivity (vs. anticipation). Only a few authors have studied these factors in agriculture. Most of these studies (Mialhe et al., 2012; van Duinen et al., 2015; Malawska and Topping, 2016) are based on the Consumat approach (Jager and Janssen, 2012) and thus focus on the level of deliberation and of assistance in the decision process to define decision modes. Some authors have considered the level of reactivity involved in farmers' decisions, but mostly when dealing with crop sequence choices (Rodriguez et al., 2011; Dury et al., 2013).

Even if these three factors have sometimes been studied to explain farmers' decisions, they have never been applied to operational ones. Moreover, the three factors have not been studied together (only in pairs). Finally, two of them (the degree of deliberation and of reactivity) are classically merged in the cognitive sciences (Wooldridge and Jennings, 1995).

Based on the generic model proposed and on the literature, we successively show the necessity to use these three discriminatory factors separately to understand the heterogeneity within the farmer's ODM process. Therefore, three discriminatory dimensions of farmers' ODM modes are considered in the following sections.

5.2.3 Application to a case study

The hypothesis of this work is that ODM modes (described by the three highlighted dimensions) can explain farmers' management practices. The case study is thus used both as an illustration of the use of the proposed framework as well as a validation step for the above hypothesis.

The case study

The case study focuses on farmers' decisions dealing with fungicides used on soft wheat (*triticum aestivum*) in southwestern France (in the Midi-Pyrénées region). Soft wheat is the major crop grown in the world and, more specifically, in southwestern France. However, management practices are heterogeneous, especially with respect to fungicide use. In this region, the fungicide treatment frequency index (TFI) varied from 0 to more than 1.2 in 2011 (Midi-Pyrénées, 2014).

A survey of farmers was made in the Midi-Pyrénées region to identify farmers' decision process modes when dealing with fungicide use on soft wheat, the goal being to explain the differences in farmers' practices (especially the fungicide TFI). Twenty-nine farmers were interviewed between December 2015 and January 2016. The survey was individual and lasted approximately 3 hours per farmer. The sample was selected in order to account for the diversity of farms and farmers in the region. Thus, all of the farmers selected grew soft wheat (between 6 and 80 hectares) but some had other activities (e.g., six were breeders, five were fruit or wine-producers). The utilized agricultural area (UAA) ranged from 24 to 260 hectares per farm and farmers' ages ranged from 23 to 66 years old. More descriptive statistics of the survey sample are given in Table 5.1. Except for the UAA that is higher than the regional mean (133 vs. 97 hectares), the sample is generally representative of the farmers in the region (e.g., in terms of age, labor unit and TFI).

Variable (unit)	**Mean**	**Minimum**	**Maximum**
Age	45	23	66
UAA (hectare)	133	23.5	260
Labor unit	1.5	0.5	3
Irrigated area (hectare)	64	0	200
Objective yield (quintals per hectare)	67	57	93
Fungicide TFI on soft wheat	1.4	0.53	2.5
Crop sprayer width (meter)	22	12	36
Number of annual plants grown	5.6	2	9
Number of soft wheat plots	5.6	1	25
Number of activities, not including annual crop production	0.75	0	4

TABLE 5.1 – Descriptive statistics of the survey sample (n=29)

The survey protocol

The goals of this survey are : (1) to elicit farmers' ODM modes when dealing with fungicide use on soft wheat, and (2) to explain the heterogeneity of farmers' practices by these decision modes. Farmers' decision modes are measured by focusing on the three discriminatory factors highlighted in the modeling approach : the degree of deliberation (vs. automatism), of assistance (vs. autonomy) and of reactivity (vs. anticipation) in the decision process. This section thus proposes three protocols (one for each factor) as an example of how to measure farmers' decision modes with a survey approach. A comparison of the use of alternative protocols is available in Daydé et al. (prep).

In this study, the farmer's level of deliberation in ODM is measured by the quantity of information items used in the decision process. The challenge is thus to differentiate internal information from information used in the decision process. To do so, we used a role-playing game inspired by the "information on request" experiment (Rimoldi, 1955, 2004). In our adapted protocol, the farmer assumes the role of a technical advisor (as opposed to an input provider) and has to give expert advice to the interviewer who plays the role of a new soft wheat producer. The adviser is asked to help develop a fungicide treatment strategy. Initially, no information is given to the adviser. Therefore, all the information necessary to formulate advice should be requested from the interviewer. The hypothesis is that the information requested corresponds to the information that the person would use during his ODM process. This experiment thus makes it possible to elicit the quantity of information items used during the decision-making process as an estimation of the farmer's level of deliberation.

To measure the level of reactivity in the decision process, we used a scheduling-based experiment. The initial hypothesis is that the more flexible the initial intention is, the more reactive the decision will be since farmers will have to specify their intention during the year. We therefore asked each farmer about his intended schedule of operations on soft wheat. This was done by differentiating between optional and compulsory operations with two different colored pens. Farmers wrote down the activities they were sure to carry out with a black pen and the non-compulsory (or the conditional) ones with a red pen. This makes it possible to calculate the proportion of conditional activities at the beginning of the year.

Finally, regarding the level of assistance, we focused on assistance provided through extension services and farmers' associations. We therefore excluded decision support tools from this study because only a few farmers used them. Since different types of extension services can be used, we measured the dependence on advisers depending on its origin (e.g., farmers' cooperative, independent company, etc.). Farmers were also asked if they were affiliated with a technical association. They finally provided the number of times per year that they met with each type of technical adviser (from extension services or farmers' associations).

All the answers were either recorded or manually noted and then transcribed in order to be statistically analyzed.

Statistical analysis

The statistical analysis aims at both identifying farmers groups based on their decision modes and linking these groups with farmers' management practices. The result analysis is thus based on three steps. First, a descriptive analysis of the factors was made in order to highlight the main tendency regarding the links between the three discriminatory factors of the decision process and the farmer's practices. An agglomerative hierarchical clustering (AHC) was then done on the variables using the Ward method and Euclidean distances in order to identify groups of farmers according to their decision modes. Finally, in order to measure the groups' dependency on fungicide TFI, a multinomial regression was used. This method has been used in many studies to classify farms or farmers (e.g., Blazy et al. (2009)).

In order to identify ODM modes, three measurements were selected for this study. To measure the level of deliberation of the decision process, we used the amount of information asked in the role-playing game experiment, referred as the "Deliberative" variable. Then, to measure the level of assistance of the ODM process, the annual number of meetings with advisers was used, referred to as the "Assisted" variable. Finally, to measure the farmer's degree of anticipation in the ODM process, we used the ratio of optional vs. compulsory operations calculated from the scheduling activity, referred to as the "Reactive" variable. To measure the farmers' management practices, we use the fungicide TFI, which is a good indicator of the number and quantity of fungicides used by farmers since it represents the mean number of full doses of fungicides used per hectare.

5.3 Results

5.3.1 The farmer's ODM process model

Cognitive states and mechanisms in the ODM process

In the model, five cognitive states are distinguished : internal information, pertinent information, objectives, preferences, and intentions. Objectives and preferences are current states regarding things to be attained and their priority. Intentions are then the set of behaviors (e.g., plans or isolated actions) with their conditions for application that a farmer is committed to. In the proposed model, a difference is made between internal information and pertinent information. Internal information is the information that the farmer possesses in his mind. Within it, pertinent information is part of this known information that the farmer focuses on and that is directly usable within the decision process. This ready-to-use information is sometimes referred to as working memory (Cowan, 1988). The distinction between internal information and the information used is important. Indeed, given limited human cognitive capacities (Simon, 1992), farmers cannot treat all the available information in their decision process. They select one part of the available information and focus on it alone during the decision process.

These states are flexible by definition, so they can be modified within the decision process through a set of mechanisms (i.e., mental processes that make it possible to pass from one cognitive state to another). For the present model, five mechanisms are considered : perception and comprehension, information selection, objective and preference evaluation and change, intention evaluation and change and intention implementation. "Perceptions and comprehension" are the mechanisms that make it possible to integrate data from the farmer's external world into internal information. This external data can be more or less pre-processed. For instance, a farmer can look for symptoms on a field (raw data) or ask another farmer for advice (pre-processed data). "Information selection" allows farmers to focus on a subset of the internal information, the one that is supposed to be useful in the decision process. "Objective and preference evaluation and change" are the mechanisms that make it possible to develop objectives and preferences. "Intention evaluation and change" is the mechanism of modifying and expanded the intended plan given current objectives, preferences and information. Finally, "Intention execution" is the implementation phase of

the decision process that occurs when all of the conditions defined in the intentions are respected. Its result is the action.

Detailed dynamics of the ODM process

In order to represent the progressive building of intentions, objectives, preferences, internal and pertinent information, two types of links between mental states and mechanisms are distinguished : the first ones represent the linear structure of the decision process and the second ones makes it possible to repeatedly call the different cognitive states into question.

The straight links connect cognitive mechanisms and states through a set of linearly ordered steps. When information from the external world is perceived, it can activate the linear process of making decisions through data perception and comprehension, information selection, objectives, preferences and intention building and, ultimately, intention implementation.

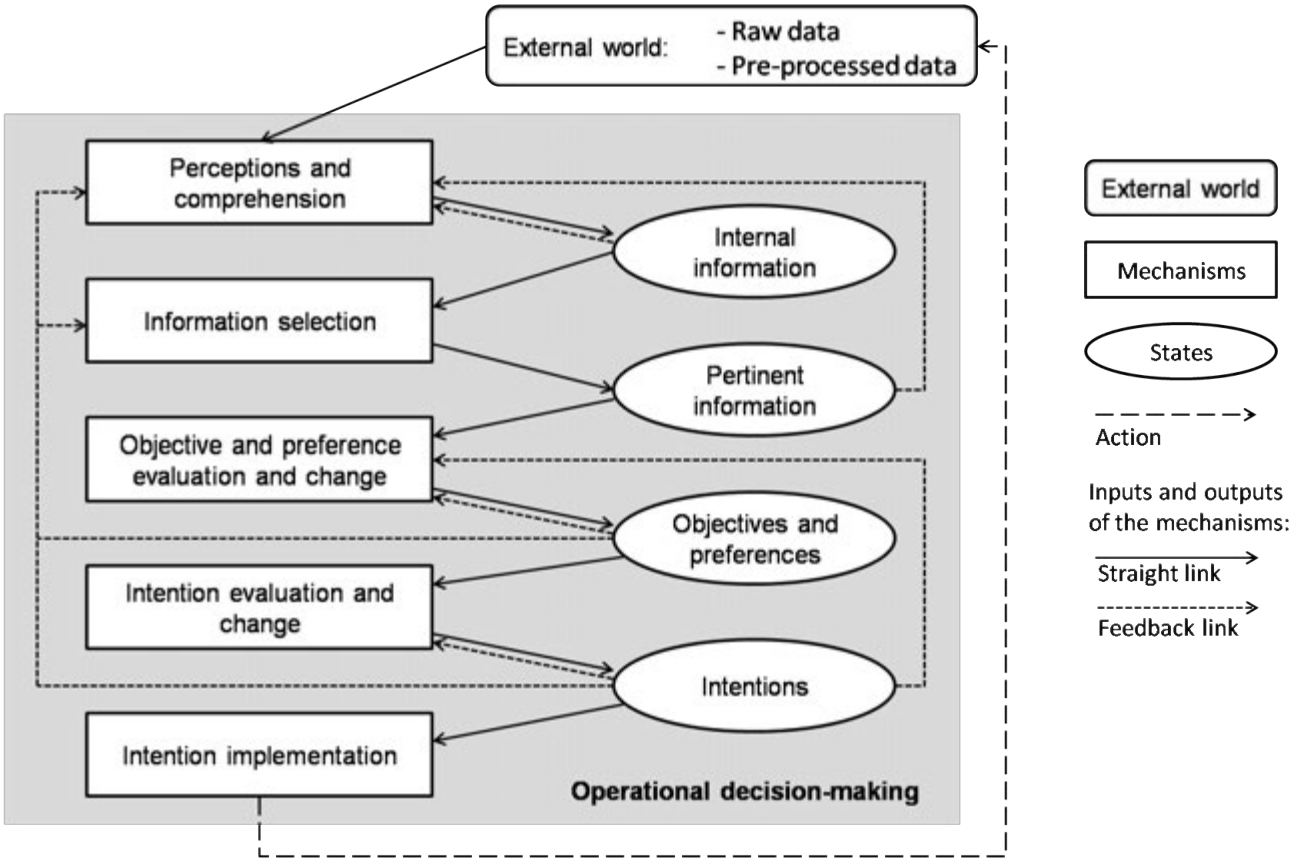


FIGURE 5.2 – A detailed model of the farmer's ODM process with feedback links

Feedback links allow for the re-examination of the states and (if necessary) the reactivation of the underlying mechanisms. First, intentions, objectives and preferences are not fixed and can continuously be called into question. Thus, feedback links are added and the associated mechanisms are now transformed from "building" to "evaluation and change" objectives, preferences and intentions. Then, if a farmer cannot build an intention in accordance with its objectives and preferences, he may have to re-evaluate them. A feedback arrow goes from "Intention" to "Objective and preference evaluation and change". Moreover, "Perception and comprehension" and "Information selection" can be influenced by intentions, objectives and preferences. Indeed, farmers' current states of objectives, preferences and intentions restrict the set of possible alternatives and, consequently, the amount of information needed to analyze them. Moreover, intentions are based on expectancies (mental simulations of how things should evolve (Klein, 1999)). These expectancies thus also guide "Perception and comprehension" and "Information selection" as they need to be validated. In the case of non-validation, a new intention should then be built. New arrows are thus introduced so that the different cognitive states guide the situation awareness mechanisms. "Information selection" can then end up with an insufficient understanding of the situation and new information may be necessary. A new arrow is introduced toward "Perception and comprehension". Finally, the results of executed actions can be used as new input in the decision process through the perception of its effect on the external world. Figure 5.2 provides an overview of the new decision-making model that integrates these retroactive mechanisms.

This model proposes an integration of the different states and mechanisms found within existing models in the literature and takes the iterative and incremental structure of the farmer's ODM process into account. The next step is to use this model to identify the sources of variability between farmers within this generic ODM process.

The three discriminatory factors of the farmer's ODM process

Based on the general ODM process model proposed and on the literature, this section analyzes the pertinence and the experimental advantage of using three factors to discriminate among farmers' ODM modes : the degree of deliberation (vs. automatism), of assistance (vs. autonomy) and of anticipation (vs. reactivity).

The degree of deliberation attests to the quantity of the cognitive effort used in the

decision-making process (Hoc and Amalberti, 2007; van Duinen et al., 2015). Authors classically identify two extreme cases : the optimization procedure (which requires a large quantity of information and calculative capacities) and automatic reasoning (e.g., based on one qualitative decision rule). For example, when making decisions regarding a field treatment, some farmers take different types of information into account (e.g., weather, type of soil, preceding crops, etc.), while others may only base their choice on the observation of the crop development stage. By analyzing the quantity of information used in the ODM process (i.e., the pertinent information for each farmer), we can categorize farmers in terms of the degree of deliberation or automatism of their ODM process.

Farmers' internal information is the result of both past information stored in the memory and their continuous perception of external data. This external data can be more or less pre-processed (or pre-analyzed). The degree of assistance (vs. autonomy) in the ODM process attests to the amount of processing of external information used in the decision process (Jager, 2000; van Duinen et al., 2015). We consider that this pre-processing of information can be made by someone else (e.g., an adviser) or be provided through an external commodity (e.g., an on-board computer interpreting data from a satellite). For example, when deciding on a fungicide treatment, farmers can look for information in a local technical center newsletter (that provides an analysis of the regional situation) or they can look at the state of their field (unprocessed raw data). They can even delegate their decision to an adviser or copy another farmer. Finally, by analyzing how farmers update their internal information (especially by looking at the nature and source of external data), we can categorize farmers in terms of the degree of assistance in their ODM process.

An additional discriminatory factor is sometimes mentioned : the degree of reactivity (vs. anticipation) in the decision process (Wooldridge and Jennings, 1995; Hoc and Amalberti, 2007). However, in artificial intelligence or in the cognitive sciences, this factor is classically merged with the factor, degree of deliberation (Blythe and Reilly, 1993; Wooldridge and Jennings, 1995). Indeed, for these authors, anticipative decisions involve a large amount of deliberation. Conversely, reactive decisions require little deliberation and are more automatic. However, in agriculture, it seems that the two factors (amount of deliberation and of reactivity) should be separated for two reasons. First, farmers can repeat some operations in a systematic way year after year. This is what some authors refer to as a "routine" strategy

(Cerf and Sebillotte, 1997; Macé et al., 2007). In this case, the decision mode is anticipated and automatic. Second, some farmers can decide on both the presence and the quality of a treatment in the course of action, given the many different types of information available (their observations of symptoms, weather, past operations, advice, etc.). In this case, the decision mode is deliberative and reactive. Thus, the two discriminatory factors (level of reactivity and of deliberation) need to be isolated in order to fully represent the diversity of decision modes.

The level of reactivity attests to the dynamics of the farmer's decision-making process (Dury et al., 2013). To measure the amount of reactivity in the farmer's ODM process, different strategies can be proposed. First, we can analyze the flexibility of the intended plan (Rodriguez et al., 2011). By analyzing the level of details of intentions at the beginning of the growing season, it is thus possible to measure the degree of reactivity or of anticipation of the ODM process. Second, we have seen that ODM is an iterative process. Each iteration results in new cognitive states. Therefore, differences in ODM process reactivity can be measured by the number of iterations in the decision process (i.e., the number of times each farmer modifies his intentions).

Finally, farmers' decision modes can be differentiated according to three dimensions : the degree of deliberation (vs. automatism), of assistance (vs. autonomy) and of reactivity (vs. anticipation) (see Fig. 5.3). The three dimensions makes it possible to identify farmers' ODM modes. We hypothesis that each ODM mode characterizes a management behaviour (e.g., practice of fungicide use). This hypothesis is corroborated empirically by the survey data analysis in the next section.

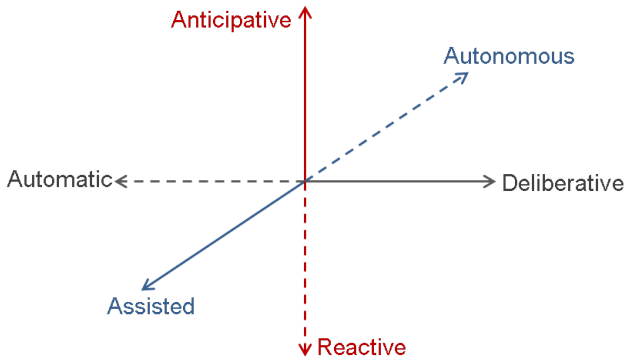


FIGURE 5.3 – Three discriminatory dimensions of decision modes

5.3.2 The farmer's ODM process regarding fungicide use

Classification of farmers based on their decision modes

According to the global summary, the farmers interviewed see a counselor around 15 times per year, use around six different information items to decide a fungicide strategy, and have 30% of their operations on soft wheat planned in a flexible way at the beginning of the year. If we look at the links between these variables, we can see that the three discriminatory factors are positively correlated (see Fig. 5.4). Therefore, it seems that the more a farmer is assisted, the more he is deliberative and the more he is reactive. The following section proposes to straighten and refine these results using more analytical approaches.

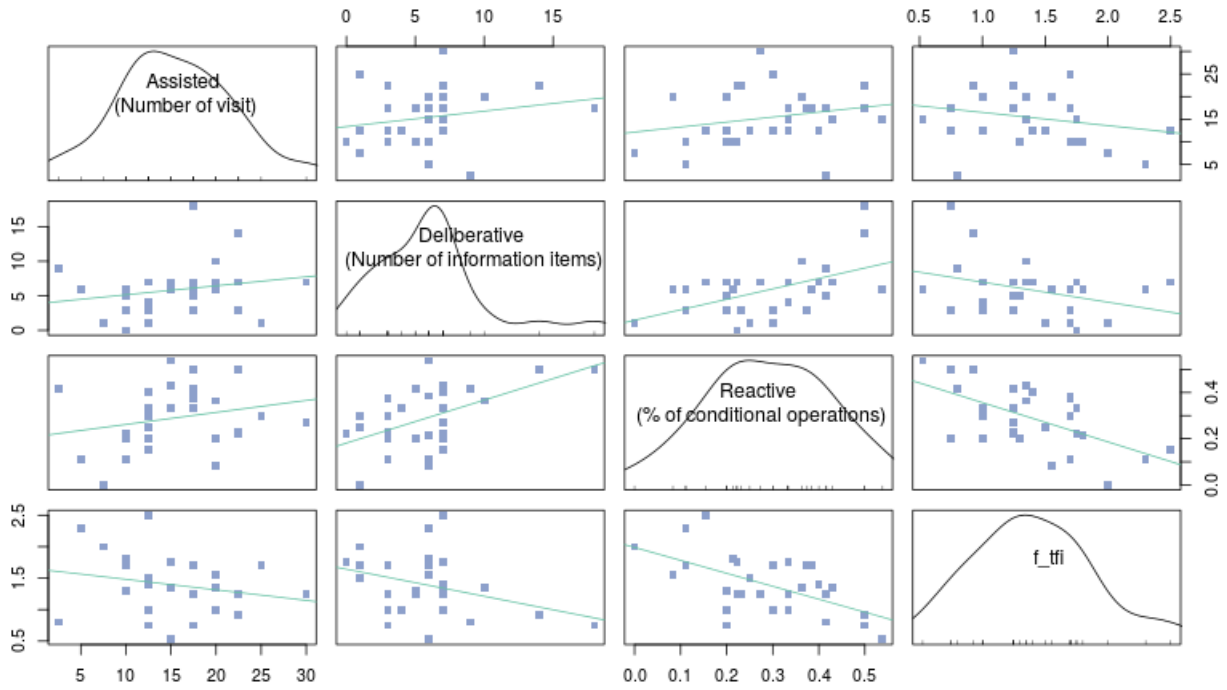


FIGURE 5.4 – Pair combinations between the three discriminatory factors of decision modes and the fTFI, representing the relationships between the variables. Green line : regression line.

In order to confirm the tendencies observed in the descriptive analysis, a clustering approach was used to classify farmers based on their decision modes measured by the three discriminatory factors highlighted. Once the hierarchical clustering tree of the farmers is built (see Fig. 5.5), the first step is to choose the number of clusters to be considered. Three

groups were formed using descriptive statistics on the groups and different trials on the level of partitioning. Indeed, this is the best trade-off between the number of farmers per group, intergroup dissimilarity and intra-group homogeneity (Blazy et al., 2009). Statistics associated with the three clusters selected are presented in Table 5.2. The p-value for the global classification shows that the three variables describing decision modes significantly discriminated between the three groups of farmers. More precisely, Group 1 includes farmers that meet with few advisers (11 meetings per year), use little information when making decisions (around 3.5 information items) and that have a low proportion of conditional operations (0.19 percent). This group is distinguished by the three dimensions of decision modes. These farmers are significantly the least assisted, the least deliberative and the least reactive. Group 2 is only distinguished by the farmer's level of assistance. It includes farmers that are significantly more assisted (23 meetings with advisers per year). These farmers cannot be distinguished by their level of deliberation or of reactivity. The mean amount of information used and the proportion of conditional activities of Group 2 are not significantly different from the global means of the population. Group 3 is differentiated on the basis of two factors : the level of deliberation and of reactivity. These farmers are significantly more deliberative (using around 8.7 information items when making decisions) and more reactive (with 42% of optional operations). The three groups are represented on the three discriminatory dimensions of decision modes in Fig. 5.6.

Variable	**Group 1** (n=11)		**Group 2** (n=7)		**Group 3** (n=11)		**P-value**	**Global mean**
	V-Test	**Mean**	**V-test**	**Mean**	**V-test**	**Mean**		
Assisted	-3.3674	11	3.55513	23	NS	NS	7.8895e-06	15
Deliberative	-2.5351	3.5	NS	NS	3.2211	8.7	1.6593e-03	5.8
Reactive	-3.1339	0.19	NS	NS	4.1197	0.42	2.6314e-06	0.29

TABLE 5.2 – V-test and mean values of the groups given by the AHC with associated P-values. NS : non-significant values.

Finally, this first analysis proves that the three discriminatory factors considered make it possible to significantly differentiate between farmers on the basis of their ODM modes. The next step is to determine whether or not the groups of farmers characterized by their decision modes can be associated with specific practices.

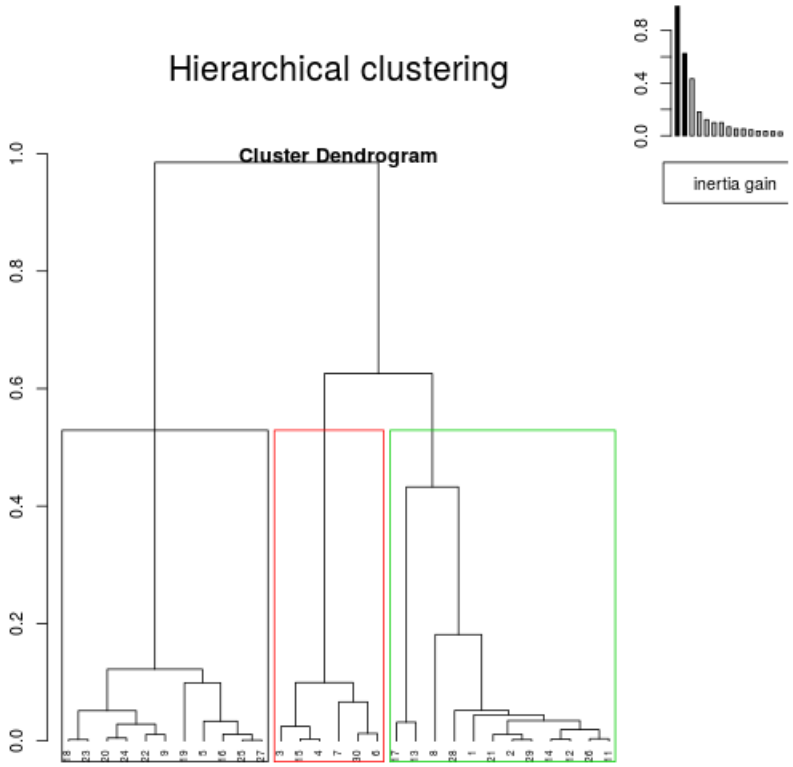


FIGURE 5.5 – Agglomerative hierarchical clustering tree of farmers based on their ODM modes

Link between decision modes and practices

According to the global summary, the farmers interviewed have a mean fungicide TFI of 1.39. Given the regression lines (see Fig. 5.4), the fungicide TFI seems to be negatively correlated with the three discriminatory factors of the farmer's ODM process. Thus, the more a farmer is assisted, the more he is deliberative and the more he is reactive. The subsequent regression-based analysis consolidates these results by comparing the three groups of farmers formed and their management practices.

Group 1 (the least deliberative, least assisted and least reactive one) is taken as the reference group for the multinomial regression. The regression results (see Table 5.3) show that Group 2 (more assisted) and Group 3 (more deliberative and more reactive) have lower TFIs than Group 1. However this difference is only significant between Groups 1 and 3 (TFIs of 1.60 and 1.19, respectively). Thus, a deliberative and reactive decision mode is associated with less intensive practices. Conversely, Group 1 (with an autonomous, automatic and anticipative decision mode) is associated with more intensive practices. These results

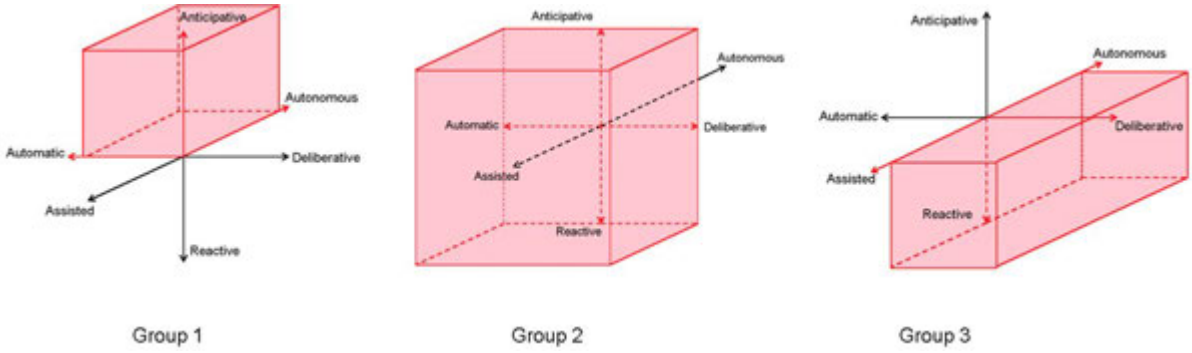


FIGURE 5.6 – Representation of the groups on the three discriminatory dimensions of the decision modes

therefore confirm our hypothesis : farmers' decision modes are linked to farmers' management practices.

Variable	Group 1		Group 2		Group 3		Global
	Mean	P-value	Mean	P-value	Mean	P-value	mean
Fungicide TFI	1.60	REF	1.39	0.3185	1.19	0.0483	1.39

TABLE 5.3 – Mean fungicide TFIs on soft wheat per group and p-value of the multinomial regression model. REF : reference group for the regression.

These survey results show that by looking at the three discriminatory factors of the farmer's ODM process, it is possible to identify different ODM modes. Moreover, it shows the link between farmers' ODM modes and their practices in terms of intensification.

5.4 Discussion

In this paper, we propose a generic model of the farmer's ODM process that makes it possible to represent the components (the cognitive states and mechanisms) as well as the dynamics of the process. Some models have attempted to break down the decision process into different mental mechanisms (see Gray et al. (2009) for a review), others have focused on the mental states impacting the decision (Feola and Binder, 2010), but few of them have considered both the mental mechanisms and states in the decision process. The BDI framework (Taillandier et al., 2012) is an exception as it focuses on three states (belief, desires and intentions) and describes some of the underlying mechanisms. However, the decision process is limited to a choice between pre-defined plans, and objectives (desires) are

fixed upstream. In our proposed model, all the cognitive states can be reassessed during the decision process.

The dynamics of our proposed ODM model allows both for reactive and planned behavior, as suggested by many authors (e.g., Martin-Clouaire and Rellier (2009); Taillandier et al. (2012)). As with plan-based models (Keating et al., 2003; Martin-Clouaire and Rellier, 2009; Bergez et al., 2016), intentions (or intended plans) guide farmers' perceptions by restricting the amount of information to be considered. This was made possible by the integration of feedback links between cognitive states and mechanisms. Our model goes a step beyond hierarchical planning (Akplogan et al., 2010) since plan refinement can be progressive. Indeed, with hierarchical planning, plan refinement is carried out in only three steps (definition of a crop sequence, a flexible plan and the resource allocation), whereas important unpredictable events may occur many times during the year.

The distinction is often made between operational, tactical and strategic decisions based on their objectives. They are said to follow short-term objectives (several weeks), medium-term objectives (a year) and long-term objectives (many years), respectively (Le Gal et al., 2010). However, operational decisions can follow short-term objectives (e.g., a weed-free field) as well as medium-term (e.g., sufficient yield) and long-term objectives (e.g., limited seed bank of a field) (Macé et al., 2007). ODM can therefore not be defined on the basis of the horizon of satisfaction of its objectives. We thus suggest defining operational decisions on the basis of their subject : technical activities to be performed on the farm.

One of the novelties of this study is the use of a generic decision model to highlight possible differences in the way that farmers use it. Most studies today try to be very precise in terms of the development of a decision model, while neglecting differences between farmers. Our model is therefore less expanded, notably with regard to farmers' constraints. Nevertheless, since farmers' constraints are specific, they are part of their internal knowledge and cannot be specified in the generic model.

To highlight farmers' differences in terms of their ODM process, the focus is on three discriminatory factors : the degree of deliberation (vs. automatism), of assistance (vs. autonomy) and of reactivity (vs. anticipation) in the decision process. Other indicators could have been found as well. However, compared to other studies, this is the first time that

these three factors have been analyzed together. Since most agricultural studies are based on the Consumat approach (Jager and Janssen, 2012), the focus has essentially been on the first two factors (the degree of deliberation and of assistance) and authors only identify four ways of making decisions (four decision modes). In this study, we analyzed a third factor that accounts for the decision process dynamics, and we showed that many decision modes can be identified by combining the three discriminatory factors. Considering these three discriminatory factors conjointly is thus an important step forward in the understanding of farmers' decisions.

Another novelty of our approach is to propose three protocols as an illustration of how to measure farmers' decision modes on the basis of the three discriminatory factors we focused on. Other protocols could have been proposed (Daydé et al., prep). For instance, with the Consumat approach that is used in agriculture, these measurements are indirect. With this approach, the hypothesis is that the decision mode is a function of the level of satisfaction and of risk perceived by the farmer. To overcome the possible bias linked with indirect measurement, we propose to directly measure the degree of deliberation, of assistance and of reactivity in the decision process by the quantity of information items used in the decision-making process, the number of annual meetings with advisers and the proportion of flexible operations at the beginning of the cropping season, respectively.

Analysis of the results confirms our initial hypothesis : identifying farmers' decision modes helps us to understand farmers' management variability. We show that deliberative, assisted and reactive decision modes are associated with a lower level of intensification in terms of fungicide use. In this study, farmers' practices are measured by their TFI. We could consolidate our conclusions by specifying farmers' practices (e.g., the type of fungicide used or the number of treatments). However, the TFI is a good approximation of the level of intensification of farmers' practices and it is one of the main indicators used today by policy makers, especially in Europe. It would be particularly interesting to increase the number of farmers interviewed or to test our model with other case studies. Since the conceptual framework and the survey protocol are generic, this study could easily be extended to other crops or regions.

Despite the above-mentioned limitations, the study was conclusive and it is possible

to draw a number of interesting recommendations from our case study analysis. Indeed, it may first be advisable to adapt support tools to farmers on the basis of their ODM modes. For example, only the assisted farmers would benefit from the improvement of advisers' skills. Small deliberative farmers would only have a limited response to an increased amount of external information, whereas deliberative ones would more easily grasp it. Moreover, reactive farmers would use monthly or weekly technical newsletters more than anticipative ones. Thus, tools need to be adapted or at least diversified to reach all of the different types of farmers (given their decision modes). Second, the survey results show that some decision modes are associated with more sustainable practices. Thus, one possibility would be to try to orient farmers towards these decisions modes. For instance, it seems that a reactive decision mode is associated with less intensive practices. It would therefore be interesting to determine whether or not this mode is associated with specific skills (e.g., symptom recognition in a field) and, if so, to help farmers to acquire these skills through training programs.

5.5 Conclusion

This study is a first step towards a better understanding of the farmer's ODM process and its link to farmers' practices. Nevertheless, it provides convincing results. In particular, the conceptual model and the associated modes have proved relevant in explaining differences in farmers' practices. The three discriminatory factors of decision modes proposed appear important when explaining farmers' management choices. This emphasizes the need to explore the heterogeneity in the farmer's decision process. This original work points the way towards renewed studies in farm management and decision analysis.

Troisième partie

Exploration expérimentale du processus de DO des agriculteurs

Chapitre 6

Capturing the heterogeneity within the farmer's decision-making process to explain management practices. Application to fungicide use on soft wheat in southwestern France.

Communication : *Ce chapitre a fait l'objet d'une soumission dans un journal international à comité de lecture. L'article, co-écrit avec Stéphane Couture et Roger Martin-Clouaire, est en cours de révision. Les résultats de ce chapitre ont de plus été présentés lors d'une communication orale pendant l'International Congress on Environmental Modelling and Software (iEMSs) qui s'est déroulé du 10 au 14 juillet 2016 à Toulouse (France).*

Abstract : It has been observed that farmers' management practices are heterogeneous. Many studies have tried to explain this heterogeneity by farmers' personal characteristics or by the characteristics of their production situation. However, few studies have considered the characteristics of the farmer's decision-making process. As a result, inquiry methods to directly analyze the heterogeneity within the farmer's decision-making process are scarce. The challenge of this study is thus to propose a generic method to capture this heterogeneity within the farmers' decision-making process (defining decision modes) to assess its impact on farmers' practices. Three discriminatory factors of the decision-making modes found in the literature are analyzed : the degree of deliberation (vs. automatism), of reactivity (vs. anticipation) and of assistance (vs. autonomy) in the decision-making process. The proposed method includes a survey design and statistical tools to elicit and analyze these three dimensions of the farmer's decision-making proces,s as well as the characteristics of the farms and of farmers. In order to reduce experimental bias, one of the key principles of creating the survey design is data triangulation. Statistical tools then make it possible to deal with redundant variables and missing values. The generic method proposed is applied in a case study to explain fungicide use by farmers on soft wheat in the Midi-Pyrénées region. The case study results confirm the importance of considering the decision modes, in addition to the characteristics of farms and farmers, when explaining farmers' use of fungicides on soft wheat. In particular, the role of the level of assistance is significant but its impact on farmers' practices depends on the form and the source of the advice procured. Deliberative and reactive decision modes are associated with less intensive practices. The method proposed thus makes it possible to explain differences between farmers' management practices by analyzing the heterogeneity of the farmers' decision-making process.

Keywords : decision-making process ; farmers' practices ; decision mode ; survey ; soft wheat disease

6.1 Introduction

Both public authorities and extension services have the difficult challenge of helping farmers to adopt less intensive agricultural practices. For example, the French Ecophyto directive, which intended to reduce fungicide use by 50% before 2018, failed and the reduction objective is now postponed to 2025. In the same time, farmers' practices in terms of crop treatments are highly heterogeneous. The issue today is to explain these differences. Indeed, some farmers do not use any chemical treatment (e.g., organic farmers), whereas others rely on phyto-sanitary products as the main tools to protect their production (see Figure 6.1). In this context, in order to better support farmers, it is first necessity to understand the reasons why farmers use their actual practices. To do so, a better understanding of the farmer's decision-making process is necessary.



FIGURE 6.1 – A farmer treating a field of wheat. Phytosanitary treatments are considered as a major source of pollution in agriculture.

Many studies have tried to explain farmers' management choices by the characteristics of their production situation, or by farmers' personal characteristics (e.g., Blazy et al., 2009; Feola and Binder, 2010; Righi et al., 2011; Meylan et al., 2013). Some have focused on the impact of economic factors (Espinosa-Goded et al., 2010), or on technical and organizational aspects of the choice (Martin-Clouaire et al., 2016), and others on the information required to make in the decision (Sørensen et al., 2010a). However, few authors have explicitly looked at the farmer's decision-making process (Ohlmér et al., 1998; Magne and Cerf, 2009; Dury, 2011). More specifically, only some recent studies (Rodriguez et al., 2011; van Duinen et al., 2015; Malawska and Topping, 2016) have tried to explain the differences between farmers'

practices in terms of the characteristics of their decision-making process (defining decision modes). These studies highlight three discriminatory factors on decision modes : the level of deliberation (vs. automatism), of assistance (vs. autonomy) and of reactivity (vs. anticipation) in the decision process. Despite the fact that these three factors have been proven to be relevant when explaining farmers' decisions, they have never been studied conjointly (only by pairs). Moreover, the authors have based their works on simulation approaches and not on the direct analysis of observed decisions.

As a result survey methods to directly analyze the heterogeneity within the farmer's decision-making process do not exist. Many protocols can be found in the literature to study farmers' decisions but only one of them was specifically designed to study decision modes. It is associated with the Consumat model (Jager, 2000) and indirectly measures farmers' decision modes by their degree of satisfaction and of certainty. Our objective is thus to propose a method to directly measure the heterogeneity within the farmer's operational decision-making process and to assess its impact on farmers' practices.

In this study, we chose to analyze together the three discriminatory factors found in the literature. We thus built a generic survey design in order to experimentally measure these three factors as well as the characteristics of the farm and farmers. Since each inquiry method can have a bias, we tried as much as possible to use data triangulation (Denzin, 1970), i.e., to use different inquiry methods in the analysis of the same data in order to offset the limits of one method by another. The issue was then to propose statistical tools in order to deal with redundant variables and missing values. We applied the proposed protocol in a final case study that makes it possible to explain differences between farmers' management practices by variables describing farm production situations and the farmers' personal characteristics, as well as by decision modes (defined on the basis of the three discriminatory factors of the decision process proposed).

6.2 Material and methods

6.2.1 The generic survey design

Theoretical concepts used

The hypothesis of this study is that the farmer's decision-making modes (the farmers decision process heterogeneity) can explain the diversity of the farmer's practices. To test this hypothesis, we need to have an indicator of farmers' practices. A list of potential indicators with their limits is proposed in Halberg (1999), but the indicator to be chosen depends on the research question. For instance, in a context of environmental pressure, the intensification of farmers' practices in crop production can be measured by the treatment frequency index (TFI) (Lechenet et al., 2016), which represents the number of times an agricultural area is treated with a full dose, thus measuring the intensity of fungicide spraying in terms of the recommended registered dose. Another example of such an aggregate measurement in breeding can be the energy used per kilogram of meat.

To capture the diversity of the decision process, we focused on three discriminatory dimensions of decision modes found in the literature : the level of deliberation, of assistance and of reactivity in the farmer's decision-making process. The level of deliberation (vs. automatism) corresponds to the level of cognitive efforts made during the decision process. For example, the most deliberative process would be to use a perfect optimization procedure (Jager, 2000; van Duinen et al., 2015). The level of reactivity (vs. anticipation) highlights the dynamics of the farmer's decision process by looking at how much a decision is anticipated vs. how much it is made in reaction to new information (Wooldridge and Jennings, 1995; Hoc and Amalberti, 2007), accounting for the timing of the decision building. Finally, the level of autonomy attests to the amount of processing of external information used in the decision process (Jager, 2000; van Duinen et al., 2015). This pre-processing of information can be made by someone else (e.g., an adviser) or be provided through an external commodity (e.g., an on-board computer interpreting data from a satellite). In extreme situations, the farmer can even delegate his decision problem to an adviser.

In the survey, in order to limit the bias of each inquiry method, we try as much as possible to use different inquiry methods to measure the same variable in accordance with

the principle of data triangulation (Denzin, 1970). Since the resulting survey is relatively long, the farmer's level of attention should be maximized. In order to do this, it is advisable to use individual surveys at the farmer's home or place of work. Moreover, the organization of the survey should be optimized. For instance, it is advisable to alternate questionnaires and experiences (see Figure 6.2). Another important aspect regarding the organization of the different parts of the survey design is not to introduce a bias. For example, care must be taken not to influence answers to an inquiry method by a previous one. The next section goes into the detail of the different survey design components.

Capturing decision process diversity

To capture the diversity within the decision-making process used by farmers, we successively focus on the empirical approaches to measure the level of deliberation, of assistance and of reactivity in the farmers' operational decision-making process.

In order to assess the level of deliberation in farmers' decision-making processes, we hypothesized that the more farmers use a large amount of information during their decision process, the more they deliberate. The challenge is thus to assess the quantity of the information used within the decision process. To do so, we need to differentiate the internal information (i.e., the information farmers know) from the information used in the decision process (i.e., the pertinent information). Three inquiry methods are proposed in order to triangulate the data. The first one consists in directly asking the farmers which information they use when making a specific decision. However, it is sometimes difficult for farmers to express this and they may forget some of the information they use. With the second inquiry method, we propose to guide the farmers by providing a list of information so that the farmers can indicate which information they would use. Finally, the third possibility is to observe farmers when making their actual decisions. Since real-time decisions cannot be observed, we propose an inquiry method that is an adaptation of a method from the cognitive sciences known as the "on request information" method (Rimoldi, 1955). The original method places the decision maker in a decision situation about which he has no information. He thus has to request all the information he needs to make his decision. The hypothesis is that the information requested corresponds to the information that the person would use during his decision process. In our adapted method, in order to put the farmer in a decision

situation that he has no information about, a role-playing game was developed. The farmers were put in the situation of a technical adviser (independent of a commercial company) and asked to give expert advice to the interviewer who plays the role of a new producer. The adviser is solicited to help develop an operational strategy (e.g., a crop treatment strategy or a herd ration). No *a priori* information is given to the adviser ; thus, all the information necessary in the reasoning of the advice is requested from the interviewer. The three proposed methods are generic. However to obtain more specific answers, it is advisable to adapt them to one specific decision (see Section 6.2.3).

To experimentally measure the level of reactivity in the decision process, we again propose three inquiry methods that focus on intention evolution and internal information (knowledge) updating. The hypothesis is that the less an intention is specified at the beginning of the year, and/or the more intentions evolve during the year, the more the decision-making process is reactive. We thus first propose to ask each farmer his intended plan of operations at the beginning of the year. This should be done by differentiating optional and compulsory operations with two different colored pens, making it possible to calculate the proportion of conditional operations at the beginning of the year. The second inquiry method consists in asking farmers to express their intentions associated with different scenarios that represent critical events (events with potentially important impacts on farmers' objectives) at various moments throughout the year (e.g., describing weather, price or disease development). This is inspired from critical incident method from the cognitive task analysis (Hoffman and Lintern, 2006). This last method makes it possible to measure the variability of farmers' intentions along the year by counting the number of times they change their intention when updating the information they have. With the third method, we propose to ask farmers about their input procurement policy. The hypothesis underlying this question is that if farmers buy their inputs in advance, they will tend to use them in any case and, thus, be less reactive.

To assess the level of assistance in farmers' decision, we suggest to focus on three types of assistance : professional, from networking and computer-based. Familial assistance is sometimes mentioned but we could not found an efficient way to measure it. Three types of inquiries are thus proposed. Farmers are first requested to give the annual number of meeting with technical advisers and to specify their origin (eg., farmer coop, independent...). They then specify their affiliation to farmers associations (eg., cooperative for the use of agri-

cultural equipment, farmers technical groups...). Finally, they can be requested to mention whether they use computer decision support tools, and if so, to give their nature.

Capturing the characteristics of farms and farmers

Since the characteristics of the decision process might not be the only factors impacting farmers' practices, we also have to capture the characteristics of farmers and of their farms.

To measure farmers' personal characteristics, we focus on three types of components : experience, knowledge and preferences. Some of these characteristics can be directly requested from the farmers (e.g., their age, the number of years they have worked as a farmer). Others need more specific methods to be captured. For instance, we proposed two inquiry methods to measure farmers' risk preferences. With the first method, farmers had to directly declare their risk preference on a scale (from "not risky at all" to "excessively risky" behavior). The second inquiry method is taken from experimental economics (Eckel and Grossman, 2008). Farmers are asked to choose one lottery game to play (among nine proposed). The different games can be compared to a heads or tails game (two possibilities of ending with the same probability). Depending on the game chosen, we can then induce a level of risk aversion. Depending on the decision studied, other personal characteristics should also be requested (see Section 6.2.3). For example, we can measure farmers' experience with the specific decision or their related knowledge.

When measuring the characteristics of the farm production situation, we particularly focus on the economic, agronomic and labor-based characteristics of the farm. Since information on economic parameters is difficult to assess through a questionnaire (e.g., farmers are often reluctant to reveal their economic situation in a survey), indirect measurements are more appropriate. For example, we can ask for the total utilized agricultural area (UAA) and the owned UAA. In a context of uncertainty, it is also important to characterize the economic diversity of the farm business. We thus suggest asking for the number of activities on the farm (e.g., breeding, fruit tree production, etc.) or if a fixed income was received from off-farm activities. Except for soil and climate conditions that need to be considered, agronomic characteristics are generally related to the decision studied and cannot be specified in this generic protocol. Finally, to measure labor-related characteristics, we propose asking for the number of labor units and of permanent employees. This information should then be

supplemented with questions that are specific to the studied decision (see Section 6.2.3). As an example, we can ask for the UAA delegated to a specific activity or for the efficiency of the farmer's own equipment related to the decision in question.

6.2.2 Method for the statistical analysis of the survey data

The survey might end up with many variables. Because of data triangulation, some of them can be correlated. Others may also contain missing values. Th first step before analyzing the data is thus to tackle missing values and to aggregate redundant variables. It will then be possible to explain farmers' practices by the selected variables.

Variables or individuals with too much missing data should first be deleted. An imputation of the remaining missing values can then be carried out. Since some of the variables from the survey are qualitative, using mean values is not appropriate. We thus propose using a "hot deck" imputation of missing values with the "best cell" method (Cranmer and Gill, 2013). This non-parametric imputation technique is particularly appropriate since it performs both on quantitative and qualitative data. For each variable, it inputs each missing value with the value observed for the nearest farmer (given the variables with non-missing values).

To aggregate redundant variables, we propose a two-step method. A statistical method first shows the proximity between the variables ; then, based on this and on their expertise, the authors can select the variables to be aggregated. To compare the variables, we propose making a classification of variables. An ascendant hierarchical clustering of the variables can be done with the "hclustvar" function of the R package "ClustOfVar" (Chavent et al., 2011). The aggregation criterion used is the decrease in homogeneity for the cluster being merged. Since the variables are both quantitative and qualitative, the homogeneity of a cluster is the sum of the correlation ratio (for qualitative variables) and the squared correlation (for quantitative variables) between the variables and the center of the cluster, which is the first principal component of PCAmix. PCAmix is an R function of the package "ClustOfVar" for factor analysis. It includes both ordinary principal component analysis and multiple correspondence analysis. Based on the constructed tree and on the authors' expertise, some variables can finally be aggregated. For this second step, since the variables to aggregate are

both quantitative and qualitative, the principal component of the factor analysis obtained with the PCAmix function can be used.

Once the explanatory variables are selected, farmers' management practices can be statistically explained. A classical linear regression model can be used to explain a quantitative variable. In order to increase the explanatory power of the regression, different partial models can be explored to choose the best one. By removing or adding variables, we can select the model with the smallest Akaike Information Criteria (AIC). This model is assumed to be the most parsimonious one.

The proposed method is generic. The next section proposes an example of an application of this method in a case study.

6.2.3 Application to a case study

The use of fungicides on soft wheat in southwestern France

The Midi-Pyrénées region (now part of the new Occitanie region) is important in terms of agricultural production in France. It encompasses 8.5% of the total French Utilized Agricultural Area (UAA) and 9.8% of its farms. With more than 270,000 hectares planted in 2013 (Agreste, 2013), soft wheat (*Triticum aestivum*) is the main crop grown in this region as well as in the world. Unfortunately, fungus diseases on soft wheat lead to considerable yield losses and contaminate the production with mycotoxins that have negative impacts on the processing industry and on health (Scarpino et al., 2015). Different tools can be used to fight these diseases (e.g., rotations, resistant varieties, etc.) (Aubertot and Robin, 2013). However, management practices are heterogeneous, especially with respect to fungicide use (Midi-Pyrénées, 2014). Some farmers do not use any treatment, whereas others may use three full dose fungicide treatments per year. In this case study, the challenge is to explain this heterogeneity of farmers' practices in the Midi-Pyrénées region when dealing with fungus disease development on soft wheat.

Data source and sample

A survey of farmers was made in the Midi-Pyrénées region to elicit farmers' production situations, personal characteristics and the specificity of their decision-making process when

dealing with fungicide use on soft wheat. Thirty-two farmers were interviewed between December 2015 and January 2016. The survey was carried out on an individual basis, all of the interviews were done by the same person (one of the co-authors) and took place at the farmer's home or place of work. An interview lasted approximately 3 hours per farmer. The sample was selected in order to account for the diversity of farms and farmers in the region. Thus, all of the farmers selected grew soft wheat (between 6 and 80 hectares) but some had other activities (e.g., six were breeders, five were fruit or wine producers). The UAA ranged from 24 to 260 hectares per farm and farmers' ages ranged from 23 to 66 years old. Except for the UAA that is higher than the regional mean (133 vs. 97 hectares), the sample is generally representative of the farmers in the region (e.g., in terms of age, labor unit and TFI) (Midi-Pyrénées, 2014).

The applied survey design

To apply the proposed survey design to our case study, some of the conditions had to be clarified. To capture the level of deliberation, we only focused on the information used when deciding a fungicide strategy on soft wheat. For the first inquiry method, farmers are directly asked to write down which factors are important to explain disease development on soft wheat. For the second method, they have to choose the factors they act on from a list of factors with the objective to decrease fungus disease development in soft wheat plots. Finally, in the "on request information" method, the farmer is solicited to help develop a fungicide treatment strategy and the interviewer plays the role of a new soft wheat producer. The inquiry methods to capture the level of reactivity were also determined. In the planning part, farmers only give their intended plan of operations on soft wheat. In the scenario part, farmers are asked to express their intentions regarding their fungicide treatments alone. The different scenarios then describe the major aspects of disease development (e.g., weather, variety, etc.), as well as price conditions or advice from advisors at various moments throughout the year. Finally, when asking farmers about their input procurement policy, we only considered fungicide chemicals bought expressly for their soft wheat crops. When measuring the level of autonomy, since assistance tools and advisors are generally generic, we did not modify the proposed generic survey design.

When characterizing farmers' personal characteristics, we added questions to determine

farmers' experience and knowledge directly related to soft wheat production and disease management. We requested the number of years out of the last ten years that they had been involved in soft wheat production. We also experimentally measured farmers' levels of symptom recognition on soft wheat by asking the farmers which diseases caused the symptoms observed on a set of pictures. Regarding the production situation, we also added questions directly related to the decision studied, such as the UAA with cereals, the number of crops grown, the width of the pesticide sprayer or the number of soft wheat plots.

For this case study, we decided to use the fungicide TFI as an indicator of the level of intensification of farmers' practices regarding the use of fungicides. Fungicide TFIs are elicited in two ways. First, farmers are directly asked to estimate their fungicide TFI. Second, this TFI is calculated based on the description of the number and dose of treatments intended by farmers in the scenario section. Intentions expressed are flexible. Farmers can indicate a maximum and a minimum intended dose and a treatment may be systematic or conditional. Two hypotheses are thus made when calculating the fungicide TFI. For each treatment, we considered the mean intended dose, and a non-systematic treatment was counted as a systematic treatment at the mean intended dose.

The applied survey design was then organized in order to mix experiments and questionnaire sections (see Figure 6.2). Moreover, in order not to give indications on expected answers, the order of each survey method was carefully chosen. For example, the "on request information" method and the direct elicitation of information used should be performed before the more guided part in which farmers have to choose this information from a list.

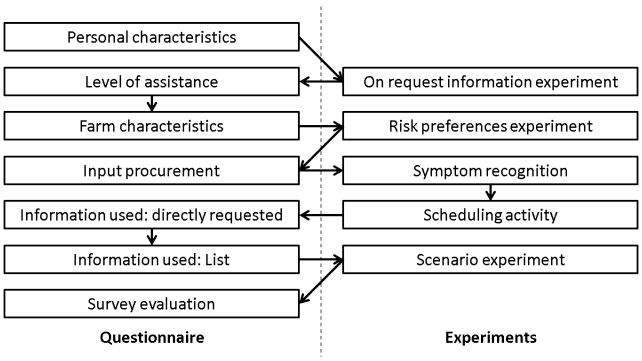


FIGURE 6.2 – Survey design organization

6.3 Results and discussion

6.3.1 Selected individuals and variables

First, three farmers were eliminated from this study. Two farmers were eliminated because they were employed by a farmer already interviewed. Then, one of the farmers produced organic soft wheat. He had many missing values and he was highly particular. He was thus eliminated from the sample. Twenty-nine farmers' interviews were finally kept in the next steps.

The missing data-based selection of variables consisted of 32 explanatory variables in the end (see Initial variables in Table 6.1). The result of the hierarchical classification over these variables is given in Figure 6.3. Based on this tree and on the authors' experience, four sets of variables are aggregated : the variables describing farmers' experiences, farm sizes, farm labor and farmers' risk attitudes (see Aggregated variables in Table 6.1). We can note at this point that the triangulation of data was necessary. Indeed, the resulting variables should not have been aggregated given this classification tree. Each survey method proposed thus captures one aspect of the measured parameter and is thus needed.

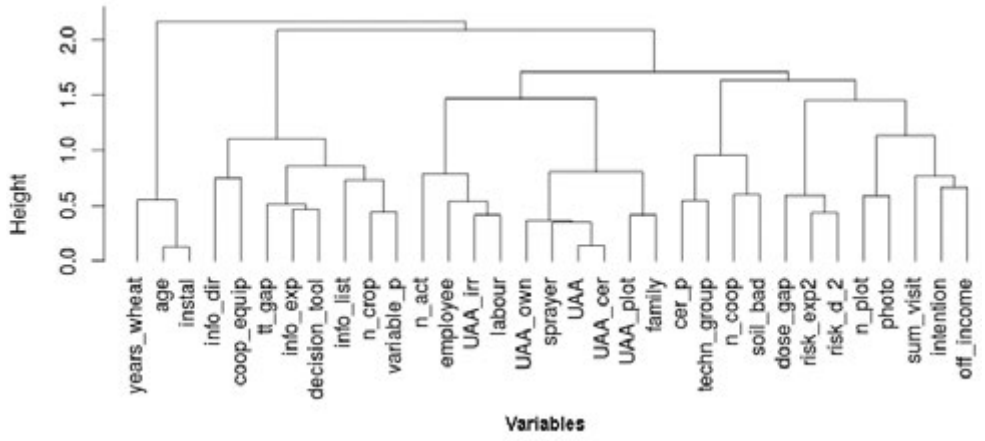


FIGURE 6.3 – Hierarchical tree of the pre-selected explanatory variables. By classifying the variables it is possible to identify redundancy.

As an indicator of management practices, we used the fungicide TFI. Two types of variables were obtained from the two survey methods. However, the two were quite close and a Student test could not discriminate between them. In this study, we thus chose to present only results obtained with the revealed fTFI on soft wheat.

Category	Variable	Mean (min-max) or Number	Description	Aggregated variable
Farm	UAA	134 (23.5-260)	Total UAA (ha)	**size**
	UAA-own	71 (0-208)	Owned UAA (ha)	
	UAA-cer	48 (2.5-140)	UAA with cereals (ha)	
	UAA-plot	6.5 (2-16)	Mean UAA per plot (ha)	
	family	No : 7 - Yes : 22	Inherited farm (ha)	
	sprayer	22 (11-36)	Width of the pesticide sprayer (m)	
	labor	1.5 (0.5-3)	Number of labor units	**labor**
	n-employee	0.30 (0-2.5)	Number of permanent employees	
	UAA-irri	64 (0-200)	Irrigated UAA (ha)	
	off-income	No : 13 - Yes : 16	Household off-farm income	-
	n-act	0.76 (0-4)	Number of activities (eg., breeding)	-
	soil-bad	Yes : 13 - No : 16	The soil type is "boulbène"	-
	n-crop	5.55 (2-9)	Number of crops grown annually	-
	cer-p	0.38 (0.03-0.56)	Ratio of the farm area with cereals	-
	n-plot	5.56 (1-25)	Number of soft wheat plots	-
Personal	age	45 (23-66)	Age of the farmer	**exp**
	instal	20 (2-38)	Years since farmer began	
	years-wheat	14 (2-20)	Years of soft wheat production over last 10 years	
	photo	6.07 (0-10)	Number of recognized symptoms on soft wheat	-
	risk-s	4.19 (1-7)	Self-evaluation of the level of risk-taking	**risk**
	risk-exp	2.96 (2-9)	Experimental evaluation of the level of risk-taking	
Assistance	sum-visit	7.86 (2-17)	Number of advisor visits per year	-
	n-coop	2.21 (1-5)	Number of agricultural cooperatives or private traders	-
	coop-equip	No : 14 - Yes : 15	Affiliation with a cooperative for the use of agricultural equipment	-
	techni-group	No : 17 - Yes : 12	Affiliation with a technical group	-
	decision-tool	No : 20 - Yes : 9	Use of a computer decision support tool	-
Reactivity	variable-p	0.29 (0-0.53)	Ratio of conditional operations	-
	tt-gap	0.72 (0-3)	Gap between the minimum and maximum number of fungicide treatments on soft wheat	-
	dose-gap	0.25 (0-1)	Gap between the minimum and maximum dose of fungicide on soft wheat	-
	intention	5.76 (2-9)	Number of time a farmer changes his intention when faced with scenarios	-
Deliberation	info-exp	5.83 (0-18)	Number of information items asked in the "on request information" method	-
	info-list	3.65 (1-7)	Number of information items declared to be used by farmers on a list	-
	info-dir	4.00 (1-9)	Number of information items declared to be used by farmers	-

TABLE 6.1 – Description of the variables used in the analysis and resulting aggregated variables. The three last categories of variables measure the level of assistance, reactivity and deliberation in the decision process.

6.3.2 Explanation of management practices

Selected model

After model selection, 17 variables (out of 23) were selected. The results are presented in Table 6.2. The explanatory power is quite high with a McFadden's pseudo R square of 0.89. Moreover, both the Breusch-Pagan test against heteroskedasticity and the Shapiro-Wilk test of normality on residuals confirm the validity of the model used. Results can thus be reasonably interpreted.

Categories	Variable	Coefficients	T-value	P-value
Farm	size	0.15797	2.880	0.014963 *
	soil-bad	0.53236	4.075	0.001836 **
	off-income	0.90994	4.113	0.001721 **
	cer-p	-1.12204	-1.702	0.116829
	n-crop	0.13540	2.628	0.023489 *
	n-plot	-0.10088	-4.164	0.001578 **
Personal	exp	0.09765	2.447	0.032445 *
	risk	0.48786	3.919	0.002395 **
	photo	-0.12015	-3.677	0.003645 **
Assistance	sum-visit	0.05222	2.935	0.013580 *
	techn-group	-0.53678	-3.736	0.003288 **
	coop-equip	0.27597	2.549	0.027039 *
	decision-tool	1.44111	5.024	0.000388 ***
Reactivity	tt-gap	-0.75983	-3.199	0.008474 **
	dose-gap	1.07256	4.288	0.001281 **
	variable-p	-5.93476	-5.921	0.000100 ***
Deliberation	info-exp	-0.05555	-2.737	0.019336 *

TABLE 6.2 – Result of the regression explaining farmers TFI, after model selection based on the AIC criteria. * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$

As expected, both factors describing the farm production situation and the farmers' personal characteristics are important when explaining farmers' practices. However, we can note that that among the 17 variables selected, eight describe the farmers' decision modes and the three discriminatory factors are represented. In the next sections, we describe and discuss these results.

Impact of farm conditions and of farmers' personal characteristics

Regarding farmers personal characteristics, the three considered variables significantly explain the fTFI. The aggregated variable that accounts for the farmer's experience (including the farmer's age, years of farming and years of soft wheat production) is positively

correlated with the farmer's fungicide TFI on soft wheat. Two interpretations can be proposed. First, as farmers acquire experience, they use more fungicide treatments (whether it be for safety, for convenience or because they have more money to spend on it). A second more positive interpretation would be that this is the sign of a change of practices initiated by the younger generation. Only a temporal analysis of these variables may eliminate one of these two hypotheses. Farmers' preferences regarding risk reveal that the more farmers have risky behaviors, the more they use fungicides. This can be surprising since fungicides help to fight against the risk of disease development. However, in a context of farm production this might be understandable. Indeed, applying a treatment implies an expenditure that might be useless. Indeed, it might be ineffective (e.g., poor application conditions) or unnecessary (e.g., unfavorable weather for disease development). Given the unpredictability of the use of treatments, these results show that the most risky behavior is to treat intensively since it implies an investment that might not be offset. Finally, the farmer's ability to recognize fungus diseases on photos will be interpreted in Section 6.3.2.

By looking at the variables that describe the farm characteristics, different conclusions can be drawn. Farmers with poor soil conditions use more fungicides. For example, in this study, some farmers have a type of soil known as "boulbène", a sandy soil with silt and clay that is characterized by low fertility and poor reaction to drought and rainfall conditions. In this context, in order not to add fungus issues to their crops, farmers tend to increase their fungicide use. Thus, natural constraints can lead farmers to adopt more intensive practices. Finally, farmers with the larger farms an that grow many different crops and the ones with fixed off-farm incomes use more treatments against fungal diseases. These results are surprising. However, two hypotheses can be advanced to explain them : (1) diversified farmers or the ones with large farms are financially less constrained, can take more risks and thus invest more in the soft wheat production activity ; or (2) such farmers spend less time observing their crops (they have too many fields to observe or not enough time to spend on their farm) and they thus need to be sure that their treatment is effective.

Impact of the characteristics of the farmer's decision-making process

With four significant variables, the farmer's level of autonomy has a significant impact (see Table 6.2). However, it depends on the type of assistance considered. Indeed, the num-

ber of advisers' visits is positively correlated with the level of fungicide use (independently of the type of adviser considered). The main source of advice in the region is from cooperatives that are structures with both technical and commercial components. Some farmers are also members of technical groups. In this case, results show that they have less intensive practices. This might be in favor of the separation of commercial and technical structures. However, farmers who share some of their equipment with others through cooperatives have more intensive practices in terms of fungicide use. Finally, given this model, farmers using computer decision support tools use more fungicide on soft wheat. This result raises questions about the nature of the information given to farmers but also about the farmer's use and interpretation of this external information.

By looking at variables that describe farmers' levels of anticipation of their decision (see Table 6.2), we can see that both a high proportion of non-systematic activities on soft wheat and a high gap between the minimum and maximum number of intended fungicide treatments on soft wheat are linked to a lower fungicide TFI on soft wheat. Farmers that reactively adapt their treatments to the ongoing situation therefore have less intensive practices. This is validated by the fact these farmers better recognize symptoms on pictures (see variable "photo" on Table 6.2). However, it seems that a large difference between the minimum and maximum treatment dose on soft wheat is associated with more intensive practices. It might be possible to hypothesize that only farmers who use high fungicide doses in general have the possibility of reducing these doses in a reactive way.

Only one variable that measure the level of deliberation of farmers was selected in the model : the number of information items asked in the "on request information" method (see Table 6.2). This variable is significantly linked to the farmer's fungicide TFI. Therefore, the more farmers use information when deciding their fungicide practices, the less they are intensive. Deliberative behaviors are thus associated with a lower level of fungicide consumption.

Variables that measure the three proposed discriminatory factors of the decision process make it possible to significantly explain farmers' fungicide TFI. When explaining farmers' practices, it is thus important to consider their decision-making process and, more specifically, the level of deliberation, reactivity and assistance of the decision-making process.

6.4 Conclusion

This study presents an innovative method based on a survey design and associated statistical tools to study the heterogeneity of farmers' practices by looking not only at the farmers' personal characteristics and the farm situation but also at the differences within the decision-making process leading to these practices (decision modes). The goal was not to make an *a priori* selection of the variables or of the inquiry methods but, instead, to multiply the variables and the inquiry methods used in order to make data triangulation. The variable selection step makes it possible to limit the number of explanatory variables for the statistical analysis and, consequently, the number of farmers to be surveyed. The main originality of the generic survey design is its ability to directly assess farmers' decision modes. The proposed method is generic but can easily be applied to different case studies. In this study, we propose an application to analyze the farmer's decision-making process regarding fungicide use on soft wheat in the Midi-Pyrénées region. Results from the case study confirm the importance of the structure of the farm (e.g., its size, its soil type) and of the farmers' personal characteristics (e.g., experience, risk aversion) when explaining farmers' practices, even if some surprising results appear. For instance, we show that diversified strategies are linked to an increased use of fungicide. Finally, this study validates the observation that when explaining farmers' practices, it is important to analyze the three discriminatory dimensions of decision modes proposed : the level of deliberation (vs. automatism), of assistance (vs. autonomy) and of reactivity (vs. anticipation) in the farmer's decision-making process. The role of the level of assistance is ambiguous and depends on the type of assistance considered. However, it appears that deliberative and reactive behaviors are associated with more sustainable practices. This study thus proposes both methodological and applied results that can help to develop a better understanding of the heterogeneity of farmers' practices.

Chapitre 7

How farmers select the information in their environment in order to simplify their decision-making process

Communication : *Ce chapitre a fait l'objet d'une soumission dans un journal international à comité de lecture. L'article, co-écrit avec Stéphane Couture et Roger Martin-Clouaire, est en cours de révision. Les résultats de ce chapitre ont de plus été présentés lors d'une communication orale pendant l'International Congress on European Society of Agronomy (ESA) qui s'est déroulé du 5 au 9 septembre 2016 à Édimbourg (Écosse).*

Abstract : In the context of integrated pest management approaches, farmers were asked to consider the different factors that have an impact on pest development in their management choices. However, given, on the one hand, the number of possible combinations of crops, of pests and of impact factors and, on the other, the limitation of human cognitive capacities, it is hardly possible for farmers to have knowledge about all of these combinations or to be able to use them all when making decisions. Within the current trend toward increasing the amount of available data, there is thus an issue of imbalance between the richness of available information and the ability of farmers to harness it. Farmers have to somehow make simplifications in order to be able to make decisions while considering the complexity of the situation. This issue has not yet been adequately analyzed yet. The objective of this study is thus to understand the simplification process involved in farmers' decisions. To do so, we looked at farmers' knowledge and at the information they use in their decision-making process. We focused on decisions and knowledge related to the complex management of disease on soft wheat in the Midi-Pyrénées region. A survey made it possible to capture farmers' knowledge and the information they use in their decision-making process. A statistical analysis of the survey results showed that farmers' knowledge is not very specific (it depends on the factors considered but not on the disease) and that the number of factors considered to be important is greater than the number of factors used in the decision-making process. We did not find a clear link between the farmers' knowledge and the information they used. These results are explained in light of bounded rationality and of heuristics, leading to the need to differentiate between the information available in the environment, accessible to farmers, known by them and used in their decision-making process. These study results have important implications for the ways to bring information to farmers. For example, nudging appears especially promising.

Keywords : Farm management, Decision-making, Heuristics, Knowledge, Integrated pest management, Survey

7.1 Introduction

7.1.1 Context

In a context of environmental footprint awareness, public authorities are encouraging farmers to move from intensive agriculture in terms of input use to more sustainable practices based, for instance, on Integrated Pest Management (IPM). In the European Union, IPM is defined as the careful consideration of all available plant protection methods and the subsequent integration of appropriate measures that discourage the development of populations of harmful organisms and keep the use of plant protection products and other forms of intervention to levels that are economically and ecologically justified and reduce or minimize risks to human health and the environment (2009/128/EC Directive of the European Commission). This type of production requires a high level of knowledge from farmers. They need to know which factors (i.e., preceding crop, weather, level of fertilization, etc.) are having an impact both on the development of a crop and on its main pests.

Farmers can find the information they need in their environment (from advisory agencies, Internet, observations, etc.) or derive it from their own knowledge (acquired through past experiences). The current trend is towards increasing the amount of raw data regarding agricultural practices (e.g., through experimentation, availability of measurement devices, etc.). Consequently, the amount of information that farmers can find in their environment is growing at an impressive rate. However, given the limitation of human cognitive capacities, farmers have a hard time incorporating this huge body of information in their knowledge and using it in their decision-making process (Ohlmér et al., 1998; Nuthall, 2001; Daydé et al., 2014). Farmers (as human beings) are making choices in a context of bounded rationality. They are limited by the time available to make a decision, by the amount of information they have and by their cognitive capacities (Simon, 1992). Therefore, there is an issue of imbalance between the richness of available information and the ability of farmers to harness it in their decision-making processes.

Farmers have to somehow make simplifications in order to be able to make decisions while considering the complexity of the situation. These simplifications can be imposed by farmers' limited cognitive capacities and can even purposely be made by farmers. In this last case, it can be said that farmers use heuristics, ie., efficient cognitive processes, conscious

or unconscious, which ignore part of the information (Gigerenzer and Gaissmaier, 2011). Such heuristics are a way to save time and to avoid cognitive fatigue while looking for a "satisfycing" option (as opposed to an optimal one). For instance, farmers can develop routine procedures that limit the use of decision-making to unusual problematic contexts (Cerf and Sebillotte, 1997; Macé et al., 2007). Another example of heuristics is the use of a unique factor (e.g., the plant development stage) when deciding on a treatment. The objective of this study is to analyze the type and amount of farmers' knowledge and of the information they use in their decision-making process in order to highlight the nature of the simplifications they make (purposely or not).

External information availability has been studied (Solano et al., 2003) (Sørensen et al., 2010b) together with the way that farmers perceive their environment and integrate this external information into internal knowledge (Winsen et al., 2013). Some studies have highlighted the link between this knowledge and farmers' practices (Vuillot et al., 2016). However, they only focus on farmers' decisions and not on the decision-making processes leading to these decisions. Many studies have attempted to model farmers' decisions but the information is generally considered as a fixed input of the decision and farmers' knowledge and cognitive capacities are not taken into consideration.

In this study, the focus is on farmers' knowledge and on the information they use in their decision-making process. We explore the amount and the nature of farmers' knowledge and how it affects the amount and the nature of the information they use when making decisions. In a context of IPM approach development, we especially look at farmers' knowledge regarding the impact of different factors on pest development, and we analyze which of these factors are effectively used in farmers' decision-making processes. To do so, a descriptive approach based on interviews was adopted. We first built a method that made it possible to capture both farmers' knowledge and the information they use when making decisions. A separate analysis of the variables obtained shows how farmers simplify the information from their environment in their knowledge. Comparing the two then makes it possible to highlight the ways that farmers simplify the information to be used in their decision-making process.

7.1.2 Case study : Fungus management on soft wheat in the Midi-Pyrénées region

This study focuses on farmers' decisions regarding fungus strategy on soft wheat in the Midi-Pyrénées region. The main difficulties regarding fungus management decisions on soft wheat are that (1) many factors can impact disease development (e.g., weather, variety, rotation, tillage, fertilization, etc.) ; (2) soft wheat can be affected by many different diseases ; (3) the same factor can have different impacts on fungus development depending on the disease considered ; (4) a wide range of fungicide treatments are available on the market ; and (5) fungicide treatments are generally specific and cannot treat all the diseases at once. A large amount of knowledge is thus necessary to consider complexity when making decisions.

Soft wheat is the major crop grown in the region (Midi-Pyrénées, 2014). The dense concentration of the crop in the region can lead to high disease pressure. At the same time, it allows the accumulation of expertise in the region. We can thus suppose that both farmers and extension services have acquired a high level of expertise in the field of soft wheat production. This study aims at exploring the way that experienced farmers deal with the large quantity of information available about pest management. We focused on farmers' knowledge about factors that impact fungus disease development on soft wheat and on the selective use of this knowledge in their decision-making process.

7.2 Method

The first step of the method is to elicit farmers' knowledge regarding factors that have an impact on disease development, as well as the use of this knowledge when making their decision concerning fungicide use. A survey method was thus built. After a first separate analysis of farmers' knowledge and the information they use, the second step makes it possible to highlight the differences between the two.

7.2.1 Survey

7.2.2 Data source and sample

A survey of farmers was carried out in the Midi-Pyrénées region. It had various objectives : to elicit farmers' production situation, personal characteristics and decision-making

process. Thirty-two farmers were interviewed between December 2015 and January 2016. The survey was individually based, all handled by the same person (the first co-author) and lasted approximately 3 hours per farmer. The sample was selected in order to account for the diversity of farms and farmers in the region. All selected farmers grow soft wheat (between 6 and 80 hectares) but can have other activities as well (e.g., six are breeders, five are fruit or wine-producers). The Utilized Agricultural Area (UAA) ranges from 24 to 260 hectares per farm, and farmers are from 23 to 66 years old. Except for the UAA that is higher than the regional mean (133 vs. 97 hectares), the sample is generally representative of the farmers in the region (e.g., in terms of age, labor unit and treatment frequency index (TFI)).

7.2.3 Elicitation of farmers' knowledge

First, it is important to note that the farmer's knowledge is the information that the farmer believes to be true even if it is vague or inaccurate. Therefore, in this study, there is no notion of accuracy when speaking about farmers' knowledge.

Since different factors can have different effects depending on the disease, farmers' knowledge is elicited in terms of both the factors and the diseases. Based on the literature (Robin, 2013; Aubertot and Robin, 2013) and on expert knowledge, we selected six major diseases of the region and 15 impacting factors. They are presented in Table 7.1 and 7.2. We use a scale of values in order to assess farmers' knowledge about the impact of each factor on each disease. This method has often been used in agriculture (e.g., see Heong and Escalada (1999); Roussy (2016)). For each combination of factor and disease, farmers were asked if the factor has a low impact, a high impact, a very high impact or no impact on each disease development by filling in one, two, three or no crosses, respectively (see Figure 7.1). In contrast to classical scales of values, we added the possibility for farmers to enter a question mark if they did not know if the factor had an impact.

7.2.4 Elicitation of the information used

To elicit the information used by the farmers, the challenge is to differentiate internal information from the information used in the decision process. To do so, a role playing game was devised, inspired from the "on-request information experiment" (Rimoldi, 1955, 2004).

The original method places the decision-maker in a decision situation about which he

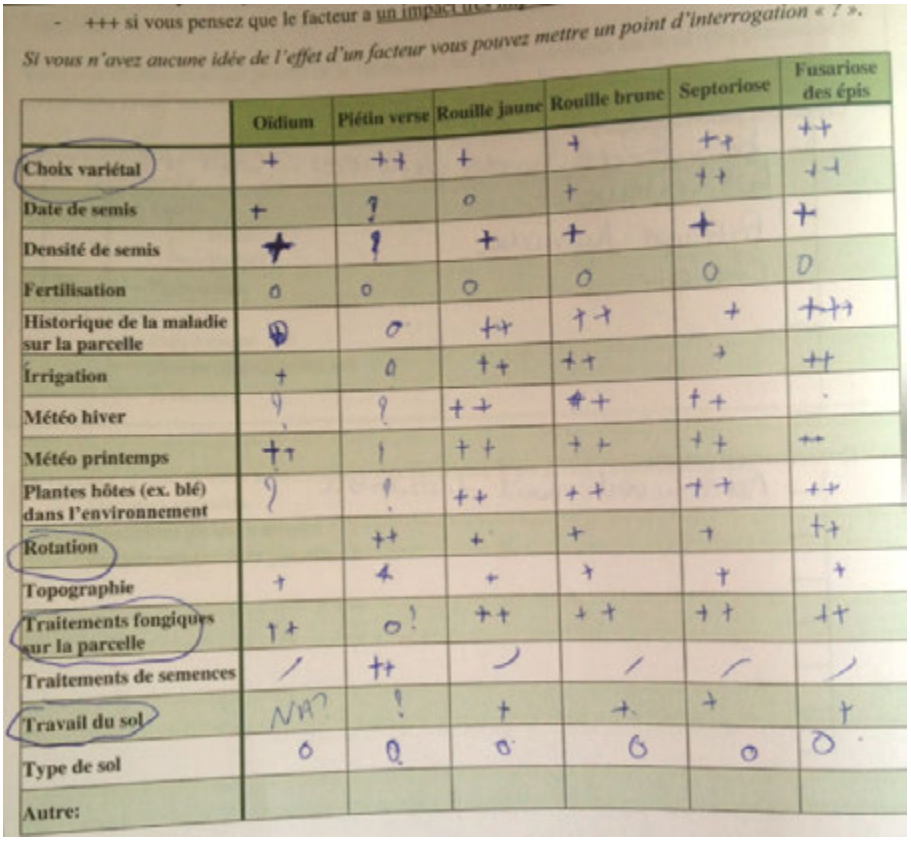
Disease	Pathogen	Abbreviation
Brown rust	Puccinia recondita	BR
Yellow rust	Puccinia striiformis	YR
Powdery mildew	Podosphaera xanthii	PM
Eyespot	Pseudocercosporella herpotrichoides	EYE
Septoria	Zymoseptoria tritici	SPT
Fusarium	Fusarium graminearum	FUSA

TABLE 7.1 – Selected diseases used when eliciting farmers' knowledge

Factor	Abbreviation	Used in the comparison
Variety	VAR	yes
Sowing date	SOWD	yes
Sowing rate	SOWR	yes
Fertilization	FERTI	yes
Presence of the diseases on the plot in recent years	DPAST	yes
Irrigation	IRRI	yes
Winter weather	WW	no
Spring weather	SW	no
Host plant (eg., wheat) around the plot	HOST	yes
Crop rotation	ROT	yes
Topography	TOPO	yes
Fungicides	FUNGI	no
Seed treatment	SEEDT	yes
Soil preparation	TILL	yes
Soil type	SOIL	yes

TABLE 7.2 – Selected factors used when eliciting farmers' knowledge

has no information. He thus has to request all the information he needs to make his decision. The hypothesis is that the information requested corresponds to the information that the person would use during his decision process. In our adapted method, in order to put the farmer in a decision situation about which he has no information about, a role-playing game was developed. The farmers were put in the situation of a technical adviser (independent of a commercial company) and had to give expert advice to the interviewer who plays the role of a new producer. The adviser is asked to help develop a fungicide strategy on soft wheat. No a priori information is given to the adviser. Thus, all the information necessary in the reasoning of the advice is requested from the interviewer. The answers given to the adviser were prepared in advance. In order to limit the reference bias, they describe the average farm, practices and production situation of the region (see in Table 7.3).



- +++ si vous pensez que le facteur a un impact très

Si vous n'avez aucune idée de l'effet d'un facteur vous pouvez mettre un point d'interrogation « ? ».

	Oïdium	Piétin verse	Rouille jaune	Rouille brune	Septoriose	Fusariose des épis
Choix variétal	+	++	+	+	++	++
Date de semis	+	?	0	+	++	++
Densité de semis	+	?	+	+	+	+
Fertilisation	0	0	0	0	0	0
Historique de la maladie sur la parcelle	0	0	++	+++	+	+++
Irrigation	+	0	++	++	+	++
Météo hiver	?	?	++	++	++	·
Météo printemps	++	?	++	++	++	--
Plantes hôtes (ex. blé) dans l'environnement	?	?	++	++	++	++
Rotation		++	+	+	+	++
Topographie	+	+	+	+	+	+
Traitements fongiques sur la parcelle	++	0 !	++	++	++	++
Traitements de semences	/	++	/	/	/	/
Travail du sol	NR?	!	+	+	+	+
Type de sol	0	0	0	0	0	0
Autre:						

FIGURE 7.1 – Table used to assess farmers' knowledge concerning the impact of different factors on different diseases : example with one farmer's answers. 0 : no impact ; + : low impact ; ++ : high impact ; +++ : very high impact ; ? or | : unknown impact.

This experiment makes it possible to elicit the nature, the order and the quantity of information used in the decision process. It was recorded in order to both ease the experimental conditions (e.g., not to take notes during the experiment) and to help with the analysis step.

7.2.5 Statistical analysis

The statistical analysis is divided into two steps. First, the results of each protocol are analyzed independently. Second, they are compared by focusing on the differences between the factors considered as important in terms of their impact on disease development, and the ones used by farmers in their decision-making process. The statistical analysis is carried out in two steps. Descriptive analysis makes it possible to highlight the main tendencies. More analytic statistics are then carried out to precisely characterize these first results.

Questions	**Answers**	**Abbreviations**	**Used**
Varietal resistance	Mean	VAR-RES	VAR
Earliness of the variety	Mean	VAR-PRECO	VAR
Name of the variety	Artigue	VAR-NAME	VAR
Number of varieties sown	One	VAR-NB	VAR
Certified seed	Yes	SEED-CERT	SEEDT
Seed treatment	Celeste gold	SEED-TT	SEEDT
Plant development	Normal	STATE	no
Region	Similar to MP region	REGION	no
Weather of the region	Similar to MP weather	REGION-W	no
Type of soil	Silty clay	SOIL	SOIL
Sowing date	November 5th	SOWD	SOWD
Sowing rate	250 grains per hectare	SOWR	SOWR
Objective yield	70 quintals per hectare	OBJ-Y	no
Objective TFI	I do not have one	OBJ-TFI	no
Objective risk of disease development	I do not have one	OBJ-RISK	no
Degree of disease development acceptance	I do not have one	OBJ-D	no
Objective cost of the fungicides	I do not have one	OBJ-COST	no
Objective margin of the crop	I do not have one	OBJ-MARG	no
Period for buying fungicides	I do not have one	OBJ-BUY	no
Topography	Low slope hill	TOPO	TOPO
Exposition	Not specific	EXP	TOPO
River around the plot	No	WATER	TOPO
Presence of the disease on the plot in recent years	I do not know	DPAST	DPAST
Presence of diseases in the region	Yes	HOST	HOST
Preceding crop	Sunflower	PREC	ROT
Ante preceding crop	Corn	ANTE-PREC	ROT
Autumn weather	Normal	AW	no
Level of nitrogen fertilization	Normal	FERTI-N	FERTI
Level of PK fertilization	No	FERTI-PK	FERTI
Equipment	Classical	TOOL	no
Volume of fungicide used	I do not know	VOL	no
Soil preparation	Two harrowing	TILL	TILL
Weeds on the plot	Normal	WEED	no
Hired labor	No	WORK	no
Breeding on the farm	No	BREED	no

TABLE 7.3 – Information requested and answers given in the "on-request information" experiment

Analysis of farmers' knowledge

When analyzing the data from the knowledge elicitation part, the first step was to separate the missing values (unanswered) from the unknown values (marked by a question mark). The unknown values were first analyzed. To analyze answers given on the value scale, we then

counted the number of crosses entered by the farmer. Since farmers can enter a maximum of three crosses per combination of factor and disease, the maximum number of crosses is 18 per factor and 45 per disease. To measure the relative importance given to each factor and disease, we considered the ratio of the number of crosses entered to the maximum number of crosses possible.

After a first descriptive analysis, a more analytic analysis was made in order to measure the role of the disease, the factor and the farmer on the score given. The score (ie., the number of crosses per combination) is considered here as ordinal data since only four levels are possible and different weights might be given by the farmers to each cross. We thus used an ordinal logit regression model for this analysis.

Analysis of the information used

The audio recordings were all analyzed using an analysis grid where the information asked was written down. This grid was not constructed a priori but progressively built by adding columns each time a new type of information was asked. The method thus follows the principles of the grounded theory approach (Corbin and Strauss, 2008). The grid construct was then analyzed in order to merge redundant columns. For example, the columns, "information about the slope" and "information about the presence of hills" were merged and renamed "information about the topography".

We were then able to statistically analyze both the quantity and the quality of the information used by the farmers.

Comparison between farmers' knowledge and the information they use

After a first separate analysis of farmers' knowledge and of the information they use, only 12 factors are considered for the comparison. Since the factors in the knowledge elicitation part are imposed, they are used as the references for the comparison. For instance, the factor variety is considered requested if the farmer had requested at least one piece of information about the variety (e.g., its name, its sensitivity, etc.) (see Table 7.3). Since farmers make their decision at the beginning of the cropping season (just after sowing) in the "on-request information" experiment, they do not ask questions about winter or spring weather. Moreover, the fungicides used are the variables that the farmer needs to assess. Therefore, the 12

selected factors for the comparison account for the practices (except for fungicide use), the environment and the plot history (see Table 7.2).

In order to make the comparison possible, farmers' knowledge is considered independently of the diseases. As is shown in Section 7.3.1, this hypothesis is validated by the fact that farmers' knowledge does not significantly depend on the diseases. We thus considered the mean impact of each factor without differentiating the diseases. A factor is considered as having an impact (even low) for the farmer if the number of crosses he entered is positive. It is considered important if the mean number of crosses for all the diseases is higher than 1. Since it might be understandable that a factor considered as having a low impact is not taken into account in the decision process, we will predominantly focus on the comparison between the factors considered important and used by farmers in their decision-making process. The analysis of the factors considered as having an impact (even low) will only be used as supporting results.

The statistical analysis for the comparison is based on descriptive and correlation analysis.

7.3 Results

7.3.1 Farmers' knowledge

First, if we look at the level of farmers' knowledge, we can see that the farmers are generally able to say what the impact of the factors on the different diseases is (87% of the answers). However, one factor and one disease were particularly difficult to assess by farmers. As observed in Table 7.2, 44% of the farmers answered "I do not know" when evaluating the impact of irrigation. This can be explained by the fact that very few farmers irrigate their soft wheat plot in the region, and if they do, it is only in the case of drought. By focusing on the different diseases, we can see that farmers often do not know the effect of the factors on eyespot. Again, this can be explained by the fact that it is a less common disease compared to the five others in the region. Consequently, farmers have less experience and thus, less knowledge about it.

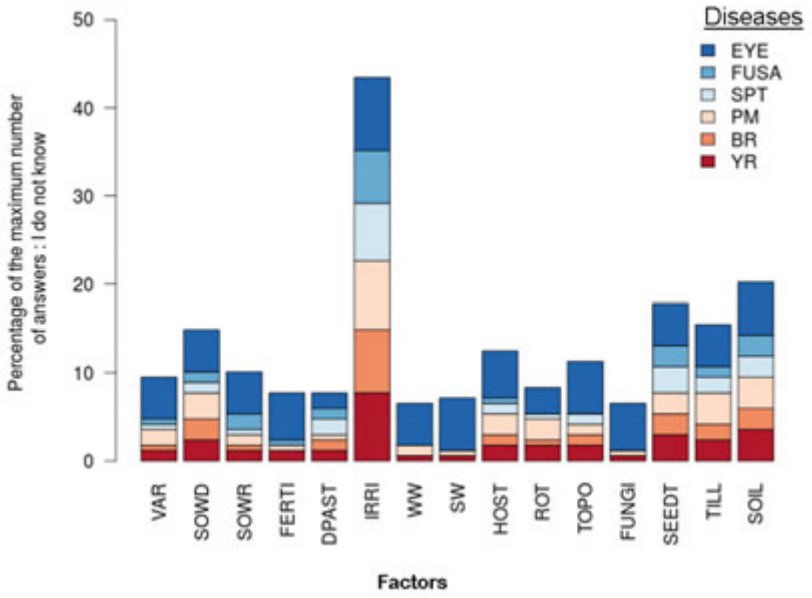


FIGURE 7.2 – Number of times farmers do not know the influence of a factor on a disease

By focusing on the scores given by farmers, we can graphically see that the importance given to each factor by the farmers is variable (see top of the bars in Figure 7.3). Independently of the disease considered, results show that the farmers perceive three factors as being more important than the others : the fungicides used, the spring weather and the variety sown. Each of these factors has more than 60% of the maximum number of crosses possible. The rotation, the sowing rate, the presence of the diseases on the plot in recent years and the topography also appear to be quite important factors. The least important factors given this study are seed treatments and the presence of hosts plant around the plot. Seed treatments are in fact not very efficient in the case of the diseases studied here except for eyespot. This first result is thus not surprising. However, many diseases are dispersed from plot to plot by the wind and, thus, the under-consideration of the factor "host plants in the environment" is more questionable.

Graphically, it seems that the impact of each factor does not depend on the disease considered. This result is confirmed with the next statistical analysis.

We statistically explored the role of the diseases, the factors and the farmers on the score given (i.e., the number of crosses). An ordered logit regression model was used. The model accuracy is good with an area under the ROC curve of 0.79. Results of the chi-square test are

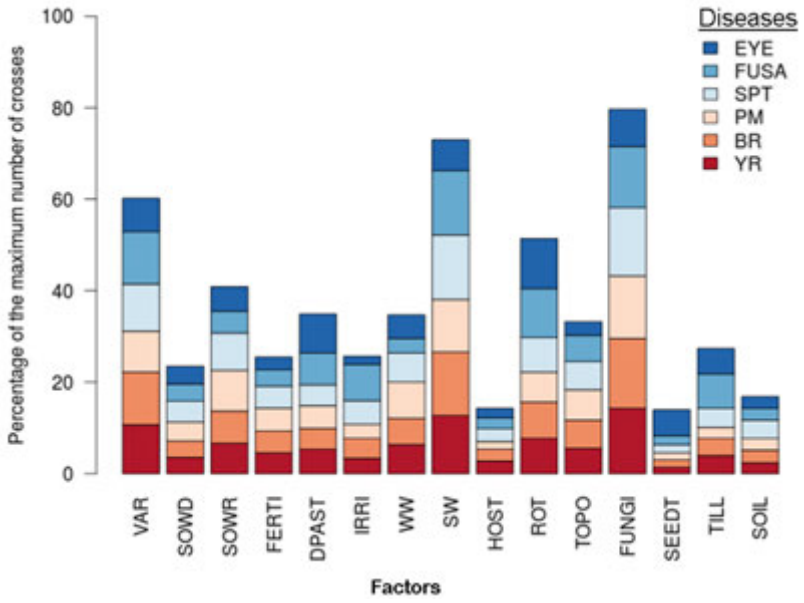


FIGURE 7.3 – Importance of factors per disease

given in Table 7.4. They show that the answers significantly depend on the farmers and the factors considered, but not on the diseases. Farmers thus have different knowledge regarding the impact of the factors on diseases. Moreover, this result shows that farmers' knowledge is not very specific since it depends on the factors considered but not on the diseases.

Variable	**V-value**	**P-value**
Farmers	255.71	<2e-16 ***
Diseases	7.21	0.2057
Factors	470.08	<2e-16 ***

TABLE 7.4 – Results of the chi-square test after an ordered logit regression to explain explain the score given by farmers when explaining diseases development

Finally, this first analysis shows that few factors are considered important when explaining disease development. Beside fungicide use, the two most important practice-related factors are the variety and the rotation. Moreover, we have shown that farmers' knowledge is heterogeneous and not very specific since it does not depend on the disease considered. After analyzing farmers' knowledge in the next section, we analyze the information they use when making fungicide decisions.

7.3.2 Information used

After analyzing farmers' knowledge, this section looks at the information that farmers use when deciding on their fungicide strategy on soft wheat. Farmers requested an average of 5.8 information items during the "on-request information" experiment (i.e., they use around 5.8 information items when deciding on their fungicide strategy). However, the quantity of information used is highly variable across farmers (see Figure 7.4). One farmer gave his advice without using any information. The other extreme farmer asked 18 different questions in order to propose a fungicide treatment strategy. If we measure the level of deliberation (i.e., the quantity of cognitive effort put into the decision) by the number of information items used in the decision (Daydé et al., prep), these first results show the high variability of the level of deliberation across farmers.

Results then show that the quality of the information used is also heterogeneous (see Table 7.5). Only one type of information is used by more than half on the farmers : the sensitivity of the variety used. Moreover, only the region, the type of soil, the objective yield and the preceding crop are used by more than one third of the farmers in their decision-making process. More generally, little information is used about the farmer's practices. For instance, the ante-preceding crop is used by only two farmers. Rather than the rotation, farmers thus mostly consider the preceding crop in their decision-making process. Six objectives are mentioned by farmers in this experiment. Besides the yield objective, the objective regarding the accepted level of risk of disease development is the most frequently used. It is the sixth factor used (by nine farmers), equally with the sowing date. Finally, only some rare farmers used work condition-related information (e.g., two asked about the farmer's equipment and one about the number of labor units).

In conclusion, both the amount and the nature of the information used by farmers when making decisions on fungicide treatments are heterogeneous. Moreover, little information on farmers' practices and field conditions is used to determine the fungicide strategy. The three most requested items are the variety, the soil type and the preceding crop.

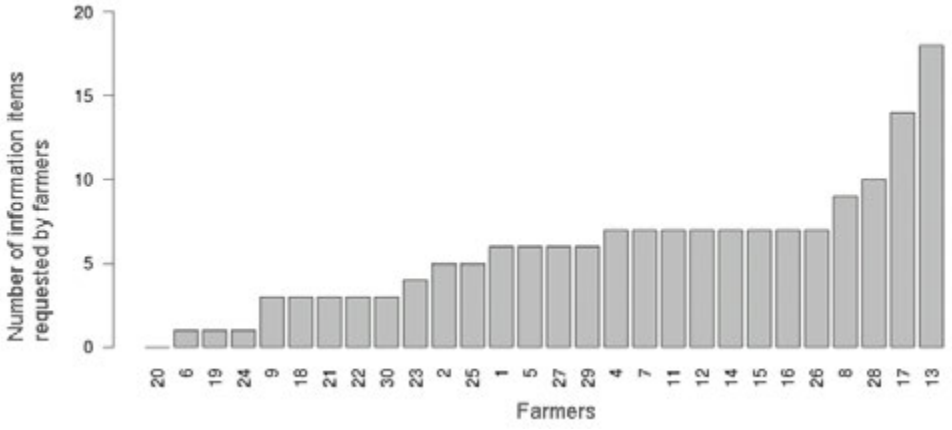


FIGURE 7.4 – Number of information items requested by each farmer

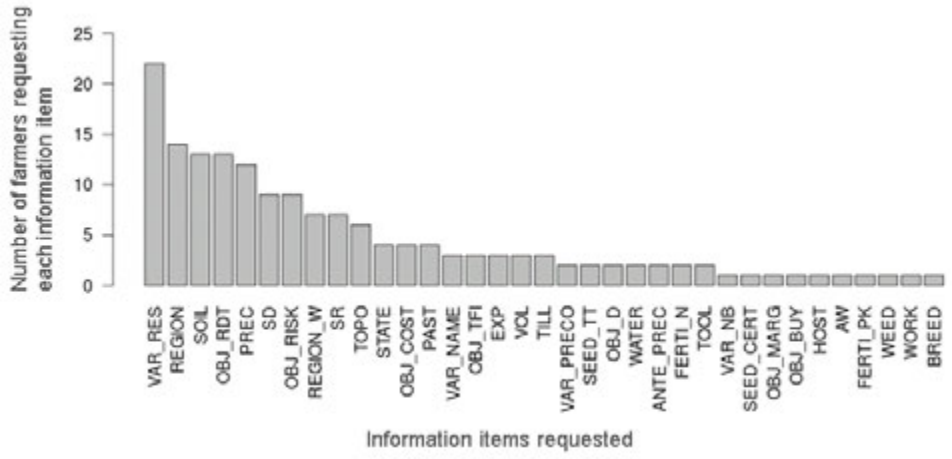


FIGURE 7.5 – Information items requested by the farmers

7.3.3 Comparison between farmers' knowledge and the information they use

In this section, we compare farmers' knowledge and the information they use in their decision-making process. As explained in Section 7.2.5, 12 factors are used (see Tables 7.2 and 7.3), their impact on the disease considered is studied independently, a factor is considered important for a farmer if its mean impact on the diseases is more than low, and a factor is considered as having an impact if it has an impact (even low) on the development of at least one of the diseases.

Correlation between farmers' knowledge and the information they use

The number of factors considered to be important by farmers is generally higher than the number of factors used in their decision-making process. On average, 4.28 factors are considered important and 3.00 are used. The difference between the two (1.28 factors) is significantly different from zero with a confidence interval of 0.95%. If we look at the factors considered as having an impact (even low), this difference between the factors used and considered as having an impact is even higher. A simplification mechanism thus makes it possible for farmers not to use all their knowledge about the factors that impact on disease development in their decision-making process.

Graphically (see Figure 7.6), it is difficult to conclude about a correlation between the quantity of factors used by farmers in their decision-making process and the quantity of factors considered important. A linear regression model confirms that there is no significant link between these two variables (p-value of 0.721). It therefore appears that the quantity of factors considered to be important by farmers is not linked to the quantity of factors used. However, when looking at the factors considered as having an impact (even low), the variables are significantly correlated in a positive way. This means that farmers who use the most information are the ones who consider that some factors have a low impact on disease development and that take these factors into account (in addition to other more important factors).

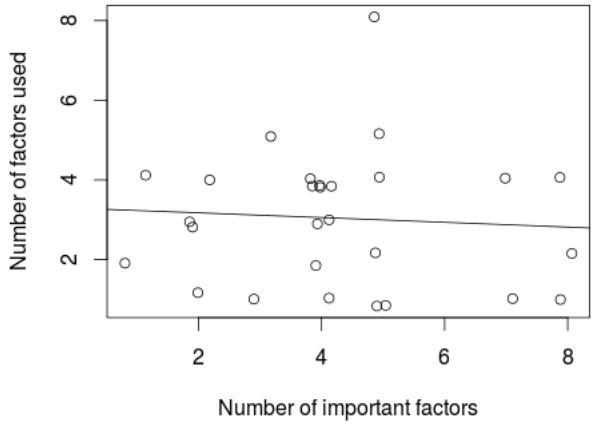


FIGURE 7.6 – Comparison of the factors used and perceived as important by the farmers

Figure 7.7 makes it possible to go more into detail about these conclusions. Indeed, if we look at the farmers one-by-one, we can see that the majority of the farmers use less or as many factors in their decision-making process than the number of factors they consider to be important. Therefore, these farmers do not take factors with a low impact on disease development into account. However, seven farmers (out of 29) seem to use more factors than the ones they considered to be important. As an initial reaction, we could say that these few farmers are not coherent. However, when looking at Figure 7.8 where all the factors considered as having an impact on disease development (even a low one) are taken into account, we can note that the number of factors used is always lower than the number of factors considered as having an impact on disease development. These farmers therefore not only take important factors into account, but the factors with a lower impact on disease development as well.

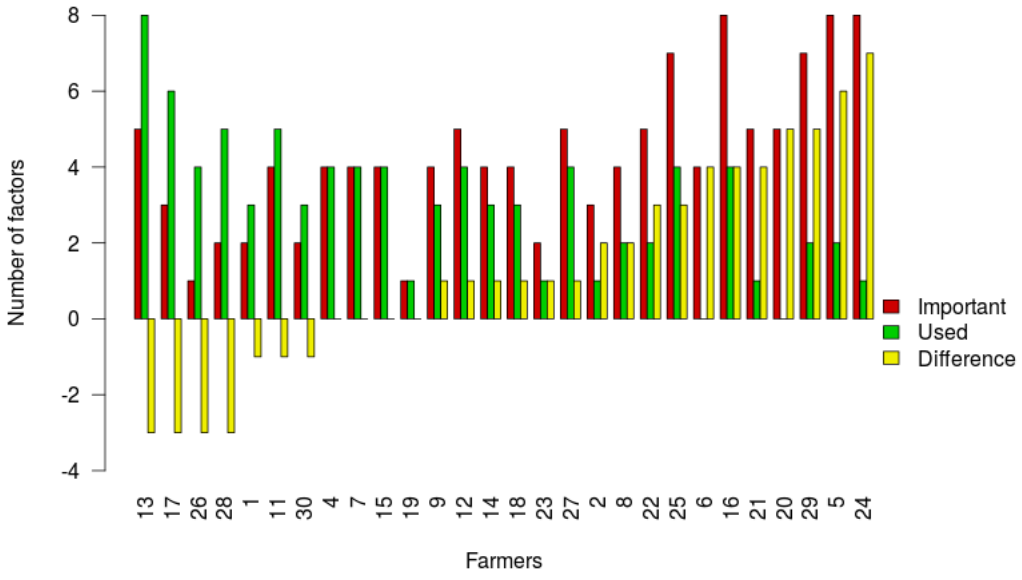


FIGURE 7.7 – Comparison of the factors used and perceived as being important by the farmers

Finally, this first comparison shows that farmers generally do not use all the factors they consider important or as having an impact on disease development when making decisions. A selection mechanism thus makes it possible for farmers not to take all their knowledge into account when making decisions. In the next section, we go into more detail about the

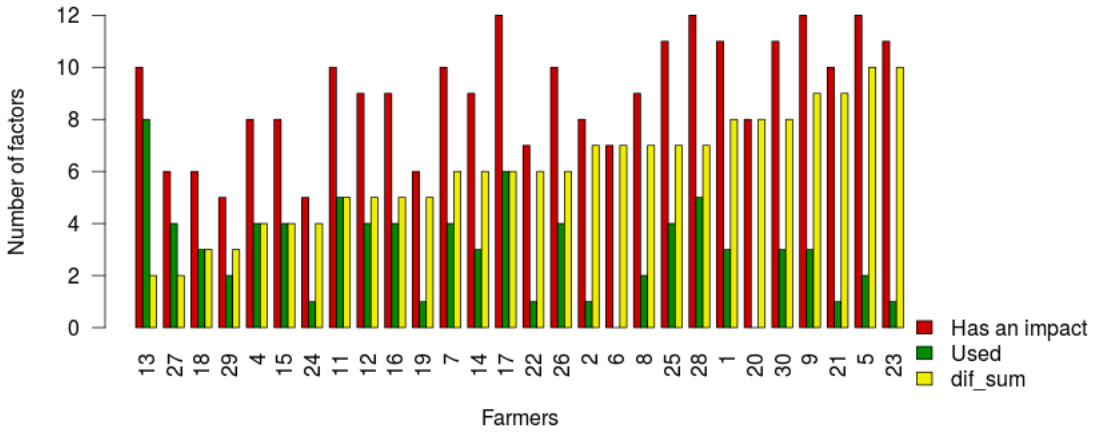


FIGURE 7.8 – Comparison of the factors used and perceived as having an impact by the farmers

difference between factors in this simplification mechanism.

Comparison by factor

This last analysis focuses on the differences between factors when comparing farmers' knowledge and the information they use (see Figure 7.9).

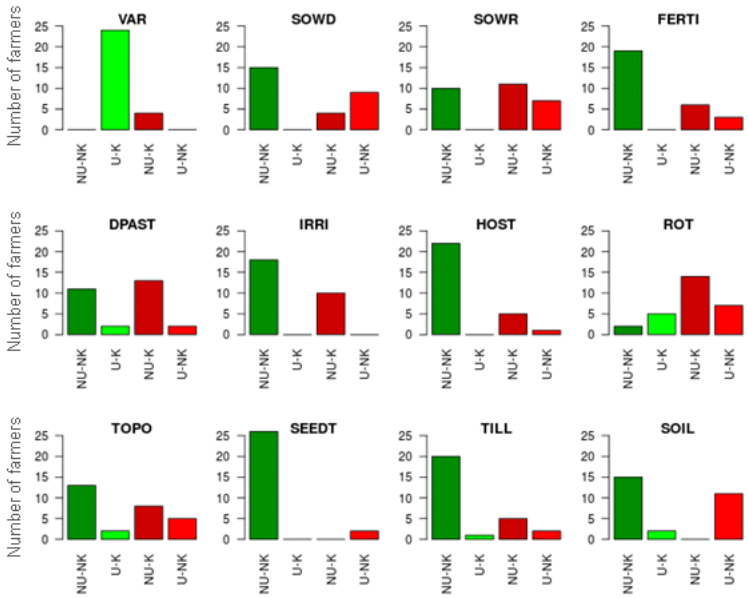


FIGURE 7.9 – Information used (U), not used (NU), perceived to be important (K) and not important (NK) per factor

We can first note that most of the factors are not used and not considered important (NU-NK). Fertilization, seed treatment and the presence of host plants for the diseases in the environment are the factors that most especially depict this aspect, given that 19, 26 and 22 farmers, respectively, indicate that these factors are not important and do not use them when making their decisions about fungicide treatments. More generally, 7 factors are NU-NK by more than half of the farmers. This is coherent with previous results since few factors are considered important but also few are used by farmers in the decision-making process.

Another interesting point is that the second most common combination concerns factors that are not used by farmers in their decision-making process but considered important by them (NU-K). In particular, three factors are generally NU-K : the sowing rate, the rotation and the history of disease development on the plot. This proportion is even higher when taking the factors that have an impact on disease development (not only the factors with an important impact) into account (see Figure 7.10). It thus appears that farmers do not use all their knowledge when making their decisions. This is again consistent with our last results

The only factor consistently used and considered important (U-K) is the variety of the soft wheat sown. Except for this factor, only the rotation factor is considered to be important and used by five farmers. The other factors used by farmers are generally considered as not being (U-NK). However, in many cases, these factors are considered as having an impact (a low one) on disease development. Indeed, the number of times a factor is considered U-NK decreases from 41 to 11 when taking the factors that are not only important but the ones with a low impact on disease development as well into account (see Figure 7.10). Only the soil type is then considered not to have an impact on disease development but is used in the decision process by more than two farmers. It thus seems that this information is not used as an indicator of the potential of disease development. It might be requested in order to account for another important parameter when dealing with disease development (e.g., potential yield).

Finally, except for the factor variety and, to a lesser extent the factor rotation, most of the factors are not used whether they are considered important or not.

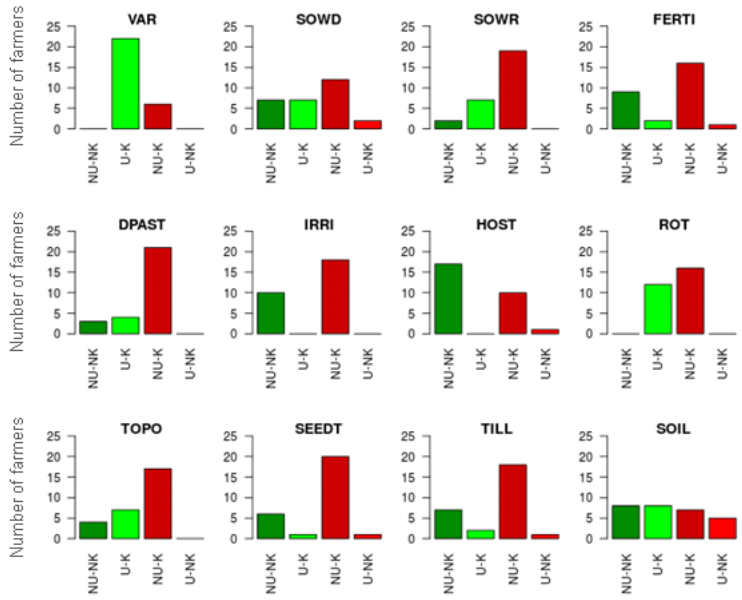


FIGURE 7.10 – Information used (U), not used (NU), perceived as having an impact (K) or not (NK) per factor.

7.4 Discussion

In order to analyze how farmers selectively use the information in their environment, we looked at both their knowledge and the information they use in their decision-making process. Two types of simplifications are highlighted. First, farmers do not consider all the information available in their environment. Second, they do not use all the factors they consider as having an impact on disease development, not even the ones with an important impact, when deciding on a fungicide strategy. Moreover, only a few factors are used by farmers when making decisions, mainly the variety and the rotation. We finally showed that the amount of farmers' knowledge and of the information they use are not significantly linked. In this section, we first discuss these findings while trying to highlight the mechanisms underlying these simplifications. We then discuss the impact of our research results on farmers' support tools.

7.4.1 How do farmers simplify the information available to them ?

In this study, we specifically showed that the impact of the different factors on disease development does not significantly depend on the diseases considered. Therefore, farmers' knowledge is not very specific. Farmers do not consider all the information available in their

environment. This conclusion is consistent with other studies (Yang et al., 2005; Zimmer et al., 2016). Different hypotheses can be proposed to explain this simplification of farmers' knowledge. First, even if much information is available, the issue is to know if it is really accessible to farmers. For instance, the information might be available on Internet but farmers have to search for it in order to precisely identify the impact of different factors on the different diseases. This is a difficult task since, for example, many sources might have to be used. The farmer's ability to search for information can thus be an important limitation to information accessibility. Moreover, farmers' networks can be different and the resulting accessible information may vary from one farmer to the other. Even if a lot of information is available in the environment, its accessibility can thus vary from one farmer to another. Second, we have seen the complexity concerning the decision situation (many factors can have an impact on disease development, this impact can depend on the diseases considered, a high degree of uncertainty can be associated with some factors, many different treatments are available on market, etc.). We can thus wonder if farmers have the sufficient cognitive capacities (more specifically, memory capacities) necessary to integrate this complexity and to remember the precise impact of the different factors on each disease. The third hypothesis is that farmers purposely select a small part of all the information accessible in their environment : they use heuristics. It is a way to save time and to avoid cognitive fatigue when more deliberation is not judged necessary. These heuristics can take many forms. Since farmers can be considered as experts in soft wheat production, they can chose to remember only the information they believe is sufficient to explain disease development. Another type of heuristics can even be not to worry much about information and to rely on counselors' advice when determining their practices. This study does not focus on farmers' levels of assistance but it has been shown to be a key component of farmers' decisions (Daydé et al., prep).

We have shown that not all the factors considered to be important by farmers are used in their decision process. Again, different reasons can be invoked to explain this result. First, in a context of bounded rationality, farmers might not have the cognitive capacities necessary to analyze all the information they possess when making their decision. The literature on cognitive sciences especially shows that the human brain can hardly remember and process more than seven pieces of information when making a decision (Miller, 1956). Since most

farmers do not reach this limit, a selection mechanism might be purposely used. In other words, it seems that farmers are again using heuristics. We have seen that farmers' knowledge is not very specific. We can thus wonder what is the suitability of such knowledge. For instance, knowing that the fertilization level has an impact on disease development might not be sufficient without knowing what its impact is on different diseases. Considering that this non-specific knowledge is not usable, one type of farmers' heuristics might aim at selecting only the relevant knowledge for a given decision.

Finally, it is difficult to determine whether the simplification of farmers' knowledge and of the information they use results from farmers' heuristics, limited cognitive capacities, limited environment or from the combination of all these factors. However, what this study does show is that it is important to differentiate the information available, accessible, known and used when studying farmers' decisions (see Figure 7.11).

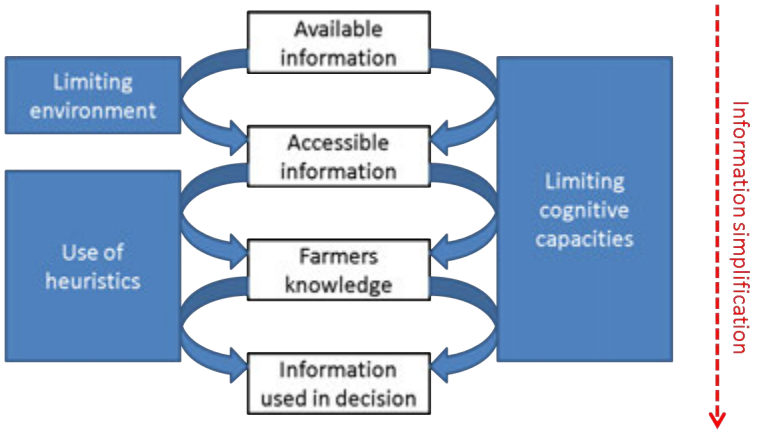


FIGURE 7.11 – Information simplification : From the available information to the information used in the decision process by farmers

7.4.2 What kind of support can be provided to farmers : the use of nudges

Two kinds of propositions are discussed to improve farmers' support tools. They include, first, the opportunity to increase farmers' knowledge and, second, the use of nodes to influence farmers' decisions.

Daydé et al. (prep) show that the level of deliberation in farmers' decision-making (measured by the quantity of information items used) is significantly linked to farmers' practices.

More specifically, the study shows that the more farmers use information items when making decisions about their fungicide treatment strategy on soft wheat, the less they will be intensive in terms of fungicide use. It thus seems advisable to encourage farmers to use more information in their decision-making process. Given our results, farmers' knowledge about factors that have an impact on disease development is scarce. However, it is difficult to determine whether or not an increase in farmers' knowledge about the impacts of different factors on disease development can encourage them to be more deliberative (to use more information in their decision-making process). More precisely, it appears that the number of factors considered to be important by the farmers is not linked to the quantity of information used in their decision process, whereas the number of factors considered as having a low impact is. It thus seems that it is not sufficient to increase the amount of farmers' knowledge about the factors. In particular, since farmers' knowledge is not specific, it might not be just the quantity of farmers' knowledge but its quality that needs to be increased. This might make this knowledge more usable in the decision-making process. Finally, the ways to procure this information for farmers needs to be carefully chosen in order to make this information not only available but easily accessible to them as well.

This study looks at the knowledge and the information used by farmers by focusing on technical factors. It appears that farmers make simplifications in order to avoid having to use all the information about these technical factors that have an impact on disease development. Since increasing the amount of knowledge about these technical factors might not change either their decision-making process or their choice, one possibility is to use nudging. A nudge is a means to influence people's decisions without imposing or eliminating alternatives or changing the economic interest related to the alternatives (Thaler and Sunstein, 2008). Nudges are based on the hypothesis of bounded rationality. They influence people's choices by attempting to play on their automatic reasoning. For instance, a nudge classically used to make people eat more healthily is to put healthy meals in the foreground or make them more easy to grasp, and to make junk food less visible or more difficult to reach.

Some authors have looked at the use of such nudges in agriculture as a way to supplement more classical policy intervention tools such as regulations or taxes (Barnes et al., 2013; Kuhfuss et al., 2015; Valatin et al., 2016). These studies particularly highlight the potentiality of using such nudges in order to influence farmers' choices toward more sustainable practices.

One type of nudge especially recommended is the one based on farmers' social norms (i.e., rules considered acceptable in a social group). For instance, by showing that other farmers are adopting innovative sustainable practices and are satisfied with them, the norms regarding acceptable farming practices might change. This study did not look at farmers' social norms but its results highlight the opportunity of using them to influence farmers' behavior.

7.5 Conclusion

This study makes it possible to explore how farmers selectively use the information in their environment in order to simplify their decision-making process. Based on interviews, two types of simplifications are highlighted. The first one concerns the specificity of farmers' knowledge, and the second one, the selection of the information to be used among this knowledge. This study is the first one to take a look at the link between farmers' knowledge and the information used in their decision-making process. It paves the way for increasing our understanding of the farmer's decision-making process. This improved understanding will be necessary to better support farmers in their day-to-day management. For example, in a context of bounded rationality, nudging can be a way to encourage farmers to use more sustainable practices without over complicating their decision context.

Quatrième partie

Conclusion générale

Chapitre 8

Principaux apports de la thèse

Afin de mieux accompagner les agriculteurs pour qu'ils puissent relever les défis économiques, environnementaux et sociaux auxquels ils doivent faire face, il est important de mieux comprendre les raisons poussant les agriculteurs à leurs pratiques actuelles. Plus précisément, cette thèse visait à répondre à la problématique suivante : Quel est le rôle du processus de décisions des agriculteurs, relativement à celui de leur situation de production et de leurs caractéristiques personnelles, dans leurs choix de pratiques ? Pour ce faire, nous avons d'abord proposé une nouvelle représentation du processus de prise de décision des agriculteurs, nous avons identifié les modes de décision associés à ce processus, puis construit une méthode pour tester leurs impacts sur les pratiques à partir d'enquêtes. Les apports de cette thèse sont donc d'ordre à la fois conceptuel, méthodologique et empirique.

8.1 Apports conceptuels

8.1.1 Un modèle générique du processus de prise de décision opérationnelle en agriculture

Dans cette thèse, nous proposons un modèle conceptuel générique du processus de prise de DO des agriculteurs. Nous nous focalisons en particulier sur ses composantes et leur dynamique.

Les différentes composantes du processus de DO des agriculteurs sont divisées en deux catégories : les états et les mécanismes cognitifs. Le processus de décision est ainsi composé de quatre états cognitifs : l'information interne, l'information pertinente, les objectifs et

les préférences, et les intentions. Ces états ne sont pas fixes, ils peuvent évoluer au cours du processus de prise de décision. Cinq mécanismes cognitifs (les activités mentales qui permettent à l'agriculteur de modifier ses états cognitifs) ont donc ensuite été explicités : la perception et la compréhension, la sélection de l'information, l'évaluation et la modification des objectifs et des préférences, l'évaluation et la modification des intentions, et l'exécution des intentions.

Si de nombreux modèles ont tenté de décomposer le processus de décision (Gray et al., 2009; Feola and Binder, 2010), le modèle proposé dans cette thèse est le premier à détailler aussi finement à la fois les mécanismes et les états cognitifs composant ce processus. Le modèle BDI (Taillandier et al., 2012) décrit trois états cognitifs (les croyances, les désirs et les intentions) et certains des mécanismes associés. Cependant, dans le modèle BDI, tous les états cognitifs ne sont pas flexibles alors que dans le modèle proposé dans cette thèse, les états cognitifs le sont par définition. Aussi, le modèle proposé sépare l'information interne (ex., les connaissances) de l'information pertinente qui sera utilisée lors du processus de décision. Cette séparation constitue une innovation majeure puisqu'elle nous a permis de préciser les simplifications réalisées par les agriculteurs pour leur processus de prise de DO.

Au cours de la modélisation conceptuelle, le processus de décision a été défini comme un processus dynamique à la fois itératif et incrémentiel. Il est itératif car les états cognitifs sont régulièrement remis en cause. Il est incrémentiel parce que chaque état est construit sur la base du précédent. Les liens entre les états et les mécanismes cognitifs sont explicités et permettent de mettre en évidence cette dynamique associée au processus de prise de DO. En particulier, des boucles de rétroaction mettent en avant le caractère à la fois itératif et incrémentiel du processus de DO. Par exemple, l'intention courante guide les perceptions en restreignant le nombre d'alternatives et donc l'information à analyser. Cette prise en compte de la dynamique du processus de prise de décision laisse la possibilité à l'agriculteur à la fois, de planifier ses opérations, et de réviser son plan de manière réactive.

De nombreux modèles permettent aujourd'hui de représenter ce caractère à la fois réactif et planifié du processus de prise de DO (ex., Keating et al. (2003); Martin-Clouaire and Rellier (2009); Akplogan et al. (2010); Taillandier et al. (2012); Bergez et al. (2016)). Ce modèle est cependant le premier permettant une construction progressive à la fois de l'infor-

mation interne, de l'information pertinente, des objectifs, des préférences et des intentions des agriculteurs.

8.1.2 L'identification de facteurs de discrimination des modes de décision opérationnelle en agriculture

Un second apport conceptuel de cette thèse à été de mettre en évidence les modes de DO des agriculteurs, ie., les différentes utilisations du modèle générique du processus de DO par les agriculteurs. A partir de la littérature et du modèle conceptuel générique, trois facteurs discriminants des modes de décision ont été étudiés dans cette thèse. Le degré de réactivité (vs. d'anticipation) au sein du processus de prise de DO mesure la temporalité associée au processus de décision. Le niveau d'assistance (vs. d'autonomie) mesure le niveau de traitement de l'information externe utilisée par l'agriculteur. Enfin le degré de délibération (vs. d'automatisme) mesure le niveau d'effort cognitif utilisé lors de la décision. Une méthode d'enquête a été proposée et a permis de valider empiriquement l'utilisation de ces trois critères (Cf., Section 8.2).

Dans cette thèse, trois facteurs de discrimination du processus de prise de décision ont donc pour la première fois été étudiés conjointement. Puisque la plupart des études sur les modes de décision en agriculture utilise le cadre du modèle Consumat (Jager and Janssen, 2012), les deux facteurs classiquement utilisés sont le niveau d'assistance et de délibération de la décision. Nous proposons donc d'intégrer un troisième facteur afin de prendre en compte le degré d'anticipation. Aussi, les modèles n'identifient classiquement que 2 ou 4 modes de décisions en agriculture (Rodriguez et al., 2011; van Duinen et al., 2015). Dans le modèle proposé, les différentes combinaisons des trois facteurs de discrimination peuvent aboutir à une infinité de modes décision.

8.2 Apports méthodologiques

Afin d'évaluer et de préciser la modélisation conceptuelle, cette thèse propose un ensemble de méthodes d'enquêtes et d'analyses afin de mieux comprendre le processus de prise de DO des agriculteurs.

8.2.1 Une méthode pour l'élicitation des modes de décision

Le premier apport méthodologique de cette thèse a été l'élaboration de méthodes génériques pour l'étude des modes de DO des agriculteurs. Les méthodes proposées visent à mesurer les niveaux associés à chacun des trois facteurs de discrimination des modes de DO mis en évidence lors de la modélisation conceptuelle (ie., le niveau de délibération, d'anticipation et d'assistance dans le processus). Pour mesurer le niveau de délibération, nous proposons d'analyser la quantité d'informations utilisée lors du processus de prise de décision. Pour le niveau d'anticipation, nous nous sommes attachés à l'étude de la flexibilité des intentions des agriculteurs. Enfin, pour mesurer le niveau d'assistance dans le processus de prise de décision, nous nous sommes concentrés sur le réseau des agriculteurs.

Afin de pallier les biais associés à toute méthode d'enquête, nous avons pour chaque facteur proposé différentes méthodes d'enquêtes (Denzin, 1970). Par exemple, pour mesurer le niveau d'anticipation dans le processus de décision, nous avons d'abord proposé aux agriculteurs de décrire le planning de leurs opérations en différenciant les opérations systématiques (réalisées année après année) et celles réalisées de manière non-systématiques (optionnelles). Nous avons ainsi pu obtenir le pourcentage d'opérations non-systématiques. Nous avons ensuite mesuré l'écart entre le nombre de traitements antifongiques minimum et maximum, et celui entre la dose minimum et maximum de traitement antifongique pour le traitement principal en végétation. Enfin, nous avons demandé à l'agriculteur de réagir face à différents scénarios (de prix, de météo, de conseil...). Nous avons ainsi pu compter le nombre de fois que chaque agriculteur a changé ses intentions face à la nouvelle information.

A notre connaissance, c'est la première fois qu'est proposée une méthode permettant d'étudier directement les modes de décision des agriculteurs. Les différentes études basées sur le modèle Consumat ne mesuraient qu'indirectement les modes de décision à partir du niveau de certitude et de satisfaction de l'individu.

8.2.2 Une méthode d'analyse dans le cas d'un grand nombre de variables corrélées et de peu d'individus

Au delà de ces méthodes spécifiques à l'étude des modes de décision, le second apport méthodologique a été de proposer un protocole global permettant d'étudier le processus de

prise de DO des agriculteurs et son lien avec leurs pratiques. Ainsi, nous avons proposé des méthodes d'enquêtes et d'analyses permettant de mesurer l'impact à la fois de la situation de production, des caractéristiques personnelles et des caractéristiques des modes de décision des agriculteurs sur leurs pratiques. Un grand nombre de variables ont donc été récoltées sur un échantillon limité d'individus. L'originalité de la méthode réside en partie dans une analyse préliminaire des variables obtenues qui permet d'identifier les variables les plus redondantes (les plus corrélées) afin de les agréger. Une régression classique a ensuite pu être utilisée pour tester l'impact des différentes variables sur le niveau intensification des pratiques des agriculteurs (ex. leur IFT).

Alors que la majeure partie des études publiées aujourd'hui sélectionnent a priori les variables à étudier, nous proposons donc une sélection a posteriori des variables pour limiter le biais de sélection.

8.3 Apports empiriques

Pour la partie empirique, nous nous sommes intéressés aux décisions relatives à la gestion des maladies fongiques du blé tendre. Nous avons, d'une part, exploré le rôle de trois catégories de facteurs sur le niveau d'intensification des pratiques des agriculteurs, et d'autre part, exploré la manière dont les agriculteurs simplifient leur processus de décision.

8.3.1 Le lien entre modes de décision et pratiques

Les résultats ont confirmé l'importance des caractéristiques personnelles de l'agriculteur et de son exploitation. Par exemple, la taille de l'exploitation, le niveau de diversification, le niveau d'aversion au risque ou encore le niveau d'expérience de l'agriculteur sont apparus positivement liés à leur IFT fongicide. Au contraire, le nombre de parcelles sur l'exploitation ou le niveau de reconnaissance de symptômes sont eux apparus négativement liés à l'intensification des pratiques en termes d'utilisation de produits fongicides.

Au delà de ces facteurs classiques, notre étude a validé l'importance des modes de décisions pour expliquer les pratiques des agriculteurs. Des variables mesurant les trois modes de décisions sont ainsi apparues significativement explicatives de l'intensification des pratiques. Le rôle du niveau d'assistance est ambigu puisqu'il dépend du type d'assistance considéré.

En particulier, l'appartenance à un groupement technique de producteurs est lié à des IFT plus faibles alors qu'en moyenne le nombre de visites de conseillers (de coopératives ou de chambres d'agriculture) est lié à des IFT plus élevés. Les modes de décisions délibératifs et réactifs sont eux apparus liés à des pratiques moins intensives en comparaison de modes plus automatiques ou anticipés.

Ce cas d'étude valide l'hypothèse selon laquelle les caractéristiques du processus de prise de DO (notamment le niveau d'assistance, de délibération et d'anticipation) sont importantes à prendre en compte pour expliquer les pratiques des agriculteurs.

8.3.2 La simplification du processus de décision opérationnelle par les agriculteurs

Pour analyser la manière dont les agriculteurs simplifient leur processus de prise de DO, nous nous sommes concentrés sur leurs connaissances et sur l'information qu'ils utilisent lorsqu'ils décident une stratégie de gestion des maladies fongiques du blé tendre. Nous avons mis en évidence deux niveaux de simplifications. D'une part, les agriculteurs ne prennent pas en compte toute l'information disponible dans leur environnement. En effet, nous avons montré que les connaissances des agriculteurs sont hétérogènes mais surtout qu'elles sont peu spécifiques. Par exemple, d'après les connaissances des agriculteurs, seuls quelques facteurs ont un impact sur le développement des maladies du blé tendre et cet impact ne dépend pas de la maladie considérée. D'autre part, les agriculteurs sélectionnent l'information à utiliser lors de leur prise de décision. En effet, ni l'ensemble des facteurs ayant un impact sur le développement des maladies, ni l'ensemble des facteurs pour lesquels cet impact est considéré comme important, n'est utilisé lors du processus de décisions des agriculteurs. Cette simplification peut s'expliquer par trois facteurs : les capacités cognitives limitées des individus, une décision de l'individu de n'utiliser qu'en partie l'information accessible (une heuristique) ou les limites de l'environnement (beaucoup d'informations sont disponibles mais seulement une partie d'entre elles est accessible).

Des études ont déjà montré le manque de connaissances des agriculteurs (Yang et al., 2005; Zimmer et al., 2016). Cependant, cette thèse propose une avancée supplémentaire car elle compare les connaissances des agriculteurs et l'information qu'ils utilisent dans leur processus de prise de décision.

Finalement, cette thèse constitue une étape importante vers la compréhension du processus de prise de DO des agriculteurs et de leurs pratiques. Cependant, il ne s'agit que d'une étape et de nombreuses questions restent encore en suspens. Aussi, si les apports conceptuels, méthodologiques et empiriques ont été présentés séparément, ils sont en réalité très liés. Par exemple, le modélisation conceptuelle a permis d'orienter les enquêtes qui en retour ont permis d'affiner la connaissance du processus de DO. La section suivante présente les limites ainsi que les perspectives de cette étude.

Chapitre 9

Discussion

9.1 Limites et perspectives de la thèse

9.1.1 Vers la compréhension du processus de prise de DO des agriculteurs

Cette thèse a permis de mieux comprendre le processus de prise de DO des agriculteurs. Cependant, la route est encore longue avant d'atteindre une compréhension complète de ce processus. Le modèle global du processus de prise de DO proposé identifie quatre états cognitifs et cinq mécanismes cognitifs sous-jacents ainsi que la dynamique qui les lie. Cependant, la description et la représentation de ces états et mécanismes cognitifs mériteraient d'être approfondies.

Peu de détails sont donnés sur le contenu ou la forme de l'information que l'agriculteur a en mémoire (son information interne). Par exemple, la manière dont les agriculteurs se représentent leurs contraintes a peu été étudiée dans cette thèse. Cependant, de nombreuses études s'y sont déjà attelées (ex., (Martin-Clouaire and Rellier, 2011)). Les normes des agriculteurs (des règles considérées comme acceptables au sein d'un groupe d'individus) ont elles été moins détaillées que ce soit dans cette thèse ou dans la littérature, alors même qu'elles sont souvent mentionnées comme des composantes importantes définissant les comportements des agriculteurs. Finalement, la manière dont l'ensemble de cette information est stocké en mémoire chez l'individu (ex., sous forme de modèles mentaux ou de patrons) a fait l'objet de quelques études ciblées. Il est aujourd'hui important d'étendre ces études et de développer de nouvelles méthodes d'enquêtes afin de proposer des conclusions plus génériques sur ces états cognitifs.

De même les objectifs et les préférences des agriculteurs sont mentionnés sans être détaillés dans cette thèse. Dans la littérature, deux formes sont principalement utilisées pour les représenter : des "fonctions objectif" (ex., en économie) ou bien des systèmes de priorités (Akplogan, 2013). Lors des enquêtes exploratoires, les objectifs et les préférences ont principalement été exprimés sous la forme de priorités et aucun critère quantitatif n'est apparu. Même si la représentation sous forme de fonction d'utilité semble peu appropriée, de nouvelles enquêtes ciblées sur l'élicitation de ces objectifs et préférences sont nécessaires afin de préciser la nature précise de ces états cognitifs.

Il a été demandé aux agriculteurs d'exprimer leurs intentions sous la forme d'un planning flexible lors des enquêtes. Cependant, étant donnée la difficulté rencontrée par certains agriculteurs dans cette tâche (ex., certains ont dû vérifier les dates des opérations dans leur cahier d'enregistrement des opérations), les intentions ont peut être une autre forme qu'il s'agit d'explorer avec des enquêtes plus poussées.

Finalement, dans cette thèse, et plus généralement dans la littérature, si les états cognitifs ont pu être partiellement approchés à partir de différents protocoles d'enquêtes, les mécanismes mentaux affectant ces états ont eux été plus difficiles d'accès. En conséquent, nous ne pouvons pas à ce stade détailler les mécanismes d'évolution des objectifs ou des intentions, de perception de l'information ou de sa sélection. Même si un processus d'optimisation peut raisonnablement être écarté à l'échelle des décisions opérationnelles, nous pouvons seulement faire des hypothèses concernant les processus sous-jacents ces mécanismes. Certains auteurs considèrent des mécanismes à base de règles de décisions indiquant dans quelles conditions une opération doit être réalisée et selon quelles modalités, ou encore, quand changer les objectifs (ex., Martin-Clouaire and Rellier (2009)). Mais dans un contexte de rationalité limitée, nous pouvons nous demander si un agriculteur peut avoir en mémoire l'ensemble de ces règles. D'autres cadres basés sur la reconnaissance de situations (Klein, 1999) semblent alors plus réalistes, mais ils n'ont pas à notre connaissances été appliqués à l'agriculture. Une autre possibilité serait que l'agriculteur n'évalue qu'une alternative à la fois. Cette évaluation pourrait par exemple prendre la forme d'une somme d'arguments positifs et négatifs (Dubois and Prade, 2008). Afin de discriminer entre ces différentes hypothèses de nouvelles techniques d'enquêtes doivent être élaborées.

9.1.2 Des modes de décision à préciser

Pour mettre en évidence les différentes utilisation du processus de prise de DO par les agriculteurs, trois facteurs discriminants des modes de décision ont été mis en avant : le degré d'anticipation, d'assistance et de délibération. Cependant, d'autres critères discriminants auraient pu être étudiés. Par exemple, nous avons vu que les décisions opérationnelles peuvent suivre des objectifs multiples et à plus ou moins long terme. La distance temporelle entre l'objectif ciblé et le moment d'exécution de la décision pourrait donc être un facteur de discrimination des modes de décision. Elle définirait des modes de décision que nous pourrions nommer plus ou moins "visionnaires". Cet aspect à très peu été étudié en agriculture excepté dans Macé et al. (2007). Aussi, les méthodes d'enquêtes permettant d'évaluer ce critère doivent être imaginées.

Dans cette thèse, même si les méthodes proposées sont génériques, les modes de décision ont été mesurés dans un cas d'étude précis : la gestion des maladies fongiques du blé tendre. S'il est apparu une variété de modes entre agriculteurs, nous n'avons pas cherché à savoir si ces modes représentent une caractéristique propre à l'individu ou s'ils dépendent de la décision considérée. En effet, un exploitant a souvent plusieurs parcelles d'une même culture mais aussi plusieurs cultures voire plusieurs types de production. Lors des enquêtes exploratoires, certains agriculteurs ont signalé prendre des décisions de manière plus réactive sur leur blé que sur leur colza. Il serait intéressant de préciser le rôle de la culture, de l'opération et de la parcelle sur les modes de décisions. L'application de la méthode proposée à différents cas d'étude permettrait une telle précision.

Enfin, nous proposons différentes méthodes pour mesurer de manière directe chacune des facettes des modes de décision. Cependant, d'autres méthodes auraient pu être testées afin de consolider nos résultats. Par exemple, le niveau de délibération est, dans les trois méthodes proposées, mesuré via la quantité d'information utilisée lors de la prise de décision. La nature de l'information utilisée est étudiée pour caractériser les modalités de la simplification du processus de DO mais aucun indicateur qualitatif n'est pris en compte lors de la mesure des modes de décision. Il semble intéressant d'étendre cette première étude en analysant à la fois la quantité et la qualité de cette information utilisée. Concernant le niveau d'anticipation du processus de décision, d'autres protocoles pourraient aussi permettre d'af-

finer la compréhension des modes de décision. Par exemple, nous pourrions demander aux agriculteurs le planning de leurs activités à différents moments de l'année afin d'identifier les modalités d'évolution de celui-ci. Dans la partie scénario, seul un critère quantitatif a été retenu pour l'analyse (le nombre de fois qu'un agriculteur change ses intentions face à la nouvelle information), nous pourrions aussi nous intéresser au type d'information qui fait réagir ou non les agriculteurs (Cf. Annexe B). Enfin, pour mesurer le niveau d'assistance lors de la prise de décision, nous nous concentrons sur le réseau des agriculteurs sans étudier dans le détail l'information communiquée via ces réseaux. Une analyse plus précise est donc nécessaire pour préciser le niveau d'assistance des DO des agriculteurs.

Les enquêtes réalisées ont été très coûteuses car très longues. Afin de réduire le temps d'enquête pour éliciter ces modes de décision, nous pourrions imaginer une méthode qui permettrait d'éliciter en une fois les trois facteurs discriminants des modes de décision. Par exemple, plusieurs évolutions de l'expérience d'information à la demande peuvent être envisagées en ce sens. Dans le protocole proposé, l'agriculteur doit prendre sa décision en début de saison culturale et il ne peut pas choisir le niveau de précision de l'information qui lui est fourni, ni même sa source. Une méthode qui permettrait à l'agriculteur d'avancer dans le temps et de demander à chaque pas de temps l'information qui lui est nécessaire pour prendre sa décision (sa source et sa précision) permettrait d'éliciter, en une expérience, les trois facteurs de discrimination des modes de décision des agriculteurs. En effet, avec une telle expérience, la quantité, la nature, la source de l'information utilisée, mais aussi les intentions des agriculteurs et leurs évolutions, peuvent être élicités.

9.1.3 Evaluation des connaissances et des décisions des agriculteurs

Au cours de cette thèse, le processus de décision des agriculteurs et ses composantes ont été étudiés en faisant peu de jugement sur ce qui serait un bon ou un mauvais processus. De même, les connaissances et l'information utilisée dans le processus de décision ont été étudiées sans porter d'appréciation sur les "bonnes connaissances" ou "la bonne information à utiliser".

Le seul jugement de valeur concerne l'intensification des pratiques. Afin de mesurer ce niveau d'intensification, nous avons utilisé un indicateur synthétique de la quantité de produit phyto-sanitaires utilisée : l'IFT. Cet indicateur est couramment utilisé que ce soit parmi la

communauté scientifique ou politique mais aussi par les agriculteurs eux-mêmes (ex., pour faire leurs déclarations). D'autres indicateurs de l'intensification des pratiques auraient pu être utilisés. Par exemple, l'IFT ne prend pas en compte les différents niveaux de risque de toxicité associés aux produits utilisés. Cependant, il n'y a pas de consensus sur un critère de toxicité. Aussi, nous avons constaté que les agriculteurs ne savent pas tous quelles sont les matières actives constituant les différents produits commerciaux qu'ils utilisent, ni même, ne se rappellent le nom du produit utilisé (Cf., Annexe A). L'évaluation de cette toxicité est donc difficile. Si les contraintes environnementales et sanitaires nous forcent à être attentifs au niveau d'intensification des pratiques, une bonne décision peut aussi être définie sur la base de critères économiques ou sociaux. Ces critères n'ont pas été pris en compte dans la thèse. Une perspective de cette thèse serait donc de relier les modes de décisions des agriculteurs à différents indicateurs tels que, leurs marges, leurs rendements, ou encore, le nombre de passages de traitements effectués.

Au cours de cette thèse, les connaissances et l'information utilisées par les agriculteurs ont été élicitées sans être jugées. Afin de les mettre à l'épreuve, différents protocoles peuvent être proposés. Par exemple, les connaissances peuvent être comparées à celles d'un panel d'experts. Une autre possibilité serait de tester la capacité des connaissances des agriculteurs à bien simuler le développement des maladies du blé. Une telle analyse a été entreprise au cours de cette thèse. Elle est basée sur le modèle IPSIM-wheat (Robin, 2013), un modèle de simulation qualitative à base de tables d'agrégation. Nous avons, pour chaque agriculteur, construit un modèle de simulation du développement de la rouille brune du blé tendre à partir de ses connaissances (Cf. Annexe C). Un certain nombre de problèmes techniques restent à résoudre afin de valider les résultats. A l'heure actuelle, il semble cependant que les agriculteurs considérant le moins de facteurs soient ceux qui simulent le mieux le développement des maladies. Cette conclusion validerait l'utilisation d'heuristiques pour se concentrer sur les quelques facteurs les plus importants qui expliqueraient le développement des maladies du blé.

9.1.4 Implications des résultats pour le conseil en agriculture

Malgré les limites mentionnées, cette étude a été conclusive et il est possible d'en tirer un certain nombre de recommandations en ce qui concerne le conseil en agriculture. Deux

catégories de recommandations sont proposées dans cette section. D'une part, nous nous intéressons à la possibilité d'orienter les agriculteurs vers des modes de décision qui seraient les plus durables, c'est-à-dire, associés aux pratiques les moins intensives. D'autre part, nous discutons l'opportunité d'adapter le conseil aux différents modes de décision des agriculteurs.

Cette thèse a montré que certains modes de décision sont associés à des pratiques plus intensives que d'autres. En faisant l'hypothèse que les modes de décision ne sont pas fixes pour un individu donné, nous pourrions orienter les agriculteurs vers les modes les plus durables. En particulier, le mode de décision réactif est associé à une utilisation moindre de produits fongicides. Lors des enquêtes exploratoires, un certain nombre de freins à cette réactivité ont été identifiés. Par exemple, les connaissances ont été identifiées comme un frein majeur au mode de décision réactif pour la culture du colza (une culture peu développée dans la région et donc avec peu d'expertise). Certains agriculteurs ont aussi mentionné le frein lié à l'achat hors saison des traitements antifongiques : une fois acheté, le produit est utilisé. La reprise des produits non utilisés est un enjeu majeur pour que les agriculteurs n'aient pas à choisir entre des coûts bas et la possibilité de traiter de manière réactive. Nous avons vu que les modes de décisions les plus délibératifs sont aussi associés à une intensification moindre des pratiques. Plus spécifiquement, nous avons montré que plus les agriculteurs utilisent d'informations lors de leur prise de décision, moins ils utilisent de produits antifongiques sur le blé tendre. Une piste pour aider les agriculteurs à utiliser moins de produits fongicides serait de les pousser à prendre en compte plus d'informations lors de leur prise de décision. Cependant, une augmentation des connaissances des agriculteurs n'est pas forcement liée à une utilisation accrue d'information lors de la décision puisque nous avons mis en évidence un mécanisme de simplification du processus de DO. Afin de pouvoir accompagner les agriculteurs, de nouvelles études sur cet aspect sont nécessaires pour préciser la manière dont l'information est sélectivement simplifiée par l'agriculteur. Enfin, il est apparu que le niveau d'assistance a un lien ambigu avec l'intensification des pratiques. En effet, plus les agriculteurs voient de conseillers sur l'année, plus ils traitent de manière intensive. Cependant, le fait d'appartenir à un groupement technique d'agriculteurs est lié à une intensification moindre. Ces résultats doivent être précisés (notamment les liens de cause à effet). Cependant, ils semblent être en faveur de la séparation de la composante commerciale et technique du conseil comme c'est déjà le cas dans de nombreux pays (Labarthe, 2005).

La seconde possibilité mentionnée pour améliorer le conseil est d'adapter le conseil aux modes de décision des agriculteurs. Par exemple, seuls les agriculteurs avec des modes de décision assistés tireraient bénéfice d'une amélioration des compétences des conseillers. Les agriculteurs réactifs peuvent tirer profit de newsletters régionales sur l'état des cultures et des différentes pestes au cours de l'année, alors que les agriculteurs qui anticipent leurs décisions ne seront pas affectés par ces informations. Enfin, les agriculteurs avec les modes de décision les plus automatiques bénéficieront moins d'un accroissement de l'information disponible que des agriculteurs plus délibératifs. Ils semble donc important de proposer des modalités d'accompagnement variées qui puissent être utiles à l'ensemble des catégories d'agriculteurs.

Pour finir, dans un contexte de rationalité limitée, nous avons vu que les agriculteurs simplifient leur processus de décision, notamment en sélectionnant l'information qu'ils prennent en compte lors de leur processus de décision. Même si le niveau de délibération varie entre agriculteurs, nous avons vu que peu de facteurs agronomiques sont pris en compte lors des décisions de traitements antifongiques (principalement la variété et, dans une moindre mesure, la rotation). Puisqu'un accroissement des connaissances techniques des agriculteurs n'est pas forcement corrélé à un accroissement de l'information utilisée lors de la prise de décision, une possibilité pour guider les agriculteurs dans leurs choix est l'utilisation de *nudges*. Un *nudge* (littéralement, un coup de pouce) est un moyen d'influencer les décisions sans imposer ou éliminer d'alternatives, et sans changer l'intérêt économique relatif à une pratique (Thaler and Sunstein, 2008). Les *nudges* sont basés sur l'hypothèse de la rationalité limitée. Ils influencent les choix des individus en tentant d'orienter le processus de décision vers un mode automatique. Par exemple, un *nudge* classiquement utilisé pour inciter les personnes à avoir une alimentation plus saine est de positionner la nourriture la plus diététique au premier plan dans les présentoirs des cantines, et la moins diététique en arrière plan ou plus difficilement accessible. Quelques auteurs se sont penchés sur l'utilisation de ces *nudges* en agriculture comme un outils complémentaire de ceux classiquement utilisés en politique (la réglementation, les taxes et les subventions) (Barnes et al., 2013; Kuhfuss et al., 2015; Valatin et al., 2016). Les normes semblent avoir un impact important sur les décisions des agriculteurs. Les *nudges* pourraient donc jouer sur ces normes afin d'influencer les comportements. Par exemple, une campagne de communication présentant des pratiques innovantes, durables, mises en place par des agriculteurs et considérées comme intéressantes

par ces mêmes agriculteurs, pourrait changer les normes associées à ces pratiques et donc en favoriser l'attractivité et l'acceptabilité. Cependant, l'utilisation de *nudges* en politique a parfois été critiquée comme étant une pratique aliénante qui ne pousse pas le décideur à une réflexion sur le long terme. De nouvelles études sur les opportunités et les risques associés à l'utilisation de *nudges* en agriculture sont donc nécessaires.

9.2 Conclusion

Malgré un certain nombre de limites, cette thèse propose une approche innovante permettant d'étudier le processus de prise de DO des agriculteurs. Les résultats concluants mettent en avant, d'une part, le rôle des caractéristiques de ce processus de prise de décision pour expliquer les pratiques des agriculteurs, et d'autre part, des mécanismes de simplification associés à ce processus. L'identification de facteurs de discrimination des modes de décisions et la construction de méthodes pour leur élicitation constituent aussi deux apports importants de cette thèse. Ces résultats nous ont permis de proposer plusieurs pistes afin de mieux accompagner les agriculteurs dans leur prise de décision. Plus généralement, ils ouvrent la voie vers de nouvelles études pluridisciplinaires encore plus ambitieuses qui permettront de mieux préciser les caractéristiques du processus de prise de DO des agriculteurs ainsi que leurs impacts sur les pratiques.

Bibliographie

Agreste (2013). Résultats RICA Midi-Pyrénées - Analyse finacière. *Midi-Pyrénées Données*, (76).

Agreste (2016). Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt.

Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes*, 50(2) :179–211.

Akplogan, M. (2013). *Approche modulaire pour la planification continue : application à la conduite des systèmes de culture*. PhD thesis, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier, INRA - MIAT UR0875.

Akplogan, M., Quesnel, G., Garcia, F., Joannon, A., and Martin-Clouaire, R. (2010). Towards a deliberative agent system based on DEVS formalism for application in agriculture. In *Proceedings of the 2010 Summer Computer Simulation Conference*, pages 250–257. Society for Computer Simulation International. 00004.

Aubertot, J. N., Barbier, J. M., Carpentier, A., Gril, J. J., Guichard, L., Lucas, P., Savary, S., Savini, I., and Voltz, M. (2005). Pesticides, agriculture and the environment. Reducing the use of pesticides and limiting their environmental impact. *Ministère Agriculture Pêche, Ministère Écologie Développement Durable (ed) Collective Sci Expertise INRA Cemagref, Fr.*

Aubertot, J.-N. and Robin, M.-H. (2013). Injury Profile SIMulator, a qualitative aggregative modelling framework to predict crop injury profile as a function of cropping practices, and the abiotic and biotic environment. I. Conceptual bases. *PLoS one*, 8(9) :e73202.

Aubry, C. (2007). *La gestion technique des exploitations agricoles, composante de la théorie agronomique*. PhD thesis, INRA.

Aubry, C., Papy, F., and Capillon, A. (1998). Modelling decision-making processes for annual crop management. *Agricultural Systems*, 56(1) :45–65.

Barnes, A. P., Toma, L., Willock, J., and Hall, C. (2013). Comparing a 'budge' to a 'nudge' : Farmer responses to voluntary and compulsory compliance in a water quality management regime. *Journal of Rural Studies*, 32 :448–459.

Bergez, J.-E., Raynal, H., Joannon, A., Casellas, E., Chabrier, P., Justes, E., Quesnel, G., and Véricel, G. (2016). A new plug-in under RECORD to link biophysical and decision models for crop management. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1) :1–8.

Bitran, G. R. and Hax, A. C. (1977). On the Design of Hierarchical Production Planning Systems. *Decision Sciences*, 8(1) :28–55.

Bitsch, V. (2000). Agricultural economics and qualitative research : Incompatible paradigms ? In *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum : Qualitative Social Research*, volume 1.

Blazy, J.-M., Ozier-Lafontaine, H., Doré, T., Thomas, A., and Wery, J. (2009). A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agricultural systems*, 101(1) :30–41.

Blythe, J. and Reilly, W. S. (1993). Integrating reactive and deliberative planning for agents. Technical report, DTIC Document.

Bocquého, G., Jacquet, F., and Reynaud, A. (2014). Expected utility or prospect theory maximisers ? Assessing farmers' risk behaviour from field-experiment data. *European Review of Agricultural Economics*, 41(1) :135–172.

Bonnefon, J.-F., Dubois, D., Fargier, H., and Leblois, S. (2008). Qualitative heuristics for balancing the pros and cons. *Theory and Decision*, 65(1) :71–95.

Bouyssou, D., Dubois, D., Prade, H., and Pirlot, M. (2013). *Decision Making Process : Concepts and Methods*. John Wiley & Sons.

Bratman, M. (1987). Intention, plans, and practical reason.

Broch, S. W. and 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(4) :561–581.

Burton, R. J. (2004). Reconceptualising the 'behavioural approach'in agricultural studies : a socio-psychological perspective. *Journal of Rural studies*, 20(3) :359–371.

Castella, J.-C., Trung, T. N., and Boissau, S. (2005). Participatory simulation of land-use changes in the northern mountains of Vietnam : the combined use of an agent-based model, a role-playing game, and a geographic information system. *Ecology and Society*, 10(1) :27.

Cerf, M., Papy, F., Angevin, F., and others (1998). Are farmers expert at identifying workable days for tillage ? *Agronomie*, 18(1) :45–59.

Cerf, M. and Sebillotte, M. (1997). Approche cognitive des décisions de production dans l'exploitation agricole. *Economie rurale*, 239(1) :11–18.

Chavas, J.-P. (2004). *Risk Analysis in Theory and Practice*. Academic Press.

Chavent, M., Kuentz, V., Liquet, B., and Saracco, J. (2011). Classification de variables : le package clustofvar. In *43èmes Journées de Statistique (SFdS)*, pages 6–p.

Chell, E. (1998). Critical incident technique. In *Qualitative Methods in Organizational Research : A Practical Guide*, number Sage. Symon, G. and Cassell, C., London.

Clark, R. E., Feldon, D., van Merriënboer, J. J., Yates, K., and Early, S. (2008). Cognitive task analysis. *Handbook of research on educational communications and technology*, 3 :577–593. 00124.

Corbin, J. and Strauss, A. (2008). *Basics of qualitative research : Techniques and procedures for developing grounded theory*. Sage.

Couture, S., Reynaud, A., Dury, J., and Bergez, J. E. (2010). Farmer's Risk Attitude : Reconciliating Stated and Revealed Preference Approaches. In *Fourth World Congress of Environmental and Resource Economists*, pages 10–2.

Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychological bulletin*, 104(2) :163.

Crandall, B., Klein, G. A., and Hoffman, R. R. (2006). *Working minds : A practitioner's guide to cognitive task analysis*. Mit Press.

Cranmer, S. J. and Gill, J. (2013). We have to be discrete about this : A non-parametric imputation technique for missing categorical data. *British Journal of Political Science*, 43(02) :425–449.

Cros, M. J., Duru, M., Garcia, F., and Martin-Clouaire, R. (2004). Simulating management strategies : the rotational grazing example. *Agricultural Systems*, 80(1) :23–42. 00055.

Crowder, M. (2012). Decision-making : two schools of thought or one ? In *Salford Postgraduate Annual Research Conference*, page 47.

D'Aquino, P., Barreteau, O., Etienne, M., Boissau, S., Aubert, S., Bousquet, F., Le Page, C., and Daré, W. (2002). The Role Playing Games in an ABM participatory modeling process : outcomes from five different experiments carried out in the last five years. In *Integrated assessment and decision support. iEMSs. 1st biennial meeting of the International Environmental Modelling and Software Society, Lugano, Switzerland*, pages 24–27.

Daydé, C., Couture, S., Garcia, F., and Martin-Clouaire, R. (2014). Investigating Operational Decision-Making in Agriculture. In *2014 International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs)*, San Diego, USA. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs).

Daydé, C., Couture, S., and Martin-Clouaire, R. (In prep.). Capturing the heterogeneity within the farmers' decision-making process to explain management practices. Application to fungicides use on soft wheat in south-west France.

Debanne, T. and Chauvin, C. (2013). Cognitive control in the activity of handball coach. In *International Conference on Naturalistic Decision-Making*.

Denzin, N. K. (1970). *The research act : A theoretical introduction to sociological methods*. Transaction publishers.

Dubois, D. and Prade, H. (2008). An introduction to bipolar representations of information and preference. *International Journal of Intelligent Systems*, 23(8) :866–877.

Dury, J. (2011). The cropping-plan decision-making : a farm level modelling and simulation approach.

Dury, J., Garcia, F., Reynaud, A., and Bergez, J.-E. (2013). Cropping-plan decision-making on irrigated crop farms : A spatio-temporal analysis. *European Journal of Agronomy*, 50 :1–10.

Dury, J., Garcia, F., Reynaud, A., Therond, O., and Bergez, J. E. (2010). Modelling the Complexity of the Cropping Plan Decision-making". In *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 2010 International Congress on Environmental Modelling and Software, Modelling for Environment's Sake, Fifth Biennial Meeting, Ottawa, Canada.*

Eckel, C. C. and Grossman, P. J. (2008). Men, women and risk aversion : Experimental evidence. *Handbook of experimental economics results*, 1 :1061–1073.

Endsley, M. R. (2000). Theoretical underpinnings of situation awareness : A critical review. *Situation awareness analysis and measurement*, pages 3–32.

Espinosa-Goded, M., Barreiro-Hurlé, J., and Ruto, E. (2010). What Do Farmers Want From Agri-Environmental Scheme Design ? A Choice Experiment Approach. *Journal of Agricultural economics*, 61(2) :259–273.

Fairweather, J. R. and Hunt, L. M. (2011). Can farmers map their farm system ? Causal mapping and the sustainability of sheep/beef farms in New Zealand. *Agriculture and human values*, 28(1) :55–66.

Feola, G. and Binder, C. R. (2010). Towards an improved understanding of farmers' behaviour : The integrative agent-centred (IAC) framework. *Ecological Economics*, 69(12) :2323–2333.

Fishbein, M. and Ajzen, I. (1977). Belief, attitude, intention, and behavior : An introduction to theory and research. *Addison-Wesley, Reading, M.A.*

Fountas, S., Wulfsohn, D., Blackmore, B. S., Jacobsen, H. L., and Pedersen, S. M. (2006). A model of decision-making and information flows for information-intensive agriculture. *Agricultural Systems*, 87(2) :192–210.

Gent, D. H., De Wolf, E., and Pethybridge, S. J. (2011). Perceptions of risk, risk aversion, and barriers to adoption of decision support systems and integrated pest management : an introduction. *Phytopathology*, 101(6) :640–643.

Gigerenzer, G. and Gaissmaier, W. (2011). Heuristic decision making. *Annual review of psychology*, 62 :451–482.

Gladwin, C. H. (1989). Indigenous knowledge systems, the cognitive revolution, and agricultural decision making. *Agriculture and Human Values*, 6(3) :32–41.

Gray, D. I., Parker, W. J., and Kemp, E. (2009). Farm management research : a discussion of some of the important issues. *Journal of International Farm Management*, 5(1) :1–24. 00001.

Guillaume, S., Bruzeau, C., Justes, E., Lacroix, B., and Bergez, J.-E. (2016). A conceptual model of farmers' decision-making process for nitrogen fertilization and irrigation of durum wheat. *European Journal of Agronomy*, 73 :133–143.

Halberg, N. (1999). Indicators of resource use and environmental impact for use in a decision aid for Danish livestock farmers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 76(1) :17–30.

Hardaker, J. B. (2004). *Coping with risk in agriculture*. Cabi.

Hazell, P. B. and Norton, R. D. (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. Macmillan New York.

Hellerstein, D., Higgins, N., and Horowitz, J. (2013). The predictive power of risk preference measures for farming decisions. *European Review of Agricultural Economics*.

Heong, K. L. and Escalada, M. M. (1999). Quantifying rice farmers' pest management decisions : beliefs and subjective norms in stem borer control. *Crop Protection*, 18(5) :315–322.

Hoc, J.-M. and Amalberti, R. (2007). Cognitive control dynamics for reaching a satisficing performance in complex dynamic situations. *Journal of cognitive engineering and decision making*, 1(1) :22–55.

Hoffman, R. R. and Lintern, G. (2006). Eliciting and representing the knowledge of experts. *Cambridge handbook of expertise and expert performance*, pages 203–222.

Holt, C. A., Laury, S. K., and others (2002). Risk aversion and incentive effects. *American economic review*, 92(5) :1644–1655.

Jager, W. (2000). *Modelling consumer behaviour*. PhD thesis.

Jager, W. and Janssen, M. (2012). An updated conceptual framework for integrated modeling of human decision making : The Consumat II. In *Paper for Workshop Complexity in the Real World@ ECCS*.

Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models : Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Number 6. Harvard University Press. 09124.

Juristo, N. and Moreno, A. M. (2000). Introductory paper : Reflections on conceptual modelling. *Data & Knowledge Engineering*, 33(2) :103–117.

Kahneman, D. (2003). Maps of bounded rationality : Psychology for behavioral economics. *The American economic review*, 93(5) :1449–1475.

Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Macmillan. 02775.

Keating, B. A., Carberry, P. S., Hammer, G. L., Probert, M. E., Robertson, M. J., Holzworth, D., Huth, N. I., Hargreaves, J. N. G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J. P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K. L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R. L., Freebairn, D. M., and Smith, C. J. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18(3–4) :267–288.

Klein, G. (2008). Naturalistic decision making. *Human Factors : The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(3) :456–460. 00388.

Klein, G. and Hoffman, R. R. (2008). Macrocognition, mental models, and cognitive task analysis methodology. *Naturalistic decision making and macrocognition*, pages 57–80. 00018.

Klein, G. A. (1999). *Sources of power : How people make decisions*. MIT press.

Klein, G. A., Orasanu, J. E., Calderwood, R. E., and Zsambok, C. E. (1993). Decision making in action : Models and methods. In *This book is an outcome of a workshop held in Dayton, OH, Sep 25–27, 1989.* Ablex Publishing. 00934.

Kuhfuss, L., Préget, R., Thoyer, S., Hanley, N., Le Coent, P., Désolé, M., and others (2015). Nudges, social norms and permanence in agri-environmental schemes. *Discussion papers in environmental economics*, 15.

Labarthe, P. (2005). Trajectoires d'innovation des services et inertie institutionnelle : dynamique du conseil dans trois agricultures européennes. *Géographie, économie, société*, 7(3) :289–311.

Lardon, S., Caron, P., Bronner, A. C., Giacommel, G., Raymond, R., and Brau, F. (2008). Jeu collaboratif de construction de territoire : interagir par les représentations spatiales. *Revue internationale de géomatique*, 18(4) :507–530.

Le Gal, P.-Y., Merot, A., Moulin, C.-H., Navarrete, M., and Wery, J. (2010). A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems. *Environmental Modelling & Software*, 25(2) :258–268.

Lechenet, M., Makowski, D., Py, G., and Munier-Jolain, N. (2016). Profiling farming management strategies with contrasting pesticide use in France. *Agricultural Systems*, 149 :40–53.

Lichtenstein, S. and Slovic, P. (2006). *The construction of preference*. Cambridge University Press.

Lipshitz, R. and Strauss, O. (1997). Coping with uncertainty : A naturalistic decision-making analysis. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 69(2) :149–163.

Macé, K., Morlon, P., Munier-Jolain, N., and Quere, L. (2007). Time scales as a factor in decision-making by French farmers on weed management in annual crops. *Agricultural Systems*, 93(1-3) :115–142.

Magne, M.-A. and Cerf, M. (2009). How information becomes a resource for action in an uncertain and complex world : Sense-making and contingency in the knowing process. *Outlook on agriculture*, 38(2) :157–165. 00011.

Malawska, A. and Topping, C. J. (2016). Evaluating the role of behavioral factors and practical constraints in the performance of an agent-based model of farmer decision making. *Agricultural Systems*, 143 :136–146.

Marcilly, R., Anceaux, F., Luyat, M., and Tijus, C. (2006). Affordances and cognitive control of dynamic situations : the case of driving. EAM-European Annual Conference on Human Decision-Making and Manual Control, Valenciennes.

Martin, G., Felten, B., and Duru, M. (2011). Forage rummy : A game to support the participatory design of adapted livestock systems. *Environmental Modelling & Software*, 26(12) :1442–1453.

Martin-Clouaire, R. and Rellier, J.-P. (2009). Modelling and simulating work practices in agriculture. *International Journal of Metadata, Semantics and Ontologies*, 4(1) :42–53.

Martin-Clouaire, R. and Rellier, J. P. (2011). Dynamic resource allocation in a farm management simulation.

Martin-Clouaire, R., Rellier, J.-P., Paré, N., Voltz, M., and Biarnès, A. (2016). Modelling Management Practices in Viticulture while Considering Resource Limitations : The Dhivine Model. *PloS one*, 11(3) :e0151952.

McCown, R. L. (2005). New thinking about farmer decision makers. *The Farmer's Decision : Balancing Economic Agriculture Production with Environmental Quality*, pages 11–44.

McCown, R. L. (2012). A cognitive systems framework to inform delivery of analytic support for farmers' intuitive management under seasonal climatic variability. *Agricultural Systems*, 105(1) :7–20.

McCown, R. L., Carberry, P. S., Dalgliesh, N. P., Foale, M. A., and Hochman, Z. (2012). Farmers use intuition to reinvent analytic decision support for managing seasonal climatic variability. *Agricultural systems*, 106(1) :33–45.

Meylan, L., Merot, A., Gary, C., and Rapidel, B. (2013). Combining a typology and a conceptual model of cropping system to explore the diversity of relationships between ecosystem services : The case of erosion control in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica. *Agricultural Systems*, 118 :52–64.

Mialhe, F., Becu, N., and Gunnell, Y. (2012). An agent-based model for analyzing land use dynamics in response to farmer behaviour and environmental change in the Pampanga delta (Philippines). *Agriculture, ecosystems & environment*, 161 :55–69.

Midi-Pyrénées, A. (2014). Agroscope, Les pratiques culturales du blé en 2011. Technical Report 4.

Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two : Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2) :81.

Ministère de l'agriculture, d. l. e. d. l. f. (2015). Plan Ecophyto 2.

Moschini, G. and Hennessy, D. A. (2001). Chapter 2 Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers. volume 1, Part A of *Agricultural Production*, pages 87–153. Elsevier.

Navarrete, M. and Le Bail, M. (2007). SALADPLAN : a model of the decision-making process in lettuce and endive cropping. *Agronomy for sustainable development*, 27(3) :209–221.

Nave, S., Jacquet, F., and Jeuffroy, M.-H. (2013). Why wheat farmers could reduce chemical inputs : evidence from social, economic, and agronomic analysis. *Agronomy for sustainable development*, 33(4) :795–807.

Nuthall, P. L. (2001). Managerial ability—a review of its basis and potential improvement using psychological concepts. *Agricultural Economics*, 24(3) :247–262.

Nuthall, P. L. (2010). *Farm business management : the core skills*. CABI.

Nuthall, P. L. (2011). *Farm business management : analysis of farming systems*. CABI. 00000.

Nuthall, P. L. (2012). The intuitive world of farmers–the case of grazing management systems and experts. *Agricultural Systems*, 107 :65–73.

Ohlmér, B., Olson, K., and Brehmer, B. (1998). Understanding farmers' decision making processes and improving managerial assistance. *Agricultural Economics*, 18(3) :273–290.

Popp, J., Pet\Ho, K., and Nagy, J. (2013). Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy for sustainable development*, 33(1) :243–255.

Rasmussen, J. (1976). Outlines of a Hybrid Model of the Process Plant Operator. In Sheridan, T. B. and Johannsen, G., editors, *Monitoring Behavior and Supervisory Control*,

number 1 in NATO Conference Series, pages 371–383. Springer US. DOI : 10.1007/978-1-4684-2523-9_31.

Raufaste, E. and Vautier, S. (2008). An evolutionist approach to information bipolarity : Representations and affects in human cognition. *International Journal of Intelligent Systems*, 23(8) :878–897. 00011.

Righi, E., Dogliotti, S., Stefanini, F. M., and Pacini, G. C. (2011). Capturing farm diversity at regional level to up-scale farm level impact assessment of sustainable development options. *Agriculture, ecosystems & environment*, 142(1) :63–74.

Rimoldi, H. J. (1955). A technique for the study of problem solving. *Educational and Psychological Measurement*, 15(4) :450–461.

Rimoldi, H. J. A. (2004). Processus de décision et fonctions mentales complexes. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 54(1) :25–32.

Robert, M., Thomas, A., Sekhar, M., Badiger, S., Ruiz, L., Raynal, H., and Bergez, J.-E. (2016). Adaptive and dynamic decision-making processes : A conceptual model of production systems on Indian farms. *Agricultural Systems*.

Robin, M.-H. (2013). *Analyse et modélisation des effets des pratiques culturales et de la situation de production sur les dégâts causés par les bioagresseurs des cultures. Application au blé d'hiver*. PhD thesis.

Rodriguez, D., Power, B., Cox, H., Crimp, S., Meinke, H., and others (2011). The intrinsic plasticity of farm businesses and their resilience to change. An Australian example. *Field Crops Research*, 124(2) :157–170.

Rougoor, C. W., Trip, G., Huirne, R., and Renkema, J. A. (1998). How to define and study farmers' management capacity : theory and use in agricultural economics. *Agricultural Economics*, 18(3) :261–272.

Roussy, C. (2016). *Systèmes de culture innovants : déterminants et rôle du risque*. PhD thesis, Université Européenne de Bretagne.

Savage, L. (1954). *The Foundations of Statistics*. New York : John Wiley and Sons.

Savage, L. J. (1971). Elicitation of personal probabilities and expectations. *Journal of the American Statistical Association*, 66(336) :783–801.

Scarpino, V., Reyneri, A., Sulyok, M., Krska, R., and Blandino, M. (2015). Effect of fungicide application to control Fusarium head blight and 20 Fusarium and Alternaria mycotoxins in winter wheat (Triticum aestivum L.). *World Mycotoxin Journal*, 8(4) :499–510.

Schraagen, J. M. (2008). *Naturalistic decision making and macrocognition*. Ashgate Publishing, Ltd.

Sebillotte, S. (1991). Décrire des tâches selon les objectifs des opérateurs, de l'interview à la formalisation. *Le travail humain*, pages 193–223.

Simon, H. A. (1955). A behavioral model of rational choice. *The quarterly journal of economics*, 69(1) :99–118. 09569.

Simon, H. A. (1992). De la rationalité substantive à la rationalité procédurale. *Revue Pistes*, 3.

Simon, H. A. (1996). *The sciences of the artificial*. MIT press. 00033.

Solano, C., León, H., Pérez, E., Tole, L., Fawcett, R. H., and Herrero, M. (2006). Using farmer decision-making profiles and managerial capacity as predictors of farm management and performance in Costa Rican dairy farms. *Agricultural Systems*, 88(2) :395–428.

Solano, C., Leon, H., Perez, E., and Herrero, M. (2003). The role of personal information sources on the decision-making process of Costa Rican dairy farmers. *Agricultural systems*, 76(1) :3–18.

Sørensen, C. G., Fountas, S., Nash, E., Pesonen, L., Bochtis, D., Pedersen, S. M., Basso, B., and Blackmore, S. B. (2010a). Conceptual model of a future farm management information system. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72(1) :37–47. 00062.

Sørensen, C. G., Pesonen, L., Fountas, S., Suomi, P., Bochtis, D., Bildsøe, P., and Pedersen, S. M. (2010b). A user-centric approach for information modelling in arable farming. *Computers and Electronics in Agriculture*, 73(1) :44–55.

Taillandier, P., Therond, O., and Gaudou, B. (2012). A new BDI agent architecture based on the belief theory. Application to the modelling of cropping plan decision-making. In *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs)*.

Thaler, R. and Sunstein, C. (2008). *Improving decisions about health, wealth and happiness*. Yale University Press, New Haven.

Tversky, A. and Kahneman, D. (1992). Advances in prospect theory : Cumulative representation of uncertainty. *Journal of Risk and uncertainty*, 5(4) :297–323. 06515.

Urruty, N., Deveaud, T., Guyomard, H., and Boiffin, J. (2016). Impacts of agricultural land use changes on pesticide use in French agriculture. *European Journal of Agronomy*, 80 :113–123.

Valatin, G., Moseley, D., and Dandy, N. (2016). Insights from behavioural economics for forest economics and environmental policy : Potential nudges to encourage woodland creation for climate change mitigation and adaptation ? *Forest Policy and Economics*, 72 :27–36.

van Duinen, R., Filatova, T., Jager, W., and van der Veen, A. (2015). Going beyond perfect rationality : drought risk, economic choices and the influence of social networks. *The Annals of Regional Science*, pages 1–35.

Vayssières, J. (2008). *Modélisation participative et intégration des pratiques décisionnelles d'éleveurs dans un modèle global d'exploitation : application à l'évaluation de la durabilité des élevages laitiers d'une île tropicale*. PhD thesis, Montpellier SupAgro.

Vuillot, C., Coron, N., Calatayud, F., Sirami, C., Mathevet, R., and Gibon, A. (2016). Ways of farming and ways of thinking : do farmers' mental models of the landscape relate to their land management practices ? *Ecology and Society*, 21(1).

Winsen, F. V., Mey, Y. D., and Lauwers, L. (2013). Cognitive mapping : A method to elucidate and present farmers' risk perception. *Agricultural Systems*, pages 1–11.

Wooldridge, M. and Jennings, N. R. (1995). Intelligent agents : Theory and practice. *The knowledge engineering review*, 10(02) :115–152.

Yang, P., Iles, M., Yan, S., and Jolliffe, F. (2005). Farmers' knowledge, perceptions and practices in transgenic Bt cotton in small producer systems in Northern China. *Crop Protection*, 24(3) :229–239.

Zimmer, S., Liebe, U., Didier, J.-P., and He\s s, J. (2016). Luxembourgish farmers' lack of information about grain legume cultivation. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1) :1–10.

Appendices

Annexe A

Les enquêtes exploratoires

Introduction

Dans cette annexe, nous présentons la méthode et les résultats des enquêtes exploratoires. Ces enquêtes ont été utilisées, à la fois comme étape préalable à la construction de la méthode générale d'enquête (Cf., Annexe D), et afin de préciser les caractéristiques du processus de DO des agriculteurs pour la phase de modélisation. Plus spécifiquement, les objectifs de cette étude sont 1) d'identifier les situations de DO, 2) d'expliquer les DO prises, 3) de clarifier la dynamique du processus de décision et en particulier le rôle du caractère plus ou moins réactif ou assisté du processus de décision, et enfin 4) de tester des méthodes d'analyse du processus de DO des agriculteurs.

Méthode

Le cas d'étude

Le terrain d'étude sélectionné pour cette thèse est la région Midi-Pyrénées. Il s'agit d'une région fortement agricole (50% de la surface est dédié à l'agriculture) marquée par une grande diversité de conditions pédologiques et topographiques. A cette diversité naturelle, s'ajoute une grande diversité de productions (grandes cultures, élevage, arboriculture, etc.). Dans cette première phase expérimentale, nous étudions les pratiques en grandes cultures. Plus précisément, nous nous focalisons sur les décisions relatives à trois cultures de rente : le blé tendre, le colza et le tournesol. Ces cultures ont été choisies sur la base de l'analyse de la

littérature, mais aussi à partir de discussions avec des experts de la région. Elles répondent à des enjeux variés notamment en terme de complexité de la production et d'expertise associée (cf. Table A.1). Le tournesol et le blé tendre sont les deux cultures les plus présentes dans la région. Le niveau d'expertise (tant des producteurs que des services de conseils) associé à ces cultures est en conséquence important. Le colza est au contraire une culture moins présente et pour laquelle une moins grande expertise a été accumulée sur la région. Le colza et le blé tendre sont aussi des cultures complexes. Elles restent en terre une majeure partie de l'année et sont donc susceptibles d'être menacées par un grand nombre de pestes. Au contraire, le tournesol se sème au printemps et se récolte à l'automne. Il reste en moyenne cinq mois en terre et a moins de pestes potentielles. Dans la région, la culture du tournesol est en conséquence considérée comme peu complexe.

Culture	**Complexité**	**Expertise**
Blé tendre	+	+
Colza	+	-
Tournesol	-	+

TABLE A.1 – Niveaux relatifs d'expertise dans la région Midi-Pyrénées et de complexité de la production pour le blé tendre, le colza et le tournesol

Six agriculteurs ont été sélectionnés pour ces interviews. Afin d'analyser des situations contrastées, la sélection des agriculteurs a visé une diversité relative au type de production (polyculture-élevage et grandes cultures), à la qualité des sols, au sexe de l'exploitant et à la taille des exploitations. De plus, tous les agriculteurs interviewés devaient produire au moins deux des trois cultures sélectionnées pour cette analyse.

Le protocole d'enquêtes

La principale difficulté de la méthode est d'arriver à étudier un processus (le processus de DO) qui n'est pas directement observable puisqu'il se déroule dans le cerveau de l'agriculteur. Nous pouvons uniquement observer le résultat de ce processus (le choix de l'agriculteur) lorsque celui-ci se traduit par une action. A cette première difficulté s'ajoute le fait que le processus de décision est parfois réalisé de manière non-consciente. L'agriculteur est souvent le seul décideur sur son exploitation. En conséquence, il n'a pas, en principe, à justifier ses choix (ni auprès d'un associé ou ni auprès d'un patron). Finalement, les agriculteurs peuvent avoir des difficultés à exprimer leur processus de décision et à justifier leurs pratiques.

Afin de contrer cette difficulté et les points faibles associés aux différentes méthodes d'enquêtes (Cf., Partie 2.3), nous avons réalisé une triangulation des données (Denzin, 1970). Nous avons donc utilisé différentes méthodes pour étudier un même phénomène afin de limiter les biais de chacune d'elles. Les enquêtes sont divisées en trois parties correspondant aux trois protocoles d'enquêtes utilisés.

La première partie des enquêtes s'articule autour d'un entretien semi-directif. Cette phase est peu guidée et permet à l'agriculteur de s'exprimer librement. Quatre thèmes y sont abordés. L'agriculteur est d'abord amené à présenter son exploitation (ses productions, ses contraintes et ses atouts). Cette phase permet de mettre en confiance l'agriculteur et apporte une vision globale du système d'exploitation. L'agriculteur est ensuite questionné sur son métier (ses activités, ses difficultés et ses avantages). Enfin, le thème de la décision est abordé. Les questions sont d'abord peu précises (ex., Quels types de décisions avez-vous à prendre en tant qu'agriculteur ?). Puis, elles se resserrent peu à peu sur l'objet d'étude (ex., Comment décidez-vous des opérations à mener sur vos parcelles ? Quelles sont vos sources d'informations lors de vos prises de décision ?). Le dernier thème porte sur le risque en agriculture. Il est d'abord demandé à l'agriculteur en quoi son métier peut être considéré comme un métier risqué. Puis, l'agriculteur doit préciser les méthodes mises en places pour faire face à ces risques. Dans cette partie, les questions ont été préparées par avance ainsi qu'un certain nombre de relances. Les questions posées étaient ouvertes afin de permettre à l'individu de s'exprimer de manière libre et détaillée (Corbin and Strauss, 2008).

Dans la seconde partie des enquêtes, les agriculteurs sont davantage guidés. Il leur est demandé d'exprimer le planning de leurs activités à l'aide d'un calendrier annuel. Enfin, de prendre en compte le caractère à la fois anticipé et réactif de cette planification, l'agriculteur a pu distinguer deux types d'opérations. En effet, deux stylos de différentes couleurs ont été fournis. L'agriculteur devait écrire en rouge les opérations qu'il était sûr de réaliser (les opérations dites systématiques) et en noir les opérations conditionnelles (ou non systématiques). Cette activité est répétée pour les trois cultures de notre étude : le blé tendre, le tournesol et le colza.

La troisième partie est inspirée de la CTA (Hoffman and Lintern, 2006; Klein and Hoffman, 2008), et plus précisément, de la méthode des incidents critiques (Chell, 1998). Cette

partie permet de revenir sur une phase de discussion plus ouverte que la précédente, mais plus ciblée sur la décision qu'en début d'interview. Cette méthode vise à identifier les événements significatifs (ou événements critiques), c'est à dire, les événements qui peuvent impacter les objectifs de l'individu et qui peuvent le pousser à prendre de nouvelles décisions ou à revoir des décisions passées. Par exemple, nous avons demandé aux agriculteurs de préciser dans quelles circonstances, il leur est arrivé d'annuler ou de modifier une opération qu'ils avaient prévu de faire, ou bien, d'ajouter une opération qu'ils n'avaient pas prévue. Les plannings construits en amont ont pu servir de base pour certains agriculteurs le désirant. Dans ce cas, nous demandions à l'agriculteur s'il lui était déjà arrivé d'annuler une opération signalée comme systématique, et si oui, pourquoi.

Les interviews ont toutes été réalisées de manière individuelle chez l'exploitant par la doctorante. Elles ont duré entre 2 et 7h avec une moyenne proche de 4h. Elles ont toutes été enregistrées et retranscrites afin d'en faciliter le traitement.

Le protocole d'analyse

Etant donnée la diversité des cadres conceptuels existant pour modéliser la décision, nous ne faisons pas d'hypothèse sur le processus de décision des agriculteurs lors de ces analyses. Ce travail s'appuie sur les principes de la théorie ancrée (*grounded theory*). Il s'agit d'une méthode d'analyse qui permet de construire une théorie sur la base de données de terrain sans que d'hypothèse soit faite a priori sur la théorie à construire (Corbin and Strauss, 2008; Crowder, 2012).

L'analyse réalisée est d'abord qualitative. Elle s'appuie cependant sur quelques aspects plus quantitatifs. En particulier, une analyse de discours a été réalisée afin d'identifier les raisons invoquées par les agriculteurs pour justifier leurs choix. Lors de cette phase, nous avons utilisé le logiciel N-Vivo afin de faciliter l'identification et la classification des éléments du discours.

Résultats

La diversité des déterminants utilisés

Les agriculteurs ont mentionné de nombreux facteurs pour justifier leurs pratiques (Cf., Table A.2). Cette partie détaille les enseignements tirés de l'analyse de discours des agriculteurs.

Le rôle important mais variable des caractéristiques bio-physiques des parcelles et de l'environnement

Pour décider d'une opération à réaliser sur une parcelle, les caractéristiques de cette dernière sont apparues importantes. Les agriculteurs ont en particulier mentionné plusieurs caractéristiques bio-physiques des parcelles comme le type de sol, l'exposition au soleil ou encore la pente de la parcelle. L'historique sur la parcelle a parfois aussi été mentionné. Deux agriculteurs ont ainsi mentionné l'impact de la culture précédente ou d'une opération passée pour justifier leurs pratiques.

Les caractéristiques bio-physiques associées à l'environnement de la parcelle ont elles été peu mentionnées par les agriculteurs. Seulement deux références y sont faites. Un agriculteur signale l'impact d'une forêt voisine sur les insectes ravageurs des cultures et donc sur ses pratiques. Un autre mentionne les contraintes liées à un voisin en agriculture biologique. Il signale le besoin en surveillance accrue de ses parcelles à proximité des parcelles en agriculture biologiques (qui d'après lui concentrent les nuisibles).

Le rôle ambigu des facteurs socio-économiques

Cinq types de déterminants socio-economiques sont mentionnés par les agriculteurs pour justifier les pratiques : la législation, les prix, la disponibilité du travail et du matériel et enfin le réseau.

Trois agriculteurs mentionnent la législation comme étant un déterminant de leurs pratiques. Les restrictions en terme d'utilisation de pesticides et de fertilisants sont particulièrement pointées du doigts. Par exemple, deux agriculteurs pensent qu'un apport d'azote fin décembre serait profitable aux cultures de blé alors que la réglementation les oblige à attendre le 15 janvier dans certains secteurs.

Facteurs		Occurrence	Nombre d'agriculteurs
Facteurs externes	Prix	62	5
	Disponibilité des produits	8	3
	Climat	57	6
	Législation	7	3
Facteurs agronomiques	Environnement	2	2
	Culture précédente	8	2
	Parcelle	16	5
Production	Priorités	34	6
	Disponibilité du travail	68	6
	Opérations précédentes	2	2
Information	Autres agriculteurs	73	6
	Conseillers	67	6

TABLE A.2 – Facteurs mentionnés par les agriculteurs pour justifier leurs pratiques. Analyse réalisée à partir du logiciel N-Vivo.

La disponibilité des ressources est aussi apparue importante pour les agriculteurs pour justifier leurs pratiques. En particulier, tous les agriculteurs mentionnent la quantité de travail comme une contrainte importante dans leurs prises de décision. Pour certains agriculteurs, la disponibilité des produits phytosanitaires peut aussi limiter les choix. Par exemple, un agriculteur indique acheter ses produits en avance (en morte saison) pour être sûr d'avoir du choix.

Le rôle des facteurs économiques à l'échelle opérationnelle est contrasté. En effet, certains agriculteurs expliquent qu'une fois la culture semée, si un traitement est nécessaire, il faut le faire quelque soit son prix. En particulier, trois agriculteurs sur les six interrogés indiquent ne pas calculer leur marge par culture. Pour d'autres agriculteurs, les prix des intrants doivent être regardés attentivement et entrent en compte lors de la prise de décision.

Le réseau a très souvent été mentionné lors des interviews, en particulier les conseillers techniques de coopératives et des chambres d'agriculture. Un agriculteur explique qu'il est en contact quotidien avec son voisin agriculteur avec lequel il discute des activités à faire dans la journée. Un autre agriculteur explique même déléguer quelques-unes de ses décisions à un entrepreneur pensant ne pas être assez compétent pour les prendre lui-même. Cependant, quelques limites à ce réseau ont été soulevées par les agriculteurs. Par exemple, un agriculteur dit ne pas pouvoir coopérer avec les agriculteurs de de son village car un esprit de compétition demeure. Un agriculteur, doutant de l'impartialité du conseil associé à la vente des produits

phyto-sanitaires, a quant à lui, choisi de doubler ce conseil avec un conseil indépendant.

Les priorités, la motivation et le niveau d'implication des agriculteurs

Même si la littérature met en avant le rôle des caractéristiques personnelles des agriculteurs (ex., leurs connaissances, leurs objectifs) lors de leur prise de décision, seuls quelques résultats sur les préférences et la motivation des agriculteurs peuvent être exposés suite à ces enquêtes.

Lors des entretiens, les préférences ont principalement été exprimées en terme de priorité. Ces priorités ont concerné les cultures, les parcelles ou les opérations. Par exemple, plusieurs agriculteurs ont indiqué donner plus d'importance aux parcelles qui avaient le plus gros potentiel agronomique (en terme de rendement). En terme de culture, un agriculteur a expliqué que pour lui le tournesol était une culture principalement utilisée pour augmenter la durée de rotation et moins pour son intérêt économique. Il explique donc "prendre moins soin" de cette culture. Au contraire, le colza est cité comme une culture exigeante. Les agriculteurs s'accordent sur le fait qu'il faut lui apporter une plus grande attention. Outre ces priorités, les agriculteurs ont peu exprimé leurs objectifs lors de ces entretiens.

Nous avons pu noter que cinq agriculteurs sur six ont évoqué la passion qu'ils avaient pour leur travail. Certains indiquent que ce paramètre est un ingrédient clef de leur réussite. Cependant, les agriculteurs considèrent de manière différente l'impact qu'ils ont sur leur réussite finale. Ainsi, alors qu'un agriculteur indique que lorsqu'il sème une culture, il n'est pas à une semaine près. Un autre au contraire a expliqué que lorsqu'il est sur le tracteur en train de semer, il peut passer la journée à remettre en cause son choix et à se demander s'il n'aurait pas mieux fait d'attendre un jour de plus. Ainsi, étant donnée l'incertitude liée à l'environnement de décision, les agriculteurs semblent donner plus ou moins de poids à leur décisions (vs. à leur environnement) dans la réussite de leur production. Le rôle de cette prise de responsabilité dans le processus de décision a déjà été mentionné en agriculture (Gray et al., 2009) mais il nécessite une attention renouvelée.

En conclusion, peu de facteurs sont mentionnés par les agriculteurs en ce qui concerne les caractéristiques bio-physiques des parcelles et de l'environnement. Le rôle des facteurs socio-économiques est ambigu. Aussi, nous ne pouvons que peu conclure sur l'impact des

facteurs motivationnels (ex., préférences, objectifs) sur les choix des agriculteurs. Finalement, si certains facteurs sont couramment cités par les agriculteurs (eg., le type de sol), d'autres le sont beaucoup moins (ex., l'exposition de la parcelle). Le challenge est à présent de déterminer si ces différences dans le discours des agriculteurs sont dues à des différences de connaissances, de sélection des caractéristiques importantes, d'oublis des agriculteurs ou simplement à des différences dans les capacités des agriculteurs à exprimer leur pensée.

Rôle des décisions réactives et anticipées des agriculteurs

Lors de ces interviews, nous voulions mieux comprendre la dynamique des DO, et en particulier, le rôle des décisions plus ou moins réactives ou planifiées des agriculteurs. Dans cette section, quatre résultats concernant cette dynamique des décisions sont présentés.

Premièrement, les agriculteurs ont dans l'ensemble su donner le planning de leurs activités sur l'année. Cependant, quelques difficultés ont été rencontrées. En effet, si certaines opérations ont rapidement été positionnées sur le planning par les agriculteurs, d'autres l'ont été plus difficilement. Aussi, les traitements à appliquer n'ont été que très partiellement précisés. Des agriculteurs n'ont su signaler que la matière active, d'autres seulement le nom commercial du produit utilisé. Certains agriculteurs ont dû regarder leurs carnets de suivi des cultures pour se rappeler les périodes de traitement ou les produits utilisés. Etant donné le nombre important d'opérations par culture, quelques oublis peuvent se comprendre. Cependant, ces difficultés peuvent aussi mettre en évidence le fait qu'une planification annuelle n'est pas la manière habituelle de raisonner pour les agriculteurs, ou encore, une méconnaissance des produits utilisés. Afin de préciser ces résultats, nous pourrions demander aux agriculteurs leurs plans sur des périodes plus courtes à différents moments de l'année. Cela permettrait de comparer l'aisance dans le remplissage des plannings à court terme (ex., hebdomadaires ou mensuels), mais aussi, la précision apportée par rapport à un planning annuel. Il serait aussi intéressant d'étudier les connaissances des agriculteurs, par exemple, concernant les produits qu'ils utilisent.

Deuxièmement, ces interviews ont montré l'importance de prendre en compte le caractère réactif des décisions. La flexibilité dans les plannings proposés par les agriculteurs est en effet importante. Ainsi, le laps de temps possible pour une opération donnée était souvent bien supérieur au temps nécessaire pour la réaliser. Par exemple, un traitement antifongique

sur 20 hectares prend moins d'une journée alors que la période possible pour la réalisation est souvent proche du mois dans les plannings. La date exacte de déclenchement d'une opération est donc décidée de manière réactive. Un autre type de flexibilité mentionné par les agriculteurs lors de cette activité de planification est la possibilité d'annuler une opération et de la remplacer par une opération plus tard dans l'année. Par exemple, les opérations de désherbage de printemps peuvent dépendre des opérations réalisées à l'automne. Enfin, un dernier type de flexibilité mentionné par les agriculteurs est la possibilité de décaler temporellement l'ensemble du planning si une opération est réalisée de manière avancée ou retardée. Deux agriculteurs ont en particulier cité ce mécanisme lors du positionnement des apports azotés. Cette étude a de plus montré que la flexibilité n'est pas seulement temporelle, elle concerne aussi la présence et la modalité des opérations elles-mêmes. En moyenne, 24% des opérations sont signalées comme optionnelles (ce score atteint même 40% pour le blé tendre). En particulier, les traitements herbicides de printemps sont souvent non systématiques ainsi que certains des traitements antifongiques. Aussi, lors du semis, les agriculteurs peuvent décider de rouler ou pas leur parcelle en fonction de la pluviométrie du moment. Les agriculteurs adaptent donc leurs opérations à la situation courante.

Finalement, nous avons tenté d'identifier dans le discours des individus, les différentes raisons les poussant vers cette plus ou moins grande réactivité. Outre des raisons relatives à la volonté de l'agriculteur que nous n'avons pas pu identifier dans cette étude, certains paramètres ont été signalés par les agriculteurs comme des freins à la flexibilité du système, et donc, à la réactivité des décisions. Le premier identifié est le manque de connaissances. Cette carence en connaissances a en particulier été mentionnée concernant le colza. Un agriculteur a ainsi indiqué que chaque fois qu'il a essayé de désherber de manière réactive, il a échoué et le développement de son colza a été "chaotique". La seconde raison invoquée par les agriculteurs pour expliquer la flexibilité du système concerne l'équipement. Par exemple, un désherbage mécanique des parcelles semées nécessite un équipement spécifique (ex., une herse). Un agriculteur a aussi expliqué pouvoir semer sur des sols relativement "mouillés" grâce à un ancien semoir plus léger que son semoir récent (qui lui est plus performant dans des situations moins humides). Le matériel peut donc en partie expliquer la flexibilité du système, et donc, la possibilité de prendre des décisions de manière réactive. Enfin, afin de profiter des prix bas et du choix plus important en morte saison, certains agriculteurs

achètent leurs produits phyto-sanitaires en avance. Mais un agriculteur indique qu'une fois acheté, un produit est généralement utilisé. La stratégie d'approvisionnement des agriculteurs semble donc aussi importante à prendre en compte.

En conclusion, même si les agriculteurs peuvent en partie anticiper leurs décisions, la réactivité reste une composante importante du processus de DO. Nous avons exploré le rôle de la flexibilité du système de production dans l'orientation plus ou moins réactive des décisions des agriculteurs, cependant de nombreuses questions restent en suspens. Par exemple, quels sont les autres facteurs impactant sur ce caractère plus ou moins réactif des décisions opérationnelles ? Ou encore, quel est l'impact de ce mode de décision sur les pratiques des agriculteurs ? Des enquêtes plus approfondies sont nécessaires pour répondre à ces questions.

Le rôle clef des événements critiques

Dans cette partie, nous analysons les événements critiques mentionnés par les agriculteurs. Même si la troisième partie des enquêtes ciblait l'élicitation de ces événements en particulier, l'ensemble du discours des agriculteurs a été analysé pour identifier ces événements.

De nombreux événements critiques ont été mentionnés par les agriculteurs. Nous les avons regroupés en six catégories. Ainsi, ces événements peuvent être liés 1) à une date (ex., début de la période de semis), 2) à la météo (ex., du vent qui empêche un traitement), 3) à l'infestation d'une culture par un ravageur ou une maladie, 4) au stade de développement de la culture (ex., arrivée à maturité), 5) à l'état de la ressource (ex., panne de tracteur), ou encore 6) à la législation (ex., interdiction temporaire d'irriguer).

Ces événements peuvent survenir avant une opération (ex., pluie empêchant d'entrer sur la parcelle), pendant une opération (ex., panne) ou après celle-ci (ex., sécheresse après un semis). Identifier et évaluer l'impact potentiel de ces événements est apparu comme une activité importante des exploitants agricoles. De nouvelles enquêtes sont nécessaires afin de préciser la manière dont ces événements sont identifiés, leurs impacts sont évalués, et enfin, les décisions en sont impactées.

Discussion

Puisque les agriculteurs doivent à la fois anticiper leurs décisions et être réactifs à la nouvelle information, ils ne peuvent que développer des intentions d'actions, ie., des plans d'actions plus ou moins spécifiés que l'agriculteur a décidé d'exécuter sauf si une nouvelle information le force à revoir cette intention. Le processus de prise de décision peut alors être redéfini comme le processus mental menant l'agriculteur à construire et modifier des intentions d'actions jusqu'à leur exécution. Les événements critiques apparaissent alors comme les activateurs de ce processus puisqu'une fois un tel événement identifié, l'agriculteur évalue ses impacts potentiels et modifie ou non ses intentions courantes en fonction.

Cette première enquête nous a permis de spécifier certaines composantes du processus de DO des agriculteurs, cependant les résultats doivent encore être spécifiés. L'analyse de modèles issus de différentes disciplines et la création de nouvelles études empiriques sont en particulier nécessaires afin de préciser les caractéristiques du processus de prise de DO des agriculteurs. Par exemple, ces premières enquêtes n'ont pas permis de distinguer si les facteurs non mentionnés par l'agriculteur l'étaient par oubli, par manque de connaissance ou parce qu'ils ne sont pas jugés utiles dans la prise de décision. La création de nouvelles méthodes d'enquêtes permettant d'identifier plus clairement l'information utilisée par les agriculteurs lors de leur prise de décision est donc nécessaire à la précision du processus de prise de DO en agriculture.

Annexe B

Analyse qualitative de la partie scénario

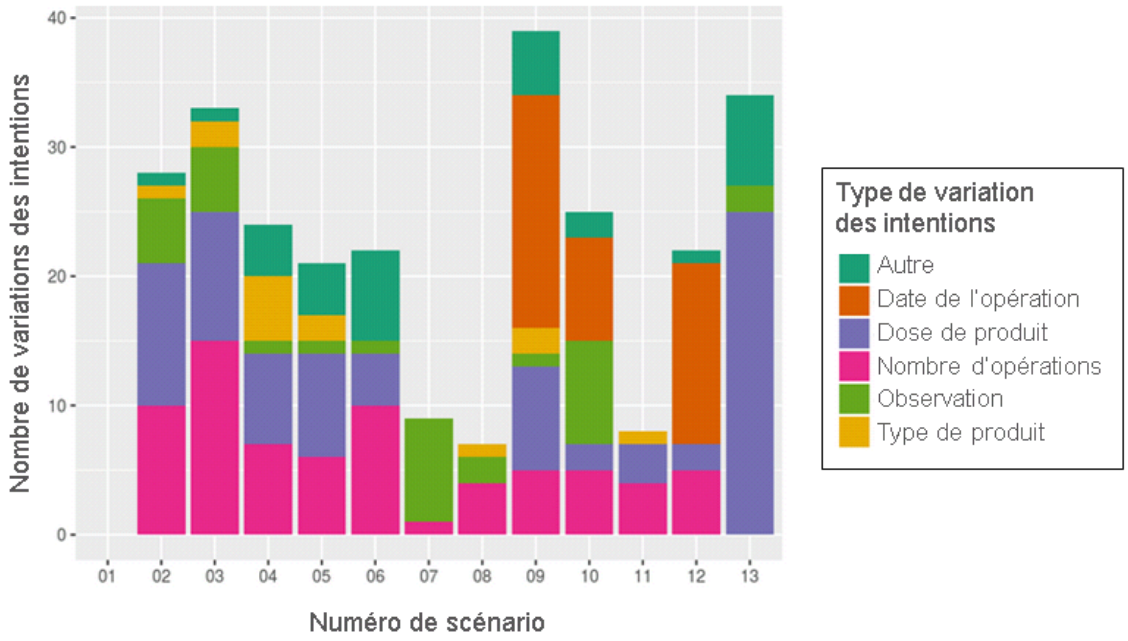


FIGURE B.1 – Nombre de fois où les intentions sont changées par scénario et type de variations réalisées

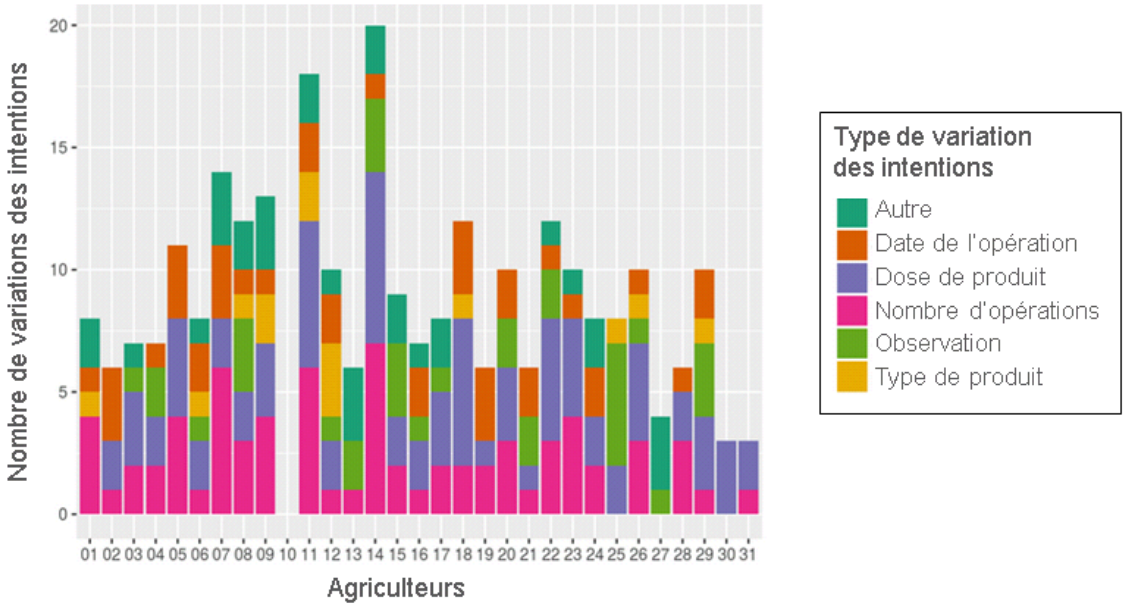


FIGURE B.2 – Nombre de fois où les intentions sont changées par agriculteur et type de variations réalisées

Annexe C

Mise à l'épreuve des connaissances des agriculteurs

Afin de mettre à l'épreuve les connaissances des agriculteurs, nous avons voulu tester leur capacité à bien simuler le développement des maladies du blé[1]. Pour ce faire, nous avons, pour chaque agriculteur, construit un modèle de simulation du développement de la rouille brune du blé tendre à partir de ses connaissances. Ces modèles sont basés sur le modèle IPSIM-wheat (Robin, 2013; Aubertot and Robin, 2013), un modèle de simulation qualitative basé sur des tables d'agrégation codé sous le logiciel Dexi. Chacun des modèles de simulation (un par agriculteur) a ensuite été testé à partir d'un jeu de données réelles. Nous avons ainsi pu mesurer la capacité de chaque modèle à simuler correctement le développement de la rouille sur le blé (Cf., Figure C.1). Un certain nombre de transformations ont dû être réalisées afin que les données d'enquêtes puissent être directement utilisées dans le modèle de type IPSIM-wheat (Cf., Figure C.2). Notamment, pour transformer les données discrètes issues des enquêtes (nombre de croix) en données quantitatives continues (des poids), nous avons fait les hypothèses suivantes : la somme des poids de tous les facteurs est égale à 1, un facteur noté 3 a un poids 3 fois plus grand qu'un facteur noté 1, un facteur noté 2 a un poids 2 fois plus grand qu'un facteur noté 1 et un facteur noté 0 ou « ne sait pas » a un poids nul. Les deux autres transformations des données sont réalisées par le logiciel Dexi.

Afin d'évaluer chacun des modèles d'agriculteurs, nous avons mesuré l'écart entre les

1. Ce travail a été réalisé en collaboration avec Jean-Noël Aubertot, Marie-Hélène Robin et Gauthier Quesnel.

valeurs simulées par les modèles et les valeurs réelles en utilisant les coefficients de kappa quadratiquement pondérés. Les résulats ont abouti à des coefficients de kappa quadratiquement pondérés relativement faibles : 0.16 en moyenne (contre 0.39 pour le modèle expert). Les modèles de type IPSIM d'agriculteurs ne simulent que faiblement le développement de la rouille brune sur le blé. Cependant, ces résultats peuvent s'expliquer par la perte de précision engendrée par les trois transformations des données. Par exemple, le modèle IPSIM-wheat-expert a été construit en indiquant les tables d'agrégations. Ne pouvant pas demander aux agriculteurs de remplir ces tables (cela aurait pris plusieurs heures), nous avons utilisé la seconde possibilité offerte par le logiciel Dexi : nous avons indiqué les poids de chaque facteur pour chaque agriculteur, puis le logiciel a créé les tables d'agrégations à l'aide d'une fonction d'optimisation. Selon la méthode actuelle, les coefficients de kappa quadratiquement pondérés sont négativement corrélés avec le nombre de facteurs considérés comme importants par les agriculteurs (coefficent de -0.15). Ils semble donc que, moins les agriculteurs considèrent de facteurs comme importants, mieux ils prédisent le développement de la rouille brune sur le blé tendre. Cepedendant, de plus amples analyses sont nécessaires afin de valider la méthode utilisée.

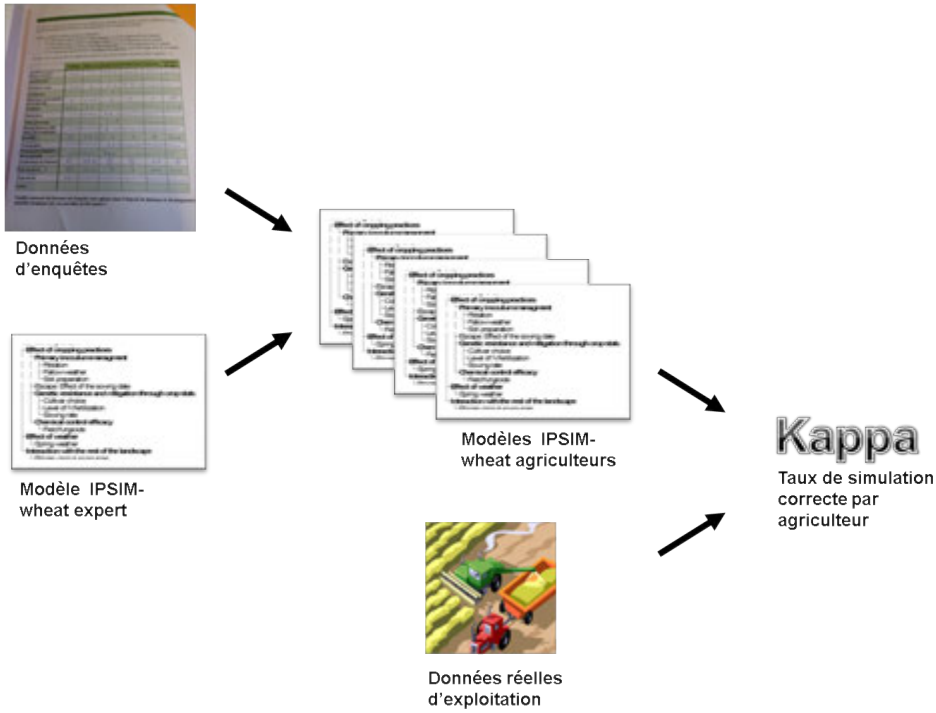


FIGURE C.1 – Méthode générale pour l'analyse des connaissances des agriculteurs à partir du modèle de simulation IPSIM-Wheat

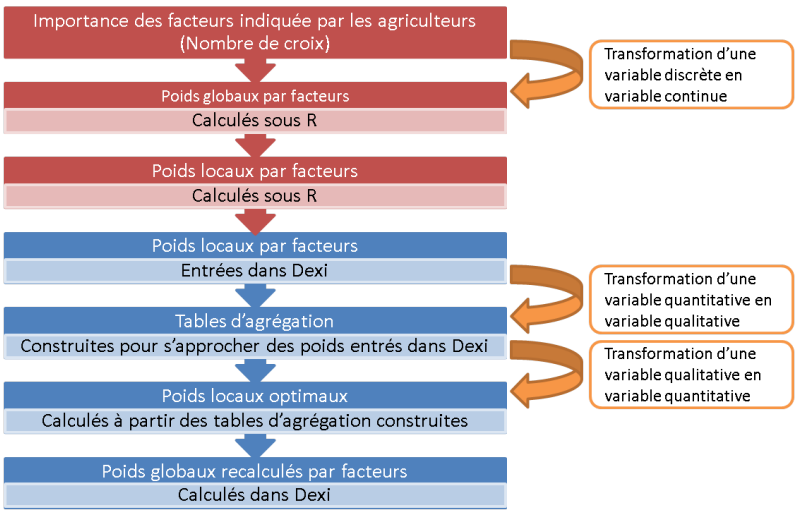


FIGURE C.2 – Méthode de transformation des données d'enquêtes sur les connaissances des agriculteurs afin de les intégrer dans le modèle IPSIM-wheat. Poids local : Poids au sein d'une branche de l'arbre de décision ; Poids global : Poids au sein de l'arbre de décision.

Annexe D

Le questionnaire d'enquêtes

Fiche explicative

Bonjour,

En acceptant de me recevoir, vous avez accepté de participer à un projet de recherche intitulé « Compréhension du processus de prise de décision opérationnelles des agriculteurs ». Je vous en remercie par avance.

Ce projet vise à mieux comprendre la manière dont chaque agriculteur utilise l'information à sa disposition, gère ses contraintes, se fixe des objectifs et anticipe ses besoins afin de décider quelles actions réaliser sur son exploitation, de quelles manières et à quels moments. Une meilleure compréhension de ces mécanismes permettra de mieux comprendre in fine les choix des agriculteurs, mais aussi d'identifier leurs besoins (en terme de matériel, d'information, de conseil...). Ce projet vise de plus à identifier les différents modes de raisonnement (par exemple plus ou moins anticipatifs) afin d'analyser leur pertinence selon les situations.

Une pre-enquête a été réalisée l'année dernière. Elle a servi à construire celle-ci qui nous l'espérons avec votre aide permettra d'atteindre nos objectifs.

Cette enquête est divisée en plusieurs parties. Une première partie vous interrogera sur vos pratiques, vos motivations et vos connaissances ; elle sera suivie d'une partie où il vous sera demandé de vous mettre dans la peau d'un conseiller agricole. Puis je vous interrogerai sur vos perceptions concernant les déterminants des maladies fongiques du blé. Enfin, dans une dernière partie, je vous demanderai de réagir à différents scénarios.

Je suis avant tout intéressée par vous, vos pratiques, vos connaissances, votre perception, votre avis… Tout au long du questionnaire il n'y aura ni bonne ni de mauvaise réponse. De plus, toutes les interviews et les questionnaires seront rendus anonymes. Essayez donc de répondre le plus honnêtement possible aux questions qui vous seront posées.

Si vous n'y voyez pas d'inconvénient et afin de rendre notre échange plus agréable, j'enregistrerai notre interview pour limiter la prise de note.

Je reste à votre disposition si vous avez des questions sur le déroulement de cette interview. N'hésitez pas à me contacter par la suite si besoin.

Bien cordialement,

Charlotte Daydé
Doctorante à l'INRA

Coordonnées :
Charlotte Daydé
charlotte.dayde@toulouse.inra.fr
05.61.28.55.49
.

INRA de Toulouse
24 Chemin de Borde Rouge - Auzeville
CS 52627
31326 Castanet-Tolosan Cedex

Fiche d'anonymat

Nom ……..

Prénom ……..

Nom de l'exploitation ……

Adresse
……
……
……

Téléphone fixe ……..

Téléphone portable ……..

Mail ……..

Numéro associé
Ne pas remplir

Numéro associé
Ne pas remplir

Vous

Année de naissance ……

Sexe
○ Masculin ○ Féminin

Quel est votre niveau scolaire ?
○CAP/BEP ○ BAC ○ BTS/Licence ○ Ingénieur/Master ○Autre

Précisez : ……

Situation familiale
○ Marié/En couple ○ Célibataire/Divorcé ○ Veuf

Nombre dans le foyer ……

Caractéristiques générales de votre exploitation

Code postal ……

Ville ……..

Forme juridique
○ GAEC ○ EARL ○ SARL ○ Individuel ○ Autre
Si 'Autre', précisez: ……

Année d'installation ……

Reprise familiale
○ Oui ○Non

Quels types de sols sont présents sur votre exploitation ?
Veuillez remplir le tableau.

Type de sol	Argilo-limoneux	Limono-argileux	Boulbènes	Argilo-calcaires	Autres
Surface en pourcentage					

Si 'Autre', précisez: ……

Surface agricole utile (SAU) ……ha
Dont SAU en propriété ……ha
Dont SAU en bail agricole ……ha

Dont SAU irrigable ……..……ha
Dont SAU irriguée ……..……ha

Quelle est la largeur de votre pulvérisateur ? ……mètres
Combien de socs compte votre charrue ? ……

Votre exploitation (ou l'une de ses productions) bénéficie-t-elle d'un label ?
○ Oui ○Non

Si 'Oui', lequel ?
○Bio ○Label rouge ○AOC ○ Autre

Veuillez-préciser (label, production, surface) :
……
……
……

Votre système de culture actuel en grandes cultures (hors arboriculture et maraîchage)

Veuillez remplir le tableau

Culture	Surface (ha)	Rendement objectif (q/ha)	Culture sous contrat	Surface irriguée (ha)	Surface assurée (ha)	IFT
Maïs grain			Oui Non			
Maïs semence			Oui Non			
Blé dur			Oui Non			
Blé tendre biscuitier			Oui Non			
Blé tendre améliorant			Oui Non			
Blé tendre panifiable			Oui Non			
Tournesol			Oui Non			
Colza			Oui Non			
Colza semence			Oui Non			
Sorgho			Oui Non			
Pois			Oui Non			
Orge			Oui Non			
Soja			Oui Non			
Féverole			Oui Non			
Avoine			Oui Non			
Autre: (prairies, fourrages, jachère, porte graine, maïs blanc, …)			Oui Non			

Votre système de culture actuel

Quelles sont les rotations et les monocultures les plus courantes sur votre exploitation ?

……
……
……
……
……

De quelles manières commercialisez-vous votre production ?

Veuillez remplir le tableau

Moyen de commercialisation	Contrat de vente, option sur les marchés à terme	Prix moyen campagne (Acompte + complément)	Stockage (à la ferme, chez un OS indépendant)	Vente prix ferme
% de votre production				

Priorités / Objectifs

Parmi les cultures produites, quelles sont les 4 <u>les plus risquées d'un point de vue du rendement</u> ?

Veuillez noter les 4 cultures en commençant par la plus risquée.

1)…….
2)……..…
3)……..
4)…….

Parmi les cultures produites, quelles sont les 4 <u>les plus intéressantes d'un point de vue de la marge (avec la prime)</u> ?

Veuillez noter les 4 cultures en commençant par la plus intéressante.

1)…….
2)……..…
3)……..
4)…….

Parmi les cultures produites quelles sont <u>les 4 les plus complexes à produire</u> ?

Veuillez noter les 4 cultures en commençant par la plus complexe.

1)…….
2)……..…
3)……..
4)…….

Parmi ces objectifs quels sont les six plus importants pour vous ?
Ordonnez 6 réponses en commençant par le plus important.

1) Diminuer la charge de travail
2) Maintenir une charge de travail convenable
3) Augmenter la biodiversité
4) Assurer la survie de la ferme
5) Prendre du plaisir dans le travail
6) Etaler la charge de travail
7) Mettre en place des cultures techniques
8) Augmenter le revenu
9) Léguer la ferme aux générations suivantes
10) Assurer la fertilité des sols
11) Diminuer l'utilisation d'intrants
12) Faire de l'expérimentation
13) Sécuriser le revenu
14) Simplifier le système de production
15) Maintenir l'héritage
16) Autre (Préciser :……)

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Autres ateliers sur l'exploitation

En plus des grandes cultures, avez-vous d'autres ateliers sur l'exploitation ?
○ Oui ○ Non

Si 'Oui', de quel type ?
Vous pouvez cocher plusieurs réponses.
○ Elevage ○ Arboriculture ○ Viticulture ○ Maraîchage ○ Foresterie ○ Autre

Si 'Autre', précisez: ……

Si vous avez un <u>atelier d'élevage</u>, quelle est la production ?
……
……
……
……

De combien de têtes disposez-vous ? ……

Quel pourcentage de votre temps est-il consacré à l'élevage ? ..……%

Quelle est la part du revenu agricole assurée par l'activité d'élevage (en pourcentage) ? ……%

Si vous avez un <u>atelier (hors élevage et grandes cultures),</u> précisez la production et la surface :
……
……
……
……

Quel pourcentage de votre temps est-il consacré à ces activités ? ……%

Quelle est la part du revenu agricole assurée par ces activités (en pourcentage) ? ……%

Avez-vous d'autres activités sur l'exploitation ?
○ Atelier de transformation ○ Vente à la ferme ○ Gîte à la ferme
○ Ferme pédagogique ○ Autre
Si 'Autre', précisez: ……

Quel pourcentage de votre temps est-il consacré à ces activités ? ……%

Quelle est la part du revenu du ménage assurée par ces activités (en pourcentage) ? ……%

Activités hors exploitation

Êtes-vous pluriactif ?
○ Oui ○ Non

Si 'Oui', quel métier exercez-vous ?
……
……

Ce travail est-il à :
○ Temps plein ○ Tiers temps ○ Mi temps

Quelle est la part du revenu du ménage assurée par cette activité (en pourcentage) ? ……%

Est-ce qu'une autre personne de votre foyer assure un revenu fixe ?
○ Oui ○ Non

Si 'Oui', ce travail est-il à :
○ Temps plein ○ Tiers temps ○ Mi temps

Quelle est la part du revenu du ménage assurée par cette activité (en pourcentage) ? ……%

Temps de travail

Nombre d'UTH total (vous inclus) ……

Nombre d'UTH salarié (permanent) ……

Avez-vous recours de manière ponctuelle à de la main d'œuvre extérieure ?
○ Oui ○ Non

Si 'Oui', de quel type ?
○ Entrepenariat ○ Saisonnier ○ Autre

Sur quels ateliers travaillent-ils ?
○ Elevage ○ Arboriculture ○ Viticulture ○ Maraichage
○ Grandes cultures ○ Foresterie ○ Autre
Si 'Autre', précisez:
……
……

Au sein de l'atelier grandes cultures, quelles tâches lui sont confiées ?
……
……
……
……

Combien d'heures par mois environ avez-vous recours à cette main d'œuvre ?

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Heures par mois												

Points forts / Points faibles

Quels sont les 3 Principaux points forts de votre exploitation ?

1)……
……
2)……
……
3)……
……

Quels sont les 3 Principaux points faibles de votre exploitation ?

1)……
……
2)……
……
3)……
……

Information et réseaux

Votre exploitation est-elle engagée avec <u>une(des) coopérative(s)</u>

○ Oui ○Non

Si 'Oui', lesquelles ?

○Arterris ○ Terre du Sud ○ Maïsadour ○ Vivadour
○Euralis ○ Terres de Gascogne ○ Autre

Si 'Autre', précisez:

……
……

Quels sont les principaux services que vous recherchez chez votre(vos) coopérative(s) ?

Ordonnez 4 réponses en commençant par le plus important.

1) Visite parcelles
2) Information règlementaire
3) Conseil sur les marchés
4) Achat intrants
5) Information technique
6) Essais culturaux
7) Réunion avec d'autres agriculteurs
8) Vente de la production

☐ ☐ ☐ ☐

En moyenne sur l'année, combien de fois voyez-vous un conseiller de coopérative ?

○ 0 fois ○ 1 à 5 fois ○ 5 à 10 fois ○ Plus de 10 fois

Quels sont les principaux services que vous recherchez auprès de <u>la chambre d'agriculture</u> ?

Ordonnez 4 réponses en commençant par le plus important.

1) Visite parcelles
2) Information règlementaire
3) Conseil sur les marchés
4) Achat intrants
5) Information technique
6) Essais culturaux
7) Réunion avec d'autres agriculteurs
8) Vente de la production

☐ ☐ ☐ ☐

En moyenne sur l'année, combien de fois voyez-vous un conseiller de la chambre d'agriculture ?

○ 0 fois ○ 1 à 5 fois ○ 5 à 10 fois ○ Plus de 10 fois

Faites-vous appel aux services d'un <u>conseiller technique privé</u> ?

○ Oui ○Non

Si 'Oui', depuis combien d'années ? …….. années

Quels sont les principaux services que vous recherchez auprès d'un conseiller privé?

Ordonnez 4 réponses en commençant par le plus important.

1) Visite parcelles
2) Information règlementaire
3) Conseil sur les marchés
4) Achat intrants
5) Information technique
6) Essais culturaux
7) Réunion avec d'autres agriculteurs
8) Vente de la production

☐ ☐ ☐ ☐

En moyenne sur l'année, combien de fois voyez-vous un conseiller privé ?
○ 0 fois ○ 1 à 5 fois ○ 5 à 10 fois ○ Plus de 10 fois

Outre d'une coopérative, êtes-vous membre/adhérent d'une <u>autre organisation professionnelle</u> ?
○ Oui ○ Non

Si 'Oui', laquelle/lesquelles ?
Vous pouvez cocher plusieurs réponses.
○ Cuma ○ Syndicat agricole ○ CETA ○ Groupement de producteurs ○ GDA ○ Autre

Si 'Autre', précisez:
……
……

Quels sont les principaux services que vous recherchez auprès de cet organisme ?
Ordonnez 4 réponses en commençant par le plus important.

1) Vente de la production
2) Information règlementaire
3) Visite parcelles
4) Achat intrants
5) Conseil sur les marchés
6) Essais culturaux
7) Information technique
8) Réunion avec d'autres agriculteurs

☐ ☐ ☐ ☐

En moyenne sur l'année, combien de fois vou s rassemblez-vous ?
○ 0 fois ○ 1 à 5 fois ○ 5 à 10 fois ○ Plus de 10 fois

Êtes-vous membre/adhérent d'une <u>organisation extra-professionnelle</u> ?
○ Oui ○ Non

Si 'Oui', précisez (Elu, chasse, associations…) :
……
……

Participez-vous (ou avez-vous participé) à <u>des essais</u> ?
○ Oui ○ Non

Si 'Oui', précisez (culture, types, organisme accompagnateur…) :
……
……
……
……

Avez-vous recours à des <u>outils informatiques d'aide à la décision</u> ?
○ Oui ○ Non

Si 'Oui', lesquels ?
……
……
……

Si vous souhaitez un <u>conseil technique en sur vos cultures de blé tendre</u>, quelles sources d'information privilégiez-vous ?
Ordonnez 6 réponses en commençant par la plus importante.

1) Bilans santé du végétal (BSV)
2) Revues agricoles
3) CER
4) CETA
5) Conseiller de coopérative
6) Conseiller prive
7) Centre de recherche (INRA, IE Purpan…)
8) Conseiller de Chambre
9) Institut technique (Arvalis, Cetiom…)
10) Internet (hors BSV)
11) Agriculteurs voisins
12) Autre

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Si 'Autre', précisez : ……

Pour décider du <u>déclenchement d'un traitement fongique sur le blé tendre</u>, quelles informations utilisez-vous ?
Ordonnez 6 réponses en commençant par la plus importante.

1) Caractéristiques de la parcelle (sol, environnement…)
2) Observation de symptômes sur la parcelle
3) Votre expérience personnelle
4) Bilans santé du végétal (BSV)
5) Outils d'aide à la décision
6) Observation de l'état de la parcelle (hors maladies)
7) Conditions météo
8) Revues spécialisées
9) Conseil d'un conseiller
10) Caractéristiques des produits
11) Conseil d'un agriculteur voisins
12) Autre

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Si 'Autre', précisez : ……

Pour décider du <u>type de produit fongique à utiliser sur le blé tendre</u>, quelles informations utilisez-vous ?
Ordonnez 6 réponses en commençant par la plus importante.

1) Caractéristiques de la parcelle (sol, environnement…)
2) Observation de symptômes sur la parcelle
3) Votre expérience personnelle
4) Bilans santé du végétal (BSV)
5) Outils d'aide à la décision
6) Observation de l'état de la parcelle (hors maladies)
7) Conditions météo
8) Revues spécialisées
9) Conseil d'un conseiller
10) Caractéristiques des produits
11) Conseil d'un agriculteur voisins
12) Autre

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Si 'Autre', précisez : ……

Pouvez-vous détailler les conditions météo que vous cherchez à respecter lors du déclanchement d'un traitement fongicide ?
……
……
……
……
……

Utilisez vous des adjuvent en complément de l'utilisation des produits fongiques ou bien traitez-vous l'eau ?

……
……
……
……
……

Quelles buses utilisez-vous ?

……
……

A quelle période acheter vous vos intrants fongiques ?
Vous pouvez cocher plusieurs réponses.

- ○ Avant semis
- ○ Après semis (avant hiver)
- ○ Pendant l'hiver
- ○ Juste avant le premier traitement
- ○ Juste avant le second traitement
- ○ Juste avant le troisième traitement

Où achetez-vous vos intrants fongiques ?
(Ex. Sur internet, chez votre coopérative…)

……
……
……

Situation financière de l'exploitation

Quel est l'EBE de votre exploitation sur les 2 dernières années ?

- En 2014 : ……
- En 2013 : ……

A combien s'élève votre taux d'endettement financier sur les 2 dernières années ?

- En 2014 : ……
- En 2013 : ……

Quel était votre DPU ces 2 dernières années ?

- En 2014 : ……
- En 2013 : ……

Mesure des préférences vis-à-vis du risque

Dans cette partie nous allons évaluer vos préférences vis-à-vis du risque en recourant à des jeux de loterie.

Au cours de ce test, nous vous proposons 2 séries de 9 jeux de loteries. Pour chaque jeu, deux gains sont possibles (un gain faible ou un gain élevé) avec des chances de réalisation identiques.

Il vous est alors demandé d'indiquer pour chacune des 2 séries votre jeu préféré parmi les 9 en cochant la case correspondante.

Notez bien qu'il n'y a pas de bonne ni de mauvaise réponse. Votre choix doit être réellement guidé par vos préférences.

Test a

Mettre une croix correspondant à votre jeu préféré.

	Gains	Chances	Votre choix
Jeu 1	40 €	50%	
	40 €	50%	
Jeu 2	32 €	50%	
	51 €	50%	
Jeu 3	24 €	50%	
	64 €	50%	
Jeu 4	16 €	50%	
	78 €	50%	
Jeu 5	12 €	50%	
	86 €	50%	
Jeu 6	8 €	50%	
	91,5 €	50%	
Jeu 7	6 €	50%	
	92,9 €	50%	
Jeu 8	4 €	50%	
	93,4 €	50%	
Jeu 9	1 €	50%	
	93,5 €	50%	

Test b

Mettre une croix correspondant à votre jeu préféré.

	Gains	Chances	Votre choix
Jeu 1	800 €	50%	
	800 €	50%	
Jeu 2	640 €	50%	
	1020 €	50%	
Jeu 3	480 €	50%	
	1280 €	50%	
Jeu 4	320 €	50%	
	1560 €	50%	
Jeu 5	240 €	50%	
	1720 €	50%	
Jeu 6	160 €	50%	
	1830 €	50%	
Jeu 7	120 €	50%	
	1858 €	50%	
Jeu 8	80 €	50%	
	1868 €	50%	
Jeu 9	20 €	50%	
	1870 €	50%	

Evaluation personnelle des préférences vis-à-vis du risque

Dans cette partie nous vous demandons d'auto-évaluer votre attitude vis-à-vis du risque dans un cadre général puis concernant votre activité professionnelle agricole.

Nous allons donc vous demander d'évaluer cette attitude par rapport au risque, sur une échelle allant de 1 (comportement pas du tout risqué) à 9 (comportement excessivement risqué).

Test a

En général, vous qualifieriez votre comportement et les décisions que vous prenez comme :

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pas du tout risqués	Extrêmement peu risqués	Très peu risqués	Peu risqués	Assez peu risqués	Assez risqués	Très risqués	Extrêmement risqués	Excessivement risqués

Test b

Pour ce qui est de votre **activité professionnelle**, vous qualifieriez votre comportement et les décisions que vous prenez comme :

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Pas du tout risqués	Extrêmement peu risqués	Très peu risqués	Peu risqués	Assez peu risqués	Assez risqués	Très risqués	Extrêmement risqués	Excessivement risqués

Fin de la partie « Mesure des préférences vis-à-vis du risque »

Merci pour votre collaboration !!!

Jeux de rôle : Information à la demande

Dans ce test, nous allons jouer un jeu de rôle. Le but de cette partie est d'identifier l'information qui vous semble a priori nécessaire pour décider d'une stratégie de traitements fongiques.

Déroulement du jeu :

Je suis une agricultrice qui produit du blé tendre pour la première année. Vous êtes mon conseiller/tuteur, vous êtes chargé de m'aider à élaborer ma stratégie de gestion phytosanitaire des maladies fongiques de printemps sur ma parcelle de blé tendre.

En particulier j'aimerais un conseil sur :

- Le nombre de traitements
- Les dates/stades de déclenchement de chaque traitement
- Les matières actives/produits à utiliser et les doses associées

Vous n'avez aucune information a priori sur mon exploitation, mes pratiques, mon environnement naturel ou économique. Vous pouvez cependant me poser toutes les questions que vous souhaitez.

Par contre, essayez de me demander uniquement l'information qui vous semble a priori nécessaire à l'élaboration de votre conseil concernant ma stratégie de traitements des maladies fongiques.

Vous effectuerez deux visites :

- Une visite en post semis
- Une visite mi-mars

A chacune de ces visites vous pourrez me poser toutes les questions qui vous sembleront a priori nécessaires à l'élaboration de votre conseil. Puis je vous demanderai de formuler le plus précisément possible votre conseil étant données les informations fournies.

Visite n°1 : Post semi

« Nous sommes début novembre, j'ai déjà semé mon blé. »

De quelles informations avez-vous besoin pour m'aider à élaborer ma stratégie ?
Je répondrai à toutes les questions. Cependant ne me demandez que l'information qui vous semble nécessaire a priori pour élaborer votre conseil concernant ma stratégie de traitements des maladies fongiques.

Quel est, à ce jour, votre conseil étant données ces informations ?
Veuillez remplir la partie suivante et justifier oralement vos choix.

- **Conseil sur le nombre de traitements :**

○ 0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ Plus
○ 0 ou 1 ○ 1ou 2 ○ 2 ou 3 ○ 1 à 3
○ Je ne sais pas

- **Conseil sur les dates/stades de déclenchement/observation :**

- Traitement 1 :
……
……
- Traitement 2 :
……
……
- Traitement 3 :
……
……
- Traitement 4 :
……
……

- **Conseil sur les matières actives/produits et les doses :**

- Traitement 1 :
……
……
- Traitement 2 :
……
……
- Traitement 3 :
……
……
- Traitement 4 :
……
……

Quelles informations vous ont-elles semblées clefs lors de l'élaboration de votre conseil ?

……
……
……
……
……

Visite n°2 : Post-hiver

Nous sommes maintenant début mars vous pouvez revenir me voir pour préciser ce conseil.

Pensez-vous que cela vous permettrait d'améliorer votre conseil ?

○ Oui ○ Non

Si 'Oui', de quelles informations avez-vous besoin pour m'aider à améliorer ma stratégie ?

Je répondrai à toutes les questions. Cependant ne me demandez que l'information qui vous semble nécessaire a priori pour élaborer votre conseil concernant ma stratégie de traitements des maladies fongiques.

Quel est, à ce jour, votre conseil étant données ces informations ?

Veuillez remplir la partie suivante et justifier oralement vos choix.

- **Conseil sur le nombre de traitements** :

○ 0 ○ 1 ○ 2 ○ 3 ○ Plus
○ 0 ou 1 ○ 1ou 2 ○ 2 ou 3 ○ 1 à 3
○ Je ne sais pas

- **Conseil sur les dates/stades de déclenchement/observation :**

- Traitement 1 :
……
……
- Traitement 2 :
……
……
- Traitement 3 :
……
……
- Traitement 4 :
……
……

- **Conseil sur les matières actives/produits et les doses :**

- Traitement 1 :
……
……
- Traitement 2 :
……
……
- Traitement 3 :
……
……
- Traitement 4 :
……
……

Quelles informations vous ont-elles semblées clefs lors de l'élaboration de votre conseil ?

……
……
……
……
……
……

Fin de la partie « Information à la demande »

Retour au questionnaire sur votre exploitation

Remplissage de planning : opérations sur le blé tendre

Dans cette partie, je vais vous demander de remplir un planning annuel avec les activités que vous avez prévues de réaliser sur le blé tendre.

Chaque mois sera divisé en 4 semaines. Mais si vous le souhaitez, vous pouvez noter des dates plus précises.

Vous aurez deux stylos : un noir et un rouge.

- En noir je vous demande d'écrire les activitées que vous êtes sûr de réaliser
- En rouge je vous demande de noter les activitées que vous n'êtes pas sûr de réaliser (non obligatoires ou conditionnelles)

Vous êtes invité à préciser vos opérations concernant le travail du sol, la gestion des adventices, la gestion des ravageurs, la gestion des maladies, le semis et la récolte.

Fin de la partie « Remplissage de planning »

Culture du blé tendre

Sur les 20 dernières années combien de fois avez-vous produits du blé tendre ? ……

Êtes-vous satisfait de votre stratégie actuelle en matière de gestion des maladies fongiques du blé tendre ?
Mettez une croix dans la case correspondante.

Très satisfait	Satisfait	Moyennement satisfait	Peu satisfait	Très peu satisfait

Lorsque vous choisissez une variété de blé tendre, quels critères sont les plus importants pour vous ?
Ordonnez 6 réponses en commençant par la plus importante.

1) Le prix d'achet de la semence
2) La disponibilité
3) La résistance au froid
4) Le rendement potentiel
5) La résistance à la verse
6) La résistance aux maladies (ex. rouilles, oïdium, septoriose…)
8) La tolérance aux adventices
9) La qualité technologique (ex. teneur en protéines, dureté du grain…)
10) La résistance aux virus (ex. mosaïque)
11) Autre

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Si 'Autre', précisez : ……

Parmi les critères de résistance aux maladies, quelles résistances sont les plus importantes lorsque vous choisissez une variété de blé tendre ?
Ordonnez 6 réponses en commençant par la plus importante.

1) Carie
2) Oïdium
3) Fusariose des épies
4) Septoriose
5) Helminthosporiose
6) Charbon nu
7) Fusariose de la tige
8) Piétin verse
9) Piétin échaudage
10) Rouille jaune
11) Rouille brune
12) Autre

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Si 'Autre', précisez : ……

Utilisez-vous des semences de blé tendre traitées contre les ravageurs ?
○ Oui ○ Non

Utilisez-vous des semences de blé tendre traitées contre les maladies fongiques ?
○ Oui ○ Non

Si 'Oui', quelle(s) maladie(s) visez-vous par ce traitement de semences ?
Vous pouvez cocher plusieurs réponses.

1) Carie
2) Oïdium
3) Fusariose des épies
4) Septoriose
5) Helminthosporiose
6) Charbon nu
7) Fusariose de la tige
8) Piétin verse
9) Piétin échaudage
10) Rouille jaune
11) Rouille brune
12) Autre

☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Si 'Autre', précisez : ……

En général, lesquels de ces objectifs vous semblent les plus importants lors de la gestion des maladies fongiques sur vos parcelles de blé tendre :
Ordonnez les 5 objectifs en commençant par le plus important.

1) Limiter le risque d'infestation des parcelles (conservation de l'inoculum)
2) Limiter l'apparition de symptômes sur les parcelles
3) Limiter les pertes de rendement de la récolte
4) Limiter les pertes de qualité de la récolte
5) Limiter les pertes de revenu

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Combien de parcelles de blé tendre avez-vous ? ……

Lors de votre suivi parcellaire, essayez-vous de suivre l'ensemble des parcelles de blé tendre de manière homogène?
○ Oui ○ Non ○ Je n'ai qu'une seule parcelle

Si « Non », quelle est votre stratégie d'observation ?
……
……
……
……
……

En moyenne, combien de fois par mois faites-vous le tour de vos parcelles de blé tendre ?

	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aout
Nombre de fois												

Pour une parcelle donnée, lors de votre suivi parcellaire, observez-vous l'ensemble de la parcelle de manière homogène ?
○ Oui ○ Non

Si 'Non', quelle est votre stratégie d'observation ?
……
……
……
……

Pour vos quatre plus grandes parcelles de blé tendre, veuillez remplir le tableau suivant :
Si vous n'avez pas la réponse exacte, veuillez noter les valeurs moyennes.

Parcelle	SAU (ha)	Type de sol	Date de semis	Densité de semis (Grains/m²)	Variété(s)	Traitement de semences	Travail du sol (Broyage, labour…)
1							
2							
3							
4							

Pour ces quatre même parcelles, veuillez remplir le tableau suivant :

Parcelle	Rendement objectif (q/ha)	IFT fongicides	IFT	Date du 1er traitement fongique	Charges fongiques (€/ha)	Charges (€/ha)	Quantité d'azote (en unité)
1							
2							
3							
4							

Toujours pour ces quatre même parcelles, veuillez remplir le tableau suivant :

Parcelle	Présence de bandes enherbées	Présence de haies	Présence de forêts alentours	Culture de blé sur parcelles voisines	Culture précédente	Culture ante-précédente	Situation topographique (ex. Plateau, Bas-fond)
1	Oui / Non	Oui / Non	Oui / Non	Oui / Non			
2	Oui / Non	Oui / Non	Oui / Non	Oui / Non			
3	Oui / Non	Oui / Non	Oui / Non	Oui / Non			
4	Oui / Non	Oui / Non	Oui / Non	Oui / Non			

Maladies fongiques du blé tendre

Dans cette partie l'ensemble des questions portent sur la gestion des maladies fongiques de printemps du blé tendre sur votre exploitation. Le terme fusariose désigne la fusariose des épis.

En moyenne sur 10 ans, combien de fois avez-vous observé les maladies suivantes sur vos parcelles ?

Oïdium	Piétin verse	Rouille jaune	Rouille brune	Septoriose	Fusariose[1]
/10	/10	/10	/10	/10	/10

En moyenne sur 10 ans, combien de fois les maladies suivantes ont-elles engendré des pertes de rendements ou de qualité ?

Oïdium	Piétin verse	Rouille jaune	Rouille brune	Septoriose	Fusariose[1]
/10	/10	/10	/10	/10	/10

En moyenne sur 10 ans, quelles ont été les pertes de rendement engendrées par les maladies fongiques ?

Perte (q/ha)	0	1-5	6-10	11-15	16-20	Plus
Nombre d'années	/10	/10	/10	/10	/10	/10

En moyenne sur 10 années, combien d'années avez-vous appliqué 0, 1, 2ou 3 traitements fongiques ?

Perte (€/ha)	0	1	2	3	Plus
Nombre d'années	/10	/10	/10	/10	/10

Lorsque vous observez une parcelle touchée par une maladie fongique, vous est-il facile de prévoir la perte de rendement potentiellement occasionnée si aucune mesure n'était prise ?
Mettez une croix dans la case correspondante.

Très facile	Facile	Difficile	Très difficile

Lorsque vous traitez une parcelle touchée par une maladie fongique, vous est-il facile de prévoir le gain de rendement permis par celui-ci ?
Mettez une croix dans la case correspondante.

Très facile	Facile	Difficile	Très difficile

[1] Fusariose des épis

Lorsque vous observez des symptômes sur une parcelle, vous est-il facile de reconnaître la maladie associée ?
Pour chaque maladie, mettez une croix dans la case correspondante.

	Très facile	Facile	Difficile	Très difficile
Oïdium				
Piétin verse				
Rouille jaune				
Rouille brune				
Septoriose				
Fusariose des épis				

Pour déclencher une opération fongique sur une parcelle, réalisez-vous un comptage précis des pieds touchés ?
Pour chaque maladie, mettez une croix dans la case correspondante.

	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais
Oïdium				
Piétin verse				
Rouille jaune				
Rouille brune				
Septoriose				
Fusariose des épis				

Pour déclencher une opération fongique sur une parcelle, utilisez-vous les seuils d'intervention préconisées par les instituts techniques, les chambres d'agriculture ou les coopératives ?
Pour chaque maladie, mettez une croix dans la case correspondante.

	Toujours	Souvent	Parfois	Jamais
Oïdium				
Piétin verse				
Rouille jaune				
Rouille brune				
Septoriose				
Fusariose des épis				

En moyenne sur dix ans combien de fois avez-vous raté ou dû différer un traitement fongique ?
……../10 ans

Quelle en était la/les causes ?

- ○ Activité extraprofessionnelle
- ○ Priorité d'une autre parcelle
- ○ Priorité d'une autre culture
- ○ Activité professionnelle hors exploitation
- ○ Priorité d'un autre atelier
- ○ Météo
- ○ Autre

Reconnaissance de maladies à partir de photos

Quelles sont les maladies présentes sur chacune des photos ?
Les photos vous sont présentées séparément.

Auto-jugement

Comment jugez-vous votre consommation moyenne de <u>produits phytosanitaires sur votre exploitation</u> ?
Mettez une croix dans la case correspondante.

Très forte	Forte	Moyenne	Faible	Très faible

Essayer vous de réduire la quantité de produits phytosanitaires utilisée en moyenne sur votre exploitation?

○ Oui ○ Non

Pourquoi ?

……
……
……

Comment jugez-vous votre consommation moyenne de <u>produits phytosanitaires sur le blé tendre</u> ?
Mettez une croix dans la case correspondante.

Très forte	Forte	Moyenne	Faible	Très faible

Essayer vous de réduire la quantité de produits phytosanitaires utilisée sur le blé tendre?

○ Oui ○ Non

Pourquoi ?

……
……
……

Comment jugez-vous votre consommation moyenne de <u>produits fongicides sur le blé tendre</u> ?
Mettez une croix dans la case correspondante.

Très forte	Forte	Moyenne	Faible	Très faible

Essayer vous de réduire la quantité de produits fongicides utilisés sur le blé tendre ?

○ Oui ○ Non

Pourquoi ?

……
……
……

Déterminants du développement des maladies fongiques du blé tendre

Dans cette partie, nous allons tenter d'identifier l'ensemble des facteurs pouvant influencer le développement de la rouille brune sur le blé tendre.

Nous allons représenter l'ensemble des facteurs et sous facteurs impactant sur le développement de la rouille brune à l'aide d'une arborescence. En haut de l'arbre, nous aurons l'impact final sur le développement de la maladie et les branches représenteront les différents facteurs.

<u>EXEMPLE</u>

Voici une arborescence qui permet de le représenter les facteurs influant sur le développement de la coqueluche chez l'homme :

Développement la coqueluche
- Médicaments
  - Vaccin
    - Initial
    - Rappel
  - Traitements
- Contexte
  - Pays à risque
  - Niveau de sociabilisation
  - Profession

Le premier niveau de cette arborescence vous est donné. Il est divisé en trois branches :

- Pratiques agricoles
- Conditions pédoclimatiques
- Environnement de la parcelle

Développement de la rouille brune sur le blé tendre

- Pratiques agricoles
- Conditions pédo-climatiques
- Environnement parcelle

Impact de facteurs sur le développement des maladies fongiques du blé tendre

Un tableau va vous être proposé avec les différentes maladies du blé tendre en haut et différents facteurs pouvant potentiellement impacter le développement des ces maladies à gauche.

Veuillez remplir le tableau suivant en indiquant :

- 0 si vous pensez que le facteur n'a pas d'impact sur le développement de la maladie
- + si vous pensez que le facteur a un impact faible sur le développement de la maladie
- ++ si vous pensez que le facteur a un impact important sur le développement de la maladie
- +++ si vous pensez que le facteur a un impact très important sur le développement de la maladie

Si vous n'avez aucune idée de l'effet d'un facteur vous pouvez mettre un point d'interrogation « ? ».

	Oïdium	Piétin verse	Rouille jaune	Rouille brune	Septoriose	Fusariose des épis
Choix variétal						
Date de semis						
Densité de semis						
Fertilisation						
Historique de la maladie sur la parcelle						
Irrigation						
Météo hiver						
Météo printemps						
Plantes hôtes (ex. blé) dans l'environnement						
Rotation						
Topographie						
Traitements fongiques sur la parcelle						
Traitements de semences						
Travail du sol						
Type de sol						
Autre:						

Veuillez entourer les facteurs sur lesquels vous agissez dans l'objectif de diminuer le développement des maladies fongiques sur vos parcelles de blé tendre ?

Mise en situation face à des scénarios

Dans cette partie, nous allons vous demander de réagir face à différents scénarios. L'objectif est d'évaluer comment vous interprétez et réagissez face à un certain nombre d'information.

Nous allons considérer une parcelle de blé tendre semée sur votre exploitation.

Un certain nombre de caractéristiques de cette parcelles sont celles de votre plus grande parcelle actuellement en blé tendre : sol, environnement, topologie, précédents, travail du sol.

Les autres paramètres seront fixés par les différents scénarios proposés : prix, météo, semis…

Il va vous être successivement proposé différents scénarios. En fonction de ceux-ci, vous devrez :

- Indiquer ce que le scenario signifie/change pour vous
- Indiquer vos objectifs concernant la gestion des maladies fongiques sur la parcelle
- Evaluer le rendement potentiel si aucun traitement n'était effectué
- Indiquer votre objectif de rendement sur la parcelle
- Vous prononcer sur une stratégie antifongique de printemps

Le premier scenario (scénario 1A) servira de scenario de référence pour les douze autres scénarios.

Les bulletins de réponse vont vous être fournis séparément. Les deux pages suivantes en sont un exemple.

Scénario 4A

Numéro associé ☐
Ne pas remplir

Qu'est ce que cette information signifie et modifie pour vous ?
Vous pouvez répondre oralement

……
……
……
……
……
……
……
……
……
……
……

Sachant cette information, lesquels de ces objectifs vous semblent alors les plus importants concernant la gestion des maladies fongiques sur cette parcelle de blé tendre:
Ordonnez les 5 objectifs en commençant par le plus important.

1) Limiter le risque d'infestation de la parcelle (conservation de l'inoculum)
2) Limiter l'apparition de symptômes sur la parcelle
3) Limiter les pertes de rendement de la récolte
4) Limiter les pertes de qualité de la récolte
5) Limiter les pertes de revenu

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Quel serait le rendement potentiel si aucun traitement fongique n'était réalisé ?
(en q/ha) : ……

Quel est votre objectif de rendement en ce moment sachant que vous avez la possibilité de traiter ?
(en q/ha) : ……..

Scénario 4A

Numéro associé
Ne pas remplir

Votre stratégie de traitements antifongiques a-t-elle changé comparée à la stratégie du scenario 1A ?
○ Oui ○ Non

Si 'Oui', que pouvez-vous dire sur votre stratégie de traitements antifongique à ce moment ?
Veuillez remplir la partie suivante et justifier oralement vos choix.

- **Nombre de traitements** :
  ○0 ○1 ○2 ○3 ○Plus
  ○0 ou 1 ○1ou 2 ○2 ou 3 ○1 à 3
  ○ Je ne sais pas

- **Dates/stades de déclenchement/observation :**

- Traitement 1 :
……
……
……
- Traitement 2 :
……
……
……
- Traitement 3 :
……
……
……
- Traitement 4 :
……
……
……

- **Matières actives et doses**

- Traitement 1 :
……
……
……
- Traitement 2 :
……
……
……
- Traitement 3 :
……
……
……
- Traitement 4 :
……
……
……

1) Les conditions de semis

Scenario 1A

« Nous sommes en post-semis. Vous avez semé de l'Atour (variété moyenne résistante aux maladies), à une densité de 250 grains/m2 le 10 novembre. Les semences ont été traitées au Celeste gold. Le prix du blé tendre est annoncé à 200 €/T. »

Scenario 1B

« Nous sommes toujours en post-semis (début novembre). Vous avez semé de l'Auzat (variété peu résistante aux maladies), à une densité de 250 grains/m2 le 30 octobre. Les semences n'ont pas été traitées. Le prix du blé tendre est annoncé à 200 €/T. »

Scenario 1C

« Nous sommes toujours en post-semis (début novembre). Vous avez semé de l'Artigue (variété très résistante aux maladies), à une densité de 250 grains/m2 le 20 novembre. Les semences ont été traitées au Vibrance gold. Le prix du blé tendre est annoncé à 200 €/T. »

Attention !!!
Pour les tests suivants, vous avez semé de l'Atour (variété moyenne résistante aux maladies), à une densité de 250 grains/m2 le 10 novembre. Les semences ont été traitées au Celeste gold. (Scenario.1A)

2) Le prix du blé au semis

Scenario 2A

« Le prix du blé tendre est maintenant annoncé à 100€ par tonne. »

Scenario 2B

« Le prix du blé tendre est maintenant annoncé à 300€ par tonne. »

Attention !!!
Pour les tests suivants, le prix du blé est annoncé à 200€/T et vous avez semé de l' Atour (variété moyenne résistante aux maladies), à une densité de 250 grains/m2 le 10 novembre. Les semences ont été traitées au Celeste gold. (Scenario.1A)

3) Destruction partielle de la culture

« Nous sommes début décembre, il a gelé en novembre et vous avez perdu 30% de pieds de blé tendre sur votre parcelle. »

Attention !!!
Pour les tests suivants, il n'y a pas eu de destruction des cultures pendant l'hiver De plus, le prix du blé est annoncé à 200€/T et vous avez semé de l' Atour (variété moyenne résistante aux maladies), à une densité de 250 grains/m2 le 10 novembre. Les semences ont été traitées au Celeste gold. (Scenario.1A)

4) La météo de l'hiver

Scenario 4A

« Nous sommes maintenant mi-mars. Jusqu'à aujourd'hui aucun incident n'a été observé sur la parcelle. L'hiver a été doux et pluvieux. »

Scenario 4B

« Nous sommes maintenant mi-mars. Jusqu'à aujourd'hui aucun incident n'a été observé sur la parcelle. L'hiver a été frais et sec. »

Attention !!!
Pour les tests suivants, il n'y a pas eu de destruction des cultures pendant l'hiver et la météo hivernale a été moyenne. De plus, le prix du blé est annoncé à 200€/T et vous avez semé de l' Atour (variété moyenne résistante aux maladies), à une densité de 250 grains/m2 le 10 novembre. Les semences ont été traitées au Celeste gold. (Scenario.1A)

5) Septoriose

Scenario 5A

« Nous sommes maintenant au stade dernière feuille pointante. Jusqu'à aujourd'hui aucun incident n'a été observé sur la parcelle. Si vous avez déjà réalisé un traitement, celui-ci remonte à plus de 30 jours. Mais aujourd'hui, 30 % des plantes observées sur votre parcelle présentent des taches de septoriose sur la F3 déployée du moment. »

Scenario 5B

« Nous sommes maintenant au stade dernière feuille pointante. Jusqu'à aujourd'hui aucun incident n'a été observé sur la parcelle. Si vous avez déjà réalisé un traitement, celui-ci remonte à plus de 30 jours. Sur votre parcelle, aucune plante ne présente de tache de septoriose. Cependant le bulletin santé végétale (BSV) et les conseillers de coopérative assurent que la maladie est explosive sur votre secteur. »

6) Fusariose

Scenario 6A

« Le stade floraison est atteint. Jusqu'à aujourd'hui aucun incident n'a été observé sur la parcelle. Il n'a pas plu depuis 2 semaines et aucune pluie n'est prévue selon Météo France pendant les 2 semaines à venir. Votre dernier traitement remonte à 1 mois. »

Scenario 6B

« Jusqu'à aujourd'hui aucun incident n'a été observé sur la parcelle. Vous venez d'avoir 35 mm de pluie en 1 semaine (il a plu tous les jours). 80% des épis sont sortis. La météo annonce que demain il fera beau mais ensuite le vent et la pluie seront de retour pour une semaine. Votre dernier traitement remonte à 21 jours mais n'était pas efficace contre la fusariose. »

Scenario 6C

« Jusqu'à aujourd'hui aucun incident n'a été observé sur la parcelle. Etant données les conditions climatiques à la floraison vous avez décidé de traiter à pleine dose votre parcelle. Il vous faut donc épandre 12L du produit fongicide « X »sur votre parcelle. Vous avez en stock un bidon de 10L de ce produit « X ». Le plus petit conditionnement existant est de 10L. »

Fin du questionnaire

Perception du questionnaire

Comment percevez-vous ce questionnaire d'un point de vue de sa longueur ?

○ Trop court ○ Court ○ Bien ○ Long ○ Trop long

Comment percevez-vous ce questionnaire d'un point de vue de sa complexité ?

○ Trop simple ○ Simple ○ Bien ○ Complexe ○ Trop complexe

Quelles sont vos remarques sur ce questionnaire ?

……
……
……
……
……
……

MERCI !!!

AUTHOR : Charlotte DAYDÉ

TITLE : Understanding the operational decision-making process in agriculture : A bounded rationality approach.

PROFESSORS : Roger MARTIN-CLOUAIRE et Stéphane COUTURE

THESE DEFENCE : Toulouse, 17/01/2017

ABSTRACT :
In order to explain the diversity of farmers' practices, this these explores the decision-making process features involved in operational choices. Using a modeling and survey-based approach, we built a conceptual model of the farmer's decision-making process, distinguished different use of the decision-making process (referred to as decision modes), highlighted the link between these decision modes and farmers' practices, showed some simplification made by farmers in their decision-making process and offered suggestions for improving the decision support means to farmers. Both the models and the survey design are generic. They have been applied in a case study that makes it possible to explain the heterogeneity of fungicide use on soft wheat between farmers in the Midi-Pyrénées region by their personal characteristics, the characteristics of their production situation and their decision modes.

KEY WORDS : farm practices ; operational decision ; decision-making process ; decision modes ; survey ; bounded rationality.

DISCIPLINE : Agrosystèmes, écosystèmes et environnement.

RESEARCH UNIT : Unité MIAT, INRA centre de Toulouse, 24 Chemin de Borde Rouge Auzeville, CS 52627 – 31326 Castanet-Tolosan cedex

AUTEUR : Charlotte DAYDÉ

TITRE : Comprendre le processus de prise de décision opérationnelle en agriculture : Une approche en rationalité limitée.

DIRECTEUR DE THESE : Roger MARTIN-CLOUAIRE et Stéphane COUTURE

LIEU ET DATE DE SOUTENANCE : Toulouse le 17/01/2017

RESUME :
Afin d'expliquer la diversité des pratiques des agriculteurs, cette thèse explore le rôle des caractéristiques du processus de décision dans les choix opérationnels réalisés. Sur la base d'une méthode à deux volets (modélisation et enquêtes), nous avons proposé un modèle conceptuel du processus de prise de décision des agriculteurs, caractérisé les différences possibles au sein de ce processus (appelées modes de décisions), mis en évidence le lien entre ces modes et les pratiques, précisé les modalités de simplification du processus de décision et identifié de nouveaux leviers d'action pour l'accompagnement des agriculteurs. De nature générique, les modèles et les méthodes d'enquêtes proposés ont été appliqués à un cas d'étude qui à permis d'expliquer l'hétérogénéité des pratiques antifongiques des agriculteurs sur le blé tendre en Midi-Pyrénées par leurs caractéristiques personnelles, par les caractéristiques de leurs exploitations et par leurs modes de décision.

MOTS CLEF : pratiques agricoles ; décision opérationnelle ; processus de décision ; modes de décision ; enquêtes ; rationalité limitée.

DISCIPLINE ADMINISTRATIVE : Agrosystèmes, écosystèmes et environnement.

INTITULE ET ADRESSE DE L'U.F.R. OU DU LABORATOIRE : Unité MIAT, INRA centre de Toulouse, 24 Chemin de Borde Rouge Auzeville, CS 52627 – 31326 Castanet-Tolosan cedex