



HAL
open science

Modéliser la prise de décisions face aux incertitudes naturelles : vers un outil d'aide pour les acteurs privés et publics

Stephane Couture, Jacques - Eric Bergez

► To cite this version:

Stephane Couture, Jacques - Eric Bergez. Modéliser la prise de décisions face aux incertitudes naturelles : vers un outil d'aide pour les acteurs privés et publics. *Innovations Agronomiques*, 2019, 77, pp.75-84. 10.15454/y6m0-aq27 . hal-02905750

HAL Id: hal-02905750

<https://hal.inrae.fr/hal-02905750>

Submitted on 24 Jul 2020

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Modéliser la prise de décisions face aux incertitudes naturelles : vers un outil d'aide pour les acteurs privés et publics

Couture S.¹ et Bergez J.-E.²

¹ INRA, UR 875 Mathématiques et Informatique Appliquées de Toulouse, F-31326 Castanet Tolosan.

² INRA UMR Agroécologie, Innovations et Territoires, F-31326 Castanet Tolosan.

Correspondance : stephane.couture@inra.fr

Résumé

L'agriculture est une activité technico-économique soumise à de nombreuses incertitudes, principalement naturelles. Lors de leur prise de décision, les agriculteurs, dans leurs pratiques, doivent concilier avec ces incertitudes et sont souvent considérés et représentés comme des agents économiques évoluant dans des contextes de plus en plus complexes et incertains. Face à la complexité de ces systèmes, la modélisation systémique et la simulation dynamique sont des outils puissants permettant de les représenter. Après avoir décrit les grands enjeux et défis actuels auxquels font face les agriculteurs dans leurs activités de production, nous présentons en quoi la modélisation peut être un outil pour mieux appréhender ces éléments et aider à la prise de décision des acteurs privés et aussi aider à tester les performances de politiques publiques.

Mots-clés : Incertitude, Modélisation, Décision, Production, Politique publique.

Abstract : Modelling decision making under natural uncertainties : toward a support tool for private and public actors

Agriculture is a technical and economic activity facing many uncertainties principally due to nature. In their daily practices, farmers must consider these multiple uncertainties when defining decisions. They are often considered and represented as economic agents operating in complex and uncertain contexts. Faced with the complexity of these systems, systemic modelling approaches and dynamic simulation are powerful tools to represent them. First, we describe the major current issues and challenges facing farmers in their production activities. Second, we present how modelling can be a tool to better understand these elements and to help private actors to make decisions but also to test the performance of public policies.

Keywords : Uncertainty, Modelling, Decision, Production, Public policy.

1. Introduction

1.1 Production agricole et incertitudes naturelles

Activité technico-économique, l'agriculture est depuis toujours soumise à de nombreux risques et incertitudes, de natures diverses, dépendantes certes des contextes économique, politique, réglementaire, social, ou des conditions sanitaire et biotique mais surtout liées aux conditions climatiques.

Les exploitants agricoles dans leurs pratiques de tous les jours doivent, lors de leur prise de décision, concilier avec ces incertitudes. Ces décisions englobent des choix autant sur le long-terme, à l'échelle de l'exploitation (ex décisions d'investissement), que sur le court-terme, à l'échelle de la parcelle (ex opération de traitement d'une culture) (Robert, 2016). Les agriculteurs doivent également faire face à de multiples contraintes de disponibilité de ressources (naturelles, matérielles, humaines ou financières) qui affecteront leurs choix et pratiques (Claquin et al., 2017). Les agriculteurs sont souvent considérés et représentés comme des agents économiques évoluant dans des contextes de plus en plus complexes et incertains. Ils ont à gérer des systèmes de production agricole qui sont complexes et qui mobilise différents types de ressources dans le but d'atteindre des objectifs, souvent multiples (économique, social, environnemental) (Tristan et al., 2011).

L'adaptation au changement climatique constitue actuellement, pour les agriculteurs, une priorité centrale pour la conduite de leur système de production. En effet, il est clairement admis que des événements climatiques de nature exceptionnelle, par leur occurrence et leur intensité, ainsi qu'une tendance climatique générale modifiée constituera le milieu climatique incertain futur des agriculteurs. Aussi, dans un tel futur, ces derniers ont besoin de plus en plus d'informations, d'outils ou d'éléments quantitatifs pour les aider à prendre leurs décisions.

1.2 La modélisation de la décision sous incertitude

Face à la complexité des systèmes de production sous incertitudes, la modélisation systémique et la simulation dynamique sont des outils puissants pour représenter les interactions entre les processus biophysiques et les pratiques agricoles, à différentes échelles spatio-temporelles (Bergez et al., 2013). Cependant peu de modèles intègrent aujourd'hui le processus de prise de décision, c'est-à-dire le processus menant à l'identification de la décision choisie (Daydé, 2017). Or il est admis que cette composante pourrait être un des facteurs fondamentaux explicatifs de l'hétérogénéité des décisions observées dans un contexte incertain. En effet, dans des conditions similaires, deux agriculteurs ne prennent pas obligatoirement la même décision. Comprendre le pourquoi peut aider à une meilleure prise en compte du contexte dans le conseil apporté aux agriculteurs.

Plus globalement, la modélisation de la décision sous incertitude appliqué à l'agriculture, est un vaste domaine de recherche scientifique abordé par de nombreuses disciplines comme l'économie, l'agronomie, l'intelligence artificielle ou les sciences cognitives, chacune s'appuyant, pour l'aborder, sur des paradigmes théoriques différents (rationalité totale ou limitée), avec des approches et des méthodes spécifiques (comme la modélisation conceptuelle, la simulation dynamique, les expérimentations). Quelques auteurs (Daydé, 2017 ; Robert et al., 2016) ont proposé une classification des travaux existants sur le sujet afin de faire émerger quelques éléments et limites. Certains travaux de modélisation de la décision sous incertitude se sont concentrés sur la construction de la fonction objectif des acteurs, en ciblant soit leurs préférences (Bocquého et al., 2014), soit leurs capacités d'adaptation et leurs comportements adaptatifs (Darnhofer, 2014 ; Bergez et al., 2010) afin de proposer des cadres théoriques de modélisation. Ainsi, globalement, ont été proposés de nombreux modèles qui se distinguent principalement par la considération plus ou moins précise du processus de prise de décision des agriculteurs (notamment les préférences, les objectifs et les connaissances), le mécanisme de choix et la temporalité associée au processus de décision. Toutefois, les applications des modèles proposés font apparaître souvent des différences significatives entre les décisions recommandées par les modèles et celles observées. Il en ressort alors un besoin de raffinement des modèles de décision sous incertitude en s'appuyant sur une connaissance plus précise de la façon dont les agriculteurs prennent leur décision.

L'objectif de cet article est double et vise à apporter des éléments de réflexion aux deux questions suivantes :

- Quels sont les nouveaux éléments fondamentaux à prendre en considération pour mieux appréhender les comportements des agriculteurs en situation d'incertitude ?
- En quoi la modélisation peut être un outil pour mieux appréhender ces éléments et aider à la prise de décision des acteurs privés et aussi aider à tester les performances de politiques publiques ?

2. Vers une meilleure appréhension des comportements des agriculteurs face aux incertitudes naturelles

Avant toute chose, il est important de bien définir trois notions qui seront utilisées dans la suite de cet article :

- **Le risque** : les probabilités des différents états de la nature sont connues
- **L'incertitude** : les probabilités des différents états de la nature sont inconnues
- **L'ambiguïté** : les probabilités des différents états de la nature sont incertaines

Avant d'envisager de mettre en application toute démarche de modélisation de la prise de décision d'un agriculteur sous incertitude, il convient de préciser les grands enjeux et défis actuels auxquels fait face ce dernier dans son activité de production. Cette étape indispensable vise à avoir une meilleure appréhension des comportements des agriculteurs face aux incertitudes naturelles. Deux principaux aspects sont présentés ici : le premier concerne trois éléments à considérer qui nécessitent des avancées scientifiques relatives au lien entre les comportements de production agricole et incertitudes ; le second est lié à connaissance du processus de prise de décision, composant fondamental de la décision qu'il convient d'intégrer systématiquement dans les démarches de modélisation des comportements sous incertitude.

2.1 Comportements de production agricole et incertitudes

Actuellement, les comportements des agriculteurs sous incertitudes sont principalement conditionnés par trois éléments contextuels déterminants : changement climatique et incertitudes, transition agroécologique et incertitudes, perception et préférences vis-à-vis des incertitudes (Reynaud et al., 2018).

2.1.1 Changement climatique et incertitudes

L'adaptation au changement climatique est actuellement un enjeu primordial et fondamental pour la société et pour la recherche afin de proposer des solutions plus résilientes aux exploitants agricoles. En effet, leur environnement actuel est affecté par de multiples incertitudes liées aux conditions climatiques (régime des précipitations, occurrences de fortes chaleurs ...) et dont l'impact sur les prises de décision et sur le fonctionnement de leur exploitation agricole n'est pas parfaitement connues. L'agriculteur, vu comme un agent décideur, fait souvent face à une imprécision des informations disponibles nécessaires pour prendre ses décisions que sur les impacts de ses décisions dans cet univers incertain sur son système d'exploitation. La prise en compte de ces multiples imprécisions peut modifier les décisions optimales en les faisant dépendre notamment de son attitude vis-à-vis de l'incertitude. Ainsi, face aux sources multiples d'informations, la production agricole actuelle évolue dans des contextes d'ambiguïté où les probabilités associées aux différents états sont incertaines.

Pour intégrer cette dimension d'ambiguïté et pour mettre en exergue de nouveaux mécanismes mis en œuvre dans les décisions courantes, de nouveaux cadres théoriques ont émergés. Ces nouveaux cadres remettent en cause le modèle standard d'utilité espérée mobilisée par les économistes jusqu'à présent. Ils requestionnent également les mesures empiriques, portant principalement sur l'aversion à

l'ambiguïté ou les croyances (Baillon et L'Haridon, 2016 ; Machina et Siniscalchi, 2014 ; Etner et al., 2012). De tels cadres théoriques ont relativement été peu appliqués à des problématiques de production agricole sous ambiguïté. Quelques travaux de modélisation de la décision ont appliqués ces cadres pour analyser un problème de décision statique (appliqués au choix d'assurance, ou au choix de pratique culturale). Un recours à ces cadres pour des problèmes de choix séquentiels demeure marginal pour des analyses tant théorique (Alary et al., 2013 ; Treich et al., 2010) qu'appliquée (Couture et al., 2018).

La modélisation et l'optimisation dynamique sous ambiguïté s'avère un outil déterminant pour aborder ce front de science fondamental portant sur l'intégration de l'enjeu du climatique dans la problématique de la production agricole. Face à ce constat, il est fondamental de prendre en compte systématiquement et explicitement l'ambiguïté et de raisonner dans un tel contexte en ayant initialement défini de manière précise les diverses sources d'ambiguïté. Le recours à des bases de données, les démarches de simulation numérique et les évolutions des ressources informatiques et les liens avec le Big Data sont autant d'éléments qui vont permettre de réaliser de telles analyses sous ambiguïté. De même, rares sont les études et analyses empiriques portant sur des décisions réelles de production agricole en situation d'ambiguïté. Seuls quelques travaux appliqués s'appuyant sur des démarches d'économie expérimentale (contextualisées ou décontextualisées) s'intéressent à de tels problèmes, en ciblant principalement les mesures des préférences vis-à-vis de l'ambiguïté (Iyer et al., 2019 ; Bougherara et al. 2017). Il convient aussi d'alimenter la connaissance empirique de cette problématique.

2.1.2 Transition agroécologique et incertitudes

La transition des activités de production conventionnelles vers des activités plus agroécologiques doit arbitrer entre enjeux économiques et environnementaux mais aussi assurer la résilience des exploitations agricoles face aux incertitudes. Une activité agricole conventionnelle est principalement soumise à des aléas climatiques dont les conséquences peuvent être atténuées par l'agriculteur, grâce à des décisions techniques, comme le recours aux produits phytopharmaceutiques ou à l'irrigation. Au contraire, une activité agroécologique tire profit des services écosystémiques du système de production et de son environnement ; la gestion d'un tel système est alors fortement impactée (Duru et al., 2015). De telles pratiques engendrent, tout en complexifiant la gestion des activités agricoles, de nouvelles incertitudes technico-économiques comme l'absence ou le manque de connaissances sur des processus biophysiques liées aux pratiques agroécologiques (Duru et al., 2015). Ces incertitudes peuvent constituer un frein à leur adoption (Bidaud, 2013). En effet, la diversité des comportements des agriculteurs ainsi que leurs perceptions vis-à-vis des innovations sont autant de facteurs limitants à l'adoption de telles pratiques agroécologiques.

Face à la complexité de ces nouveaux systèmes et à la présence de ces nouvelles incertitudes, la modélisation et la simulation dynamiques peuvent s'avérer de puissants outils permettant de représenter les interactions entre les différents processus biophysiques, technico-économiques et décisionnels considérés, afin d'obtenir des indicateurs donnant des informations tant sur le système, et notamment sur certaines de ces composantes difficilement mesurables sur l'exploitation agricole, que sur de nouveaux facteurs importants pour la décision. De plus, toutes ces multiples informations peuvent être obtenues à différentes échelles spatio-temporelles (Bergez et al., 2013) et une telle connaissance permet de réduire les incertitudes. De même, de telles approches de modélisation systémiques ou multi-critères peuvent aider à reconcevoir les systèmes ou à optimiser les interactions entre les processus des systèmes (De Cara et al., 2011).

2.1.3 Des perceptions et préférences vis-à-vis du risque et de l'incertitude et leurs impacts sur les comportements de production

L'hétérogénéité des comportements de production d'agriculteurs sous incertitude est souvent expliquée par les différences de leurs perceptions et de leurs préférences vis-à-vis du risque et de l'incertitude. Le

lien entre les préférences des agriculteurs et leurs décisions de production est validé par de nombreux travaux empiriques. Par exemple, il est admis que les préférences vis-à-vis du risque et sa forte hétérogénéité individuelle peuvent expliquer les choix de culture (Ricome et al., 2016), l'utilisation d'intrants tels que les pesticides ou les engrais (Chakir et Hardelin, 2014), l'irrigation (Koundouri et al., 2006 ; Reynaud, 2009 ; Foudi et Erdlenbruch, 2012), ou la demande d'assurance (Chakir et Hardelin, 2014 ; Mosnier, 2015).

Initialement mesurée par des approches économétriques structurelles sur des données d'observations de production agricole (Koundouri et al., 2009 ; Foudi et Erdlenbruch, 2012), les préférences vis-à-vis du risque des agriculteurs ont été plus récemment évaluées par des approches en économie expérimentale utilisant des jeux de loterie ou des approches plus contextualisées (Bocquého et al., 2014 ; Bougherara et al., 2017).

Il est maintenant admis que les exploitants agricoles présentent de l'aversion au risque et que le modèle structurel le plus courant est le cadre d'utilité espérée. Il ressort aussi, en France, une grande hétérogénéité des préférences face au risque des agriculteurs (Reynaud et Couture, 2012). Cette hétérogénéité peut justifier des décisions diverses et variées entre agriculteurs dans des situations d'incertitudes existantes ou en présence de nouvelles incertitudes telles que lors de la transition agroécologique. Il convient alors de prendre en considération systématiquement cet aspect et d'adapter tant les modes de gestion de ces risques que les pratiques culturales. Il faut aussi intégrer le fait que ces préférences, dans des situations complexes et incertaines peuvent être instables et fortement dépendantes du contexte considéré. Aussi un affinement précis de leurs évaluations est nécessaire. Il en est de même pour les perceptions vis-à-vis de ces nouvelles incertitudes (Roussy, 2015). De même, dans de telles situations, de nouveaux paramètres liés aux préférences, tels que l'aversion à la perte ou l'aversion aux risques catastrophiques, peuvent influencer les choix des agents (Rheinberger et Treich, 2017) ; il devient alors indispensable de les considérer dans les modèles de décision d'agriculteurs.

2.2 Connaissance du processus de prise de décision des agriculteurs : front de science pluridisciplinaire.

Comme tous les individus, les agriculteurs sont très hétérogènes dans leur comportement en situation d'incertitudes. Le fait que les comportements de gestion diffèrent d'un agriculteur à l'autre soulève de nombreuses questions à propos de la caractérisation et l'explication de ces différences. Il faut alors prendre en considération cette hétérogénéité en identifiant les facteurs fondamentaux qui l'expliquent. La capacité à prendre une décision est propre à chaque individu. Des tentatives pour intégrer cette disparité dans la modélisation de la décision sous incertitudes ont été proposées. La compréhension des décisions des agriculteurs qui ne s'appuient que sur les études des objectifs, des activités et des contraintes, repose alors sur l'hypothèse de rationalité. Sous cette hypothèse, les agriculteurs sont considérés comme des maximisateurs de leur fonction objectif sous un certain nombre de contraintes. Le seul paramètre humain impactant les décisions est la fonction objectif. Toutefois, étant données la complexité et l'incertitude de l'environnement dans lequel évolue l'agriculteur, il est peu probable que ce dernier puisse collecter et traiter toutes les informations nécessaires pour résoudre le problème d'optimisation auquel il fait face. Généralement, l'agent sélectionne les informations pertinentes et développe des processus de décision satisfaisants dans le sens où il choisit la décision qui lui semble satisfaisante étant donnée la complexité du contexte de la décision. Mais il ressort souvent que les décisions préconisées par les modèles économiques qui reposent sur le concept de rationalité totale divergent des décisions observées, remettant ainsi en cause cette hypothèse fondamentale. Aussi est-il suggéré que le comportement observé repose plus sur un principe de rationalité limitée (Simon, 1996). Un agriculteur est supposé, certes agir de façon rationnelle, mais dans la limite de ses capacités cognitives à traiter l'ensemble des informations disponibles (Daydé, 2017).

Une meilleure compréhension du processus de prise de décisions (Chavas et al., 2010) peut révéler des traits communs, aider à améliorer les pratiques courantes et contribue au renouvellement des programmes de conseil de formation de la profession.

Un courant émergent de la littérature économique, l'économie comportementale, étudie cet aspect en s'intéressant, non pas à la décision en tant que telle mais également au processus qui l'accompagne. Ainsi, l'hétérogénéité des décisions observées des agriculteurs pourrait être expliquée par des différences liées à leurs processus de décisions. Les études de tels processus sont actuellement rares (Daydé, 2017 ; Robert, 2016) mais constituent un vaste champ de recherche émergent et peu mobilisé en agriculture. Par exemple, Daydé (2017) montre que la diversité observée des pratiques antifongiques des agriculteurs s'explique par les caractéristiques des agriculteurs, les caractéristiques de leur exploitation mais aussi leurs modes de décision, soit les différentes modalités associées au processus de décision des agriculteurs (comme l'assistance vs l'autonomie, la réactivité vs l'anticipation, la délibération vs l'automatisme). Elle montre aussi que, disposant de connaissances peu spécifiques, les agriculteurs ne les utilisent pas toutes lors de la prise de décision.

La considération du processus de prise de décision devient alors un élément important dans la modélisation de la décision sous incertitude qu'il convient de considérer systématiquement. Thématique par nature multidisciplinaire, cette intégration reposera sur un travail collaboratif qui trouvera ses fondements dans les sciences cognitives, l'agronomie, l'intelligence artificielle et l'économie.

3. Le recours à la modélisation : vers un outil d'aide pour les acteurs privés et publics

Face à des problèmes complexes et dynamiques, objets d'enjeux et d'actions multiples, impactés par diverses incertitudes, où il est très difficile ou coûteux voire impossible de mettre en place des expérimentations ou des études sur le domaine, la modélisation s'avère un outil fédérateur et exploratoire. Outil puissant ne permettant pas de représenter fidèlement la réalité de la situation étudiée, la modélisation devient un objet de réflexion, de partage et de discussion permettant d'aider à la décision, en mettant en relation hypothèses, croyances, principes et résultats. Elle permet la production de connaissances portant sur des systèmes complexes impactés par de multiples incertitudes. Elle peut aider les acteurs tant privés que publics à prendre leur décision dans des situations incertaines.

3.1 Le recours à la modélisation

3.1.1 Pour faire face à des systèmes complexes sous incertitudes

Les différents enjeux et défis auxquels est confrontée l'activité agricole ouvre de nouveaux champs d'étude à approfondir dans le domaine de la modélisation de la décision sous incertitudes et soulèvent des difficultés par le caractère complexe du système à étudier sous incertitudes. La modélisation permet de formaliser des contextes complexes spatio-temporels différents avec des agents hétérogènes ayant des capacités cognitifs multiples. Elle est un outil adapté pour aborder la problématique de la prise de décision des agriculteurs sous incertitudes, en considérant les différents champs précédemment décrits. Face à la complexité du système étudié, la modélisation permet une meilleure compréhension de son fonctionnement, en le quantifiant à partir d'hypothèses simplificatrices qu'il convient de définir avec beaucoup d'attention. Malgré ces simplifications, et qui plus est étant donné les progrès des outils informatiques, le recours à la modélisation, avec des principes et des techniques bien définis, permet d'atténuer ces simplifications. Il existe une grande diversité de méthodes et d'outils pouvant reposer sur de multiples formalismes.

Aussi il est possible actuellement d'envisager des modèles de comportement complexes intégrant les fonctionnements biophysique, écologique et technique du système mais aussi des aspects cognitifs qui peuvent l'affecter. La modélisation permet une représentation objective du système mais aussi subjective en intégrant la vision que les acteurs se font du système et la compréhension qu'ils en ont, en prenant en compte les dimensions cognitives et psychologiques de la prise de décision. Il s'agit d'un nouveau paradigme de modélisation. Il s'agit de modèles intégrés, soit des modèles de programmation mathématique (par exemple), et non des méthodes économétriques (reposant sur des données d'observation). Ces modèles permettent de représenter les interactions entre les différentes composantes, tant biophysiques qu'économiques et psychologiques.

3.1.2 Pour favoriser une approche pluridisciplinaire

La modélisation permet de favoriser les collaborations pluridisciplinaires en renforçant les approches mixant diverses démarches et concepts. Elle facilite les collaborations scientifiques novatrices et créatives, favorisant la prise en compte de la complexité et l'affinement de la représentation de certains points plus précis (comme le système productif pour les démarches de modélisation économique ou les fonctions critères à optimiser dans les modèles biophysiques). La modélisation est alors une démarche propice à la pluridisciplinarité et devient un outil majeur de la démarche scientifique (Malézieux et al., 2001). Elle permet de faire collaborer différents champs et approches disciplinaires, d'en conserver les spécificités et de les faire interagir entre eux.

3.1.3 Grâce à des plateformes de modélisation et de simulation

Des plateformes de modélisation et de simulation appliquées à des problématiques agricole et environnementale sont disponibles pour décrire, conceptualiser, formaliser, concevoir et simuler ces systèmes complexes. Elles reposent toutes sur des langages et formalismes spécifiques et sont caractérisées, pour les utilisateurs, par leurs niveaux de connaissances, de compétences et d'expertise exigés en programmation sous-jacente. Toutefois, certaines plateformes disposent d'environnements facilitant leur usage comme une interface graphique, un compilateur ou un interpréteur (Bourgais, 2018).

Ce sont des outils qui permettent de créer un modèle sans forcément rentrer dans les finesses et difficultés de la programmation. Les plateformes de modélisation et de simulation proposent aux utilisateurs une large variété d'approches de modélisation comme par exemples les modèles à base d'agents, les systèmes multi-agents, les évaluations multicritères, les modélisations spatiales, les couplages de modèles dynamiques avec différents formalismes.

Certaines plateformes (comme par exemples Netlogo, CORMAS ou GAMA : voir Bourgais, 2018) reposent sur la création de modèles par la programmation informatique, limitant ainsi son applicabilité à des utilisateurs n'ayant pas de formation informatique poussée, ou restreignant les niveaux de complexité des modèles créés par des utilisateurs, non issus du monde informatique mais plus issus des sciences sociales. D'autres plateformes (comme par exemples les plateformes MEANS (Auberger et al., 2013) ou RECORD (Bergez et al., 2013)) s'appuient plus sur une interface graphique pour la création des modèles, rendant l'exercice plus simple et convivial, ou proposent une interface web pour l'utilisation et la simulation de modèles complexes (comme la plateforme RECORD).

Pour l'utilisateur, le principal objectif de ces logiciels est de fournir un langage de programmation, utilisant des bibliothèques de structures et de fonctions, et de traitement des connaissances, facilement utilisable et offrant un éventail considérable de combinaisons.

3.1.4 Avec cependant quelques limites

Certes la modélisation est un outil phare pour la prospective dans de nombreux domaines liés aux enjeux agricoles et environnementaux actuels conditionnés par de multiples incertitudes mais elle présente deux limites et problèmes majeurs limitant l'usage de la modélisation et des résultats issus de

la simulation qu'il convient de ne pas oublier. Le premier problème, courant en analyse numérique, concerne « *la malédiction de la dimension* », même si un tel obstacle est partiellement levé par les capacités informatiques actuelles qui autorisent la simulation de modèles de plus en plus complexes. Elle concerne le fait que le temps et l'espace nécessaires à la simulation augmentent exponentiellement avec les dimensions du modèle considéré, ce problème étant accentué en présence de systèmes impactés par de multiples incertitudes. Le second problème porte sur la validité, tant interne qu'externe, des modèles. Sachant qu'il n'existe pas de théorie générale de la validité d'un modèle, il faut systématiquement s'assurer d'avoir des modèles calibrés et validés par les différents acteurs concernés. C'est une tâche relativement complexe à accomplir. Il existe alors une source d'incertitudes liée au choix de modélisation. En effet, des modèles représentant un même système peuvent fournir des résultats très différents lorsqu'ils sont construits puis utilisés dans des situations éloignées de la réalité, où il n'est pas possible expérimentalement de contrôler les sorties. C'est souvent le cas pour des simulations de grands enjeux économiques ou environnementaux à échelles spatio-temporelles sans possibilité d'expériences.

3.2 Vers un outil d'aide pour les acteurs

La modélisation est un puissant outil fournissant une source d'informations riche pour les agriculteurs en augmentant leur base de connaissances car elle permet de mesurer les conséquences de leurs décisions dans des conditions incertaines et qu'ils ne connaissent pas. C'est aussi un outil favorisant l'interaction leur permettant de modifier leurs pratiques en ayant un aperçu de leurs effets. La modélisation fournit aussi aux décideurs publics le moyen de tester les conséquences de politiques qu'ils ne peuvent difficilement expérimenter en situation réelle.

3.2.1 Vers un outil d'aide pour les agriculteurs

La modélisation est un outil permettant de représenter, certes de façon simplifiée, un système complexe évoluant dans une situation d'incertitudes. Elle peut répondre à deux principaux objectifs : l'un de nature descriptive afin de représenter et de reproduire l'hétérogénéité des comportements observés, et un autre d'ordre plus prospectif visant à apporter des éléments de réponse à ce qui devrait être fait.

Face aux différents enjeux indiqués, elle a surtout une dimension prédictive et prospective en aidant à augmenter les bases de connaissances pour les agriculteurs face à la diversité des situations écologiques, biophysiques, économiques et sociales auxquelles ils peuvent faire face. Elle permet d'évaluer les conséquences de multiples comportements face à diverses incertitudes du système, qui sont trop coûteuses à tester sur le terrain. Il est alors courant pour cela d'adopter une approche par scénarios qui permet en particulier d'introduire de l'incertitude sur différents paramètres biophysiques, technico-économiques mais aussi cognitifs. La présentation de différents scénarios permet alors de mesurer les réactions des acteurs. Il s'agit plus d'un outil d'aide à la réflexion qu'un outil d'aide à la décision face à de multiples incertitudes. Lorsque des situations stochastiques sont simulées, se pose la question de la reproductibilité de ces simulations. Un front de science demeure ici ouvert.

Il est de plus en plus courant dans la démarche de modélisation d'adopter une approche participative où les acteurs ciblés par le modèle interagissent fortement avec les scientifiques et les modélisateurs. La modélisation devient un outil de collaboration permettant la co-construction de pratiques et de modes de gestion adaptés à des situations incertaines.

3.2.2 Vers un outil pour tester les performances d'instruments de politique publique

Les modèles peuvent avoir un impact significatif pour les décisions publiques car ils permettent de simuler diverses situations et contextes de politique publique afin d'en évaluer leurs conséquences sur les choix des acteurs mais aussi sur la société. Ainsi, en disposant de modèles, les décideurs publics peuvent choisir la meilleure politique à mettre en œuvre en comparant les conséquences des

différentes actions possibles par les résultats de simulation des modèles. Il s'agit d'outil utile pour l'analyse de politique.

Références bibliographiques

- Alary D., Gollier C., Treich N., 2013. The Effect of Ambiguity Aversion on Insurance and Self-protection. *The Economic Journal* 123 (573):1188-1202.
- Auberger J., Gésan-Guiziou G., Haese C., Aubin J., van der Werf H., 2013. MEANS: une plateforme informatique INRA pour l'analyse multicritère de la durabilité des systèmes agricoles et agro-alimentaires. *Innovations Agronomiques* 31,169-181.
- Baillon A., L'Haridon O., 2016. La décision en ambiguïté : modèles et évaluations expérimentales. *L'Actualité Economique*, 92 (1-2), 81-111.
- Bergez J.-E., Colbach N., Crespo O., 2010. Designing crop management systems by simulation. *European Journal of Agronomy* 32, 3-9.
- Bergez J.-E., Chabrier P., Gary C., Jeuffroy M.H., Makowski D., Quesnel G., Ramat E., Raynal H., Rousse N., Wallach D., Debaeke P., Durand P., Duru M., Dury J., Faverdin P., Gascuel-Oudoux C., Garcia F., 2013. An open platform to build, evaluate and simulate integrated models of farming and agro-ecosystems. *Environmental Modelling and Software*, 39, 39-43.
- Bidaud F., 2013. Transitions vers la double performance : quelques approches sociologiques de la diffusion des pratiques agroécologiques. Note d'analyse n°63, Centre d'études et de prospective.
- Bocquého G., Jacquet F., Reynaud A., 2014. Expected utility or prospect theory maximisers? Assessing farmers' risk behaviour from field-experiment data. *European Review of Agricultural Economics* 41(1), 135-172.
- Bougherara D., Gassmann X., Piet L., Reynaud A., 2017. Structural estimation of farmers' risk and ambiguity preferences: A field experiment. *European Review of Agricultural Economics*. 44(5) : 782-808.
- Bourgais M., 2018. Vers des agents cognitifs, affectifs et sociaux dans la simulation. Thèse Normandie Université.
- Chakir R., Hardelin J., 2014. Crop Insurance and pesticide use in French agriculture: an empirical analysis. *Revue d'Études en Agriculture et Environnement* 95(1), 25 – 50.
- Chavas J.-P., Chambers R., Pope R., 2010. Production economics and farm management: a century of contributions, *American Journal of Agricultural Economics* 92(2), 356–375.
- Claquin P., Martin A., Deram C., Bidaud F., Delgoulet E., Gassie J., Hérault B., 2017. *MOND'Alim 2030, panorama prospectif de la mondialisation des systèmes alimentaires*. Paris, La Documentation française.
- Couture S., Lemarié S., Toquebeuf P., Teyssier S., 2018. The impact of information that reduces ambiguity on the use of pesticides: a theoretical and experimental approach. *Journées internationales du Risque, Niort*, 2018.
- Daydé C., 2017. Comprendre le processus de prise de décision opérationnelle en agriculture : Une approche en rationalité limitée. Thèse de doctorat SEVAB. Université de Toulouse.
- Darnhofer I., 2014. Resilience and why it matters for farm management. *European Review of Agricultural Economics* 41, 461-484.
- De Cara S., Jacquet F., Reynaud A., Goulevant, G., Jeuffroy M.-H., Montfort F., Luca P., 2011. Economic analysis of summer fallow management to reduce take-all disease and N-leaching in a wheat crop rotation. *Environmental Modelling and Assessment* 16(1), 91-105. 2011
- Duru M., Therond O., Martin G., Martin-Clouaire R., Magne M.A., Justes E., Journet E.P., Aubertot J.N., Savary S., Bergez J.-E., Sarthou J.P., 2015. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 35, 1259-1281.
- Etner J., Jeleva M., Tallon J.-M. 2012. Decision theory under ambiguity. *Journal of Economic Surveys*, 26 (2), 234-270.

- Foudi S., Erdlenbruch K., 2012. The role of irrigation in farmers' risk management strategies in France, *European Review of Agricultural Economics* 39, 439– 457.
- Iyer P., Bozzola M., Hirsch S., Meraner M., Finger R., 2019. Measuring farmer risk preferences in Europe: a systematic review. *Journal of Agricultural Economics*. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12325>. In Press.
- Knight F.H., 1921. *Risk, Uncertainty and Profit*. New York : Hart, Schaffner and Mars.
- Koundouri P., Laukkanen M., Myyrä S., Nauges C., 2009. The effects of EU agricultural policy changes on farmers' risk attitudes, *European Review of Agricultural Economics*, 36(1), 53-77.
- Machina M.J., Siniscalchi M., 2014. Ambiguity and Ambiguity aversion. Chapter 13. *Handbook of the Economics of Uncertainty*, 1: 729-807.
- Malézieux E., Trébuil G., Jaeger M., 2001. *Modélisation des agroécosystèmes et aide à la décision*. Cirad Collection repères.
- Mosnier C., 2015. Self-insurance and multi-peril grassland crop insurance: the case of French suckler cow farms. *Agricultural Finance Review* 75(4):533-551.
- Reynaud A., Couture S., 2012. Stability of risk preference measures: results from a field experiment on French farmers. *Theory and Decision*, 73 (2), 203–221.
- Reynaud A., Bergez J.-E., Couture S., Mosnier C., 2018. Vers une recherche en contexte incertain : mieux appréhender les comportements de production. Conférence EA INRA 20 ans. L'Inra et le défi des relations agriculture-environnement. Paris.
- Rheinberger C.M., Treich N., 2017. Attitudes toward catastrophe. *Environmental and Resource Economics* 67(3), 609-636.
- Ricome A., Chaib K., Ridier A., Képhaliacos C., Carpy-Goulard F., 2016. The role of marketing contracts in the adoption of low input practices in the presence of income supports: an application to the Southwestern France, *Journal of Agricultural and Resource Economics* 41(3):347-371
- Robert M., 2016. Modeling adaptive decision-making of farmer: an integrated economic and management model, with an application to smallholders in India. Thèse Université Paul Sabatier - Toulouse III.
- Robert M., Bergez J.-E., Thomas A., 2016. Processes of adaptation in farm decision-making models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 36: 64.
- Roussy C., 2016. *Systèmes de culture innovants : déterminants de l'adoption et rôle du risque*. Thèse Agrocampus Ouest.
- Simon H., 1996. *The Sciences of the Artificial*, 2nd Ed., MIT Press, Cambridge, MA.
- Treich N., 2010. The value of a statistical life under ambiguity aversion. *Journal of Environmental Economics and Management* 59(1) : 15-26.
- Tristan D., Cassedane X., Even M.-A., Vert J., 2011. Fiche-variable : systèmes de production et itinéraires techniques agricoles. Centre d'études et de prospective. *Agriculture Energie* 2030.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).