

MOTS CLES

Risque

Agriculture

Réduction des
émissions

FREINS A L'ADOPTION DE MESURES D'ATTENUATION DES GAZ A EFFET DE SERRE DANS L'AGRICULTURE

Quels rôles pour l'aversion au risque et l'aversion à l'ambiguïté ?

Par Camille Tevenart^{1,2,3}, Marielle Brunette², Caroline Orset³

La responsabilité du secteur agricole français en matière d'émissions de gaz à effet de serre (GES) n'est plus à prouver. Face à ce constat, des mesures d'atténuation sont proposées aux agriculteurs français. Or, une étude récente montre que ceux-ci auraient intérêt économiquement à mettre en place ces mesures, mais qu'ils ne le font pas. Partant de là, nous nous demandons si l'aversion au risque et l'aversion à l'ambiguïté des agriculteurs pourraient apporter un nouvel éclairage sur les freins à l'adoption des mesures d'abattement. Pour cela, nous présentons et utilisons les théories économiques du risque et de l'ambiguïté existantes, ainsi que la littérature empirique s'attachant à caractériser les préférences individuelles face au risque et à l'ambiguïté.

.....
Les auteurs tiennent à remercier Philippe Delacote.

Chaire Economie
du Climat

Palais Brongniart,
4ème étage

28 Place de la
bourse

75002 PARIS

¹ Chaire Economie du Climat.

² LEF, AgroParisTech, INRA, 54000, Nancy, France.

³ Economie Publique, AgroParisTech, INRA, Université Paris Saclay, 75005, Paris, France.

Introduction

Réduire les émissions de GES dans l'agriculture est désormais considéré, en France, comme un enjeu majeur de la politique environnementale. En 2014, le secteur agricole était responsable d'environ 20,2% du total des émissions de GES en France¹, notamment au travers des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) et de méthane (CH₄). Les protocoles de Kyoto (1997) et de Göteborg (2012) ont dirigé la France vers la mise en place de mesures d'atténuation de ces émissions. Poursuivant le même objectif, le Paquet Énergie-Climat de l'Union Européenne, révisé en 2014, demande à la France de réduire de 40% ses émissions de GES par rapport à 1990. Concernant plus spécifiquement le secteur agricole, une succession de lois, émanant du Grenelle de l'environnement en 2009 et de la loi d'avenir du 13 octobre 2014, sur les mesures d'atténuation dans le secteur, ont été votées entre 2005 et 2015.

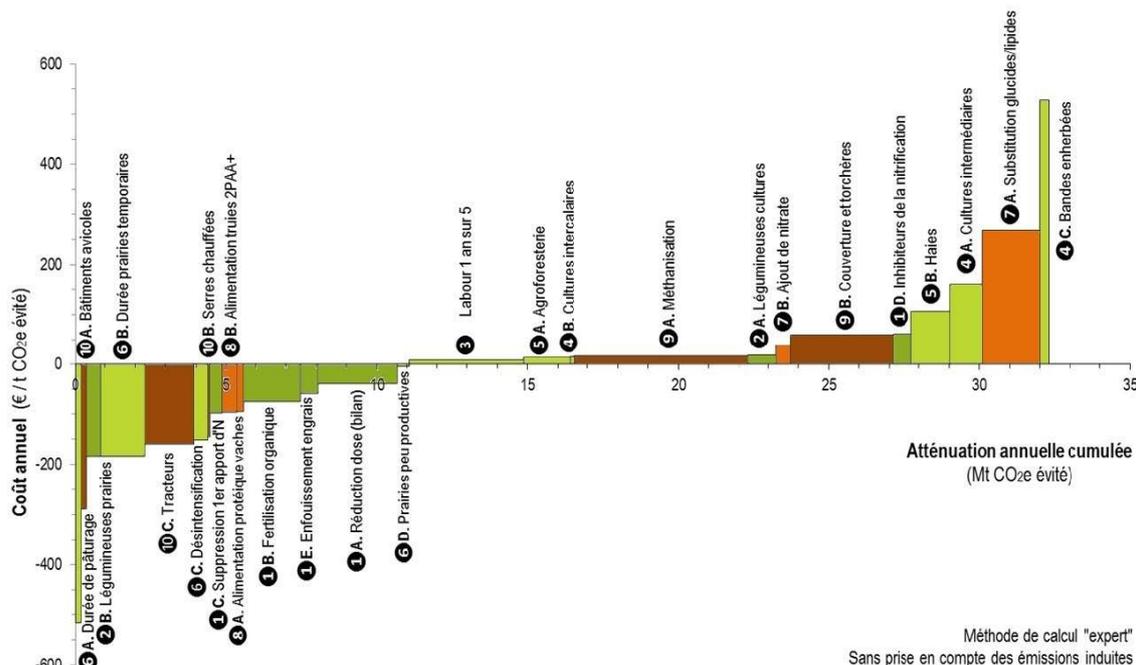
Les mesures d'atténuation de GES dans l'agriculture sont multiples. Elles constituent une modification apportée par l'agriculteur à sa production. Elles ont trait aux intrants et aux extrants des productions agricoles, à la gestion des sols, à l'alimentation du bétail et aux traitements de ses déchets organiques. L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA, 2013) a sélectionné une dizaine d'actions portant sur des pratiques agricoles susceptibles de contribuer à la réduction des émissions de GES. Il propose, par exemple, de diminuer les apports de fertilisants minéraux azotés, de stocker du carbone dans le sol et la biomasse, de modifier la ration des animaux, et de valoriser les effluents². Il évalue le potentiel, en termes de rapport coût d'abattement/potentiel d'abattement de ces mesures afin d'adapter et d'améliorer les incitations économiques à l'adoption. Cette évaluation a permis d'estimer le coût de réduction d'une tonne de GES des mesures d'atténuation considérées. La Figure 1, issue d'INRA (2013), présente ces coûts.

Selon la Figure 1, l'agriculteur peut avoir un intérêt financier à appliquer les mesures, sans politique publique spécifique, lorsque le coût associé est négatif. Or de nombreux coûts apparaissent négatifs (suppression du premier apport d'azote, désintensification, fertilisation organique, etc.). Partant de ce résultat, nous nous interrogeons sur les raisons de l'absence d'adoption de ces mesures par les exploitants français. L'INRA (2013) considère que les agriculteurs maximisent leurs profits dans un univers sans risque. Le fait qu'ils n'adoptent pas une mesure, qui leur serait profitable dans cet univers, peut être interprété comme un comportement irrationnel. Néanmoins, une autre explication peut être avancée notamment au regard de la littérature qui indique que les agriculteurs français présentent de l'aversion pour le risque (Reynaud et Couture, 2012 ; Bocquého et al., 2014) et pour l'ambiguïté (Bougherara et al., 2017). En effet, l'univers considéré dans le rapport INRA (2013) est certain, en ce sens qu'il n'intègre pas les aléas auxquels un agriculteur est confronté, et donc qu'il sous-entend une hypothèse de neutralité pour le risque. Nous proposons donc d'introduire le risque et l'ambiguïté, ainsi que les préférences des agriculteurs face au risque et à l'ambiguïté, dans cet univers afin d'apporter un nouvel éclairage sur les freins à l'adoption des mesures d'abattement.

¹ Pour plus de détails voir Citepa SECTEN 2014.

² La Figure 1 énumère toutes les actions proposées dans le rapport de l'INRA (2013).

Figure 1: Coûts de la tonne de CO₂ évité pour l'agriculteur et potentiels d'atténuation (année 2030, projection, France métropolitaine)



Source : INRA (2013)

La section 1 présente un panorama des théories économiques existantes pour modéliser le risque et l'ambiguïté. La section 2 décrit la littérature empirique permettant de quantifier les préférences face au risque et à l'ambiguïté. Des exemples issus de la littérature en économie agricole concernant l'adoption d'innovations dans la production illustrent ces deux sections.

1. Théories du risque et de l'ambiguïté : application au secteur agricole

Dans cette première section, nous présentons les théories du risque et de l'ambiguïté existantes.

1.1 Théories du risque

Nous présentons le cadre d'utilité espérée ainsi que des extensions et des alternatives à ce cadre.

1.1.1 Utilité espérée et attitudes face au risque

La pensée économique dominante considère que les décisions face au risque sont prises dans un cadre d'utilité espérée. Cette théorie a été introduite par Bernoulli (1738) avec le Paradoxe de Saint-Petersbourg. Bernoulli montre que les individus prennent leur décision en matière de loterie, non pas en se basant sur l'espérance de gain, mais sur la satisfaction retirée du gain de la loterie. Il représente cette satisfaction par une fonction dite d'utilité qu'il spécifie comme étant de forme logarithmique, c'est-à-dire croissante et concave. Cette forme

fonctionnelle est la première représentation de l'aversion pour le risque dans un modèle de décision. En 1944, von Neumann et Morgenstern (vNM) décrivent le choix du décideur face au risque comme un comportement de maximisation d'une fonction d'utilité espérée.

Arrow et Pratt proposent une mesure de l'aversion pour le risque, le coefficient d'aversion absolue pour le risque (Pratt, 1964 ; Arrow, 1965). Ce coefficient mesure le degré de concavité de la fonction d'utilité. Lorsque la richesse augmente d'un euro, le coefficient d'aversion absolue au risque mesure le taux auquel l'utilité marginale décroît. L'hypothèse standard est que les individus sont caractérisés par une aversion absolue pour le risque décroissante avec la richesse (DARA pour "Decreasing Absolute Risk Aversion"). Cela signifie que des individus ayant des préférences de type "DARA" seront caractérisés par une prime de risque qui diminue quand leur richesse totale augmente. En effet, lorsque la richesse augmente, le montant que l'individu est prêt à payer pour obtenir un profit certain (plutôt que risqué) baisse. Le coefficient d'aversion relative pour le risque est également une mesure largement utilisée dans la littérature (Arrow, 1971). Lorsque la richesse augmente de 1%, ce coefficient mesure le taux auquel l'utilité marginale décroît. L'hypothèse standard est que les individus sont caractérisés par une aversion relative pour le risque constante avec la richesse (CRRA pour "Constant Relative Risk Aversion").

Afin d'expliquer les comportements individuels d'épargne de précaution dans un modèle d'utilité espérée, Kimball (1990) observe que les préférences face au risque ne suffisent pas. Il propose alors le concept de prudence. Un individu est prudent s'il est sensible à l'éventualité d'une valeur négative de son profit espéré, et non plus seulement à une plus grande dispersion des gains. En matière de décision de consommation-épargne en contexte risqué, la prudence correspond à l'intensité de l'épargne de précaution, de sorte que la prudence peut conduire un agent à accumuler de la richesse pour faire face au risque. Ce nouveau concept permet d'analyser, en plus des comportements d'épargne de précaution, ceux d'assurance (Eeckhoudt et Kimball, 1992; Crainich et Eeckhoudt, 2005) et de prévention (Gollier et al., 2000; Treich, 2010). Ces différents travaux ont montré que la prudence peut mener à une plus grande assurance (ou réticence à investir) pour des risques de pertes relativement élevées.

Dans le cas de l'agriculture, nous considérons comme risquée la situation dans laquelle un exploitant ne connaît que la distribution de probabilité associée à son profit. En produisant, il sait qu'il fait face à des événements objectivement possibles qui peuvent modifier son profit. Par exemple, il est soumis aux aléas climatiques qui génèrent un risque de rendements. La volatilité des prix sur les marchés agricoles entraîne un risque de prix (intrants ou produits). Les mesures d'atténuations, comme toutes innovations, peuvent également créer des risques pour l'agriculteur, notamment de rendements. La théorie de l'utilité espérée a été appliquée à des questions agricoles, notamment en ce qui concerne l'assurance récolte (Babusiaux, 2000; Mahul et al., 2003). Dans ces modèles, un agriculteur ayant de l'aversion pour le risque compare son niveau de satisfaction avec et sans assurance, et adopte l'assurance si elle lui apporte la plus grande satisfaction.

La théorie de l'utilité espérée a été abondamment utilisée en économie agricole. La plupart des modèles théoriques ont consisté à évaluer les niveaux optimaux d'allocation des terres à une culture ou entre différentes cultures, d'utilisation d'intrants ou de production, en univers risqué. Par exemple, Feder (1980) analyse les choix d'adoption en terme d'intensité d'adoption et de quantité de terre allouée à l'adoption d'une nouvelle variété à haut rendement

requérant plus d'engrais mais dont la production est plus risquée. Il trouve que la proportion des terres allouée à l'innovation dépend de l'aversion pour le risque de l'exploitant, et que la relation entre aversion et richesse détermine l'impact de la taille de l'exploitation. Par exemple, des agriculteurs ayant des préférences de type DARA, qui selon les études peuvent représenter jusqu'à la moitié des agriculteurs français (Reynaud et Couture, 2012), adopteront davantage la nouvelle variété quand la taille de leur exploitation est grande. L'auteur montre également que le rôle du risque sur l'intensité d'adoption est fort si l'agriculteur subit déjà une contrainte de crédit. Cette conclusion est partagée par Feder et O'Mara (1981). Ces derniers montrent que les interactions entre aversion pour le risque, coûts fixes (liés au crédit, à l'acquisition d'information et à l'apprentissage notamment) et taille de l'exploitation peuvent représenter des freins à l'adoption d'innovation en agriculture. Les conclusions de Feder (1980) sont confirmées et étendues par Just et Zilberman (1983) qui ajoutent la nécessité de considérer également les corrélations entre les rendements des cultures conventionnelles et ceux des cultures où s'applique une innovation. Ces corrélations impliquent des interactions entre le risque associé aux deux types de production et une modification des préférences vis-à-vis du risque. Feder (1982) analyse les implications d'une adoption simultanée de plusieurs innovations, l'une divisible (adoption sur une partie de l'exploitation), et l'autre indivisible (adoption sur l'ensemble de l'exploitation) dont les résultats en termes de rendements sont corrélés. Il valide la présence d'une taille de l'exploitation critique, qui dépend du niveau de risque perçu par l'exploitant, au-dessous de laquelle l'adoption n'est plus profitable. Il ajoute que la simultanéité de l'adoption a essentiellement lieu chez les exploitants ayant les plus grandes propriétés pendant que les petits exploitants ont tendance à adopter individuellement uniquement l'innovation divisible dans les premiers temps. L'adoption de l'innovation divisible se fait toujours de façon séquentielle et selon l'aversion pour le risque. Cet aspect séquentiel est lié à la révélation au cours du temps des distributions de profits associées aux décisions de production, comme l'ont confirmé plus tard Leathers et Smale (1991). Partant cette fois d'une hypothèse de neutralité face au risque et d'absence de contrainte de ressources, ces auteurs modélisent les facteurs de l'adoption séquentielle des innovations en agriculture en univers incertain. Ils montrent que le niveau d'information sur les distributions de profit de l'innovation auquel a accès l'agriculteur, et son niveau de confiance dans l'information fournie le conduisent à adopter l'innovation par séquence si c'est un adoptant précoce. Les adoptants tardifs n'adoptent pas au début mais observent les adoptants précoces, et adoptent ensuite dès qu'ils ont accès à l'information, en laquelle ils ont confiance. Cet article intègre un aspect proche de l'aversion pour l'ambiguïté, que nous évoquerons dans la Section 1.2.

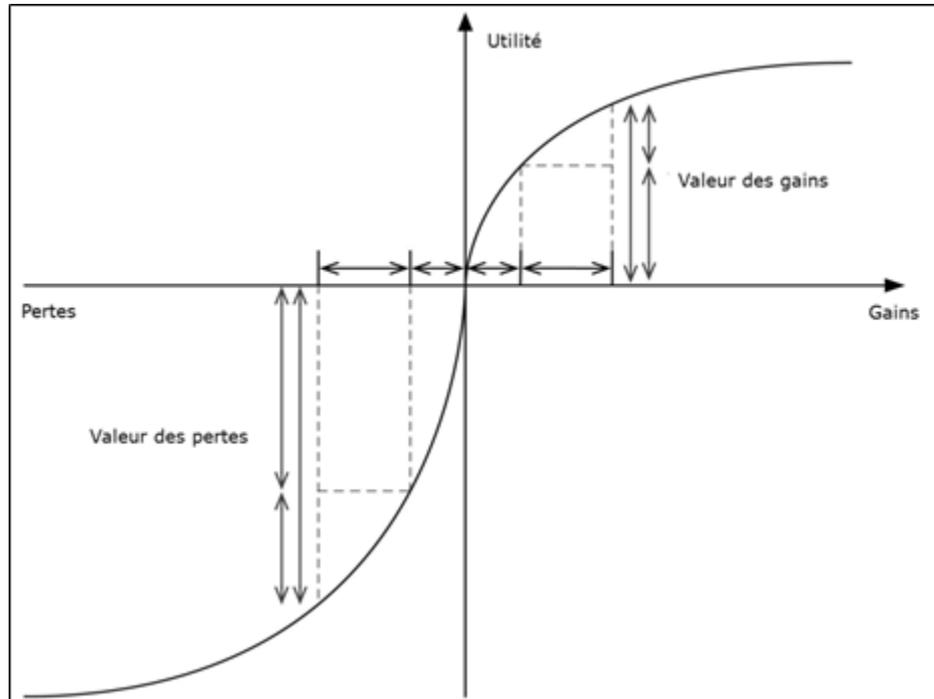
Certains auteurs, tels que Knight et al. (2003), ont relevé l'importance d'étendre ces modèles à l'incertitude sur les probabilités, l'hypothèse d'une bonne connaissance des distributions de profits ne leur semblant pas adaptée. En effet, les pratiques les plus éloignées des méthodes conventionnelles semblent comporter plus d'incertitudes.

1.1.2 Extensions et alternatives à la théorie de l'utilité espérée

Les psychologues Kahneman et Tversky (1979) développent la théorie des perspectives ("Prospect Theory") dans le cadre de la psychologie comportementale. Ils observent empiriquement deux phénomènes lors d'études cliniques contrôlées sur des sujets réels. Le premier est que les individus partent d'un point de référence pour évaluer les options auxquelles ils font face. Le second, les individus ne donnent pas le même niveau d'importance aux pertes et aux gains par rapport à ce point. Les individus sont plus sensibles (près de deux

fois plus) aux pertes qu'aux gains (cf. Figure 2). De plus, les individus ne semblent pas traiter les probabilités objectives d'occurrence des événements de la même manière. Ils peuvent donner plus de poids aux probabilités de certains événements qu'ils pensent les plus vraisemblables³. Par exemple, Kahneman et Tversky (1979) montrent qu'il existe un 'effet de certitude', les individus préfèrent un gain certain à une loterie risquée avec un gain espéré beaucoup plus élevé.

Figure 2. Fonction d'utilité de la théorie des perspectives.



Source : <http://ui-patterns.com/patterns/Loss-aversion>

Des extensions de la théorie de l'utilité espérée ont été proposées, notamment la "Subjective Expected Utility" de Savage (1954), qui est une conjonction des théories de vNM (1944) et de la théorie des probabilités subjectives (de Finetti, 1937; Ramsey, 1926). Cette théorie introduit l'idée que les agents font certains choix sans avoir la connaissance exacte des probabilités objectives associées aux conséquences de leurs choix. Ils ont des croyances, c'est à dire des probabilités subjectives représentant la vraisemblance qu'ils attribuent à l'occurrence des conséquences de leurs actes : leur satisfaction est donc modélisable par une utilité espérée subjective des gains issus de leur choix.

Une autre extension fut proposée par Quiggin (1982) qui conçoit une théorie proche de l'idée de poids de décisions de Kahneman et Tversky (1979), à l'aide d'une fonction attribuant la pondération aux décisions en fonction de leur position dans l'ordre de préférence de l'individu. Ce modèle est celui dit d'espérance d'utilité dépendant du rang ("Rank Dependent Expected Utility", RDEU).

³ Il ne s'agit pas ici de probabilité subjective (croyance) ou de surestimation d'une probabilité, il s'agit d'une pondération selon l'importance donnée à la probabilité objective dans le choix.

Encadré 1: La théorie du risque et l'adoption de mesures d'atténuation.

La satisfaction de l'agriculteur provient de son profit espéré. La théorie de l'utilité espérée appliquée à notre problématique consiste à comparer la satisfaction de l'agriculteur associée à son profit espéré lorsqu'il adopte une nouvelle mesure d'abattement et celle sans cette mesure. Le choix de l'agriculteur se porte sur l'action qui lui procure la plus grande satisfaction. Par extension, l'adoption de la mesure peut être totale ou partielle. L'agriculteur évalue à partir de son profit espéré la partition ou l'intensité d'adoption qui lui semble optimale. Notons L l'ensemble de ses terres, L_m , la part de ses terres sur lesquelles il adopte la nouvelle mesure d'abattement, et L_c , la part de ses terres sur lesquelles il exerce une culture dite conventionnelle. Cela conduit à $L = L_m + L_c$. Chaque culture génère un rendement espéré noté G_m pour la culture avec la nouvelle mesure et G_c pour la culture conventionnelle. Lorsque l'agriculteur est neutre à l'égard du risque, sa prime de risque est nulle et donc son utilité correspond au profit espéré. Ainsi, le profit de l'agriculteur neutre face au risque s'écrit :

$$P_1 = L_c \cdot G_c + L_m \cdot G_m = (L - L_m)G_c + L_m \cdot G_m.$$

L'agriculteur choisit la part de ses terres L_m^* qui lui procure le profit le plus élevé. Il obtient :

$$L_m^* = \begin{cases} 1 & \text{si } G_c < G_m \\ 0 & \text{si } G_c > G_m \\ [0, 1] & \text{si } G_c = G_m \end{cases}$$

L'agriculteur convertit toutes ses cultures en appliquant la nouvelle mesure (aucune culture) lorsque son rendement en appliquant la mesure est supérieur (inférieur) à celui sans l'application. Lorsque les deux rendements sont identiques, l'agriculteur est indifférent entre l'adoption et la non-adoption. Il peut donc répartir ses terres entre les deux possibilités.

Si l'agriculteur est averse pour le risque, alors sa prime de risque est positive, ce qui réduit son utilité et modifie le profit comme suit :

$$P_2 = L_m(G_m - p_m) + (L - L_m)G_c.$$

En tenant compte de la prime de risque, la part optimale L_m^* est définie telle que :

$$L_m^* = \begin{cases} 1 & \text{si } G_c < G_m - p_m \\ 0 & \text{si } G_c > G_m - p_m \\ [0, 1] & \text{si } G_c = G_m - p_m \end{cases}$$

Cultiver ses terres en adoptant la mesure est moins rentable, pour un agriculteur riscophobe que pour un agriculteur neutre face au risque. En effet, la prime de risque conduit à $G_m - p_m < G_m$. Cela implique qu'il est moins probable que l'agriculteur adopte la mesure. L'introduction d'une subvention optimale s^* couvrant la prime de risque, c'est à dire $s^* = p_m$, peut pallier ce problème. Néanmoins, cette subvention est difficile à mettre en place. Sa quantification n'est pas aisée. Les expériences économiques interrogeant directement les agriculteurs peuvent aider à résoudre ce problème. Mais, chaque agriculteur a sa propre aversion pour le risque. Se baser sur la moyenne, la médiane ou sur l'aversion la plus élevée peut être inefficace économiquement.

1.2 Théories de l'ambiguïté

Une des premières étapes de la construction de la théorie de l'ambiguïté réside dans le paradoxe d'Ellsberg ("problème à trois couleurs" 1961⁴). Ellsberg (1961) nuance la théorie de

⁴ L'expérience d'Ellsberg est la suivante : considérons une urne composée de 90 boules dont 30 sont rouges, les autres étant jaunes ou noires (distribution inconnue, incertitude). Dans un premier temps, il

Savage (1954), évoquée précédemment, en observant que les individus ne semblent pas toujours prendre leur décision sur la base d'une utilité espérée subjective. En effet, Ellsberg (1961) montre que parfois les individus doutent de leurs propres croyances, ce qui les conduit à surestimer ou sous-estimer l'occurrence de certains événements, et à pondérer leur espérance d'utilité en fonction de cela.

A la suite des travaux de Savage (1954), de nombreuses théories de l'ambiguïté ont vu le jour⁵ telles que le "alpha-maxmin model" (Gilboa et Schmeidler, 1989), "smooth ambiguity model" (Klibanoff et al., 2005) et "neo-additive capacities" (Chateauneuf et al., 2003). Le Tableau 1 résume ces trois principaux modèles d'aversion pour l'ambiguïté.

Tableau 1. Les trois principales théories de l'ambiguïté.

Concept	Auteur(s)	Méthode	Critère de décision
α -Maxmin	Gilboa, Schmeidler (1989)	Critère de pondération (à la Hurwicz) que l'individu applique à son espérance totale de gain, entre la pire et la meilleure distribution d'après ses croyances. α est le critère de pondération de la pire distribution, qui donne la façon dont l'individu se couvre contre l'ambiguïté.	$\alpha/(1-\alpha) > 1$: Aversion pour l'ambiguïté $\alpha/(1-\alpha) = 1$: Neutralité envers l'ambiguïté $\alpha/(1-\alpha) < 1$: Goût pour l'ambiguïté
Smooth ambiguity model	Klibanoff, Marinacci, Mukerji (2005)	Version du alpha-maxmin non-bornée aux extrema. Φ est une fonction de second ordre qui modélise la façon dont l'individu transforme son calcul d'espérance de gain dans le domaine de ses probabilités subjectives (croyances). Cette fonction, si elle n'est pas linéaire, déforme l'espérance totale de gain en donnant plus de poids à certaines distributions risquées qu'à d'autres. Φ représente donc son attitude envers l'ambiguïté.	Φ concave : Aversion pour l'ambiguïté (l'individu donne plus de poids aux pires distributions pour se couvrir) Φ linéaire : Neutralité envers l'ambiguïté Φ convexe : Goût pour l'ambiguïté
Neo-additive capacities	Chateauneuf et al. (2003)	Attitude envers l'ambiguïté représentée par une capacité - une probabilité non-additive. Une capacité μ est une fonction associant plusieurs probabilités subjectives	μ convexe : Aversion pour l'ambiguïté μ concave : Goût pour l'ambiguïté

est demandé aux individus de choisir entre deux options : (A) tirer une boule rouge rapporte un prix ; (B) tirer une boule jaune rapporte un prix (les prix des deux options sont identiques). Les individus choisissent majoritairement A. Dans un second temps, les individus doivent choisir entre deux nouvelles options : (C) tirer une boule rouge ou noire rapporte un prix ; (D) tirer une boule jaune ou noire rapporte un prix (les prix des deux options sont identiques). Les individus choisissent majoritairement D, ce qui est contraire à la théorie de Savage (1954). En effet, ajouter entre les deux temps de jeu une perspective de gain supplémentaire identique pour les deux options, sur une boule incertaine, ne devrait pas affecter le choix (les probabilités des loteries composées obtenues sont identiques). Or ici, les sujets révisent leurs croyances si un gain couvre l'incertitude qu'ils perçoivent. Cela remet donc en cause l'axiome de rationalité de Savage en situation d'ambiguïté qui conduirait les agents à préserver leur choix entre les deux temps de jeu, et montre qu'il y a des attitudes de couverture contre l'ambiguïté.

⁵ Voir Etner et al. (2012) pour une revue de la littérature des modélisations théoriques en ambiguïté.

		pondérées (ici elle associe la pire et la meilleure, ainsi que la distribution moyenne). La capacité donne à la fois l'attitude envers l'ambiguïté et le niveau de pessimisme de l'individu.	
--	--	--	--

Encadré 2: La théorie de l'ambiguïté et l'adoption de mesures d'atténuation.

La théorie des choix en univers risqué peut être limitée pour répondre à l'adoption de mesures d'atténuation, du fait de l'hypothèse forte d'une bonne connaissance de la distribution des profits par l'agriculteur. La nouveauté s'accompagne souvent d'une relative ignorance sur les aléas qui y sont liés. Concernant les mesures d'atténuation, les agriculteurs peuvent avoir des croyances, et donc associer des probabilités subjectives aux différentes conséquences de ces mesures sur leurs profits. Dans un univers ambigu, un individu a un doute sur ses croyances (Cabantous et Hilton, 2006). La théorie de l'ambiguïté offre alors la possibilité de calculer le niveau de satisfaction que l'individu attribue à une décision pour laquelle il a un doute sur les probabilités d'occurrence qu'il associe aux conséquences de cette décision. L'agriculteur peut ainsi être face à une distribution de profits dont il doute, notamment car il connaît mal les conséquences des mesures d'atténuation sur les profits. Dans ce cas, il peut formuler des croyances concernant plusieurs distributions possibles et y associer un certain niveau de probabilité (dites de « second ordre »). Il peut aussi accorder plus ou moins de poids à l'une ou l'autre de ces distributions. Cela reflète son attitude envers l'ambiguïté. Ainsi, il est possible d'observer l'attitude vis-à-vis de l'ambiguïté de l'agriculteur en regardant le poids qu'il attribue à la pire, la moyenne ou la meilleure distribution possible. Ce poids dépend du niveau individuel d'aversion pour l'ambiguïté. Si un agriculteur ayant de l'aversion pour l'ambiguïté perçoit de l'ambiguïté sur les conséquences de l'adoption de la mesure d'atténuation, il se peut qu'il préfère ne pas l'adopter.

Reprenons les mêmes notations que dans l'Encadré 1 et prenons un agriculteur neutre envers le risque et l'ambiguïté pour commencer. Pour simplifier, considérons qu'il existe deux situations : une situation où le rendement de la culture avec l'adoption est faible, G_m^H (scénario défavorable) et une situation où le rendement de la culture avec l'adoption est fort, G_m^L (scénario favorable). L'agriculteur pense que le scénario défavorable se produit avec une probabilité p et le scénario favorable avec une probabilité $1-p$. Néanmoins, il doute de ses croyances. Il ne perçoit pas p comme étant une probabilité certaine d'occurrence mais comme une variable aléatoire. Il considère alors l'espérance subjective de cette probabilité, E_p . Ainsi, le profit de l'agriculteur s'écrit :

$$P_3 = L_m(E_p G_m^H + (1-E_p)G_m^L) + (L-L_m)G_c.$$

En tenant compte de l'ambiguïté, la part optimale L_m^* est définie :

$$L_m^* = \begin{cases} 1 & \text{si } G_c < E_p G_m^H + (1-E_p)G_m^L \\ 0 & \text{si } G_c > E_p G_m^H + (1-E_p)G_m^L \\ [0,1] & \text{si } G_c = E_p G_m^H + (1-E_p)G_m^L \end{cases}$$

L'ambiguïté modifie le choix de l'agriculteur par rapport à la situation en univers certain et en univers risqué (voir Encadré 1). En levant l'hypothèse de neutralité et en supposant une aversion pour l'ambiguïté, l'agriculteur donne plus de poids au pire scénario ce qui diminue la satisfaction qu'il espère obtenir de la partie atténuation. Son choix est donc modulé par ses croyances ainsi que par son attitude dans la gestion de cette situation. Ainsi, le profit de l'agriculteur averse pour le risque peut s'écrire :

$$P_4 = L_m(\gamma E_p G_m^H + (1-\gamma)(1-E_p)G_m^L) + (L-L_m)G_c.$$

avec $\gamma > 1/2$. Ainsi la part optimale L_m^* d'un agriculteur averse pour l'ambiguïté est définie :

$$L_m^* = \begin{cases} 1 & \text{si } G_c < \gamma E_p G_m^H + (1-\gamma)(1-E_p)G_m^L \\ 0 & \text{si } G_c > \gamma E_p G_m^H + (1-\gamma)(1-E_p)G_m^L \\ [0,1] & \text{si } G_c = \gamma E_p G_m^H + (1-\gamma)(1-E_p)G_m^L \end{cases}$$

S'intéresser à l'attitude des agriculteurs face à l'ambiguïté permet non seulement de vérifier si cette attitude est un frein à l'absence d'adoption de mesures environnementales rentables, mais également de prendre en compte l'ambiguïté afin de proposer aux agriculteurs des subventions plus incitatives. En effet, si l'agriculteur a à la fois de l'aversion pour le risque et pour l'ambiguïté, sa prime de risque est augmentée d'une prime d'ambiguïté. Des incitations non-monétaires sont également envisageables. Il s'agit de politiques visant à "révéler" l'ambiguïté ou diminuer son impact, soit en participant à la diffusion des informations sur les distributions de profits, soit en augmentant le niveau de confiance ou de prise en compte des distributions communiquées auprès des agriculteurs. Produire de l'information fiable et la diffuser, ou faire expérimenter les mesures d'atténuation à moindre coût par les exploitants pour leur montrer directement les résultats, sont ainsi des moyens de réduire l'ambiguïté. La communication entre ingénierie et exploitants, la diffusion des bonnes pratiques au sein de réseaux professionnels spécialisés, la sensibilisation et l'éducation, sont autant de politiques qui peuvent être efficaces.

A notre connaissance, les théories de l'ambiguïté n'ont pas encore été mobilisées pour représenter le comportement microéconomique d'un agriculteur. En effet, bien que les préférences face au risque aient été identifiées comme un facteur freinant l'adoption de nouvelles technologies ou modes de production par les agriculteurs au niveau théorique, les préférences face à l'ambiguïté restent absentes de cette littérature.

2. Littérature empirique sur les préférences face au risque et à l'ambiguïté des agriculteurs

Les préférences des individus sont en général élicitées de deux façons différentes. Dans le premier cas, les préférences sont révélées. Cela signifie que les données sur les décisions économiques des agents (choix de portefeuille, d'assurance, d'investissement, etc.) permettent d'inférer leurs préférences. Bien que cette méthode présente l'avantage de se passer de tout aspect déclaratif et regarde les données réelles, elle est parfois critiquée concernant les modèles sous-jacents, qui captent d'autres effets que ceux recherchés. De plus, cette méthode ne permet pas de contrôler l'ensemble des variables cognitives et de contexte. Dans le second cas, les préférences sont déclarées. Les individus sont questionnés directement sur leurs préférences ou mis en situation afin de les observer. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir observer le processus de prise de décision en univers risqué ou incertain, tout en contrôlant l'ensemble des éléments pouvant influencer le choix. La critique formulée à l'égard de cette méthode concerne l'existence d'un potentiel biais hypothétique, i.e., écart entre les décisions prises par un individu dans un cadre hypothétique, et celles qu'il aurait pris dans un cadre réel.

2.1 Les préférences révélées

La méthode des préférences révélées dans le domaine du risque et de l'ambiguïté consiste à estimer les déviations des comportements des agents par rapport à des comportements identifiés comme neutres envers le risque ou l'ambiguïté. Dans le cas de producteurs, notamment agricoles, l'idée est d'estimer la part de l'espérance de production liée à la technologie de production sous l'hypothèse de neutralité envers le risque et l'ambiguïté, et la part liée aux préférences individuelles vis-à-vis du risque et de l'ambiguïté. De nombreux articles ont étudié l'impact des préférences face au risque des exploitants afin d'expliquer soit l'allocation de terres à différentes cultures, notamment à des cultures dites "modernes", soit le niveau d'utilisation d'intrants. Peu d'études ont cherché à expliquer l'impact des préférences face au risque et à l'ambiguïté sur l'adoption de mesures d'atténuation.

Sans être exhaustif, nous pouvons citer les travaux de Wolgin (1975), Antle (1987), Chavas et Holt (1996) et Saha (1997). Ces auteurs concluent que les agriculteurs sont caractérisés par de l'aversion pour le risque (DARA) et de la prudence ("downside risk aversion"). Ils ont aussi montré que leurs choix productifs d'utilisation d'intrants ou de plantation de nouvelles cultures étaient fortement impactés par leur niveau d'aversion pour le risque. Les corrélations entre les risques des diverses cultures, ou entre risque de prix et de rendements par exemple limitent aussi les changements de pratiques.

D'autres études se sont également penchées sur le rôle de l'aversion pour le risque dans l'adoption de mesures anti-pollution dans l'agriculture. Bontems et Thomas (2000) montrent que l'aversion pour le risque est un frein important à une modulation de l'utilisation d'engrais réduisant la pollution. Kurkalova et al. (2006) montrent que la mise en place de labours conservant les sols, qui est une mesure d'atténuation profitable mais qui augmente le risque sur les rendements, est limitée par l'aversion pour le risque. L'augmentation potentielle des profits espérés liés à l'adoption ne compense pas l'augmentation du risque qui en résulte.

2.2 Les préférences déclarées

La méthode des préférences déclarées fait référence à deux types d'approche. La première approche consiste à questionner les sujets quant à leur comportement sous différents scénarii. Par exemple, l'agriculteur se voit poser des questions relatives à des comportements à risque auxquels il est confronté dans sa vie courante. L'idée étant ensuite de regarder si ces comportements sont corrélés avec d'autres comportements, par exemple liés à la production, et d'identifier les caractéristiques les expliquant. Un exemple courant de ce type de questionnaire est l'échelle de Dospert⁶, proposée initialement par Weber et al. (2002), qui questionne les individus sur leur prise de risque dans des domaines aussi variés que l'éthique, la finance, le social, les loisirs et la santé.

Un autre exemple est proposé dans Dohmen et al. (2011). Les auteurs présentent des questionnaires à des individus, comportant une question générale ("*are you a person who is fully willing to take risk or to avoid it?*") et des questions par domaines (fumer, boire, jouer, investir, vie sociale etc.). Ils doublent leur expérience d'une expérimentation de laboratoire (la méthode des équivalents certains, Tableau 2). Les auteurs démontrent l'existence d'une corrélation entre les différentes prises de risques par domaine, et également avec la réponse à la question générale. Une corrélation existe aussi entre le niveau d'aversion pour le risque

⁶ Pour "Domain-Specific Risk-Taking (DOSPERT) scale".

déterminé par l'expérimentation et la réponse à la question générale. Enfin, ils obtiennent que certaines caractéristiques influencent les réponses : l'âge, le sexe, la taille et l'éducation des parents entre autres.

Depuis quelques années, une seconde approche a vu le jour, les expériences économiques ou expérimentations. Ces expériences peuvent se dérouler en laboratoire ou sur le terrain, auprès d'étudiants ou de populations cibles, comme des agriculteurs. Il s'agit de placer l'individu dans un environnement contrôlé en lui faisant prendre des décisions, souvent sous forme de jeux ou de loterie. L'expérience peut être contextualisée ou non. Au sein de cette seconde approche, de nombreuses procédures d'élicitation des préférences face au risque et à l'ambiguïté ont vu le jour. Le Tableau 2 résume les plus courantes d'entre elles⁷. Ces procédures sont utilisées pour quantifier l'aversion pour le risque. Certaines d'entre elles ont également été adaptées à l'élicitation de l'aversion pour l'ambiguïté⁸. Dans ce cas, l'individu doit choisir entre une option risquée et une option ambiguë.

Tableau 2. Quelques procédures d'élicitation des préférences.

Nom de la procédure	Principe
Equivalent certain	Le sujet doit choisir entre plusieurs loteries risquées et une option certaine. Son choix révèle le niveau de risque pour lequel il est indifférent entre le gain certain et la loterie, et donc son niveau d'aversion pour le risque.
Probabilité certaine	Procédure de l'équivalent certain dans laquelle les gains des loteries varient mais pas les probabilités.
BDM (Becker, DeGroot, Marschak, 1964)	Le sujet se voit attribuer une loterie et questionner quant au prix de vente qu'il attribue à cette loterie.
Multiple Price List, MPL (Holt et Laury, 2002; Chakravarty et Roy, 2009) Variante Tanaka, Camerer et Nguyen (2010) en Prospect Theory	Le sujet est placé devant 10 choix successifs entre deux loteries dont l'une est plus risquée que l'autre. Le basculement du décisionnaire vers la loterie risquée permet de quantifier son niveau d'aversion pour le risque.
Ordered Loteries Selection (Binswanger, 1980; Eckel et Grossman, 2008)	Le sujet doit choisir une loterie dans une liste de loteries. Les loteries présentées sont de plus en plus risquées. Le niveau de risque qu'il acceptera de prendre pour atteindre une certaine espérance de gain informe sur son niveau

⁷ Voir Charness et al. (2013) pour plus de détails concernant les procédures existantes d'élicitation des préférences face au risque.

⁸ Voir par exemple Chakravarty et Roy (2009) qui étendent la procédure MPL de Holt et Laury (2002) en ambiguïté.

	d'aversion pour le risque.
Trade-off (Wakker et Deneffe, 1996)	Le sujet est placé devant deux loteries qui ont le même niveau de risque mais pas le même gain potentiel.

Parmi les procédures d'élicitation proposées dans le Tableau 2, la procédure MPL de Holt et Laury (2002) est la plus utilisée dans la littérature. Cette procédure suppose un cadre d'utilité espérée et une fonction d'utilité puissance, i.e., DARA. La Figure 2 représente les 10 loteries auxquelles est confronté le sujet. L'option A est qualifiée de certaine, et l'option B de risquée. Le nombre de choix certains indique le degré d'aversion pour le risque de l'individu. Le point de basculement, où l'individu passe de l'option A à l'option B, permet d'inférer un intervalle pour le coefficient d'aversion relative au risque.

Figure 2: Exemple d'une MPL - Holt et Laury (2002)

TABLE 1—THE TEN PAIRED LOTTERY-CHOICE DECISIONS WITH LOW PAYOFFS

Option A	Option B	Expected payoff difference
1/10 of \$2.00, 9/10 of \$1.60	1/10 of \$3.85, 9/10 of \$0.10	\$1.17
2/10 of \$2.00, 8/10 of \$1.60	2/10 of \$3.85, 8/10 of \$0.10	\$0.83
3/10 of \$2.00, 7/10 of \$1.60	3/10 of \$3.85, 7/10 of \$0.10	\$0.50
4/10 of \$2.00, 6/10 of \$1.60	4/10 of \$3.85, 6/10 of \$0.10	\$0.16
5/10 of \$2.00, 5/10 of \$1.60	5/10 of \$3.85, 5/10 of \$0.10	-\$0.18
6/10 of \$2.00, 4/10 of \$1.60	6/10 of \$3.85, 4/10 of \$0.10	-\$0.51
7/10 of \$2.00, 3/10 of \$1.60	7/10 of \$3.85, 3/10 of \$0.10	-\$0.85
8/10 of \$2.00, 2/10 of \$1.60	8/10 of \$3.85, 2/10 of \$0.10	-\$1.18
9/10 of \$2.00, 1/10 of \$1.60	9/10 of \$3.85, 1/10 of \$0.10	-\$1.52
10/10 of \$2.00, 0/10 of \$1.60	10/10 of \$3.85, 0/10 of \$0.10	-\$1.85

Cette méthode a été largement utilisée pour appréhender l'aversion pour le risque et/ou l'ambiguïté des agriculteurs, notamment français (Bougherara et al., 2017; Reynaud et Couture, 2012).

La littérature mesurant le coefficient d'aversion pour le risque des agriculteurs en adoptant une approche par préférences déclarées est très importante (Brunette et al., 2015). Nous présenterons donc ici uniquement des travaux élicitant à la fois l'aversion pour le risque et l'ambiguïté, et/ou des travaux portant sur des agriculteurs français.

2.2.1 Agriculteurs français et préférences face au risque et à l'ambiguïté

L'objectif de Reynaud et Couture (2012) est d'analyser l'impact de la méthode d'élicitation sur le coefficient d'aversion au risque estimé. Pour cela, ils se focalisent sur deux méthodes d'élicitation, MPL de Holt et Laury (2002) et OLS de Eckel et Grossman (2008). L'expérience est réalisée sur une population d'agriculteurs français. Ils montrent que, quelle que soit la méthode d'élicitation, les agriculteurs présentent de l'aversion pour le risque. Toutefois, ils indiquent que la méthode OLS produit des coefficients d'aversion pour le risque plus élevés que la méthode MPL. Selon eux, les divergences de résultats expérimentaux peuvent provenir de l'expérience personnelle des sujets, qui modifierait leur façon d'appréhender les données de choix présentées dans les différentes loteries.

Bocquého et al. (2014) mènent une expérimentation sur plus de 100 agriculteurs français afin de déterminer leurs préférences face au risque dans un cadre d'espérance d'utilité (vNM) et dans un cadre de "Cumulative Prospect Theory" (CPT) étendue⁹. Ils montrent que les agriculteurs présentent de l'aversion pour le risque dans un cadre vNM, mais que la CPT explique mieux leurs comportements, notamment concernant la déformation des probabilités et l'aversion à la perte.

Bougherara et al. (2017) mènent une expérimentation auprès d'agriculteurs français en utilisant la méthode MPL. Ils montrent que le niveau d'aversion pour le risque est différent en fonction du domaine, gain ou perte. Ils étendent également ce résultat à l'aversion pour l'ambiguïté. Leurs sujets ont également appliqué une transformation des probabilités comme dans la Prospect Theory, mais différemment dans le domaine des gains et celui des pertes.

Les expérimentations effectuées jusqu'ici en France ont montré l'hétérogénéité des préférences face au risque des agriculteurs, avec entre autre des coefficients relatifs d'aversion au risque situés en moyenne autour de 0,40-0,70 (Reynaud et Couture, 2012), 0,79 (Bocquého et al., 2014) et 0,89 (Bougherara et al. 2017).

2.2.2 Préférences face au risque et à l'ambiguïté

Engle-Warnick et al. (2007) s'intéressent au rôle de l'aversion pour le risque et l'ambiguïté dans l'adoption de nouvelles variétés de plantes auprès d'agriculteurs péruviens. Ils effectuent notamment des expérimentations de terrain en utilisant les méthodes MPL et BDM. Ils mettent en parallèle les résultats issus de l'expérimentation et des données réelles d'adoption de ces variétés chez les exploitants. Il apparaît que l'aversion pour l'ambiguïté explique significativement l'adoption de nouvelles variétés dont les agriculteurs ne maîtrisent pas bien les distributions de rendement. Le niveau d'expérience et d'éducation semblent également être des variables significatives, sans qu'un lien soit directement établi par les auteurs avec l'ambiguïté.

Barham et al. (2014) s'intéressent à l'effet de l'aversion pour le risque et l'ambiguïté sur l'adoption de nouvelles variétés génétiquement modifiées résistantes aux vermines et/ou aux herbicides dans l'agriculture. Pour cela, les auteurs réalisent une expérimentation basée sur la méthode MPL auprès d'agriculteurs du Minnesota et du Wisconsin. Ils concluent que plus l'aversion pour l'ambiguïté des agriculteurs est élevée, plus ils adoptent des variétés ayant trait à une réduction du risque d'invasion de vermines (qui est moins prévisible, plus aléatoire et parfois difficile à observer) en même temps que la lutte contre les adventices (qui est plus prévisible), toute chose égale par ailleurs. En revanche, ce résultat n'est pas vrai en matière d'aversion pour le risque. En effet, il semble que le niveau d'aversion pour le risque n'a pas d'effet sur l'adoption de ces variétés réduisant potentiellement le risque. D'après les auteurs, cela s'explique par le fait que l'attribut du choix de la variété (la caractéristique innovante de la plante proposée) concerne une réduction de l'incertitude sur l'apparition de vermines qui est difficile à observer et vérifier (et à probabiliser). La gestion du risque augmente en précision et donc en efficacité.

⁹ Voir la Section 1.1.2, Quiggin (1982).

Ghadim et al. (2005) réalisent une expérimentation auprès d'agriculteurs australiens. L'expérimentation est contextualisée et vise à mettre les agriculteurs dans des situations où ils doivent évaluer subjectivement les distributions de rendements des cultures et leurs covariances¹⁰. Ils montrent notamment que l'aversion pour le risque, la perception des risques et les covariances entre nouvelles variétés et variétés conventionnelles, jouent un rôle important. Ils mettent également en évidence que le "learning-by-doing" et l'éducation ont un rôle important pour lever les incertitudes liées aux rendements des nouvelles variétés, et en parallèle augmentent la performance productive des exploitants.

Conclusion

Comme le démontre cet article, il semblerait qu'un champ entier de recherche, à la fois théorique et empirique, soit ouvert concernant l'impact des préférences face au risque et à l'ambiguïté sur l'adoption des mesures d'atténuation de GES dans l'agriculture.

Tout l'enjeu est alors de sélectionner les questions de recherche et les approches les plus pertinentes au sein de cette problématique. De nombreuses pistes pourraient être envisagées. Une piste de recherche intéressante consisterait à éliciter les préférences face au risque et à l'ambiguïté d'un échantillon d'agriculteurs français et ensuite, à utiliser les paramètres estimés comme variables explicatives potentielles (parmi d'autres) de leurs décisions réelles d'adoption de mesures d'atténuation. Une autre direction de recherche pourrait consister à proposer un modèle théorique en risque et/ou en ambiguïté dont l'objectif serait d'identifier et de quantifier les leviers potentiels d'une politique d'incitation à l'adoption des mesures. Ce modèle pourrait être assorti de simulations permettant de vérifier son pouvoir explicatif, et d'observer l'impact de différentes politiques publiques environnementales (taxe ou subvention, développement des réseaux d'agriculteurs, par exemple).

¹⁰ Méthode Norris et Kramer (1990), faisant partie des méthodes d'élicitation des distributions subjectives appliquées à l'agriculture.

Références

- Antle, J.M. (1987). Econometric estimation of producers' risk attitudes. *American Journal of Agricultural Economics*, 69(3), 509-522.
- Arrow, K.J. (1965). *Aspects of the Theory of Risk Bearing*. The Academic Book-store, Helsinki.
- Arrow, K.J. (1971). *Essays in the Theory of Risk bearing*, Markham Publishing Company.
- Babusiaux, C. (2000). L'assurance récolte et la protection contre les risques en agriculture. *Rapport pour le Ministère de l'Economie des Finances et de l'Industrie et le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche*.
- Barham, B.L., Chavas, J.P., Fitz, D., Salas, V.R., Schechter, L. (2014). The roles of risk and ambiguity in technology adoption. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 97, 204-218.
- Becker, G. M., DeGroot, M. H., Marschak, J. (1964). Measuring utility by a singleresponse sequential method. *Behavioral Science*, 9(3), 226-232.
- Bernoulli, D. (1738). Specimen theoriae novae de mensura sortis. Co-mentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae, 5,175–192.
- Binswanger, H.P. (1980). Attitudes Toward Risk: Experimental Measurement in Rural India. *American Journal of Agricultural Economics*, 62, 395–407.
- 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.
- Bontems, P., Thomas, A. (2000). Information Value and Risk Premium in Agricultural Production: The Case of Split Nitrogen Application for Corn. *American Journal of Agricultural Economics*, 82, 59–70.
- Bougherara, D., Gassmann, X., Piet, L., Reynaud, A. (2017). Structural estimation of farmers' risk and ambiguity preferences: A field experiment. Forthcoming in *European Review of Agricultural Economics*.
- Brunette, M., Choumert, J., Couture, S., Montagné-Huck, C. (2015). A Meta-analysis of the Risk Aversion Coefficients of Natural Resource Managers Evaluated by Stated Preference Methods. *Cahiers du LEF* 2015-13.
- Cabantous, L., Hilton, D., (2006). De l'aversion à l'ambiguïté aux attitudes face à l'ambiguïté, Les apports d'une perspective psychologique en économie. *Revue Economique*, 57 (2), 259-280.
- Chakravarty, S., Roy, J. (2009). Recursive expected utility and the separation of attitudes towards risk and ambiguity: An experimental study. *Theory and Decision*, 66(3), 199–228.
- Charness, G., Gneezy, U., Imas, A. (2013). Experimental methods: Eliciting risk preferences.

Journal of Economic Behavior and Organization, 87, 43-51.

Chateauneuf, A., Eichberger, J., Grant, S. (2003). A simple axiomatization and constructive representation proof for Choquet expected utility. *Economic Theory*, 22(4), 907-915.

Chavas, J.P., Holt, M.T. (1996). Economic behavior under uncertainty: A joint analysis of risk preferences and technology. *The Review of Economics and Statistics*, 78(2), 329-335.

Crainich, D., Eeckhoudt, L. (2005). La notion économique de prudence, origine et développements récents. *Revue Economique*, 56, 1021-1032.

De Finetti, B. (1937). La prévision: ses lois logiques, ses sources subjectives. In *Annales de l'Institut Henri Poincaré*, 7(1), 1-68.

Dohmen, T., Falk, A., Huffman, D., Sunde, U., Schupp, J., Wagner, G.G. (2011). Individual risk attitudes: Measurement, determinants, and behavioral consequences. *Journal of the European Economic Association*, 9(3), 522-550.

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

Eeckhoudt, L., Kimball, M. (1992). Background risk, prudence, and the demand for insurance. G. Dionne (eds). In *Contributions to Insurance Economics*, 239-254.

Ellsberg, D. (1961). Risk, ambiguity, and the Savage axioms. *The Quarterly Journal of Economics*, 75(4), 643-669.

Engle-Warnick, J., Escobal, J., Laszlo, S. (2007). Ambiguity aversion as a predictor of technology choice: Experimental evidence from Peru. Scientific Series, 2007s-01, Montréal.

Etner, J., Jeleva, M., Tallon, J.-M. (2012). Decision theory under ambiguity. *Journal of Economic Surveys*, 26(2), 234–270.

Feder, G. (1980). Farm size, risk aversion and the adoption of new technology under uncertainty. *Oxford Economic Papers*, 32(2), 263-283.

Feder, G., O'Mara, G.T. (1981). Farm size and the diffusion of green revolution technology. *Economic Development and Cultural Change*, 30(1), 59-76.

Feder, G. (1982). Adoption of interrelated agricultural innovations: Complementarity and the impacts of risk, scale, and credit. *American Journal of Agricultural Economics*, 64(1), 94-101.

Ghadim, A.K.A., Pannell, D.J., Burton, M.P. (2005). Risk, uncertainty, and learning in adoption of a crop innovation. *Agricultural Economics*, 33(1), 1-9.

Gilboa, I., Schmeidler, D. (1989). Maxmin expected utility with non-unique prior. *Journal of Mathematical Economics*, 18(2), 141-153.

Gollier, C., Jullien, B., Treich, N. (2000). Scientific progress and irreversibility: An economic interpretation of the Precautionary Principle. *Journal of Public Economics*, 75, 229-53.

Holt, C.A., Laury, S.K. (2002). Risk aversion and incentive effects. *American Economic Review*, 92(5), 1644–1655.

INRA (2013). Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Potentiel d'atténuation et coûts de dix actions techniques. Synthèse du rapport de l'étude réalisée par l'INRA pour le compte de l'ADEME, du MAAF et du MEDDE - Juillet 2013.

Just, R.E., Zilberman, D. (1983). Stochastic structure, farm size and technology adoption in developing agriculture. *Oxford Economic Papers*, 35(2), 307-328.

Kahneman, D., Tversky, A. (1979). Prospect theory: An analysis of decision under risk. *Econometrica*, 47(2), 263-292.

Kimball, M.S. (1990). Precautionary Saving in the Small and in the Large. *Econometrica* 58(1), 53-73.

Klibanoff, P., Marinacci, M., Mukerji, S. (2005). A smooth model of decision making under ambiguity. *Econometrica*, 73(6), 1849–1892.

Knight, J., Weir, S., Woldehanna, T. (2003). The role of education in facilitating risk-taking and innovation in agriculture. *The Journal of Development Studies*, 39(6), 1-22.

Kurkalova, L., Kling, C., Zhao, J. (2006). Green subsidies in agriculture: Estimating the adoption costs of conservation tillage from observed behavior. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroéconomie*, 54(2), 247-267.

Leathers, H.D., Smale, M. (1991). A Bayesian approach to explaining sequential adoption of components of a technological package. *American Journal of Agricultural Economics*, 73(3), 734-742.

Mahul, O., Wright, B.D. (2003). Designing optimal crop revenue insurance. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(3), 580-589.

Neumann, J.V., Morgenstern, O. (1944). *Theory of Games and Economic Behavior*, Princeton University Press.

Norris, P.E., Kramer, R.A. (1990). The elicitation of subjective probabilities with applications in agricultural economics. *Review of Marketing and Agricultural Economics*, 58 (2-3), 127-147.

Pratt, J.W. (1964). Risk Aversion in the Large and in the Small. *Econometrica*, 32(1-2), 122-136.

Quiggin, J. (1982). A theory of anticipated utility. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 3(4), 323-343.

- Ramsey, F.P. (1926). The foundations of mathematics. *Proceedings of the London Mathematical Society*, 2(1), 338-384.
- Reynaud, A., Couture, S. (2012). Stability of risk preference measures: results from a field experiment on French farmers. *Theory and Decision*, 73, 203–221.
- Saha, A. (1997). Risk preference estimation in the nonlinear mean standard deviation approach. *Economic Inquiry*, 35(4), 770-782.
- Savage, L.J. (1954). *The Foundations of Statistics* Dover Publication, Inc., New-York.
- Tanaka, T., Camerer, C.F., Nguyen, Q. (2010). Risk and time preferences: linking experimental and household survey data from Vietnam. *The American Economic Review*, 100(1), 557-571.
- Treich, N. (2010). Risk-aversion and prudence in rent-seeking games. *Public Choice*, 145, 339-49.
- Wakker, P., Deneffe, D. (1996). Eliciting von Neumann-Morgenstern utilities when probabilities are distorted or unknown. *Management Science*, 42(8), 1131-1150.
- Weber, E.U., Blais, A.-R., Betz, E. (2002). A Domain-specific risk-attitude scale: Measuring risk perceptions and risk behaviors. *Journal of Behavioral Decision Making*, 15, 263–290.
- Wolgin, J.M. (1975). Resource allocation and risk: A case study of smallholder agriculture in Kenya. *American Journal of Agricultural Economics*, 57(4), 622-630.