

## 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<sup>1</sup>, Marielle Brunette<sup>2</sup>, Caroline Orset<sup>3</sup>

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.

**Camille Tevenart** Doctorant à la Chaire Economie du Climat (CEC), LEF, AgroParisTech.

**Marielle Brunette** Chargée de recherche au Laboratoire d'Economie Forestière, UMR INRA-AgroParisTech.

**Caroline Orset** Enseignant-Chercheur à AgroParisTech, Membre de l'Unité de Recherche Economie Publique, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay.

Les auteurs tiennent à remercier Philippe Delacote (Chargé de Recherche INRA LEF Nancy et Responsable du programme Agriculture et Forêts de la CEC).

Chaire Economie  
du Climat

Palais Brongniart,  
4ème étage

28 place de la  
bourse

75002 PARIS

*This page is intentionally blank - Cette page est laissée vide intentionnellement*

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 français était responsable d'environ 20,2% du total des émissions de GES en France<sup>4</sup>, notamment au travers des émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) et de méthane (CH<sub>4</sub>). 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 traités 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'INRA<sup>5</sup> (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 effluents<sup>6</sup>. 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, tirée de INRA (2013), présente ces coûts.

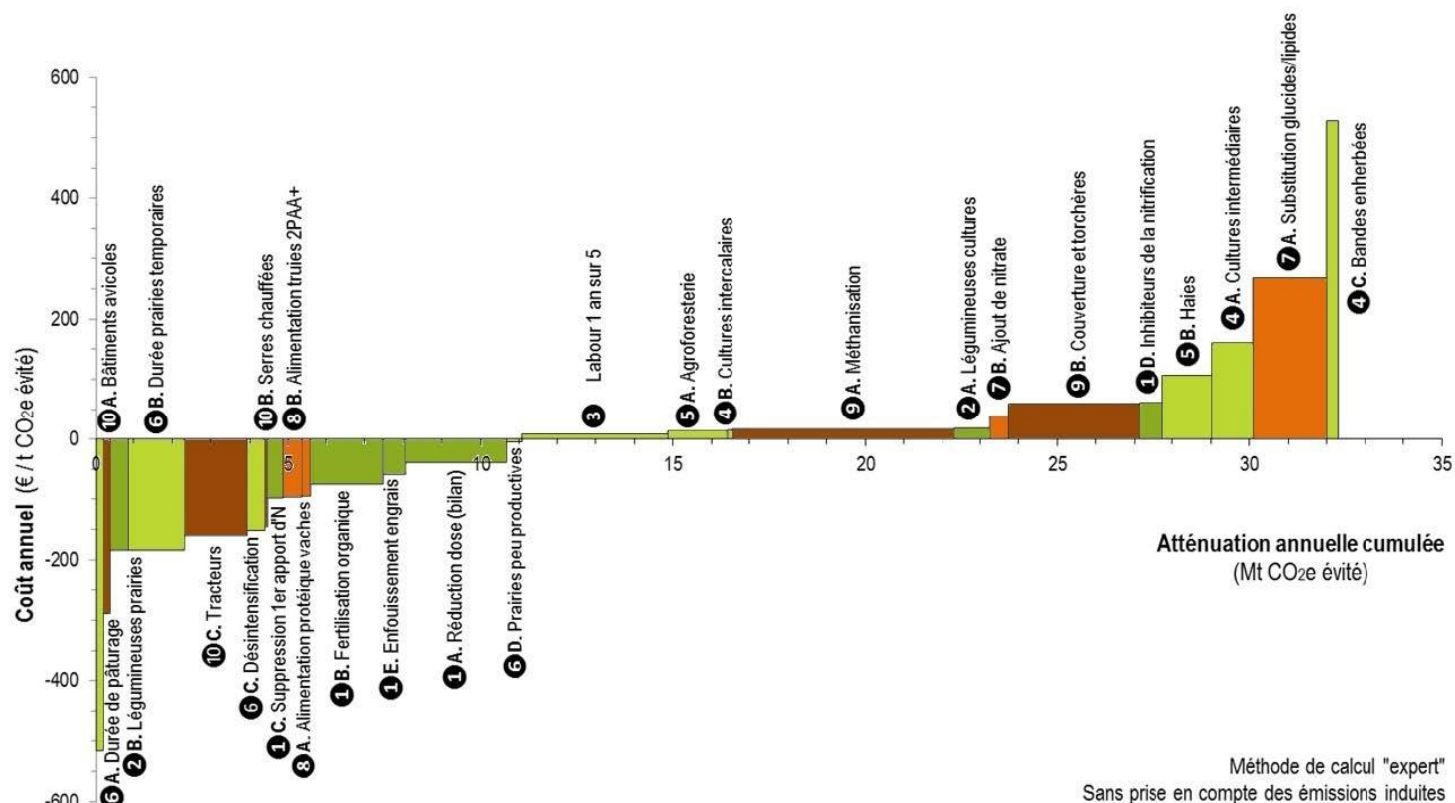
---

<sup>4</sup> Pour plus de détails voir Citepa SECTEN 2014.

<sup>5</sup> Institut National de la Recherche Agronomique.

<sup>6</sup> La Figure 1 énumère toutes les actions proposées dans le rapport de l'INRA (2013).

Figure 1: Coûts de la tonne de CO<sub>2</sub> évité pour l'agriculteur et potentiels d'atténuation (année 2030, projection, France métropolitaine)



Source : INRA (2013)

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. 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 dit certain (sans aléa). 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. L'univers considéré ne prend pas en compte les aléas (risques) et les doutes (ambiguïtés) auxquels un agriculteur fait face lorsqu'il doit prendre la décision d'adoption. Nous proposons donc d'introduire le risque et l'ambiguïté dans cet univers afin d'apporter un nouvel éclairage sur les freins à l'adoption des mesures d'abattement.

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. Théorie 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

Les théories du risque peuvent être classées en deux approches, celles basées sur l'utilité espérée et celles proposant à une alternative à l'utilité espérée.

### 1.1.1 Utilité espérée

La pensée économique dominante se fonde sur le fait que les décisions face à un risque sont prises selon la théorie de l'utilité espérée. Cette théorie a été introduite initialement par Bernoulli (1968) avec le paradoxe de Saint-Pétersbourg. Bernoulli (1968) met en avant que deux personnes n'apprécient pas de la même manière la satisfaction associée à des gains selon leur niveau de richesse. Il suggère que la fonction d'utilité (de satisfaction) d'un individu peut être représentée par la fonction logarithmique dépendante de sa richesse: cette transformation caractérise la risquophobie, car la satisfaction retirée d'une unité de richesse en plus investie dans une loterie risquée diminue avec le montant total de richesse déjà investie. Cette transformation des gains est la première représentation de l'aversion au risque dans un modèle de décision. En 1947, John von Neumann et Oskar Morgenstern<sup>7</sup> identifient les conditions nécessaires et suffisantes sous-jacentes à une telle transformation. Ils représentent le choix du décideur face au risque comme un comportement de maximisation d'une fonction d'utilité espérée.

Dans le cas de l'agriculture, nous considérons comme risquée la situation dans laquelle un exploitant ne connaît pas par avance le niveau de profit qu'il tirera de sa production. En revanche, grâce à son expérience, il connaît la distribution de probabilité associée à ses gains. Le risque, lié à la nature probabiliste du profit, est la résultante d'événements possibles qui ont une conséquence sur la production. Par exemple, le risque de rendements est lié aux aléas climatiques. Le risque de prix (intrants ou produits) est, quant à lui, lié à la volatilité des prix sur les marchés agricoles. Les mesures d'atténuations peuvent aussi être risquées si les profits associés sont aléatoires et suivent une distribution connue par l'agriculteur. 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 riscophobe compare son niveau de satisfaction avec et sans assurance, et adopte l'assurance si elle lui apporte plus de satisfaction.

Dans le cadre de la théorie de l'utilité espérée, des mesures de l'attitude face au risque des individus ont été développées. La prime de risque est le montant que l'agriculteur serait prêt à payer afin d'obtenir un profit certain, plutôt qu'un profit risqué : elle augmente donc avec le niveau d'aversion au risque individuel, et le niveau de risque associé à la production. Le coefficient d'aversion absolu au risque d'Arrow-Pratt mesure la réticence à prendre des risques pour un certain niveau de richesse, autrement dit selon la taille totale du portefeuille de l'agent (Pratt, 1964). L'hypothèse standard est que les individus sont caractérisés par une aversion absolue au risque décroissante avec la richesse (DARA pour "Decreasing Absolute Risk Aversion"). Des individus ayant des préférences de type "DARA" seront caractérisés par une prime de risque qui diminue quand leur richesse totale augmente. Le coefficient d'aversion relative au risque est également une mesure largement utilisée dans la

---

<sup>7</sup> Nous utiliserons l'acronyme vNM pour faire référence à ces deux auteurs.

littérature (Arrow, 1971). Ce coefficient représente la façon dont la prime de risque augmente avec le niveau de richesse engagée dans une opération risquée : si ce coefficient est croissant avec l'augmentation de cet investissement les individus ont des préférences de types "CRRA", ce qui veut dire qu'ils sont de plus en plus averses au risque au fur-et-à-mesure que l'investissement risqué grossi dans leur portefeuille total.

A partir de la théorie de l'utilité espérée, de nouveaux concepts apparaissent. Kimball (1990) définit la notion de prudence. Un individu est prudent si il est sensible à l'éventualité d'une valeur négative de son profit espéré. L'auteur souligne que la notion de prudence est complémentaire à celle d'aversion au risque. Ce nouveau concept permet d'analyser les comportements d'épargne de précaution et d'assurance (Eeckhoudt et Kimball, 1992; Crainich et Eeckhoudt, 2005) et les efforts 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 et peut donc mener à de plus grandes variations en dessous de l'espérance.

De même, Gollier et Pratt (1996) étendent le cadre théorique de l'utilité espérée en considérant un "background risk", c'est à dire un risque qu'un individu ne peut pas éviter. Dans ce contexte, Eeckhoudt et Kimball (1992) montrent qu'un individu exposé à un "background risk" présente un degré d'aversion au risque plus important et tend à davantage s'assurer contre un autre risque, même si celui-ci est indépendant du premier.

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. 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 incertaine. Il trouve que la proportion des terres allouée à l'innovation dépend du risque associé et de l'aversion au risque de l'exploitant. Le rôle de la taille totale de l'exploitation dépendra de la relation entre richesse et aversion au risque (typiquement des agriculteurs DARA, qui selon les études peuvent représenter jusqu'à la moitié des agriculteurs français (Reynaud et Couture, 2012), vont plus adopter la nouvelle variété quand la taille de leur exploitation est plus grande). Le rôle du risque sur l'intensité d'adoption est fort si l'agriculteur subit déjà une contrainte de crédit, une conclusion partagée par Feder et O'Mara (1981). Ceux-ci montrent, par simulation, le frein à l'adoption d'innovation en agriculture que constituent les interactions entre aversion au risque, coûts fixes (liés au crédit, à l'acquisition d'information et à l'apprentissage notamment) et taille de l'exploitation. Les conclusions de Feder (1980) sont confirmées et étendues par Just et Zilberman (1983) qui ajoutent que les corrélations entre rendements des cultures conventionnelles et des cultures où s'applique une innovation sont à prendre en compte. Ces corrélations impliquent des interactions entre le risque associé aux deux types de production et une modification de l'impact des préférences vis-à-vis du risque. Feder (1982) analyse les implications d'une adoption simultanée de plusieurs innovations (l'une divisible dont l'adoption peut donc se faire sur une partie seulement de l'exploitation, et l'autre indivisible qui s'applique à l'ensemble de l'exploitation, et représente généralement un coût fixe) dont les résultats en termes de rendements sont corrélés. Il valide la présence d'une taille critique au-dessous de laquelle l'adoption n'est plus profitable, seuil qui dépend du niveau de risque perçu par l'exploitant. Il ajoute que la simultanéité de l'adoption a

essentiellement lieu chez les plus gros exploitants (par la taille de l'exploitation), 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 au risque. Cet aspect séquentiel est lié à la révélation au fur-et-à-mesure 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 ont montré 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 à l'ambiguïté, dont nous parlerons plus tard.

Certains auteurs, tels que Knight et al. (2003), ont relevé l'importance d'étendre les explications de l'adoption de nouvelles techniques agricoles 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 des agriculteurs semblent comporter plus d'incertitudes sur les rendements.

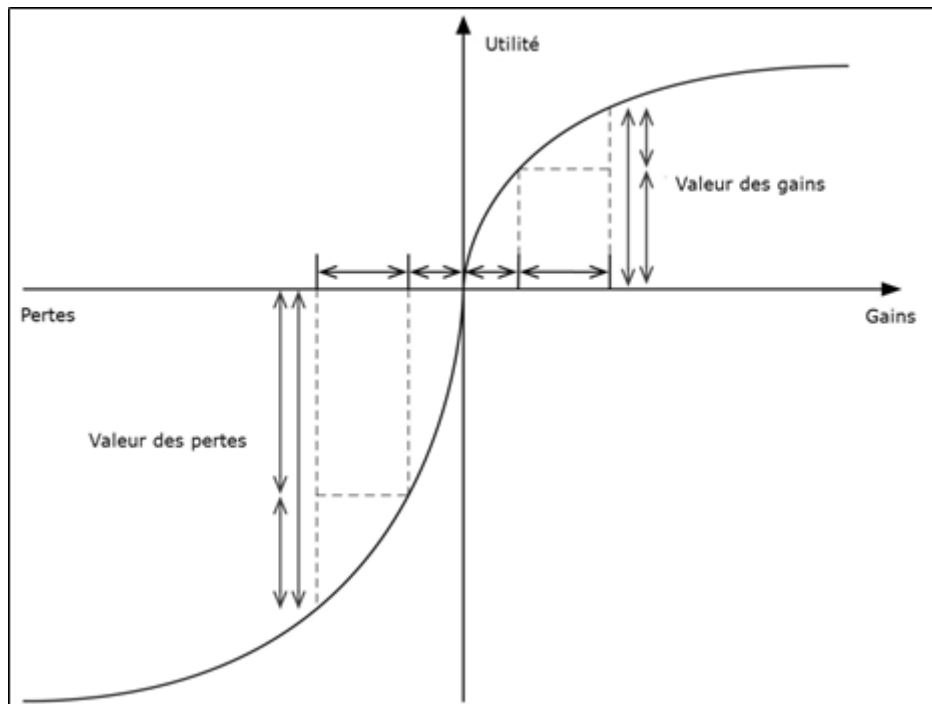
### 1.1.2 Extensions et alternatives à la théorie de l'utilité espérée

En parallèle à la théorie de l'utilité espérée, Kahneman et Tversky (1979) développent la théorie des perspectives ("Prospect theory"). Ils observent empiriquement deux phénomènes. Le premier est que les individus partent d'un point de référence pour évaluer les options auxquelles ils font face. Le second montre que 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 (voir 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 vraisemblables<sup>8</sup>. Par exemple, Kahneman et Tversky (1979) montrent que les individus préfèrent un gain certain à une loterie risquée avec un gain espéré beaucoup plus élevé, ils appellent cela "l'effet de certitude".

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

---

<sup>8</sup> Il ne s'agit pas ici de probabilité subjective (croyance) ou de sur estimation d'une probabilité, il s'agit d'une pondération selon l'importance donnée à la probabilité objective dans le choix.



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

Des extensions de la théorie de l'utilité espérée ont été proposées, notamment celle de Quiggin (1982) qui généralise 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.

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 alors 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. En situation de neutralité face au risque la satisfaction est égale au profit espéré : l'agriculteur n'est pas disposé à céder une prime pour se dispenser du risque. Ainsi, le profit de l'agriculteur neutre 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 au risque, il corrige d'une prime de risque  $p_m$  le rendement espéré des cultures concernées par l'adoption : dans ce cas il est prêt à céder une prime pour se dispenser du risque ce qui diminue sa satisfaction. Le profit corrigé s'écrit alors :

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

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, aux yeux de l'agriculteur ayant une aversion pour le risque que pour un agriculteur neutre 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 palier à 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 est proposée par Savage (1954). Il propose la "Subjective Expected Utility" qui est une conjonction des théories de vNM (1944) et de la théorie des probabilités subjectives (de Finetti, 1937; Ramsey, 1926). Cette théorie stipule 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. Le paradoxe d'Ellsberg ("problème à trois couleurs" 1961<sup>9</sup>) a cependant nuancé la théorie de Savage, en faisant observer que les comportements réels des individus ne suivent

<sup>9</sup> L'expérience d'Ellsberg est la suivante : dans une urne on place 90 boules dont 30 sont rouges, les autres sont jaunes ou noires (distribution inconnue, incertitude). Dans un premier temps, on demande aux individus de choisir entre deux options : (A) tirer une boule rouge rapporte un prix ; (B) tirer une boule jaune rapporte un prix. Les individus choisissent majoritairement A. Dans un second temps, on les fait 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 individus choisissent majoritairement D, ce qui remet en cause l'axiome d'indépendance développé par Savage. 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 loteries composées obtenues n'ont pas vu leur probabilités modifiées). Or ici on voit que les sujets révisent leur 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 parties, et montre qu'il y a des attitudes de couverture contre l'ambiguïté.

généralement pas, dans certains cas, un simple calcul d'espérance basé sur des probabilités subjectives. En effet, il montre que les individus peuvent se couvrir contre un "risque de risque" quand ils ont un doute sur leurs croyances, doute lié à leur manque de confiance dans leur propre jugement, ou dans les informations qu'ils ont à leur disposition.

A la suite des travaux de Savage (1954), de nombreuses théories de l'ambiguïté ont vu le jour<sup>10</sup> 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 à l'ambiguïté.

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

Concept	Auteur(s)	Méthode	Critère de décision
$\alpha$ -Maxmin	Gilboa, Schmeidler (1989)	Critère de pondération (à la Hurwicz) que le sujet applique à son espérance totale de gain, entre la pire et la meilleure distribution d'après ses croyances. $\alpha$ est le critère de pondération de la pire distribution, qui donne la façon dont le sujet 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 continue du $\alpha$ -Maxmin. $\Phi$ est une fonction de second-ordre qui modélise la façon dont l'agent 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. $\Phi$ représente donc son attitude envers l'ambiguïté.	$\Phi$ concave : Aversion pour l'ambiguïté (le sujet donne plus de poids aux pires distributions pour se couvrir) $\Phi$ linéaire : Neutralité envers l'ambiguïté $\Phi$ 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 $\mu$ est une fonction associant plusieurs probabilités subjectives 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 du sujet.	$\mu$ convexe : Aversion pour l'ambiguïté $\mu$ concave : Goût pour l'ambiguïté

<sup>10</sup> Voir Etner et al. (2012) pour une revue de la littérature des modélisations théoriques en ambiguïté.

## Encadré 2: La théorie de l'ambiguïté et notre problématique

La théorie des choix en univers risqué peut être limitée pour répondre à notre problématique, du fait de l'hypothèse forte d'une bonne connaissance de la distribution des profits par l'agriculteur, ou des aléas sous-jacents, qui est parfois non pertinente notamment dans le cas des mesures d'atténuation les plus innovantes. La nouveauté s'accompagne souvent d'une relative ignorance sur les gains potentiels et les aléas liés. Concernant les mesures d'atténuation, les agriculteurs peuvent avoir des croyances, et donc associer des probabilités subjectives aux conséquences de ces mesures, surtout quand ils les connaissent peu. Dans un univers ambigu, un individu a un doute sur ses croyances. La théorie de l'ambiguïté donne 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. Dans notre problématique, l'agriculteur peut douter de son évaluation personnelle de la distribution de profits liée à sa décision d'adopter une mesure d'abattement. Concrètement, il a peu confiance dans les informations à sa disposition sur la façon dont sa nouvelle manière de produire répond aux conditions pédo-climatiques, à ses décisions de production, à tout événement extérieur venant l'impacter. Il a, par exemple, des croyances à propos de plusieurs distributions possibles auxquelles il attribue une plus ou moins grande probabilité d'apparition (dite de « second ordre »), et donne plus ou moins de poids à l'une ou l'autre de ces distributions. Cela reflète son attitude envers l'ambiguïté, qui peut être rapproché d'une forme de pessimisme. 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 à l'ambiguïté. Si un agriculteur avère à 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 au risque et à 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,  $G_m^H$  (pire scénario) et une situation où le rendement de la culture avec l'adoption est fort,  $G_m^L$  (scénario le plus favorable). L'agriculteur pense que le pire scénario se produit avec une probabilité  $p$  et le scénario le plus favorable se produit 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 à 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 avère au risque peut s'écrire :

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

avec  $\alpha > 1/2$ . Ainsi la part optimale  $L_m^*$  d'un agriculteur averse à 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 de l'aversion pour l'ambiguïté, sa prime de risque est augmentée d'une prime d'ambiguïté. Des incitations non-matérielles 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.

Comme nous l'avons vu dans la section précédente, les théories du risque ont été largement appliquées à des problématiques agricoles. En revanche, les théories de l'ambiguïté n'ont encore été, à notre connaissance, que très peu utilisées afin de modéliser 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, quant à elles, restent relativement absentes de cette littérature, même si au niveau empirique certains auteurs ont tenté de mener des expérimentations.

## 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. La critique concerne notamment la forme des modèles adoptés, qui captent d'autres effets que les ceux recherchés. De plus, cette méthode ne permet pas de contrôler l'ensemble des variables de décisions mentales et celles relatives au contexte dans lequel l'agent fait ses choix. Dans le second cas, les préférences sont déclarées, c'est-à-dire que les agents sont questionnés directement sur leurs préférences ou mis en situation afin de les observer. Cette méthode présente l'avantage de pouvoir observer le processus mental de choix en univers risqué ou incertain, tout en contrôlant l'ensemble des éléments pouvant influencer le choix. Elle est cependant aussi critiquée, notamment du fait de la difficulté à établir que les choix déclarés dans ces conditions reflètent les choix dans des contextes économiques réels, avec des enjeux concrets. Les deux approches sont donc complémentaires et

permettent de quantifier le coefficient d'aversion au risque et d'aversion à l'ambiguïté des individus.

## **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 à l'égard du risque ou de l'ambiguïté en situation réelle. 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 neutralité au risque et à l'ambiguïté, et la part liée aux préférences individuelles vis-à-vis du risque ou 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 du risque et de 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 n'ont pas tous utilisé les mêmes méthodes, notamment économétriques (diverses par leur flexibilité ou leur précision), mais ils concluent tous que les agriculteurs sont caractérisés par de l'aversion au 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 au 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 au risque dans l'adoption de mesures anti-pollution dans l'agriculture. Bontems et Thomas (2000) ont montré que l'aversion au risque est un frein important à une modulation de l'utilisation d'engrais réduisant la pollution. Kurkalova et al. (2006) ont montré 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 au 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**

Tout d'abord, nous présentons les différentes méthodes existantes permettant d'éliciter l'aversion au risque et à l'ambiguïté des individus. Ensuite, nous présentons des travaux qui estiment les coefficients d'aversion au risque et à l'ambiguïté de manière générale, mais aussi plus précisément pour les agriculteurs français.

### **2.2.1 Présentation des méthodes**

L'élicitation des préférences par 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 *scenarii*. 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 Dospert<sup>11</sup>, proposée initialement par Weber, Blais, et Betz (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 ont présenté 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 ont ensuite doublé leur expérience d'une expérimentation de laboratoire (la méthode des équivalents certains, détaillée plus loin). Leur résultat a plusieurs implications. Tout d'abord, il démontre 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 au risque déterminé par l'expérimentation et la réponse à la question générale. Enfin, certaines caractéristiques ont influencé 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 elles<sup>12</sup>. Ces procédures sont utilisées pour quantifier l'aversion au risque. Certaines d'entre elles ont également été adaptées à l'élicitation de l'aversion à l'ambiguïté<sup>13</sup>. Dans ce cas, l'individu doit choisir entre une option risquée et une option avec de l'ambiguïté.

Tableau 2. Quelques procédures d'élicitation des préférences.

Nom de la procédure	Principe
Equivalent certain	Le sujet est placé face à un choix entre plusieurs loteries risquées et une option certaine. Son choix révèle pour quel niveau de risque il est indifférent entre le gain certain et la loterie, et donc son niveau d'aversion au risque.
Probabilité certaine	Comme l'équivalent certain mais il s'agit de faire varier les gains des loteries pour des probabilités fixes.
Variante BDM (Becker, DeGroot, Marschak)	

<sup>11</sup> Pour "*Domain-Specific Risk-Taking (DOSPERT) scale*".

<sup>12</sup> Voir Charness et al. (2013) pour plus de détails concernant les procédures existantes d'élicitation des préférences face au risque.

<sup>13</sup> Voir par exemple Chakravarty et Roy (2009) qui étendent la procédure MPL de Holt et Laury (2002) en ambiguïté.

	Une loterie est donnée à un sujet puis on le questionne sur le prix de vente qu'il attribue à cette loterie.
Multiple Price List (Holt et Laury, 2002; Chakravarty et Roy, 2009)  Variante Tanaka, Camerer et Nguyen (2016) en Prospect Theory	Le sujet est placé devant 10 choix successifs entre loteries binaires dont l'une est de plus en plus risquée par rapport à l'autre, et doit choisir sa loterie préférée. Le basculement du décisionnaire vers le choix certain donne son niveau d'aversion au 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 donne son niveau d'aversion au risque.
Trad-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 de loin 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 au 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 au risque et/ou à l'ambiguïté des agriculteurs, notamment français (Bougherara et al., 2012; Reynaud et Couture, 2012).

La littérature s'intéressant au coefficient d'aversion au 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 au risque et l'aversion à l'ambiguïté, et/ou des travaux portant sur des agriculteurs français.

### 2.2.2 Agriculteurs français et préférences face au risque

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 au risque. Toutefois, ils indiquent que la méthode OLS produit des coefficients d'aversion au 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) ont mené 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 Perspective Theory" (CPT) étendue<sup>14</sup>. Ils montrent que les agriculteurs présentent de l'aversion au 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.

### 2.2.3 Préférences face au risque et à l'ambiguïté

Engle Warnick et al. (2007) s'intéressent au rôle de l'aversion au risque et à 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 à 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 au risque et à 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 à 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 au risque. En effet, il semble que le niveau d'aversion au risque n'a paradoxalement pas d'effet sur l'adoption de ces variétés réduisant potentiellement le risque. D'après les auteurs, cela serait dû au fait que l'attribut du choix de la variété (la caractéristique innovante de la plante proposée) concerne une réduction de l'incertitude sur

---

<sup>14</sup> Voir section 1, Quiggin (1982).



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. La composante additive rappelle une sorte d'assurance mais qui concerne un aléa peu mesurable et probabilisable.

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 covariances<sup>15</sup>. Ils montrent notamment que l'aversion au 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 productives des exploitants.

#### 2.2.4 Agriculteurs français et préférences face au risque et à l'ambiguïté

Bougherara et al. (2012) mènent une expérimentation auprès d'agriculteurs français en utilisant la méthode MPL. Ils montrent que le niveau d'aversion au risque est différent en fonction du domaine, gain ou perte. Ils étendent également ce résultat à l'aversion à 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.

Nous avons donné un aperçu de l'imposante littérature sur l'aversion au risque, à l'ambiguïté et les concepts de la théorie des perspectives, et leur rôle dans les choix économique et écologiques des agriculteurs. Utiliser la méthode des préférences révélées sur données ou la méthode des préférences déclarées permet d'identifier empiriquement les corrélations entre ces phénomènes et les décisions d'atténuation réelles des exploitants, et de simuler les différentes politiques d'incitation, monétaires (taxe ou subvention optimales<sup>16</sup>, instruments de partage des risques) ou non (expérimentation agricoles et diffusions des bonnes pratiques dans des réseaux d'agriculteurs de manière efficiente<sup>17</sup>, éducation, etc.), à mettre en place ou à améliorer. 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, 2011) et 0,89 (Bougherara et al, 2011) avec des différences selon les modèles utilisés.

#### **Conclusion – perspective de recherche**

Comme le démontre cet article, il semblerait qu'un champ entier de recherche soit ouvert concernant l'impact du risque et de l'ambiguïté sur l'adoption des mesures d'atténuation de GES dans l'agriculture, notamment française. Si d'un côté la littérature fournit un nombre conséquent de preuves que l'aversion au risque et à l'ambiguïté expliquent les

---

<sup>15</sup> Méthode Norris et Kramer (1990), faisant partie des méthodes d'élicitation des distributions subjectives appliquées à l'agriculture.

<sup>16</sup> Voir les MAE climatiques.

<sup>17</sup> Exemple du réseau DEPHY du plan Ecophyto, visant à expérimenter des bonnes pratiques de réduction de l'usage des pesticides afin de les diffuser le plus largement possible dans le secteur.

comportements agricoles d'adoption de nouvelles technologies ou mode de production, notamment en freinant cette adoption, ce domaine reste relativement absent de la recherche concernant spécifiquement les mesures d'atténuation.

L'enjeu viserait donc à combler ces lacunes, et ce tant par la méthode des préférences révélées que par la méthode des préférences déclarées. Pour aller plus loin, il s'avère nécessaire de concevoir un modèle théorique à-même d'expliquer les hypothèses évoquées ici, et surtout d'identifier et de quantifier les leviers potentiels d'une politique d'incitation à l'adoption des mesures. Une simulation de ce modèle sur données réelles permettrait de vérifier son pouvoir explicatif, et de simuler des politiques publiques environnementales efficaces (taxe ou subvention, développement des réseaux d'agriculteurs, par exemple). Une expérimentation auprès d'agriculteurs français apporterait une validation empirique alternative qui pourrait procurer également des résultats robustes. Éliciter les préférences face au risque et à l'ambiguïté des exploitants et rapprocher ces préférences de leurs décisions réelles d'adoption de mesures d'atténuation et d'autres caractéristiques pourrait permettre de préciser encore les résultats.

L'enjeu final étant d'identifier des politiques permettant d'inciter à l'adoption de mesures d'atténuation sans réduire la compétitivité des exploitants, ainsi que les freins potentiels à la mise en place de ces politiques, pour tenter de les lever.

## Références

- Antle, J.M. (1987). Econometric estimation of producers' risk attitudes. *American Journal of Agricultural Economics*, 69(3), 509-522.
- Arrow, K.J. (1971). The theory of risk aversion. *Essays in the theory of risk-bearing* pp. 90–120.
- 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 single-response sequential method. *Behavioral science*, 9(3), 226-232.
- Bernoulli, D. (1968). *Specimen theoriae novae de mensura sortis*. Gregg.
- 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. (2012). Eliciting farmers' risk and ambiguity preferences in the loss and gain domain. In *Foundations and Applications of Utility, Risk and Decision Theory (FUR) XV International Conference. Atlanta (Georgia)* pp. 13.
- 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. Working Paper.
- 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*, pp. 329-335.

Crainich, D., Eeckhoudt, L. (2005). La notion économique de prudence, Origine et développements récents. *Revue Économique* 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. In *Contributions to insurance economics* pp. 239-254.

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

Engle-Warnick, J., Escobal, J., Laszlo, S. (2007). Ambiguity aversion as a predictor of technology choice: Experimental evidence from Peru. Working Paper.

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.

Feder, G., Umali, D.L. (1993). The adoption of agricultural innovations: a review. *Technological forecasting and social change* 43(3), 215-239.

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.

Gollier, C., Pratt, J.W. (1996). Risk vulnerability and the tempering effect of background risk. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp. 1109-1123.

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

INRA (2013). Réduire les émissions de gaz à effet de serre de l'agriculture française : l'Inra identifie dix actions.

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: Journal of the Econometric Society*, pp. 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'agroeconomie* 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.

Moschini, G., Hennessy, D.A. (2001). Uncertainty, risk aversion, and risk management for agricultural producers. *Handbook of agricultural economics* 1, 87-153.

Neumann, J.V., Morgenstern, O. (1944). *Theory of games and economic behavior* 60.

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.
- Ross, N., Santos, P., Capon, T. (2012). Risk, ambiguity and the adoption of new technologies: experimental evidence from a developing economy. Working Paper.
- Saha, A. (1997). Risk preference estimation in the nonlinear mean standard deviation approach. *Economic Inquiry* 35(4), 770-782.
- Sandmo, A. (1971). On the theory of the competitive firm under price uncertainty. *The American Economic Review* 61(1), 65-73.
- Savage, L.J. (1954). *The Foundations of Statistics*, pp. 11-34.
- Tanaka, T., Camerer, C.F., Nguyen, Q. (2016). Risk and time preferences: linking experimental and household survey data from Vietnam. In *Behavioral Economics of Preferences, Choices, and Happiness*, pp. 3-25.
- Treich, N. (2010). Risk-aversion and prudence in rent-seeking games. *Public Choice* 145, 339-49.
- Von Neumann, J., Morgenstern, O. (1947). *Theory of games and economic behavior*. Princeton university press.
- 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.
- Young, D.L. (1979). Risk preferences of agricultural producers: their use in extension and research. *American Journal of Agricultural Economics* 61(5), 1063-1070.