



HAL
open science

De l'assurabilité des catastrophes naturelles : modélisation et application a l'assurance récolte

Geoffroy Enjolras

► **To cite this version:**

Geoffroy Enjolras. De l'assurabilité des catastrophes naturelles : modélisation et application a l'assurance récolte. Sciences de l'Homme et Société. Université Montpellier 1, 2008. Français. NNT : . tel-02823619

HAL Id: tel-02823619

<https://hal.inrae.fr/tel-02823619>

Submitted on 6 Jun 2020

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

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

UNIVERSITÉ MONTPELLIER I
FACULTÉ D'ADMINISTRATION ET GESTION

Ecole Doctorale Economie et Gestion

DE L'ASSURABILITÉ DES CATASTROPHES NATURELLES

MODELISATION ET APPLICATION A L'ASSURANCE RECOLTE

Thèse présentée pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE MONTPELLIER I

Groupe des disciplines **Sciences de Gestion** du CNU

Section 06

Soutenue publiquement le

25 novembre 2008

par

Geoffroy ENJOLRAS

Sous la direction de Messieurs Robert Kast et Patrick Sentis

JURY

M. Patrice FONTAINE

M. Alain FRANÇOIS-HEUDE

M. Robert KAST

M. Vêlayoudom MARIMOUTOU

M. Constantin MELLIOS

M. Patrick SENTIS

Professeur, Université Grenoble 2

Professeur, Université Montpellier 2

Directeur de Recherche, CNRS

Professeur, Institut Français de Pondichéry

Professeur, Université Paris 1

Professeur, Université Montpellier 1

Rapporteur

Examineur

Directeur de Thèse

Examineur

Rapporteur

Directeur de Thèse

« La Faculté n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans cette thèse ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur ».

Remerciements

Mes remerciements vont en tout premier lieu aux membres du jury, MM. les Professeurs Patrice Fontaine, Vêlayoudom Marimoutou et Constantin Mellios, qui ont accepté d'évaluer mon travail de thèse.

J'exprime ma plus vive gratitude à l'égard de mes deux directeurs de thèse : la confiance et la sympathie qu'ils m'ont témoignées au cours de ces trois années ont été déterminantes pour la concrétisation de ce projet qui me tenait à cœur. Ma thèse n'aurait en effet pas vu le jour sans le suivi et l'implication sans faille du Professeur Robert Kast depuis notre rencontre à Marseille. Je suis également très reconnaissant au Professeur Patrick Sentis pour son aide précieuse et constamment renouvelée tout au long de mon parcours.

Je remercie également l'ensemble des équipes administratives et scientifiques du LAMETA et du CR2M pour leur accueil chaleureux et sympathique ainsi que leur soutien efficace sur les voies de la recherche. J'ai bénéficié d'excellentes conditions logistiques et financières pour conduire efficacement cette thèse.

Mes remerciements s'adressent tout particulièrement au Professeur Jean-Marie Boisson qui m'a prodigué des conseils avisés dès mon arrivée à Montpellier. J'exprime également ma reconnaissance à Jean-Pierre Couderc, Charles Figuières, Annie Hofstetter, Robert Lifran, Gérard Miclet, Patrick Rio, Jean-Michel Salles, Sophie Thoyer et Mabel Tidball pour leur accueil sur le site SupAgro.

Je salue aussi les amis, doctorants ou non, avec qui j'ai partagé ces trois années de thèse. Dans la longue liste de mes camarades d'aventure, je pense notamment à Cédric, Daly, Elodie, Fatmir, Jean-Walter, Julien, Katrin, Magali, Mika, Mourad, Nicola, Petr, Sandra et Sophie pour leur bonne humeur et leurs encouragements.

J'adresse enfin un immense merci à toute ma famille qui a été constamment présente et à l'écoute au cours de ces années d'études. J'exprime ma gratitude à mes parents, toujours attentionnés tout au long de cette aventure qui est aussi un peu la leur, et à ma sœur qui débute à son tour une thèse. Nous avons partagé de très bons moments ces dernières années et je lui souhaite toute la réussite possible dans son nouveau parcours.

Aux jalons de ma vie

Sommaire

INTRODUCTION.....	3
PARTIE I - UNE REVUE DE LA LITTERATURE SUR L'ASSURABILITE DES CATASTROPHES NATURELLES	7
1. Introduction.....	9
2. Une recrudescence des phénomènes climatiques associée à une connaissance accrue de leur fonctionnement et de leurs implications	12
3. Le risque de catastrophes naturelles : un risque réellement assurable ?.....	26
4. Un marché de l'assurance récolte en recomposition	51
5. Conclusion.....	70
PARTIE II - ETUDE DE CAS : LA GESTION DES INONDATIONS AU NIVEAU DES BASSINS VERSANTS EN FRANCE.....	73
1. Introduction.....	75
2. Le contexte de l'étude	77
3. Les mécanismes de compensation à l'échelle du bassin versant : une enquête à l'échelle nationale	82
4. Le niveau de transfert du risque	88
5. Conclusion.....	96
PARTIE III - UN MODELE THEORIQUE DE COUVERTURE DES RISQUES NATURELS ADAPTE A L'ASSURANCE RECOLTE.....	99
1. Introduction.....	101
2. Le Modèle Linéaire Additif Multiple (Multi-LAM)	103
3. Un modèle de couverture globale du risque grâce à la combinaison de contrats participatifs et financiers.....	122
4. Hypothèses expérimentales	143
PARTIE IV - TESTS ET RESULTATS SUR LA DEMANDE EN ASSURANCE ET LE MULTI-LAM.....	147
1. Introduction.....	149
2. Les caractéristiques des exploitations agricoles souscrivant des contrats d'assurance récolte.....	151
3. L'évolution au fil du temps de la situation des exploitations souscrivant une assurance récolte.....	160
4. Les principaux déterminants de la souscription d'une assurance récolte revisités.....	166
5. Tests empiriques de performance du Multi-LAM.....	171
6. Conclusion.....	184
PARTIE V - CONCLUSION	187
PARTIE VI - ANNEXES.....	205

Introduction

« Ce jour-là jaillirent toutes les sources du grand abîme et les écluses du ciel s'ouvrirent. »

Genèse 7 : 11

Héritage de la tradition mésopotamienne, le thème du déluge se retrouve dans les plus anciens témoignages littéraires de l'humanité. Les récits de catastrophes naturelles ont en effet habité les premiers temps de l'écriture en raison à la fois de la survenance de calamités majeures (disparition de Santorin, création de la Mer Morte, spectaculaires crues du Nil et du Tigre) et d'une absence de compréhension des mécanismes naturels à l'œuvre. Pendant plusieurs millénaires, ces phénomènes brutaux et imprévisibles ont suscité l'incompréhension. Il suffit pour s'en convaincre de considérer la littérature de Platon (mythe de l'Atlantide) à Jules Verne (volcanisme), en passant par les récits de Pline le Jeune (éruption du Vésuve), de Voltaire (tremblement de terre de Lisbonne) et d'Emile Zola (inondations).

La mise en œuvre de moyens permettant d'atténuer les conséquences de ces phénomènes inéluctables et très destructeurs est-elle possible ? Cette interrogation, posée à de multiples reprises, cristallise les enjeux pour les personnes et les activités directement affectées par les conditions climatiques. Parmi elles, le secteur agricole est en première ligne et fait traditionnellement l'objet d'une attention particulière en raison de ses enjeux alimentaires.

Problématiques anciennes, mais réponses tardives, puisqu'apportées seulement depuis 1945 avec l'essor de l'Etat-providence. Plusieurs pays industrialisés décident à cette époque de mettre au point des mécanismes d'indemnisation pour limiter l'impact des catastrophes. Aides exceptionnelles aux Etats-Unis ou fonds publics en France témoignent de l'intérêt de ces deux pays pionniers en la matière. Le point commun à ces deux systèmes est une implication forte et volontaire des pouvoirs publics afin de pallier les carences du système assurantiel.

Face au développement progressif de produits assurantiels de plus en plus appropriés, le rôle des Etats évolue : d'assureurs, ils deviennent des financeurs de la couverture par un mécanisme de subventions sur les primes des contrats. En France, cette mutation est en cours depuis 2005. Au-delà de cette seule intervention publique, les contrats d'assurance contre les risques naturels possèdent la même structure que les polices ordinaires. Toujours exposés aux asymétries d'information, ils comprennent des franchises notables pour les assurés, ce qui réduit d'autant leur efficacité.

Pour y remédier, une solution pragmatique consiste à faire appel aux marchés financiers via les mécanismes de transfert alternatifs du risque (ART). Les risques climatiques sont en effet perçus comme un moyen de diversification par les investisseurs, tandis que les assureurs et les réassureurs, voire les agriculteurs, peuvent y trouver les liquidités indispensables lors de la survenance d'une catastrophe naturelle. De nouveaux indices climatiques se développent, autorisant à leur tour le développement de produits dérivés indexés sur le climat ou les rendements. L'utilisation de ces instruments s'avère profitable à l'essor d'un marché organisé autour des risques naturels mais elle présente également l'inconvénient de générer un risque de base qui en limite la portée.

Les faiblesses des outils traditionnels de gestion des risques imposent de dégager des solutions innovantes pour repousser l'assurabilité des catastrophes naturelles. Dans ce cadre, l'objectif essentiel de cette thèse est de parvenir à compléter les marchés existants. Quelle stratégie pouvons-nous mettre en œuvre pour y parvenir ? Quels instruments se révèlent adaptés ? Nous proposons d'introduire une combinaison optimale de contrats assurantiels et financiers qui prenne en compte les différentes dimensions des exploitations agricoles considérées et des risques qui les affectent. Le modèle proposé doit être également adapté aux enjeux de l'assurance récolte et en adéquation avec les caractéristiques d'une demande soutenue.

Les agriculteurs font face à deux principaux risques sur leurs cultures. Le premier, le risque de rendement, est directement lié à la survenance d'un événement climatique. Le second, le risque de prix apparaît davantage en rapport avec la situation des marchés mondiaux mais reste indirectement lié au climat. Nous choisissons de focaliser notre travail exclusivement sur la couverture des rendements puisque ces derniers sont déterminés à l'échelle pertinente d'une exploitation. Dès lors, nous fondons notre analyse sur la décomposition de tout risque de catastrophe naturelle en deux éléments : le premier, appelé risque individuel, se rapporte aux pratiques de chaque assuré tandis que le second est commun à tous les assurés, ce qui en fait un risque systématique. Cette distinction montre à elle seule que les contrats actuels de couverture sont incomplets car ils ne s'intéressent alternativement qu'à l'un ou l'autre de ces risques. Dès lors, la voie s'ouvre pour introduire dans la modélisation des contrats aptes à couvrir les différentes facettes du risque catastrophique.

D'une part, les contrats assurantiels peuvent être améliorés en les rendant participatifs. En pratique, la prime des polices d'assurance fait l'objet d'un ajustement *ex-post* en fonction des sinistres tant de l'assuré que de la compagnie d'assurance. Un tel mécanisme a pour but d'inciter à la prévention par la prise en compte des efforts réalisés par l'assuré pour limiter son exposition.

D'autre part, pour compléter la couverture, les contrats financiers doivent également être revus. Dans le secteur agricole, la conception actuelle consiste à couvrir les cultures séparément, sans tenir compte des corrélations de rendement entre cultures. Cependant, la diversification peut réduire sensiblement le risque, rendant nécessaire l'ajout de ce dernier paramètre pour obtenir une meilleure définition des instruments.

Notre analyse empirique s'appuie sur les données du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA). Cette base recense un échantillon représentatif de plus de 7.000 exploitations agricoles inventoriées chaque année en France. La base de données Agreste procure également des données comptables agricoles agrégées en parallèle au RICA. Le traitement de ces informations par des techniques statistiques (appariement d'échantillons) et économétriques (régressions, *bootstrap*) appropriées permet de vérifier l'adéquation entre l'offre d'assurance proposée dans la modélisation théorique et les objectifs de couverture des risques naturels. Souvent délaissés dans les études existantes, les enjeux liés à la demande en assurance sont placés au cœur de la stratégie.

L'utilisation de nouveaux instruments doit offrir une couverture renouvelée et plus efficace des risques naturels. Nous suivons en conséquence la démarche suivante :

La **première partie** consiste en une revue de la littérature qui met en avant les principales thématiques développées dans la thèse et les replace dans le contexte actuel de modernisation de l'assurance récolte. Les principaux outils assurantiels et financiers mobilisables sont étudiés et critiqués en vue de leur intégration dans l'analyse.

La **deuxième partie** expose une étude de cas sur la gestion des inondations au niveau des bassins versants en France. L'analyse met en évidence les enjeux pratiques qui découlent de la mise au point de mécanismes de gestion des risques décentralisés et notamment les relations entre assureurs, pouvoirs publics et assurés. Elle éclaire également notre démarche visant à accroître l'assurabilité des risques naturels.

La **troisième partie** établit un modèle théorique de couverture des risques naturels adapté à l'assurance récolte. La formulation présentée combine des produits assurantiels et financiers couvrant simultanément l'ensemble des cultures d'une exploitation agricole. Elle rend possible en particulier l'assurance des deux composantes individuelle et systématique du risque.

La **quatrième partie** propose des tests et une validation empirique de la modélisation avancée précédemment. Elle offre notamment un éclairage renouvelé sur la demande en assurance récolte et sur les opportunités de création de mécanismes intégrés de gestions adaptés aux catastrophes naturelles.

L'objectif principal de cette réflexion est de perfectionner le système actuel de couverture des risques naturels grâce à une approche théorique et empirique innovante.

Partie I



*Une revue de la
littérature sur
l'assurabilité des
catastrophes naturelles*

1. INTRODUCTION

Alors que le nombre et l'intensité des catastrophes naturelles s'accroissent au fil du temps, jamais les pertes liées à ces événements naturels n'ont été aussi importantes. D'après le rapport du *National Hurricane Center*¹, le passage de l'ouragan Katrina aux Etats-Unis en 2005 a ébranlé l'ensemble du système d'assurance et de réassurance : sur un total de 81 milliards de dollars de pertes, 40,6 milliards étaient assurés. En dépit de ces pertes très élevées, le développement du marché de l'assurance (au sens large) des catastrophes naturelles n'a pas été entravé. Ce dernier étant stimulé par une forte demande et un regain de l'offre via des marchés désormais organisés, il est appelé à se développer davantage, à condition que les outils assurantiels et financiers s'adaptent aux enjeux.

Au cours des vingt dernières années, les travaux et les études liés à l'assurabilité des risques naturels se sont multipliés. Face à des phénomènes d'une ampleur exceptionnelle, de nombreuses interrogations émergent. La première s'attache aux origines de chaque phénomène et au lien entre l'intensité d'une catastrophe et les dommages : l'intérêt réside alors dans la création d'une passerelle entre les sciences physiques et les sciences sociales. La seconde interrogation s'intéresse aux mécanismes de régulation à l'œuvre lorsque survient une catastrophe et notamment à sa gestion : quels outils assurantiels et financiers permettent d'envisager une couverture ? Quel est le rôle dévolu aux pouvoirs publics ? Relativement à ces problématiques, notre intérêt se porte sur les exploitations agricoles dont la couverture vis-à-vis des événements naturels a toujours été encouragée et privilégiée. Pour envisager une meilleure couverture des risques naturels, il faut donc adapter, voire créer, des outils qui soient spécifiquement adaptés aux particularités de ce secteur.

¹ Ce rapport est disponible en ligne : http://www.nhc.noaa.gov/pdf/TCR-AL122005_Katrina.pdf

A ce titre, plusieurs domaines sont concernés dont nous présentons brièvement les enjeux dans les paragraphes suivants :

- La physique : les catastrophes naturelles sont avant tout des phénomènes naturels extrêmes qui mettent en jeu des forces physiques. Comprendre le fonctionnement de ces phénomènes et déterminer notamment leur probabilité d'occurrence est indispensable pour envisager une couverture assurantielle.
- L'assurance et la réassurance : la couverture des catastrophes naturelles est un vaste sujet d'études. En raison tant de leur relative rareté que des dégâts considérables infligés, les risques naturels ne sont pas *a priori* assurables. Au niveau mondial, la réassurance permet de diversifier certains risques mais elle reste impuissante face à un phénomène global tel que le réchauffement climatique. Néanmoins, il existe des mécanismes de gestion public-privé qui assurent une couverture partielle de ce type d'événements.
- La finance : le marché de l'assurance apparaît par nature limité car il est fondé avant tout sur les primes que versent les assurés. Le marché financier mondial est en revanche de taille beaucoup plus conséquente. De plus, les investisseurs perçoivent les titres indexés sur les catastrophes naturelles comme un moyen de diversifier leur portefeuille. Désormais, des places financières de premier ordre, dont Chicago (CBOT) et Londres (LIFFE) hébergent un marché organisé d'échange de dérivés climatiques.
- L'économie et la gestion agricoles : l'agriculture est très fortement exposée aux risques naturels, ce qui en fait un sujet d'étude privilégié alors que se développent des mécanismes d'assurance récolte à l'échelle du globe. Ces deux disciplines reprennent nombre d'acquis de la physique, de l'assurance et de la finance pour les adapter aux spécificités de leur champ d'étude.

Une couverture optimale contre les catastrophes naturelles s'obtient en mettant à profit les enseignements de ces principaux champs d'études. Nous nous attachons dans un premier temps à exposer la situation des catastrophes naturelles à l'échelle du globe, en insistant sur leur recrudescence et le lien entre les phénomènes physiques et les pertes monétaires. Dans un deuxième temps, nous étudions les conceptions traditionnelles de l'assurance des catastrophes naturelles du point de vue des assureurs, du marché et des pouvoirs publics. Des illustrations sont données pour la France et les Etats-Unis en insistant sur les spécificités de l'assurance agricole. Dans un troisième temps, nous considérons le marché de l'assurance des catastrophes naturelles, et tout particulièrement celui de l'assurance récolte, en analysant ses deux versants : la demande, sujet peu étudié jusqu'à présent, et l'offre dont il est nécessaire d'améliorer l'efficacité.

2. UNE RECRUESCENCE DES PHENOMENES CLIMATIQUES ASSOCIEE A UNE CONNAISSANCE ACCRUE DE LEUR FONCTIONNEMENT ET DE LEURS IMPLICATIONS

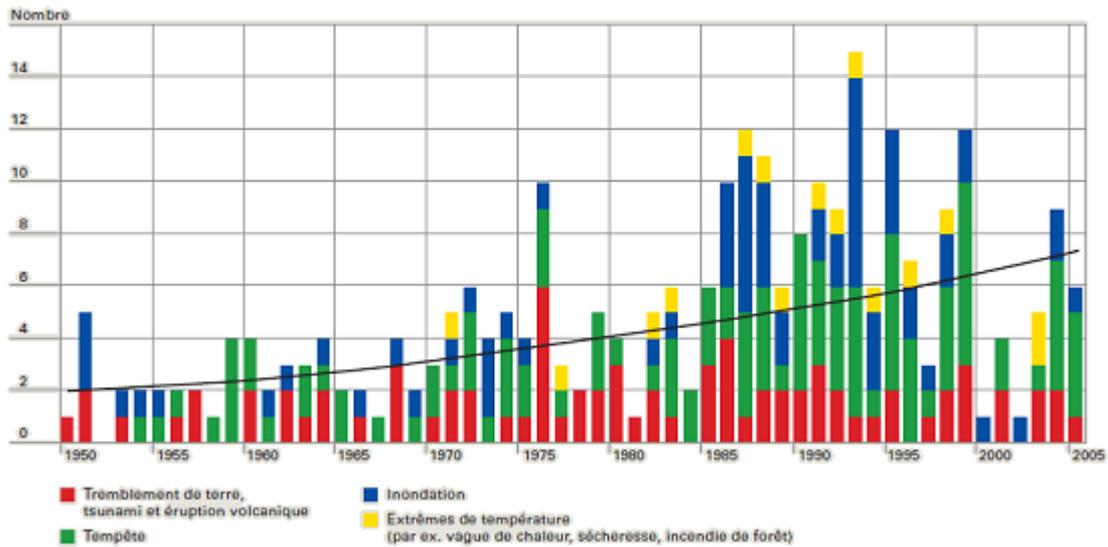
En préalable à une présentation des fondements théoriques de notre étude, il apparaît pertinent de prendre en compte le contexte des catastrophes naturelles en France et dans le monde. Cet état des lieux permet également de définir des notions utiles à la compréhension des risques naturels. Enfin, il offre l'occasion d'élaborer des modèles qui lient les phénomènes naturels aux dommages engendrés en fonction de leur intensité. Des illustrations concrètes sont données en se référant au risque d'inondation.

2.1 L'état des lieux des catastrophes naturelles en France et dans le monde

Les catastrophes naturelles font régulièrement partie des principaux titres de l'actualité. Dans les annales, l'année 2005 a été sans conteste l'année la plus coûteuse de l'histoire de l'assurance avec une conjonction de phénomènes naturels aussi meurtriers que dommageables : ouragans aux Etats-Unis et au Mexique, tremblements de terre au Pakistan et en Inde. Des inondations violentes ont également affecté le sud de la France cette année-là.

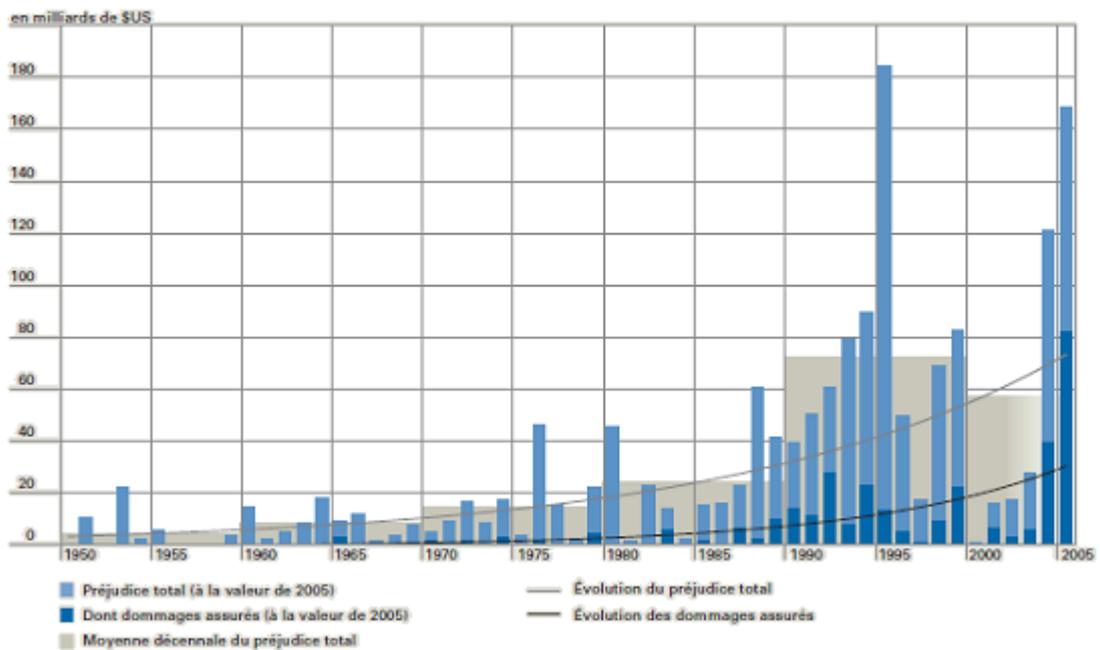
Nombre d'événements

Le diagramme suivant montre pour chaque année le nombre des grandes catastrophes, réparties selon le type d'événement.



Préjudice total et dommages assurés – valeurs absolues et tendances à long terme

Le diagramme retrace l'évolution du préjudice total et des dommages assurés (à la valeur de 2005). Les courbes révèlent une augmentation des dégâts causés par les catastrophes depuis 1950.



Source : Munich Re (2005)

Figure 1. Etat des lieux des catastrophes naturelles dans le monde de 1950 à 2005

Chaque année apporte un lot croissant d'événements catastrophiques comme en témoignent les deux graphiques de la Figure 2 issus du service d'étude de Munich Re (2005), un des principaux réassureurs au niveau mondial. La comparaison entre l'immédiat après-guerre et les premières années du nouveau millénaire met en relief une augmentation des cataclysmes, tant en nombre qu'en gravité. Cet accroissement sensible est révélateur d'une concentration des personnes et des activités dans des zones risquées ainsi que de l'augmentation de la couverture assurantielle à l'échelle mondiale. Sur la même période, l'information relative aux catastrophes naturelles a également progressé : les phénomènes climatiques font l'objet d'études précises, de sorte que la prévention des risques s'avère plus efficace.

D'après l'étude annuelle de la Caisse Centrale de Réassurance (2007), la France connaît la même évolution qu'au niveau mondial. En effet, la majorité des catastrophes naturelles de grande importance ont eu lieu au cours de la dernière décennie. Parmi les risques les plus fréquents, nous retrouvons chaque année des inondations et des tempêtes, ainsi qu'un risque latent de sécheresse désormais atténué mais qui a marqué en profondeur les années 1990.

Ce sont systématiquement des calamités climatiques majeures qui ont conduit à la création et à l'évolution de régimes spécifiques de couverture des risques naturels. Pour caractériser ces risques, plusieurs termes sont couramment usités.

2.2 Trois notions clés : risque, aléa et vulnérabilité

A ce stade, trois notions importantes doivent être précisées : le risque, l'aléa et la vulnérabilité, qui sont des éléments-clefs pour définir la portée d'une catastrophe. La Figure 2 définit de manière illustrée ces trois termes en se référant aux inondations.



Source des images : www.prim.net

L'**aléa** est la réalisation d'un phénomène naturel d'une intensité et d'une probabilité données. Dans le cas des inondations, il est mesuré par la période de retour, la hauteur et la durée de submersion, le débit de pointe et le volume des matériaux charriés. Des instruments géographiques permettent de mieux appréhender les enjeux.

La **vulnérabilité** mesure les conséquences prévisibles d'un aléa sur les personnes et les biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Elle est étroitement liée à l'occupation du sol et à son utilisation par des activités anthropiques. Dès lors, la vulnérabilité est plus élevée dans les espaces urbains.

Un **risque majeur** est la conséquence d'un aléa naturel ou humain dont les effets affectent un grand nombre de personnes, génèrent des dommages très élevés et nécessitent le plus souvent une intervention extérieure.

Figure 2. Le lien entre le risque d'inondation, l'aléa et la vulnérabilité

De la nature du risque dépendent les dommages. Ceux-ci sont classifiés en deux types de catégories, matériels et non matériels, selon qu'il est possible ou non de leur affecter une valeur monétaire :

- Les dommages tangibles sont les pertes monétaires attribuables à une catastrophe naturelle. Ils peuvent être subdivisés selon leur nature directe ou indirecte : dans le premier cas, les dommages sont immédiatement constatables après une catastrophe, comme par exemple les dégâts faits aux bâtiments par le passage de flots en crue. Dans le second cas, les dommages proviennent d'une interruption de l'activité économique causée par un événement climatique, par exemple une inondation qui rend un terrain non cultivable pendant plusieurs mois.
- Les dommages intangibles, potentiellement très variés, incluent notamment les pertes humaines, les coûts de prévention contre les crues, ainsi que les frais d'évacuation. Ces dommages ne sont pas facilement identifiables et mesurables.

La définition de ces notions nous permet d'introduire les modèles physiques de détermination des dommages qui sont très utiles pour créer des contrats d'assurance et pour fixer des niveaux de primes adaptés à chaque situation.

2.3 Les modèles physiques de détermination des dommages

Les modèles physiques de détermination des dommages sont la clef de voûte de tout système d'assurance contre les catastrophes. Ils permettent d'associer à chaque type d'événement des scénarii de pertes grâce à l'élaboration de fonctions de vulnérabilité. Leur utilisation est très prisée en agriculture, notamment pour évaluer les dommages sur les récoltes.

2.3.1 Un rôle indéniable et souvent méconnu

En préalable à toute instauration d'une couverture pour un risque donné, il est capital de déterminer des éléments essentiels tels que la probabilité de survenance des sinistres et leur lien avec les pertes potentielles. Dans le cas de risques fréquents et bien délimités (accidents de voiture, incendies, *etc.*), l'évaluation des dommages suit des règles bien établies et ne pose généralement aucun problème aux assureurs. Les catastrophes naturelles dérogent à la règle car leur probabilité de survenance est faible et la mesure des dommages varie fortement selon le type d'événement. De plus, leur indemnisation s'avère généralement très coûteuse.

Il est par conséquent capital pour les assureurs, les réassureurs et les pouvoirs publics de simuler des scénarii de dégâts liés à des événements catastrophiques. Chaque catastrophe étant unique, il convient de les différencier pour prendre en compte leurs spécificités (Woo, 1999). En effet, le critère physique de mesure d'une catastrophe se rapporte à la vitesse du vent pour une tornade ou la magnitude pour un tremblement de terre. Plusieurs critères peuvent parfois être retenus, comme dans le cas des inondations où sont pris en compte la hauteur d'eau, le débit de pointe ou encore la durée de submersion. Nous nous intéressons également aux conséquences des inondations sur les pertes de récoltes.

Le schéma suivant (Figure 3) sert de guide pour une évaluation des dommages économiques à partir de données purement physiques.

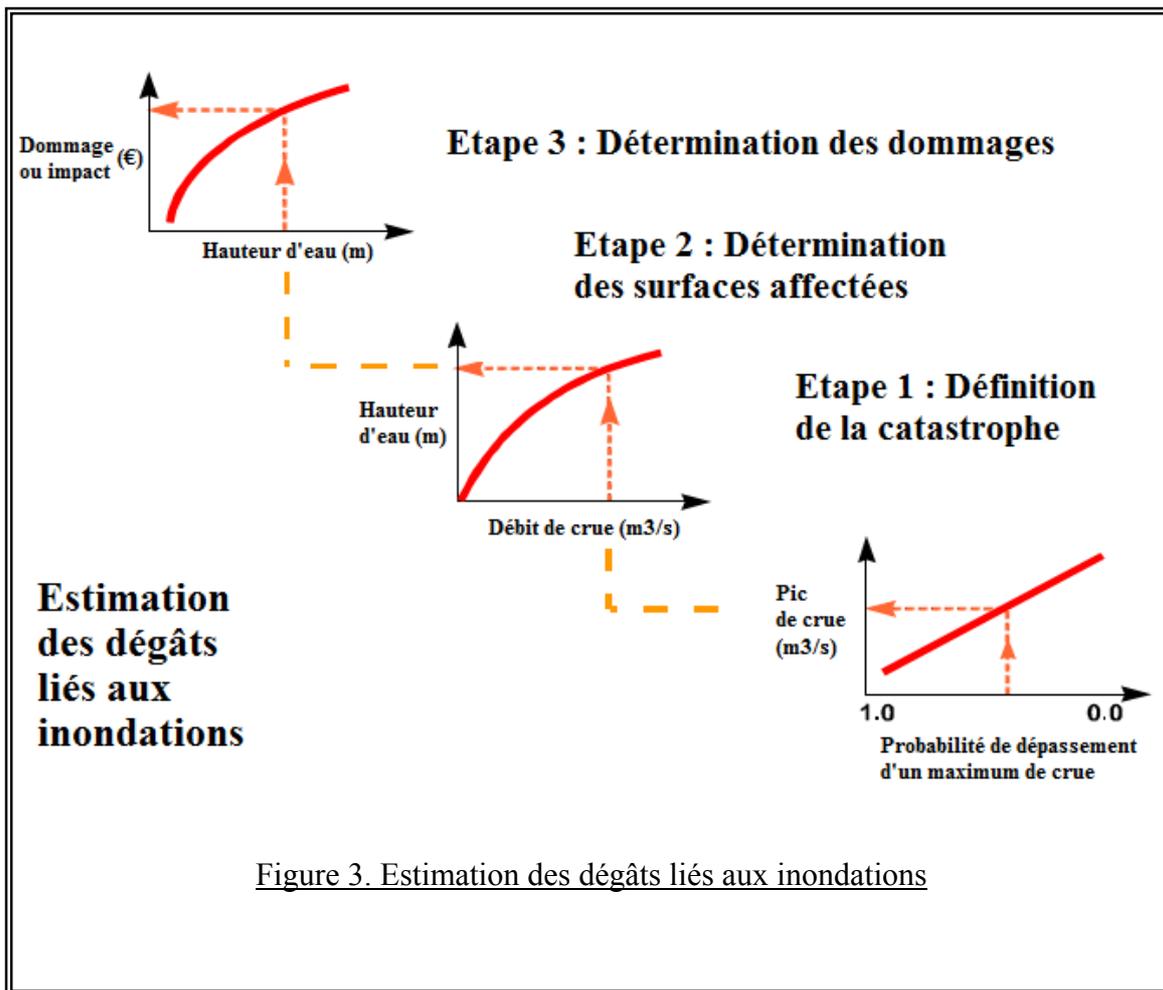


Figure 3. Estimation des dégâts liés aux inondations

Pour commenter cette figure, considérons le cas d'une inondation. Le critère objectif de mesure d'une crue est le débit lors du pic de l'écoulement des eaux, mesuré en m^3/s . A ce débit est associée une hauteur d'eau, mesurée en mètres, qui n'est pas identique en chaque point du bassin versant. Cette hauteur d'eau permet, selon les scénarii, de mesurer des dommages, estimés en euros. La probabilité de dépassement d'un maximum de crue est bien souvent déterminée à partir des données historiques (Freeman et Kunreuther, 2003).

Paradoxalement, un aperçu des publications de ces dix dernières années (Swiss Re, 1998 ; Du Plessis, 2001 ; Dutta *et al.*, 2003 ; Meyer et Messner, 2005) montre qu'il existe peu d'information disponible sur la modélisation physique des catastrophes naturelles dans l'objectif de mesurer les dommages potentiels. Pour autant, il existe une grande sensibilité des différents acteurs (personnes, assureurs et réassureurs, pouvoirs publics) à ces préoccupations (Treby *et al.*, 2005) dans un contexte où les inondations s'intensifient. Il apparaît en réalité que les assureurs et réassureurs compilent de nombreuses informations lors de chaque sinistre qui ne sont communiquées ni au public ni aux instituts de recherche académique. De fait, les modélisations disponibles se concentrent sur des cas particuliers.

2.3.2 Les modèles de vulnérabilité

Merz *et al.* (2004) remarquent que la littérature sur les dommages liés aux inondations se focalise principalement sur les dommages tangibles directs. Ce constat n'est pas surprenant dans la mesure où l'estimation de ce type de dommages s'avère la plus simple à mettre en œuvre. A cet effet, il convient d'estimer une fonction de dommages. Dutta *et al.* (2002) rappellent qu'il existe deux approches basiques pour estimer l'impact d'une catastrophe : la première raisonne propriété par propriété tandis que la seconde se concentre sur les répercussions de l'événement sur l'activité économique.

Nous nous intéressons à la dernière démarche qui nous permet, en adaptant le modèle général de Woo (1999), de définir les pertes liées aux inondations dans le secteur agricole comme une fonction des paramètres suivants :

- Attributs physiques de la catastrophe : hauteur d'eau, débit maximal, durée, vitesse d'écoulement et volume de matériaux charriés.
- Caractéristiques des activités affectées : bâtiments (matériaux et âge), véhicules et équipement, cultures et bétail.
- Contexte général : saison, profil de l'exploitant et « culture du risque ».

Une illustration en est donnée par le Tableau 1 qui résume une étude réalisée en 2003 sur le risque de crues en Camargue, dans le delta du Rhône.

Importance de la crue	Enjeux financiers (en milliards d'euros)			
	Logement ⁽⁴⁾	Activités commerciales et industrielles ⁽⁵⁾	Activités agricoles ⁽⁶⁾	Total
Moyenne ⁽¹⁾	0,11	0,14	0,30	0,55
Forte ⁽²⁾	0,63	0,77	0,53	1,93
Très forte ⁽³⁾	1,86	2,15	0,80	4,81

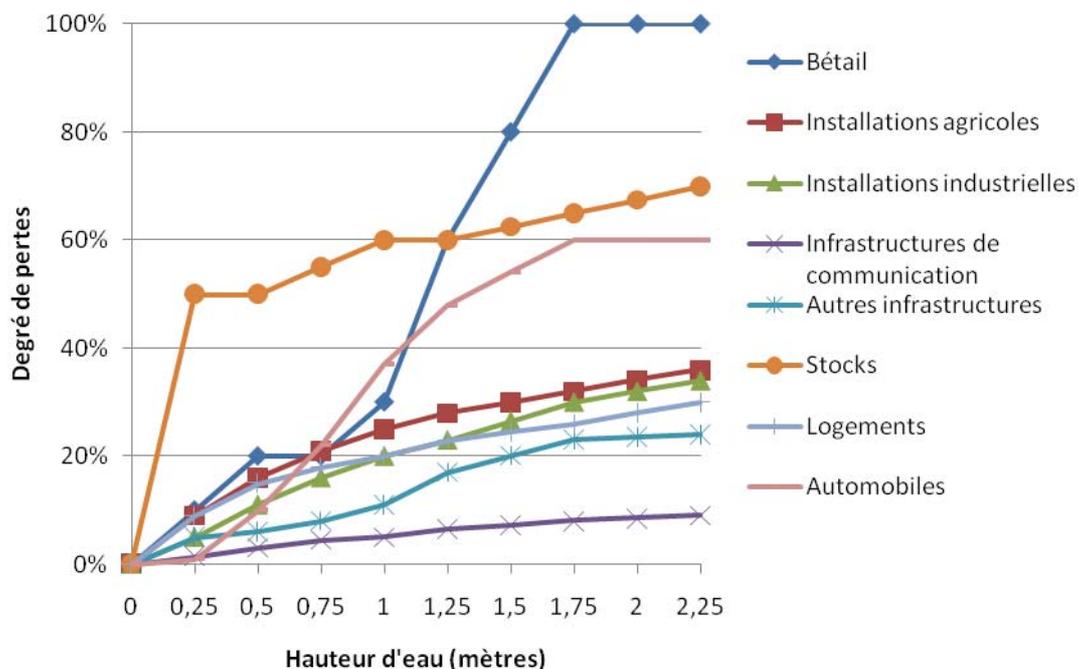
- (1) Crue décennale sur l'ensemble du Rhône avec brèches accidentelles dans le delta.
- (2) Crue centennale sur l'ensemble du Rhône avec brèches accidentelles dans le delta.
- (3) Crue millénaire sur l'ensemble du Rhône avec brèches accidentelles dans le delta.
- (4) La part relative des dommages aux habitations individuelles représente environ 60 % des dommages, tous types d'habitat confondus en crue moyenne, 45 % en crue forte et 35% en crue très forte.
- (5) Estimations établies en supposant des délais d'intervention supérieurs à 48 heures. Pour des délais inférieurs, les dommages peuvent être réduits de 20 à 40 %.
- (6) Les montants indiqués ont été calculés pour une crue de printemps, période la plus préjudiciable à l'agriculture. En cas de crue d'automne ou d'hiver, le montant global peut être réduit de moitié.

Source : www.eptb-rhone.fr/sitsem/pdf/comcrue.pdf

Tableau 1. Répartition des dommages en milliards d'euros par type d'enjeu et pour trois niveaux de crue du Rhône

Les fonctions de dommages sont fondées sur la mesure de la sensibilité des terrains aux inondations par rapport à leur affectation (agriculture, habitation, *etc.*). Ces modèles sont essentiels pour établir un lien entre les dommages liés à une catastrophe naturelle et les différents paramètres physiques de cette dernière. Selon Dutta *et al.* (2002), il existe deux manières de déterminer les fonctions de dommages pour les inondations : la première se fonde sur l'utilisation de données historiques qui se réfèrent à des inondations passées tandis que la seconde consiste à réaliser une analyse conditionnelle à l'occupation des sols et à leur utilisation grâce à des enquêtes sur le terrain.

La Figure 4 donne une illustration de cette dernière méthode pour les inondations affectant différentes catégories d'actifs.



Source : Klaus et Schmidtke, 1990

Figure 4. Degré de pertes pour différentes catégories d'actifs

Ce graphique montre en premier lieu qu'il faut bien distinguer les différentes pertes agricoles car l'impact d'une crue n'est pas le même sur les récoltes, les bâtiments et le matériel. Nous remarquons également que les actifs agricoles (capitaux et animaux) sont parmi les plus vulnérables au risque d'inondation, mesuré dans ce cas par la hauteur d'eau.

En accord avec notre travail qui porte spécifiquement sur l'assurance des récoltes, nous nous concentrons à présent sur les dommages aux cultures.

2.3.3 Application aux dommages sur les récoltes

Dans cette section, nous nous intéressons aux critères qui influent sur les pertes que subissent les récoltes suite à un événement naturel. Nous considérons toujours le cas des inondations étant observé que les résultats présentés ci-après restent valables quel que soit le type de catastrophe. En plus de la hauteur d'eau, nous examinons l'impact de la saison sur le niveau des dommages dans le secteur agricole.

2.3.3.1 La hauteur d'eau : un critère de référence parmi d'autres

L'analyse de plusieurs bases de données indique qu'il existe une hauteur d'eau critique pour chaque type de culture, au-delà de laquelle les pertes sont totales. Des données australiennes², chinoises³ et françaises⁴ nous permettent de construire le tableau suivant qui indique ce seuil pour différentes cultures.

Activités	Hauteur d'eau critique
Bananaïes	2,5 mètres
Canne à sucre	1,2 mètre
Blé, Millet, Vergers, Vin	1,0 mètre
Légumes, Riz	0,5 mètre
Pâturages	0,0 mètre

Tableau 2. Hauteur critique au-delà de laquelle l'intégralité d'une récolte est détruite

Les valeurs du Tableau 2 varient en fonction de la hauteur de chaque culture. Des indicateurs intermédiaires permettent d'affiner l'analyse en définissant le pourcentage moyen de pertes pour chaque culture pour un niveau donné d'élévation des flots.

² Source des données : <http://earthsci.org/Flooding/unit4/u4-06-01.html>

³ Source des données : http://www.yangtze.sagric.com/downloads/dss_lit_review.pdf

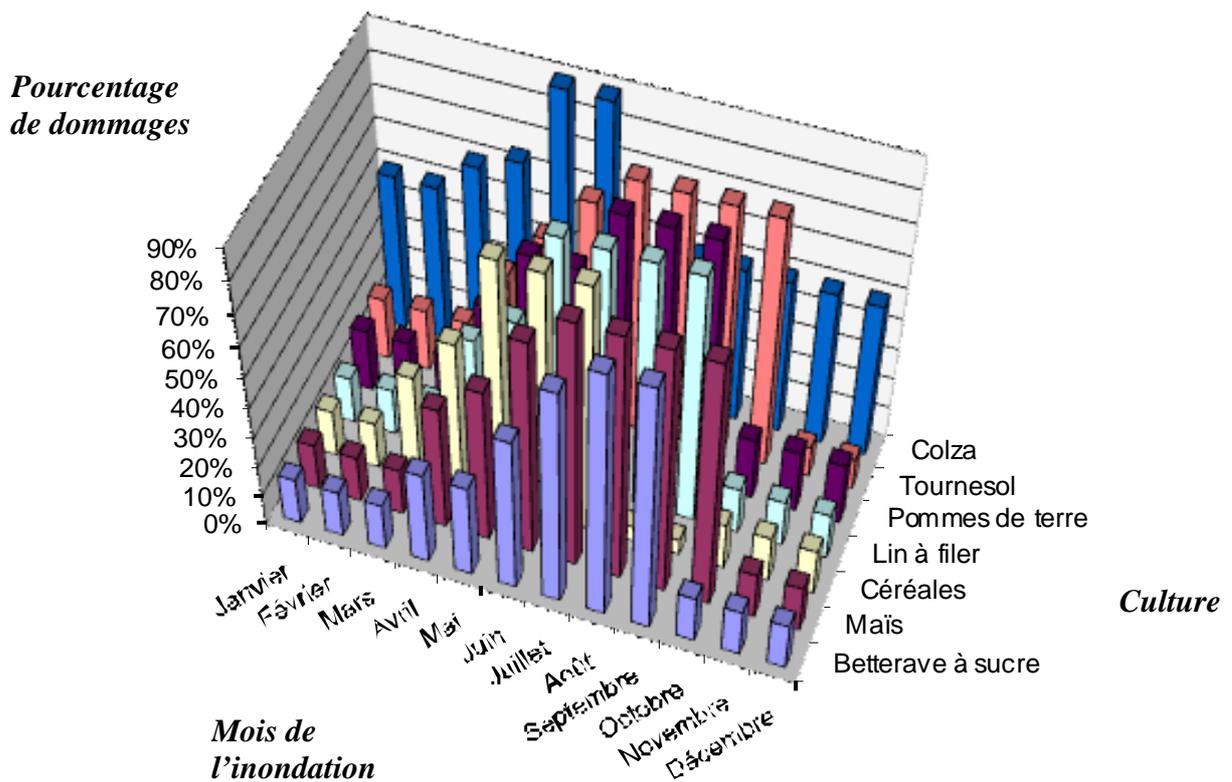
⁴ Source des données : <http://www.eptb-rhone.fr/pdf/orienta.pdf>

Il existe également d'autres critères permettant de mesurer l'importance des dommages, à savoir le temps d'exposition qui correspond au temps de submersion des terres dans le cas d'une crue. Plus ce dernier est important et plus la culture risque d'être détruite dans sa totalité (Chen, 1999). En outre, l'agriculture étant une activité cyclique, la saison influence fortement les pertes.

2.3.3.2 La saison : un critère agricole essentiel

D'un point de vue météorologique, le printemps (semis) et l'automne (récolte) sont les deux périodes les plus propices à la survenance de catastrophes climatiques dans les pays de l'hémisphère nord. En outre, elles correspondent à un potentiel de pertes plus élevées. En effet, une inondation emporte très facilement les semis, de même qu'elle fragilise les cultures en voie d'être récoltées. Il en résulte que la période de l'année où survient une inondation est presque aussi importante que sa magnitude (IRS, 2000) : une crue décennale qui survient en fin d'été est plus catastrophique pour les récoltes qu'une crue centennale à tout autre moment de l'année.

Pour illustrer ce point, nous produisons la Figure 5, adaptée de Satrapa *et al.* (2005). Elle met en avant la relation entre le type de cultures, la saison et le pourcentage de pertes liées aux inondations dans la vallée de l'Elbe, en Espagne.



Source : Satrapa *et al.* (2005)

Figure 5. Dommages sur les récoltes dans la vallée de l'Elbe : l'influence des saisons

Ce graphique tridimensionnel est très utile car il permet de déterminer selon la saison la gravité des dommages pour les cultures directement exposées aux inondations. Globalement, plus la culture croît et plus le potentiel de dommages est important, notamment parce qu'une culture n'est plus du tout commercialisable si le sinistre survient au moment de sa récolte. Nous remarquons également que le colza est vulnérable toute l'année à un sol inondé parce que cette culture est semée dès l'automne, contrairement à la pomme de terre qui est plantée au printemps.

Dans chaque cas de figure, l'approche doit être adaptée au but et à la précision recherchés, en raison du temps et des moyens nécessaires aux études sur le terrain. En effet, les spécificités propres à chaque bassin versant compliquent le travail de modélisation. Il existe certes des constantes pour chaque culture mais les particularités locales rendent indispensables des études détaillées pour chaque site (Satrapa *et al.*, 2005).

Aussi, les études qui mettent en relation des événements naturels et des pertes économiques sont un outil précieux pour déterminer l'assurabilité de certains types de risques. C'est notamment l'objet du prochain chapitre, consacré à l'assurance et à la réassurance des catastrophes naturelles.

3. LE RISQUE DE CATASTROPHES NATURELLES : UN RISQUE REELLEMENT ASSURABLE ?

Traditionnellement, les catastrophes naturelles sont présentées comme un risque peu assurable : leurs caractéristiques ne plaident en effet pas pour l'existence spontanée d'un marché organisé pour leur couverture. Au sein même des dégâts liés aux catastrophes, une distinction a vu le jour entre les calamités agricoles et les autres dommages. Il convient par conséquent de mettre en balance dans ce chapitre le point de vue des assureurs et le point de vue du marché quant à la couverture des risques naturels. Il est également utile de mentionner l'importante place que tiennent les pouvoirs publics pour couvrir ce type de catastrophes. Pour illustrer nos propos, les systèmes de couverture des catastrophes naturelles mis en œuvre par les Etats-Unis et la France sont détaillés. Ces deux pays ont progressivement instauré des régimes intégrés de couverture mêlant assurance privée et intervention régulatrice des pouvoirs publics.

3.1 Le point de vue de l'assureur

En France, les catastrophes naturelles sont définies par l'article L. 125-1 (3^{ème} alinéa) du code des assurances : « Sont considérés comme les effets des catastrophes naturelles [...], les dommages matériels directs **non assurables** ayant eu pour cause déterminante l'**intensité anormale** d'un agent naturel, lorsque les **mesures habituelles à prendre** pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises. »

Les trois points mentionnés en gras ci-dessus sont successivement détaillés ci-après car ils remettent en cause l'existence d'un marché organisé de l'assurance.

3.1.1 Les dommages non assurables

Un risque assurable satisfait à trois conditions essentielles :

- Il est modélisable : le type d'événement et la gravité doivent pouvoir être évalués afin que les assureurs et les réassureurs puissent définir le prix de la couverture et sa conception.
- L'événement est aléatoire : cela implique que la probabilité de sa survenance, sur une période donnée, est quasiment impossible à prévoir. De plus, la probabilité de survenance ne doit pas être géographiquement très ciblée, ce qui entraînerait une antisélection et donc un prix d'assurance très élevé dans les régions potentiellement les plus risquées.
- Le prix de la couverture d'assurance est accessible : en pratique, le principe de mutualisation doit pouvoir s'appliquer pour le calcul des primes.

Il en résulte que certains risques naturels apparaissent assurables comme les tempêtes, la grêle ou la neige. En effet, les événements et leur gravité potentielle sont connus. L'aléa est quasi-total, comme l'a démontrée l'arrivée subite d'une tornade à Maubeuge en août 2008, parce que sa probabilité de survenance est impossible à prévoir. De plus, même si certaines régions sont davantage exposées, aucune n'est véritablement à l'abri de ce type de phénomènes. Il en résulte une couverture assurantielle possible avec une cotisation abordable : la mutualisation suffit pour assurer la pérennité de la couverture et il n'est pas utile de faire appel à un système de solidarité.

Les autres catastrophes naturelles présentent en revanche une gravité très variable, un risque plus ou moins aléatoire, suivant les constructions et la connaissance du risque. De plus, il existe pour certains risques une forte antisélection géographique, comme pour les inondations. Au sein des régions les plus exposées, les primes assurantielles sont nettement plus élevées quand les contrats parviennent à être mis en place. Dès lors, ce type de risque devient non assurable et, la mutualisation ne suffisant plus, il faut y adjoindre un système de solidarité entre les assurés. Il en va de même lorsqu'un agent naturel présente une intensité anormale.

3.1.2 L'intensité anormale d'un agent naturel

Pour être classé comme catastrophe naturelle, un événement constaté doit être d'une intensité exceptionnelle. La loi française n'énumère pas les risques concernés (inondations, avalanches, *etc.*), à l'exception des cavités souterraines (d'origine naturelle) et des cyclones.

Une circulaire précise les critères d'appréciation de l'état de catastrophe naturelle aux préfets qui instruisent les dossiers. Une commission interministérielle étudie ensuite les différentes demandes, puis un arrêté interministériel publié au Journal Officiel constate l'état de catastrophe naturelle. Après le règlement des sinistres, les communes qui bénéficient de la mesure doivent rapidement engager des mesures de prévention afin d'éviter le retour d'événements catastrophiques.

3.1.3 Les mesures préventives

Il existe un fort lien entre l'événement, les dommages et les actions de prévention. Une catastrophe est juridiquement reconnue lorsque toutes les mesures normales de prévention ou de sauvetage ont été prises en amont pour que l'intensité de l'événement naturel soit considérée comme la cause déterminante du dommage.

Si une cause extérieure à la catastrophe (mauvais entretien, absence de prévention, défaut de construction, *etc.*) est majoritairement responsable des dégâts, alors ces derniers pourraient ne pas être considérés comme les effets d'une catastrophe naturelle au sens de l'article L. 125-1 du code des assurances. Ils ne seraient donc pas indemnisés même si un arrêté a constaté l'état de catastrophe naturelle pour tel type de dommages. La jurisprudence en la matière est suffisamment explicite et constante.

Ce rôle de prévention a été notamment souligné par Latruffe et Picard (2005) qui examinent le fameux dilemme prévention-solidarité sous l'angle des marchés. Partant des hypothèses du modèle classique de Rothschild et Stiglitz (1976) et en supposant une information imparfaite, ils démontrent qu'une augmentation de la prévention a pour conséquence directe une réduction des coûts totaux des catastrophes naturelles. En effet, si le calcul des primes d'assurance repose sur l'évaluation probabiliste des risques, alors un assuré dont les coûts de prévention sont relativement faibles est incité à les supporter pour bénéficier d'une réduction de ses primes d'assurance. C'est une rupture nette avec la logique de solidarité puisque, si nous inversons le raisonnement, les personnes dont le coût de prévention est élevé doivent supporter des primes d'assurance plus élevées.

Les marchés financiers permettent de surmonter le dilemme prévention-solidarité dans la mesure où ils sont capables d'absorber les effets des catastrophes naturelles.

3.2 Le point de vue des marchés financiers

Dans la plupart des cas, les contrats d'assurance sont conçus pour limiter l'exposition de l'assureur grâce à l'existence d'historiques qui permettent de connaître précisément la distribution de probabilité des pertes. Pour les contrats qui visent à couvrir des catastrophes naturelles, ce raisonnement n'est plus pertinent car des pertes potentiellement très élevées peuvent survenir avec de faibles probabilités. Sans un recours aux marchés financiers, une compagnie d'assurance (ou de réassurance) ne pourrait posséder suffisamment de réserves financières pour faire face à ses engagements en cas de catastrophe.

L'élaboration de produits financiers dérivés dédiés spécifiquement à la couverture des catastrophes naturelles prend son essor depuis les années 1990. Directement inspirés des dérivés financiers indexés sur des valeurs monétaires (options, obligations, contrats à terme, *etc.*), leur sous-jacent présente la particularité de ne pas être échangeable, puisqu'il se rapporte à des indices climatiques tels que la température ou les précipitations.

Dans les paragraphes suivants, nous détaillons ces différentes problématiques afin de montrer les potentialités de couverture offertes par les marchés financiers. Nous prouvons notamment que ces derniers sont une réponse crédible aux défaillances du marché de l'assurance. Au fil du temps, les marchés se sont organisés et ils proposent désormais des produits standardisés et accessibles.

3.2.1 Un marché de l'assurance mis sous pression par les catastrophes

Face à l'ampleur mondiale des désastres naturels, le marché de l'assurance et de la réassurance est mis sous pression financière. Born et Viscussi (2006) notent que les catastrophes naturelles sont un outil de sélection des assureurs et d'assainissement du marché. En effet, seules des compagnies capables d'anticiper et de se prémunir contre ce type de risques peuvent proposer des contrats sur les catastrophes naturelles sans mettre en péril leur solvabilité. Il en résulte que ces entreprises sont généralement caractérisées par un niveau de primes plus élevé qui témoigne de cette prudence. Cependant, Cummins *et al.* (2002) mettent sérieusement en doute la capacité des mécanismes assurantiels traditionnels à financer des cataclysmes au-delà d'un seuil de 100 milliards de dollars de pertes annuelles. Il existe en effet un risque sérieux que le marché global soit déstabilisé, même si une réassurance adaptée et corrélée avec les pertes des assureurs est mise en place.

Ce constat est partagé par Jaffe et Russell (1997) qui décrivent les principales causes de l'inefficacité du marché de l'assurance à couvrir des catastrophes naturelles. Ils insistent notamment sur le fait que les assureurs ne possèdent pas de surface financière suffisante, situation également remarquée par Loubergé et Schlesinger (1999), Zanjani (2002) ou Kelly et Kleffner (2003). D'un point de vue pratique, leurs prévisions comptables sont imparfaites et leurs provisions (ou réserves) financières apparaissent comme insuffisantes, faute d'incitations à en constituer. En effet, une firme qui posséderait de tels fonds serait plus facilement la cible d'une offre publique d'achat, avec à la clef une perte de contrôle des réserves. De plus, les organismes de notation ne prennent pas en compte ces dispositions préventives dans leurs critères.

Dès lors, le seul recours pertinent pour assurer la couverture du risque lié aux catastrophes naturelles est un appel aux marchés financiers. Présents à une échelle globale, ils sont en mesure d'offrir une alternative à l'assurance et un complément à la réassurance (Jaffe et Russell, 1997 ; Froot, 2001). Ils possèdent en effet la surface financière nécessaire et les investisseurs peuvent considérer des titres émis sur les risques naturels comme un moyen de diversification de leur portefeuille (Loubergé et Schlesinger, 1999 ; Partrat, 2003).

Le développement des produits financiers dédiés à la couverture des catastrophes naturelles a accompagné les réformes structurelles des régimes publics mises en place à la même période. En effet, l'implication des Etats était initialement motivée par des imperfections du marché dans le partage du risque de catastrophe (Niehaus, 2002). Dès lors, la mission des pouvoirs publics se résume à encourager le développement des nouveaux produits financiers, ainsi qu'à assurer une garantie du système en dernier ressort (Cummins, 2006).

Au sein des nouveaux mécanismes de régulation financière des catastrophes naturelles, les assureurs et les réassureurs conservent une fonction majeure : sur ce marché, ils incarnent un rôle privilégié d'intermédiaires car ils offrent déjà une couverture sur des risques de la vie courante. Cette responsabilité trouve sa justification dans les modèles théoriques de détermination des contrats optimaux lorsque l'assureur propose un contrat couvrant à la fois des risques individuels et systématiques (Mahul, 2001).

3.2.2 Des titres financiers adaptés à la couverture des catastrophes naturelles

Afin de faciliter le transfert de la gestion des risques naturels des assureurs et des pouvoirs publics vers les marchés financiers, plusieurs produits ont été créés. Leur objectif principal est de relier des phénomènes physiques, aux répercussions monétaires indirectes, à des titres financiers. En pratique, les titres usuels (actions, obligations, *etc.*) et leurs dérivés (options, contrats à terme, *etc.*) ont été redessinés pour inclure des sous-jacents qui ne soient plus monétaires (Doherty, 1997). Nous présentons au paragraphe suivant le design de ces produits.

3.2.2.1 Le design des nouveaux produits financiers indexés sur le climat

Les produits financiers indexés sur le climat sont conçus sur le modèle des produits dérivés couramment utilisés en finance. Nous proposons d'adapter la typologie de Zeng (2000) pour définir leurs principales caractéristiques :

- Le type du contrat : *swap*, contrat à terme, option (*call* ou *put*), obligation ou titre.
- La période de validité du contrat.
- L'actif sous-jacent : température (90 % des mises sur le marché), précipitations (9 %) ou autre (produit sur mesure).
- Un indicateur de mesure officiel du sous-jacent qui permet de transmettre des données en temps réel.
- L'unité de paiement qui est un élément essentiel pour la cotation du sous-jacent.
- La prime.

Une comparaison synthétique entre les produits financiers usuels et climatiques est donnée par le Tableau 3 ci-après.

Paramètres	Produits usuels	Produits climatiques
Type de contrat	Options, titres, contrats à terme	Options, titres, contrats à terme
Période de validité	Flexible	Flexible
Type de variable	Actions, actifs	Température, précipitations
Variable de mesure	Marchés financiers, Gré-à-gré	Stations météorologiques
Indice	Prix	Degré-jour unifié

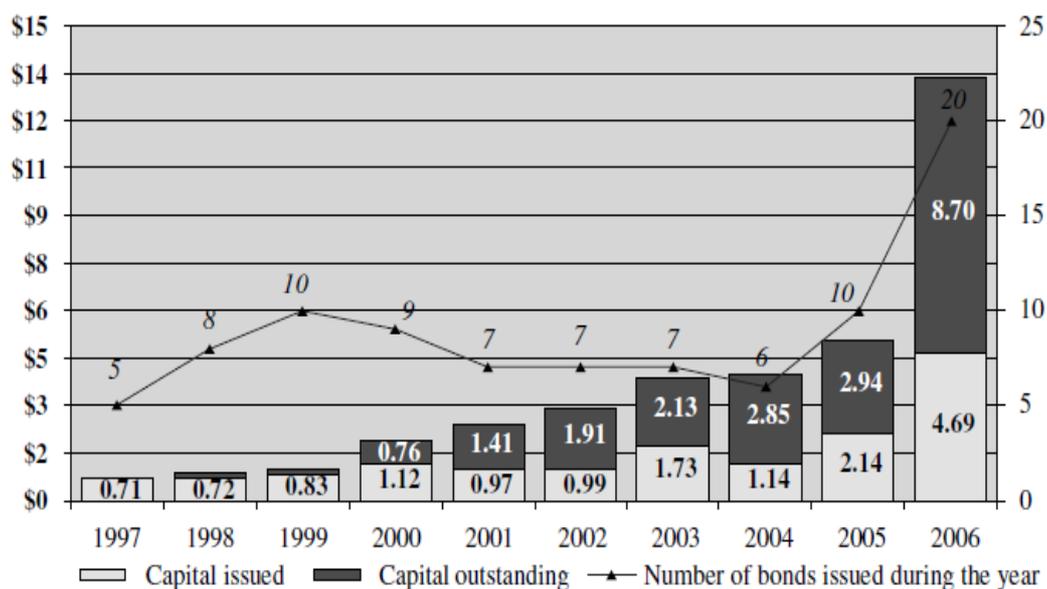
Tableau 3. Comparaison des principales caractéristiques des produits financiers

La nature de l'actif couvert, le climat, détermine la structure et les particularités de chaque instrument. Nous détaillons au point suivant un instrument financier spécialement conçu pour couvrir les catastrophes naturelles.

3.2.2.2 Un exemple de titre financier : les Catastrophe Bonds

Parmi les titres financiers, les *Catastrophe Bonds* (ou *CAT Bonds*) sont les plus étudiés. Conçus sur le modèle des obligations, ces instruments servent à couvrir des pertes sévères liées à un événement catastrophique défini à l'avance (Munich Re, 2006). Dès lors, le versement des intérêts et le remboursement du principal dépendent de la survenance d'une ou plusieurs catastrophes naturelles. Les *CAT Bonds* ont été lancés après l'ouragan Andrew en Floride en 1992 et le tremblement de terre de Northridge en Californie en 1994.

Considérés comme un outil insuffisant pour la couverture du risque par Jaffe et Russell (1997), ils ont acquis leurs lettres de noblesse en une décennie au point que Cummins (2008) les considère comme un complément quasi-indispensable à la réassurance traditionnelle. Entre 2001 et 2007, les primes des *CAT Bonds* ont en effet baissé d'un tiers, favorisant leur échange sur des marchés organisés. La Figure 6 donne une indication sur le développement des *CAT Bonds* de 1997 à 2006.



Source : Michel-Kerjan et Morlaye (2008), avec des données de Swiss Re, Goldman Sachs et Guy Carpenter.

Figure 6. État du marché des CAT Bonds entre 1997 et 2006 (en milliards de dollars)

Cette courbe peut également être transposée à d'autres produits financiers, tels que les dérivés climatiques (contrats à terme et options). Elle apparaît révélatrice du développement des marchés financiers liés aux risques naturels. Par ailleurs, les marchés proposant des produits dérivés sur le climat sont également en constante progression. Plus facilement commercialisables que les *CAT Bonds*, ils sont directement accessibles sur certaines places comme Chicago ou Londres. A eux seuls, ils ont réussi à transformer la structure du marché de la couverture des catastrophes et à assurer sa croissance (Ibarra et Skees, 2007). Cet essor a également profité au secteur agricole qui offre désormais des produits financiers adaptés à la problématique des risques naturels.

3.2.2.3 *Les dérivés financiers mobilisables en agriculture*

Contrairement aux dérivés financiers traditionnels, les dérivés climatiques sont indexés sur un sous-jacent qui n'est pas coté en bourse. Dès lors, ce marché est incomplet, ce qui rend plus délicat le calcul des primes. Ainsi, le modèle d'évaluation usuel de Black et Scholes (1973) ne peut être utilisé dans sa forme initiale. Une abondante littérature a par ailleurs vu le jour sur le sujet (voir par exemple Jewson et Zervos, 2003 ; Cao et Wei, 2004 ; Richards *et al.*, 2006, pour un aperçu des méthodes alternatives utilisées). Ces obstacles à la reconnaissance d'une méthode de *pricing* unifiée n'ont en rien entravé le développement du marché. Pour surmonter cette difficulté, les contrats se focalisent généralement sur des quantités définies à l'avance, à un prix fixé au moment de la souscription.

Parmi les principaux instruments utilisés en finance, trois produits retiennent notre attention :

- Les **options** sont des contrats financiers couramment échangés sur les marchés. Elles donnent le droit, et non l'obligation, à leur possesseur d'exécuter une transaction au cours d'une période ou à un moment donné. Cette approche est couramment utilisée depuis 1999 comme moyen de couverture contre des fluctuations excessives des cours. Néanmoins, le vendeur fixe souvent une limite, ou *cap*, qui plafonne ses pertes potentielles. En contrepartie, la prime reste abordable pour l'acheteur. Sur le *Chicago Mercantile Exchange*, les options sont dites « à l'européenne » car elles ne peuvent être exercées qu'en fin de période.

- Les **contrats à terme**, ou contrats sur *futures*⁵, sont des contrats financiers qui donnent le droit d'acheter ou de vendre un indice climatique (e.g. un degré-jour unifié) ou une culture à un prix et à une date fixés à l'avance. Ce marché est plutôt ancien puisqu'il remonte au milieu du XIX^{ème} siècle pour les matières premières agricoles (Hull, 2008). Le vendeur ne profite donc pas d'une éventuelle hausse des prix. En revanche, il est protégé si les cours baissent. Sur nombre de marchés, une chambre de compensation assure un ajustement des comptes de chaque partie au jour le jour.
- Les *swaps* sont des contrats par lesquels deux parties échangent des flux financiers au cours d'une période donnée. Dans le cas qui nous intéresse, l'actif est une matière première. Le vendeur échange un prix fixe, déterminé au moment de la conclusion du contrat, contre un prix variable, en général calculé comme la moyenne prévisible d'un indice sur une période future.

En pratique, les différents types de contrats exposés précédemment peuvent être combinés pour une meilleure efficacité. Par exemple, Mahul et Vermesch (2000) mettent en évidence l'efficacité d'une association de contrats à terme et d'options pour couvrir les risques sur récoltes tandis que Turvey (2003) met en avant une combinaison d'options d'achat et de vente pour couvrir des risques de pluie excessive et de sécheresse. Il existe également des options et des swaps sur des contrats à terme.

Bien que de plus en plus utilisés, les outils exposés précédemment restent d'un accès difficile aux particuliers et aux exploitations agricoles. Dès lors, ils constituent un moyen privilégié pour les assureurs de se réassurer. Il est notamment remarquable de constater que les régimes de couverture contre les catastrophes naturelles ne proposent que des contrats d'assurance.

⁵ Les contrats dits *forward* tendent à disparaître avec le développement de marchés organisés proposant des produits normalisés.

3.3 Les régimes d'assurance des catastrophes naturelles dans le monde : vers une nouvelle répartition des rôles

Fruits d'une longue évolution, les différents régimes d'assurance contre les catastrophes naturelles sont conçus pour faire face aux enjeux que représente ce type d'événements. Les modèles d'assurance diffèrent selon les pays mais il existe une constante : l'implication des pouvoirs publics comme assureur en dernier ressort.

Chavarot *et al.* (2005) mettent en avant trois principaux régimes d'assurance contre les catastrophes naturelles :

- Des pays comme la Grande-Bretagne dont la protection repose uniquement sur l'assurance et la réassurance privées. Le marché est ouvert et compétitif et les Etats n'interfèrent pas dans les processus de compensation, sauf en cas de faillite généralisée du système.
- Des pays comme l'Italie qui ne possèdent pas de marché vraiment organisé et/ou dédié aux catastrophes naturelles. La couverture contre les catastrophes est organisée par les pouvoirs publics au cas par cas.
- Des pays dont l'Espagne qui ont mis sur pied un système public d'assurance obligatoire (monopolistique dans les textes ou dans les faits). Cette couverture peut être complétée par des aides publiques en cas de catastrophe très importante.

Naturellement, la classification précédente n'est pas rigide puisque des pays comme la France et les Etats-Unis ont mis en place des systèmes mixtes qui impliquent à la fois des acteurs publics et privés. Cependant, la France tend à se rapprocher de la troisième famille puisque la couverture contre les risques naturels est obligatoirement adossée à des contrats d'assurance privée sur les biens.

Nous remarquons que les pertes potentielles impliquent très souvent une intervention de l'Etat comme support du système. Nous allons détailler successivement deux exemples de régimes d'assurance contre les catastrophes naturelles, aux Etats-Unis et en France. Pour chacun, nous présentons le régime général et le régime appliqué aux calamités agricoles.

3.3.1 Les Etats-Unis : une intervention publique dans un régime facultatif

Aux Etats-Unis, la couverture des catastrophes naturelles est différenciée suivant les types de risques. Il existe ainsi deux programmes nationaux : la *Federal Emergency Management Agency* et ses antennes assurent les bâtiments et les équipements contre divers types de risques catastrophiques tandis que la *Federal Crop Insurance Corporation* assure les pertes sur récoltes. Dans les deux cas, la souscription est facultative. Nous détaillons dans les paragraphes suivants le programme national d'assurance contre les inondations pour présenter le régime général et le programme spécifique d'assurance récolte.

3.3.1.1 Le programme national d'assurance contre les inondations (National Flood Insurance Program, NFIP)

L'assurance contre les inondations possède un statut privilégié car elle est supportée par le gouvernement fédéral, en coopération avec les 19.000 communautés locales et plus de 2.000 compagnies d'assurance privées.

Les polices peuvent être souscrites auprès des agents d'assurance accrédités par la *Federal Insurance Administration* (FIA) qui appartient à la *Federal Emergency Management Agency* (FEMA). Elle n'est disponible que pour les communautés qui participent au *National Flood Insurance Program* (NFIP) établi par une loi de 1968. En adhérant au NFIP, la communauté accepte d'adopter des mesures strictes de lutte contre les inondations afin d'en limiter les conséquences.

Le NFIP est par conséquent un mécanisme de gestion des risques qui vise à prévenir les désastres. Un propriétaire peut ainsi assurer sa propriété à hauteur de 250.000 \$ et ses biens jusqu'à 100.000 \$. Pour les propriétés commerciales, le plafond est porté à 500.000 \$. En général, la police d'assurance ne prend effet que trente jours après sa souscription pour éviter les effets d'aléa moral. Bien que ce type d'assurance soit plutôt abordable, bon nombre d'états-unien ne la souscrivent pas : seulement 25 % des habitations sont assurées selon la *Federal Insurance Administration* (FIA) alors que le risque d'inondation a une probabilité d'occurrence 26 fois supérieure à un incendie.

Le calcul des primes prend en compte la localisation du bien assuré, ses caractéristiques, son occupation, sa valeur vénale et le montant souhaité du niveau de franchise. Le NFIP concerne par conséquent tous les types de propriétés, que ce soient des habitations, des locaux industriels, commerciaux ou agricoles. Les cultures agricoles font cependant l'objet d'un régime spécifique comme dans de nombreux pays industrialisés.

3.3.1.2 L'assurance récolte (*Crop insurance*)

Le régime d'assurance récolte a été créé dès 1938 au sein du Ministère de l'Agriculture des Etats-Unis (USDA). Il a pris son essor à partir de la loi de 1980 qui a généralisé ce régime à un ensemble de cultures et de régions du pays. Quoique partie prenante du programme d'assurance, le niveau d'adhésion des agriculteurs n'était pas très élevé. Aussi, lors de la sécheresse de 1988, le Congrès a été obligé de fournir une aide exceptionnelle. Ce fut à nouveau le cas en 1989, 1992, 1993 et 1994.

Pour réorganiser le système, une nouvelle loi a été votée en 1994 qui conditionne le versement de paiements compensatoires et autres prêts bonifiés à la souscription d'un contrat d'assurance sur les récoltes. La participation à ces programmes devenant plus incitative, une nouvelle couverture contre les catastrophes a été créée pour compenser les pertes excédant 50 % du rendement moyen, à un taux de 60 % du prix de vente effectif des cultures l'année du sinistre. La prime de ces contrats était largement subventionnée puisque les participants ne payaient que 50 \$ par culture, quel que soit le comté, avec en outre un plafond pour ne pas pénaliser les exploitations diversifiées. Si nous en croyons

les estimations du service statistiques de l'USDA, en 1998, environ deux tiers des surfaces cultivées du pays étaient assurées grâce à ce programme. Cela représentait 28 milliards de dollars de capitaux assurés. Le montant total des primes, y compris les subventions, avoisinait les 950 millions de dollars. Ces deux données record témoignent de la réussite du programme en termes d'adhésions.

En 2000, le Congrès a adopté une dernière loi qui renforce le rôle du secteur privé pour la conception et la mise sur le marché de nouveaux produits d'assurance. Cette ouverture s'est réalisée sous le contrôle et avec l'assistance de la *Risk Management Agency* (RMA), une agence du Ministère de l'Agriculture. Désormais, la police d'assurance est une convention entre un agriculteur et un assureur. Chaque partie peut résilier le contrat à la fin de chaque année, mais par défaut celui-ci est automatiquement reconduit l'année suivante. L'assuré a le choix d'assurer chaque culture de son exploitation dans les différents comtés où il exerce son activité. Cependant, dès qu'une culture particulière est assurée sur une parcelle dans un comté donné, alors l'intégralité des parcelles de cette culture doit être assurée pour tout le comté, afin de limiter les phénomènes d'antisélection vis-à-vis de l'assureur. En règle générale, le contrat couvre les pertes de rendement qui dépassent un certain niveau de franchise. De plus, les pertes doivent provenir exclusivement de facteurs extérieurs à l'action de l'agriculteur. Au final, les producteurs paient une prime administrative de 100 \$ par culture et par comté, conditionnée à leur niveau de revenu, tandis que le gouvernement fédéral paie la prime pure qui correspond à la couverture des catastrophes.

Ces dernières années, des produits qui combinent une couverture contre le risque de rendement et le risque de prix ont été introduits sur le marché. Les nouveaux contrats couvrent notamment les pertes en valeur dues à une évolution des prix défavorable pour l'agriculteur, en plus de la couverture traditionnelle sur le rendement. La RMA procure également un service de réassurance auprès des assureurs qui commercialisent des produits de couverture contre les risques naturels. Preuve du dynamisme du marché, l'ensemble des possibilités de couverture autorisées par la loi (sur un éventail de plus de cent cultures) font l'objet d'une commercialisation et 65 % des exploitations agricoles sont couvertes.

Dans le secteur agricole, les Etats-Unis ont mis en place un système volontariste qui se traduit par un fort taux de souscription. Dans les autres branches de l'économie, les mécanismes de couverture existent mais apparaissent moins efficaces. De l'autre côté de l'Atlantique, la France a mis au point en parallèle des systèmes différents mais dont la vocation reste identique. Une comparaison apparaît donc judicieuse dans un contexte de réforme dans ce dernier pays.

3.3.2 La France : une intervention publique dans un régime obligatoire

En France, les systèmes d'indemnisation contre les risques naturels sont organisés grâce à une coopération public-privé, entre le gouvernement et les compagnies d'assurance. Deux systèmes principaux existent, selon qu'ils s'appliquent ou non au secteur agricole.

Le système de protection contre les catastrophes naturelles (Cat-Nat), instauré en 1982, s'applique aux bâtiments privés (y compris les véhicules à moteur), aux bâtiments professionnels et aux pertes commerciales. Le FNGCA (Fonds National de Garantie des Calamités Agricoles), instauré dès 1964 et, plus récemment, l'assurance multirisque climatique concernent uniquement les pertes encourues par le secteur agricole. De fait, en France, les exploitations agricoles sont assurées par le biais des deux systèmes en fonction de la nature de ce qui est couvert.

Les deux régimes précédents sont fondés sur le principe de solidarité. Jusqu'à sa réforme, en 2005, le premier régime était même complètement déconnecté des principes de l'assurance car c'était un fonds géré et alimenté conjointement par l'Etat et les agriculteurs. Le second régime est, quant à lui, automatiquement associé aux contrats d'assurance sur les habitations. Dans les deux cas, le taux de prime et les modalités de remboursement sont fixés par les pouvoirs publics.

La coopération public-privé provient de la faible assurabilité des catastrophes naturelles. En effet, la composante systématique des risques d'inondation, *i.e.* purement liée à l'aléa naturel, est très importante. Il en va de même de l'aléa moral qui n'est pas facilement contrôlable (les assurés peuvent adopter un comportement risqué en se déplaçant par exemple dans un secteur inondable où les prix des terrains sont inférieurs) et de la sélection adverse qui est prépondérante (les principaux demandeurs d'assurance sont des personnes en danger).

3.3.2.1 *Le régime Cat-Nat*

Après les crues violentes de 1981 qui ont durement affecté les bassins versants du Rhône et de la Saône ainsi que le sud-ouest de la France, le Parlement français a adopté une loi le 13 juillet 1982 qui établit un système de compensation fondé sur le principe de solidarité contre les catastrophes naturelles. Dans le contexte de son adoption, cette loi devait satisfaire à deux objectifs : une compensation rapide des pertes supportées par les sinistrés et une prévention accrue pour réduire les dommages. Par principe, le gouvernement assume une responsabilité pour garantir le bien-être de ses citoyens à travers un mécanisme opposable.

Le système Cat-Nat est géré par trois acteurs : le gouvernement central, les assureurs et la Caisse Centrale de Réassurance, une compagnie française publique de réassurance. La garantie s'applique dès qu'un arrêté interministériel reconnaît l'état de catastrophe naturelle pour chaque commune qui a déposé un dossier de demande de reconnaissance. L'assurance ne peut alors être refusée que dans le cas où une action individuelle n'est pas conforme aux dispositions légales, comme, par exemple, une construction interdite dans un secteur à haut risque d'un Plan de Prévention des Risques. Les compagnies d'assurance peuvent se réassurer elles-mêmes auprès de la Caisse Centrale de Réassurance et réclamer une garantie gouvernementale pour des catastrophes excédant un certain niveau de pertes.

Pour alimenter le fonds de solidarité, un pourcentage fixe est prélevé sur toutes les primes d'assurance portant sur la protection des habitations. Les fonds recueillis sont alors employés pour compenser les victimes de toutes les catastrophes naturelles reconnues par l'Etat, après application d'une franchise qui est fixée dans le contrat d'assurance.

Le montant de la cotisation est déterminé selon un taux unique fixé par l'Etat. Ceux qui sont actuellement en vigueur remontent au 1^{er} septembre 1999 :

- Concernant l'assurance multirisque habitation, le coût de la garantie catastrophe naturelle s'élève à 12 % de la cotisation correspondant aux garanties se rapportant à l'habitation.
- Concernant les véhicules, le taux est de 6 % de la cotisation correspondant aux garanties vol et incendie ou, à défaut, 0,5 % de la cotisation afférente aux garanties dommages du véhicule.

Le montant des franchises a été révisé le 2 janvier 2001 et il est également variable :

- Concernant les biens à usage d'habitation et les autres biens à usage non professionnel, la franchise s'élève à 380 euros.
- Concernant les biens à usage professionnel, le taux de franchise est fixé à 10 % du montant des dommages matériels directs non assurables subis par l'assuré, par établissement et par événement, sans pouvoir être inférieur à 1.140 euros.
- Par ailleurs, les véhicules terrestres à moteur, quel que soit leur usage, sont également soumis à une franchise de 380 euros par véhicule endommagé (toutefois, pour les véhicules terrestres à moteur à usage professionnel, la franchise prévue par le contrat s'applique si celle-ci est supérieure à 380 euros).
- De plus, un système particulier concerne les dommages imputables aux mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et/ou à la réhydratation des sols. En effet, dans de telles situations, le montant de la franchise s'élève à 1.520 euros pour les biens à usage non professionnel et à 3.050 euros minimum pour les biens à usage professionnel.

Pour les biens autres que les véhicules terrestres à moteur, dans les communes non dotées d'un Plan de Prévention des Risques (PPR) approuvé pour le risque concerné, la franchise est modulée à la hausse en fonction du nombre d'arrêtés pris pour le même risque dans les cinq ans qui précèdent le dernier arrêté de catastrophes naturelles.

Dans la pratique, cette couverture s'adresse à un vaste éventail de risques. Nous notons que c'est le risque d'inondation dont la période de retour est supérieure à deux ans (51 % du total des indemnisations en 2006) qui est le plus important.

Le régime général de protection contre les catastrophes naturelles a été complété par un décret du 25 août 2008 qui prévoit la création d'un fonds de solidarité en faveur des collectivités locales affectées par les catastrophes naturelles. Auparavant, ces dernières étaient leur propre assureur lorsque les réseaux de communication ou de distribution étaient endommagés. Il existe également un projet de réforme complémentaire afin d'inciter les assureurs privés à proposer des contrats de couverture des catastrophes naturelles. Divers projets ont été déposés en ce sens à l'Assemblée Nationale et au Sénat mais aucun n'a été adopté jusqu'à présent. Il n'en va pas de même du régime de l'assurance agricole que nous présentons au paragraphe suivant.

3.3.2.2 Le Fonds National de Garantie des Calamités Agricoles

Le système français d'assurance agricole a été développé il y a plus de quarante ans sous la supervision de l'Etat. Auparavant, il n'existait aucun système intégré de couverture des catastrophes naturelles en France. Après une série de sécheresses, un Fonds National de Garantie contre les Calamités Agricoles (FNGCA) a été créé. Depuis le 10 juillet 1964, les calamités agricoles sont définies dans la législation française (articles L. 361-1 à L. 361-21 et R. 361-1 à R. 361-52 du Code rural) comme des « *dommages non assurables d'importance exceptionnelle dus à des variations anormales d'intensité d'un agent naturel, lorsque les moyens techniques de lutte préventive ou curative employés habituellement dans l'agriculture n'ont pu être utilisés ou se sont révélés insuffisants ou inopérants* ».

Le FNGCA s'applique ainsi à toutes les catastrophes naturelles non assurées (ou non assurables) qui affectent la production et les outils de production agricoles. Le versement d'une compensation est conditionné à la reconnaissance formelle d'une catastrophe naturelle. Cet état est reconnu par une commission départementale composée de représentants du secteur agricole, des compagnies d'assurance et des ministères de l'agriculture, de l'économie et des finances.

Le fonds est géré par la Caisse Centrale de Réassurance, un réassureur public également sollicité pour le régime général Cat-Nat. Il est fondé sur une solidarité intra-sectorielle comme en témoigne son financement :

- Une contribution additionnelle égale à 11 % de la totalité des primes ou cotisations sur les bâtiments et la responsabilité individuelle.
- Une contribution additionnelle spéciale pour les exploitations conchylicoles.
- Une subvention inscrite au budget de l'Etat et dont le montant est au moins égal à la somme des deux contributions mentionnées ci-dessus.

Le fonds permet d'attribuer des indemnités pour les dommages matériels sur les sols, les cultures, les récoltes, les bâtiments et les animaux. Pour les cultures, la garantie se déclenche dès que 27 % du montant de la récolte représentant au moins 14 % de la production totale sont sinistrés. Les calculs prennent en compte les subventions européennes versées dans le cadre de la Politique Agricole Commune. Une fois ce seuil franchi, l'indemnité est égale à 28 % des dommages (35 % si une assurance contre la grêle est souscrite). La loi prévoit également que seules 75 % des pertes totales peuvent être compensées. Cependant, dans la pratique et en raison des nombreuses restrictions, le rapport de l'indemnité sur les pertes effectives demeure peu élevé, avec une moyenne de 30 %, ce qui génère un sentiment de frustration et de mécontentement parmi les agriculteurs. Nous notons également qu'au cours de son existence, les pertes de récoltes dues au gel et à la sécheresse garanties par le FNGCA ont représenté environ 75 % des indemnités totales versées par le Fonds.

Complètement détaché du marché et des mécanismes traditionnels de l'assurance, le FNGCA est très critiqué quant à sa performance. Le montant des indemnisations et la relative lenteur dans le traitement des dossiers ont été des facteurs déterminants pour le passage vers un système public-privé.

3.3.2.3 La réforme du FNGCA amorcée depuis 2005

Plusieurs occasions pour le développement d'une assurance globale se sont présentées à la fin des années 1990. Tout d'abord, les accords agricoles de l'Organisation Mondiale du Commerce ont classé les aides publiques en faveur de l'assurance dans la « boîte verte » sous certaines conditions. Ensuite, le développement des subventions aux assurances en Amérique du Nord (Etats-Unis et Canada) et dans l'Europe méridionale (Espagne, Italie et Grèce) a fourni quelques retours d'expériences. Enfin, il existait une tendance globale à la libéralisation de la politique agricole qui était susceptible d'augmenter la volatilité des prix agricoles et par conséquent celle des revenus agricoles. Plusieurs rapports ont vu le jour au fil de la réforme afin de prodiguer des conseils de mise en œuvre (Barbusiaux, 2000 ; Ménard, 2004 ; Mortemousque, 2007).

Afin de développer l'assurance privée, le ministère français de l'agriculture et de la pêche a décidé de continuer à subventionner l'assurance traditionnelle contre la grêle et le FNGCA. En plus de cette décision, il a étendu ses subventions à une assurance multirisques multicultures dès la Loi de Finances pour 2002 avec une mise en place progressive. Pour être subventionnées, les nouvelles polices d'assurance devaient combiner à la fois une couverture contre la grêle et le gel pour les fruits et les vignes et proposer une couverture multirisque pour les cultures en plein champ.

Timidement en 2004 et à plus grande échelle depuis 2005, les expérimentations locales ont été généralisées à la France entière. C'est le décret n° 2005-234 du 14 mars 2005 fixant pour 2005 les modalités d'application de l'article L. 361-8 du livre III (nouveau) du Code rural en vue de favoriser le développement de l'assurance contre certains risques agricoles qui sert de référence aux assureurs pour commercialiser des produits spécifiques⁶. Ce décret fixe également les niveaux de subvention des contrats par l'Etat.

⁶ Le texte intégral est disponible à cette adresse : <http://admi.net/jo/20050317/AGRB0500548D.html>

Les principales différences entre le FNGCA et le nouveau système d'assurance récolte sont résumées dans le Tableau 4.

Régime d'assurance	FNGCA	Assurance récolte privée
Mise en place	1964	2005 ^a
Adhésion	Obligatoire, par défaut.	Facultative.
Pertes indemnisées et aléas concernés	Pertes de fonds et de récoltes suite à un aléa climatique non assurable (sauf grêle et tempête ^b).	Multirisque pour des aléas climatiques dénommés ^c .
Seuil de déclenchement	Minimum 14 % de perte de CA de l'exploitation et 27 % de la production.	Pertes d'un niveau supérieur à la franchise.
Evaluation des pertes	Forfaitaire, par sondage.	Expertise des pertes réelles.
Montant de l'indemnisation	Utilisation de barèmes départementaux forfaitaires.	Liée à la réalité des pertes.
Gestionnaire	Commission départementale.	Assureur.
Prime	Contribution forfaitaire par une taxe sur les contrats d'assurance, avec un abondement de 50 % de l'État.	Facturation au coût réel, avec subvention de l'État.

Tableau 4. Comparaison sommaire des deux régimes d'assurance agricole en France

Notes : (a) Après une période d'expérimentation de plus d'un an.

(b) Ces deux risques sont couverts par les assureurs privés suivant un régime dérogatoire.

(c) Pour l'assureur Groupama qui domine le marché de l'assurance agricole en France avec 90 % de parts de marché, les 13 risques garantis sont : grêle, gel, tempête, coup de soleil, tourbillon de chaleur, excès de température, sécheresse, excès d'hygrométrie, excès d'eau, inondation, pluie violente, vent de sable, poids de la neige.

L'assurance climatique multirisque couvre plusieurs aléas dont la grêle, le gel, la sécheresse, les tempêtes, les inondations et l'excès d'eau. C'est une assurance fondée sur le rendement des cultures qui doit être souscrite pour l'intégralité de l'exploitation ou, au minimum, pour la totalité des surfaces d'une même culture. Les rendements sont garantis sur la base de la productivité individuelle moyenne des saisons précédentes. Au cours de la période expérimentale (qui est toujours en vigueur à l'automne 2008), les primes d'assurance sont subventionnées par les fonds publics (à hauteur de 30 - 35 %). L'indemnisation des dommages est quant à elle fonction d'une expertise qui vérifie à la fois la survenance de la catastrophe naturelle et le lien de causalité entre la catastrophe et la perte de rendement.

Si nous nous rapportons aux contrats d'assurance proposés par Groupama, les polices proposées sont de différentes natures :

- Une approche à l'exploitation pour laquelle l'impact des aléas est mesuré à l'échelle de l'exploitation. Cette formule permet de tenir compte de la diversité du portefeuille de cultures et des compensations possibles entre cultures. L'agriculteur indique obligatoirement son assolement. Il peut également mentionner ses rendements antérieurs, ce qui ouvre la voie à un rachat de franchise, ou choisir un référentiel départemental de rendements. Pour souscrire ce type de contrat, l'agriculteur doit assurer au moins deux cultures et 80 % des surfaces cultivées de son exploitation. L'Etat subventionne le contrat à hauteur de 40 % pour les risques qui relevaient auparavant du FNGCA.
- Une approche à la culture qui permet de choisir les productions prioritaires à assurer ainsi que les niveaux de couverture et de franchise. Dans ce cadre, les prix de vente de chaque culture sont pris en compte dans le calcul des indemnités potentielles. L'Etat subventionne le contrat à hauteur de 30 % à 35 % pour les risques qui relevaient auparavant du FNGCA.

La déduction pour aléas (DPA), mise en place en 2002, permet aux exploitants agricoles de défalquer annuellement une fraction de leur bénéfice imposable. Celle-ci est affectée à un compte d'épargne en vue de faire face à des aléas climatiques, économiques, sanitaires ou familiaux. L'imposition n'intervient que lorsque les sommes déposées sur le compte sont effectivement mobilisées pour faire face à de tels aléas affectant le revenu, ou, à défaut, dans un délai de sept ans.

Une enquête que nous avons réalisée en 2007 auprès des principaux assureurs du secteur agricole a permis de constater que, pour les cultures déjà assurées contre la grêle, les agriculteurs se sont vu proposer une extension de leur garantie pour les catastrophes naturelles sans augmentation de prix. Comme nous l'avons remarqué, la différence est réglée par l'Etat sous la forme d'une subvention. En contrepartie, les agriculteurs concernés renoncent à percevoir des indemnisations du FNGCA. De leur côté, les assureurs n'ont pas modifié le niveau de leurs primes afin de capturer très rapidement de nouvelles parts de marché.

Au cours de l'année 2005, environ 20 % des agriculteurs ont souscrit 57.900 contrats multirisques climatiques. Cela représente une superficie cumulée de 3,4 millions de hectares assurés ou encore 3 milliards d'euros de capital assuré et 82 millions d'euros de primes, dont 50 millions sont subventionnés et 17,4 millions proviennent de diverses aides d'Etat. Jusqu'en 2008, ce système demeure expérimental mais il sera probablement prolongé après cette période⁷.

⁷ Une proposition de loi tendant à généraliser et à rendre obligatoire l'assurance récolte était en cours d'examen par le Parlement au printemps 2008 mais elle n'a pas été adoptée, faute de consensus.

Le mode de fonctionnement de ces contrats est décrit dans la Figure 7.

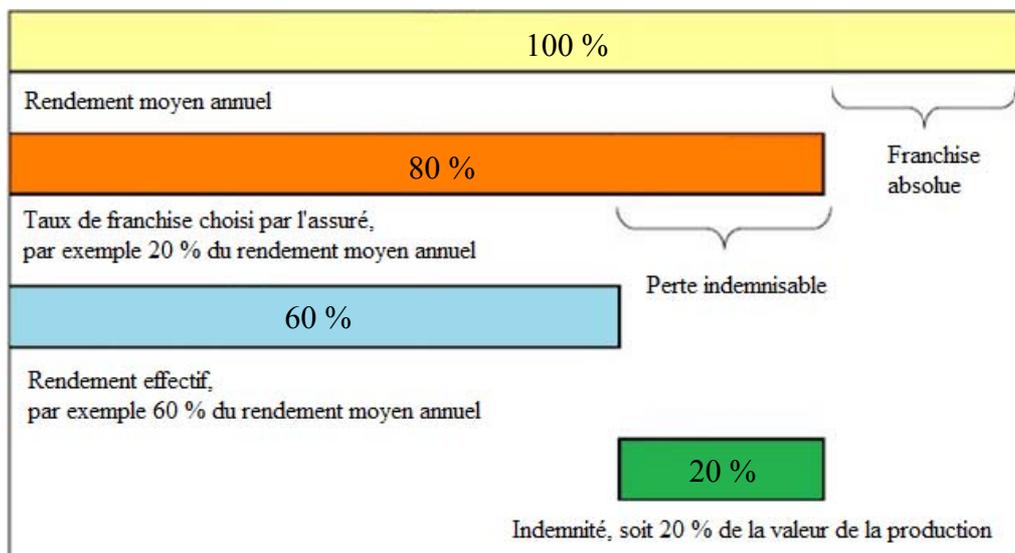


Figure 7. Le système assurantiel traditionnel en agriculture.

L'assurance récolte couvre traditionnellement un rendement annuel moyen, fondé sur les rendements précédents de l'exploitation agricole. Le contrat inclut souvent une franchise (fixée selon les contrats autour de 20 à 30 %) qui permet à l'assureur de limiter son exposition puisque la couverture ne s'applique qu'en cas de lourdes pertes. Néanmoins, l'assureur n'est pas à l'abri d'un événement global, comme des températures nettement inférieures à la moyenne un été donné qui peuvent générer une suite d'indemnisations. De son côté, l'assuré dont le rendement effectif est par exemple égal à 60 % de son rendement moyen annuel ne perçoit qu'une indemnité égale à 20 % de ce rendement de référence. De plus, les agriculteurs qui subissent une perte inférieure à 20 % ne reçoivent aucune compensation. Dès lors, les agriculteurs les moins exposés ne sont pas incités à souscrire des contrats d'assurance (problèmes d'agence). Il en résulte que les nouveaux contrats ne couvrent que certains événements bien définis (inondations, tempêtes, *etc.*) dans certaines régions (plaines, *etc.*). Dans tous les cas, l'Etat intervient pour apporter sa garantie aux contrats souscrits et offrir une subvention afin d'inciter à leur souscription.

Après avoir présenté les systèmes français et états-uniens, il semble intéressant de procéder à un bilan d'étape des régimes dont la gestion implique les pouvoirs publics.

3.3.3 Bilan

Les expériences française et états-unienne prouvent qu'un système national intégré est un moyen pertinent pour accroître la couverture des risques naturels. Sans intervention publique, les assureurs seraient enclins à limiter leur implication sur ce marché en raison des risques déjà évoqués pour leur solvabilité, au détriment de la diversité des contrats.

Sans système organisé, les primes collectées doivent satisfaire à la relation suivante :

$$A + I < P \Leftrightarrow (A + I) / P < 1$$

avec :

A = Coût administratif moyen.

I = Indemnité moyenne.

P = Prime moyenne.

Néanmoins, au sein d'un programme public, la contrainte précédente est relâchée et Hazell (1992) mesure la performance actuarielle d'un tel système par l'inégalité suivante :

$$(A + I) / P < I, \text{ avec les mêmes notations que précédemment.}$$

Pour être soutenable, les mécanismes de l'assurance publique doivent parvenir à une situation dans laquelle les coûts totaux dus aux catastrophes sont plus faibles que les indemnités versées aux exploitations agricoles assurées. Le ratio $P/(A+I)$ détermine le taux de compensation couvert par les indemnités. Pour les Etats-Unis, Hazell (1992) estime que 41 % des versements compensatoires sont couverts par les primes versées par les agriculteurs. Le gouvernement fédéral paye la différence, soit 59 %.

Il convient à présent d'étudier le marché de l'assurance agricole plus en détail, en considérant à la fois la littérature relative à la demande et celle relative à l'offre.

4. UN MARCHÉ DE L'ASSURANCE RECOLTE EN RECOMPOSITION

Les chapitres précédents ont permis de présenter l'état global du marché de l'assurance des catastrophes naturelles. Nous avons pu en préciser les enjeux et les différentes problématiques. Il convient à présent de nous concentrer plus précisément sur les deux versants du marché, à savoir l'offre et la demande.

Dans la littérature, rares sont les confrontations entre les besoins en assurance et les instruments de couverture effectivement proposés, et quand elles ont lieu, il existe un fort déséquilibre entre les études au profit de l'offre d'assurance. Une telle situation est probablement un facteur explicatif des limites du marché de la couverture des risques naturels. Pour y remédier, il faut par conséquent considérer le marché de l'assurance d'un point de vue unifié.

Dans une première section, nous présentons les problématiques liées à la demande en assurance. Dans une seconde section, nous exposons une offre d'assurance en pleine recomposition, les rôles des différents acteurs (pouvoirs publics, assureurs, marchés financiers, *etc.*) étant en cours de redéfinition. A chacune de ces étapes, nous insistons sur les spécificités de l'assurance récolte qui justifient un traitement privilégié.

4.1 La demande en assurance récolte : une thématique à revisiter

Au regard de la littérature disponible, la demande en assurance n'est pas un thème privilégié par la recherche. Cette situation est compréhensible dans la mesure où les catastrophes naturelles sont très souvent couvertes par des systèmes publics ou semi-publics pour lesquels la participation est obligatoire ou, à tout le moins, fortement conseillée.

Le renouveau de l'assurance récolte inclut notamment la mise sur le marché de contrats d'assurance spécifiques par des assureurs qui fixent librement le niveau des primes. Dès lors, la question se pose de connaître plus précisément les motivations des assurés à sélectionner une couverture nouvellement dédiée aux risques naturels. Il serait également utile de mesurer dans quelle mesure ces nouveaux systèmes – pour lesquels la participation est facultative – contribuent au développement ou au maintien des activités agricoles.

D'un point de vue géographique, les recherches précédentes se réfèrent principalement aux Etats-Unis d'Amérique (*e.g.* Knight et Coble, 1997). Ce pays a en effet mis au point au fil du temps (en 1980, 1994 et 2000) un système développé d'assurance récolte (Glauber, 2004). Cependant, certains pays du sud de l'Union Européenne ont également déployé avec succès des programmes intégrés d'assurance agricole (Garrido et Zilberman, 2007). Le cas français est particulièrement intéressant dans la mesure où le développement d'une assurance récolte a été fortement accéléré grâce à la réforme initiée en 2004. Bien qu'une telle réforme métamorphose l'assurance des catastrophes naturelles dans l'agriculture française, elle a reçu jusqu'à présent un traitement très superficiel et la littérature est inexistante sur ce sujet.

Actuellement, les systèmes assurantiels les plus avancés procurent des polices d'assurance pour approximativement 50 % à 60 % des fermes éligibles (Mortemousque, 2007). Des études de marché réalisées par Wang et Zang (2003) sur un panel de récoltes dans différents comtés des Etats-Unis mettent en avant un marché potentiel très important. Harrington et Niehaus (1999), également cités par Puelz (1999), insistent sur les spécificités de chaque exploitation qui déterminent des besoins d'assurance sur mesure. Si nous suivons leur raisonnement, la gestion des risques agricoles devrait être traitée de la même manière que la gestion financière agricole. Ceci suppose d'introduire un large éventail de paramètres financiers en rapport avec la taille de l'exploitation, son coefficient de trésorerie, sa performance financière et la structure de ses activités. Une analyse exhaustive doit par conséquent combiner ces critères financiers avec des indicateurs plus traditionnels, *i.e.* agricoles ou individuels (Goodwin, 1993 ; Serra *et al.*, 2003 ; Sherrick *et al.*, 2004), afin d'établir des règles de décision qui conduisent les agriculteurs à s'assurer.

La quasi-totalité des études disponibles abordent le problème de la demande en se positionnant sur une analyse transversale de l'assurance. Cependant, la décision de souscrire une couverture s'inscrit dans une dynamique temporelle. Au moment de la signature du contrat, au début d'une nouvelle saison, l'agriculteur a souvent transmis à l'assureur des historiques de rendements, lesquels dépendent étroitement du climat et de ses choix de production. De même, il garde en mémoire le montant des indemnités perçues, que ce soit via le FNGCA ou une assurance privée, et il connaît précisément sa situation financière. Ces éléments doivent probablement entrer en considération dans le calcul économique lié à la souscription d'une assurance. Il est également probable qu'une fois la couverture mise en place, son existence même influence les choix et les comportements de l'agriculteur. Considérer la décision d'assurance d'un point de vue transversal et longitudinal doit amener à une mise en perspective des paramètres et des processus qui président à une souscription de police.

Ces avancées ouvrent également des perspectives pour faire progresser le niveau et la qualité de l'offre. Le moment semble propice, compte tenu des réformes en cours qui remodelent l'assurance agricole dans un grand nombre de pays développés.

4.2 Une offre d'assurance agricole en recomposition

L'offre d'assurance est une thématique traditionnellement prisée par la recherche. Les enjeux sont conséquents dans la mesure où la définition des contrats doit être adaptée à la nature du risque couvert. Dans le cas des risques naturels, l'assuré encourt des pertes potentiellement très élevées et les contrats doivent être conçus pour ne pas mettre financièrement en danger l'assureur.

La nature des risques inhérents à la profession agricole impose également de cibler les contrats : la santé des exploitations agricoles dépend conjointement du niveau des prix et de la qualité des rendements. Le risque de prix est commun à de très nombreuses activités car il dépend de plusieurs facteurs exogènes dont en particulier l'équilibre entre l'offre et la demande au niveau mondial. Aussi nous concentrons-nous sur l'étude du risque de rendement qui dépend directement de la survenance d'une catastrophe naturelle et qui est spécifique à l'activité agricole.

Les nouveaux produits de protection du rendement agricole mêlent assurance et finance. L'assurance est particulièrement adaptée pour couvrir des risques purement individuels, c'est-à-dire définis à l'échelle de l'exploitation. En revanche, face à des risques de catastrophes, ce sont les produits financiers axés sur des référentiels agrégés qui sont à privilégier, car ils sont plus à même d'assurer une couverture efficace.

Il existe cependant des obstacles à la mise en place d'une couverture des catastrophes naturelles axée sur ces deux types d'instruments. Les contrats d'assurance sont en effet soumis à des asymétries d'information tandis que les contrats financiers sont sujets à un risque de base. Ces deux imperfections sont de nature à remettre en cause l'existence même d'un marché organisé. Cependant, nous montrons qu'il existe des moyens pour lutter contre ces effets : les contrats d'assurance participatifs, pour résoudre les problèmes d'agence, d'une part, et la prise en compte de l'intégralité du « portefeuille de cultures » de l'exploitant, pour atténuer le risque de base, d'autre part.

Après une introduction qui présente les deux principaux types de contrats qui existent actuellement, nous procédons à leur analyse individuelle. Les contrats indexés sur les rendements de l'exploitation sont détaillés en premier lieu en considérant leurs forces, leurs faiblesses (notamment les asymétries d'information) et une possibilité d'amélioration (les contrats participatifs). Nous considérons en second lieu les contrats indexés sur des rendements régionaux suivant la même trame : présentation des atouts, des carences (notamment le risque de base) et des perspectives d'amélioration (par des modèles intégrés répliquant le « portefeuille de cultures » de l'exploitation agricole).

4.2.1 Introduction

En assurance agricole, il existe principalement deux types de contrats :

- Le premier type est une assurance récolte indexée à l'échelle de l'exploitation. Son représentant le plus connu est l'assurance récolte multirisques (MPCI, de l'anglais *Multi-Peril Crop Insurance*).
- Le second type est une assurance récolte indexée à une échelle régionale. Dans la plupart des cas, l'indemnité dépend du rendement agrégé sur récoltes (AYCI, de l'anglais *Area Yield Crop Insurance*, aussi désignée par l'acronyme GRP, pour *Group Risk Plan*).

Le Tableau 5, inspiré de Barnett *et al.* (2005), résume les différentes options d'assurance généralement offertes aux agriculteurs.

Contrats indexés sur les rendements individuels	Contrats indexés sur les rendements régionaux
Assurance récolte multirisques indexée sur les rendements de l'exploitation agricole (MPCI)	Assurance récolte multirisques indexée sur les rendements de la région à laquelle appartient l'exploitation agricole (GRP)
Assurance revenu indexée sur les rendements de l'exploitation agricole (inclut éventuellement le risque de prix)	Assurance revenu indexée sur les rendements de la région à laquelle appartient l'exploitation agricole (inclut éventuellement le risque de prix)

Tableau 5. Types de contrats d'assurance agricole

Les deux approches, individuelle et agrégée, font l'objet de débats quant à leur performance. D'un point de vue théorique, aucune méthode ne semble plus efficace qu'une autre, ce qui amène Doherty et Richter (2002) à préconiser systématiquement la combinaison de ces deux types de contrats. Mahul et Bright (2003) précisent cependant que cette combinaison n'a un intérêt qu'à l'échelle de l'exploitation agricole afin d'éviter une surcharge inutile de couverture à un échelon supérieur.

Parmi les différents contrats, il existe plusieurs options, les deux principales étant l'opportunité de couvrir le rendement des différentes cultures (considérées séparément) ou, lorsque ce type de produits est disponible, la couverture du revenu de l'exploitant. Cette dernière option n'est pas répandue dans tous les pays, en raison de sa difficulté de mise en œuvre (Coble *et al.*, 2000) et de son présumé manque d'efficacité (Mahul et Bright, 2003).

Pour ces raisons, nous concentrons notre analyse sur l'assurance récolte multirisques, indexée tant au niveau de l'exploitation qu'à un niveau régional (agrégé). Ces deux principales catégories de contrats sont détaillées dans les sections suivantes. Après une discussion de leurs forces et de leurs faiblesses, nous présentons des extensions pour chaque catégorie qui sont par la suite étudiées plus en détail d'un point de vue théorique.

4.2.2 L'assurance récolte indexée sur les rendements individuels

Ce type de contrats se caractérise principalement par un versement des indemnités dès que des pertes de rendement apparaissent à l'échelle de l'exploitation assurée. Après une présentation de leur intérêt, nous nous focalisons sur leur principale limitation, les asymétries d'information, avant de proposer un contrat participatif pour compenser efficacement les pertes.

4.2.2.1 *Présentation et intérêt*

L'assurance récolte multirisques (MPCI) est le mode de couverture le plus prisé dans les pays industrialisés. En effet, les pouvoirs publics incitent fortement à la souscription d'une telle couverture en subventionnant de façon privilégiée les polices qui couvrent un large éventail de risques catastrophiques. Sur ce point, le contrat MPCI spécifie une gamme de risques qui sont couverts et il entre concrètement en application dès lors que le rendement d'une exploitation descend en dessous d'un seuil fixé à l'avance.

Le schéma d'indemnisation est par conséquent exprimé en quintaux ou en boisseaux, suivant les pays. Il s'écrit formellement de la façon suivante :

$$I^{MPCI}(y_{ij}) = P_{\text{réf}} \text{Max} \{ \alpha \mu_{ij} - y_{ij} - D; 0 \}$$

Où y_{ij} est le rendement global de la culture j sur l'exploitation i et μ_{ij} est la moyenne olympique⁸ du rendement de la culture j à l'échelle de l'exploitation i . Contrairement à ce que souligne Mahul (1998), l'agriculteur dispose non de deux mais plutôt de trois variables de décision : le taux de rendement garanti, matérialisé par la valeur α , le montant de la franchise D , et le prix de référence $P_{\text{réf}}$, à partir duquel est calculée son indemnité.

Ce contrat tend à offrir une couverture personnalisée contre les variations de rendement liées à des catastrophes naturelles lorsque les pertes dépassent le niveau de la franchise. En revanche, l'assurance n'est pas complète car le prix de référence est fixé à l'avance et il ne reflète pas forcément les conditions de vente au moment de l'indemnisation.

A cette contrainte s'ajoute la disponibilité des informations. En effet, seuls les agriculteurs qui souhaitent (ou peuvent) divulguer leur rendement moyen ont accès à ce type de contrat. Il en résulte la présence d'asymétries d'information, potentiellement nuisibles à la pérennité du système de couverture des risques naturels.

⁸ La moyenne olympique est une méthode de calcul employée par les assureurs français qui nécessite cinq années d'historiques de rendements. Sur les cinq données disponibles, l'assureur retire le meilleur et le pire rendement. Il calcule alors la moyenne sur les trois années restantes qui sont supposées refléter des processus de production sans aléa particulier.

4.2.2.2 *Un frein à l'assurance sur critères individuels : les asymétries d'information*

Le marché de l'assurance des catastrophes naturelles est difficile à mettre en place en raison de la nature même des risques à couvrir. Quand bien même ce marché existe, il est soumis à de nombreuses imperfections qui limitent considérablement son champ d'action et rendent certains risques non assurables (Froot, 2000). Ce sont notamment les asymétries d'information, l'aléa moral et l'antisélection, que nous présentons successivement dans les points suivants. La littérature sur ces questions étant très vaste, nous considérons modestement certains points cruciaux pour le développement d'une assurance agricole contre les catastrophes naturelles.

L'aléa moral

L'assurance est par essence une protection individuelle accordée par exemple à une exploitation agricole et à ses gérants. Cette couverture peut néanmoins conduire à des comportements de prévention des risques moins rigoureux. Si l'assureur ne peut prédire ce comportement et se réfère uniquement à l'historique des pertes pour des exploitations non assurées, il risque de fixer des primes trop basses pour couvrir les pertes à venir.

Mahul (1998) distingue deux sortes d'aléas moraux :

- L'aléa moral *ex-ante* survient quand l'agriculteur peut modifier par ses actions la distribution de ses rendements. L'effet est ambigu : il est envisageable que la réduction du risque apportée par l'assurance incite à diminuer les facteurs de prévention comme les pesticides ou les filets anti-grêle et à se concentrer sur des facteurs qui accroissent la production comme des engrais.

- L'aléa moral *ex-post* est lié au risque de fraude. L'agriculteur observe parfaitement son exploitation, ce qui n'est pas le cas de l'assureur qui emploie alors des experts pour évaluer les dégâts. L'enjeu est également temporel puisqu'un gel tardif ou une sécheresse ont des effets à moyen terme sur la production. Plus celle-ci est affectée et plus l'indemnisation est élevée, d'où un intérêt potentiel de négliger certaines parcelles pour obtenir un dédommagement plus élevé au final.

Ces formes d'aléa moral peuvent potentiellement mettre en faillite les mécanismes d'assurance récolte comme le soulignent Weaver et Kim (2002) et avant eux Coble *et al* (1997). Il convient par conséquent de calibrer les différents contrats de façon à réduire drastiquement ce risque.

Plusieurs solutions existent pour résoudre les problèmes liés à un aléa moral. Nous pouvons ainsi adapter au secteur agricole les propositions données par Freeman et Kunreuther (2003) :

- Elever le niveau de la prime afin de refléter la hausse de la probabilité qu'un risque advienne une fois la police d'assurance achetée. Les agriculteurs, conscients eux aussi de cette évolution, vont ainsi continuer à acheter la police, même à un prix plus élevé.
- Introduire une franchise ou de la coassurance dans l'application de la couverture. Dans le cadre de la coassurance, l'assureur et l'assuré partagent les pertes. Une coassurance à 70 % implique que l'assureur paye 70 % des pertes moins la franchise et que l'assuré prend le reste à sa charge. L'assuré devient plus précautionneux s'il ne veut pas prendre à sa charge une partie trop importante des pertes à chaque sinistre.
- Introduire des plafonds dans le remboursement. Si une exploitation est assurée pour 500.000 € et que l'assureur ne couvre l'ensemble que pour un maximum de 250.000 €, alors toute perte supérieure à 250.000 € reste à la charge de l'assuré. Ce dernier n'a d'ailleurs pas le droit d'acheter une deuxième police qui couvre les 250.000 € restants.

- Tenir compte des déclarations de sinistre antérieures permet de vérifier si une exploitation est gérée en « bon père de famille » selon la terminologie des assureurs. Si elles ont été coûteuses, alors l'assureur peut augmenter le montant de la prime par rapport à l'année passée.

En dépit de l'introduction de ce type de clauses dans un contrat d'assurance, les assurés peuvent conserver une attitude laxiste, ne serait-ce qu'en raison de la couverture garantie que procure une assurance, parfois obligatoire, sur une grande partie des pertes. Il est même probable que les personnes à faible risque quittent le marché, ce qui renforcerait alors les effets d'antisélection.

L'antisélection

Si un assureur fixe une prime fondée sur la probabilité moyenne de l'ensemble de la population de subir un risque donné, alors ceux qui ont le plus fort taux de risque vont être plus enclins à souscrire la police d'assurance contre ce risque. Cette situation d'antisélection (Akerlof, 1970) survient lorsqu'un assureur ne peut pas distinguer les "bons" (par exemple, une exploitation agricole sur un lit majeur de rivière) des "mauvais" risques (exploitation sur un lit mineur⁹), la probabilité de perte dans chaque catégorie étant supposée rester constante après la vente de la police d'assurance. Les souscripteurs sont censés disposer d'un avantage informationnel sur leur exposition, donc sur leur type de risque. Pour avoir accès à cette information, les assureurs doivent investir des montants pouvant devenir très élevés afin de discriminer entre les risques : il existe en effet une corrélation imparfaite entre les caractéristiques observables des agents et l'intensité de leur risque (Goodwin et Smith, 1995). Les plus risqués tendent alors à choisir une couverture maximale qui est sous-tarifée (Makki et Somwaru, 2001). Nous notons que lorsque l'Etat prévoit une couverture légale, les assureurs privés n'ont pas le droit de discriminer entre les contrats et ils ne cherchent donc pas à déterminer les expositions individuelles à une catastrophe. Dès lors, c'est l'ensemble de la performance actuarielle du marché qui est réduite (Goodwin, 1993).

⁹ Lequel est par définition sujet à des crues fréquentes, y compris par des remontées de nappe lorsqu'il existe des installations de lutte contre les inondations.

Freeman et Kunreuther (2003) proposent différentes voies pour réduire ce phénomène :

- Fixer un montant de prime unique égal à la probabilité moyenne du péril pour les hauts risques, de sorte que l'assureur ne perd pas d'argent en vendant la couverture. En contrepartie, seules les personnes à haut risque achètent alors le contrat, ce qui revient à se priver de tout un segment de clientèle qui ne va pas être assuré. C'est un cas de dysfonctionnement du marché.
- Utiliser la méthode de Rothschild et Stiglitz (1976) en offrant deux couvertures différentes à des prix distincts : les personnes à haut risque préfèrent naturellement se procurer une couverture complète au prix déterminé dans le cas précédent tandis que les personnes à faible risque sont incitées à souscrire une couverture partielle à un prix moindre. Les assurés révèlent de la sorte leurs préférences et l'assureur fournit à toutes les exploitations une couverture en fonction de leur risque réel.
- Expertiser le risque en vue de l'élaboration du contrat. Cette mesure révèle le risque mais son coût de mise en œuvre se répercute via une hausse de la prime. Les assureurs français pratiquent une expertise systématique après chaque sinistre afin de vérifier à la fois les dégâts et l'exposition des parcelles affectées aux aléas climatiques.
- Restreindre la capacité d'observation et de prédiction par l'agriculteur des futures conditions climatiques et agronomiques (Mahul, 1998). Celle-ci lui permet de mieux évaluer la distribution de ses rendements, ce qui génère de l'antisélection. C'est pour cela qu'aux Etats-Unis la date limite de souscription des assurances sur récoltes a été fixée à 30 jours avant le début des semis.

Même si notre travail n'a pas pour objet l'élaboration d'un modèle spécifiquement dédié à la lutte contre les asymétries d'informations, nous veillons à ce que les produits assurantiels et financiers contribuent à limiter leurs effets. Ces contrats doivent notamment être incitatifs à la prévention des risques et veiller à favoriser une participation du plus grand nombre. Ils sont également plus complets (Quiggin *et al.*, 1994) et ils s'insèrent dans les systèmes de couverture existants garantis par les Etats. Pour répondre à ces multiples préoccupations, nous proposons l'introduction au sein des mécanismes de couverture des risques naturels de contrats participatifs, c'est-à-dire des polices d'assurance qui présentent une prime révisable *ex-post*.

4.2.2.3 *Une solution : la mise en place de contrats participatifs*

L'intérêt des contrats participatifs trouve sa source d'un point de vue théorique dans le fameux article de Raviv (1979). Cet auteur démontre que lorsque les pertes sont corrélées, ce qui est typiquement le cas durant un événement catastrophique, le design optimal d'un contrat d'assurance est fondé sur la décomposition du risque en deux éléments : un risque systématique (non diversifiable) et un risque spécifique ou idiosyncratique (diversifiable). Cette décomposition, dès lors qu'elle est possible, permet de rendre le risque individuel complètement assurable. Le risque systématique, quant à lui, doit être transféré sur les marchés financiers pour assurer une couverture optimale. La distinction opérée par Raviv n'est pas une pure vue de l'esprit car l'hypothèse de « régressabilité » (Benninga *et al.*, 1984) permet clairement de différencier les deux types de risques.

Arrow (1996) souligne le fait que les contrats d'assurance existants qui permettent le transfert de risque ne couvrent en réalité que les risques individuels diversifiables. En effet, si aucun assuré ne souhaite porter à lui seul un risque, cette fonction peut être assumée par des compagnies d'assurance à condition qu'elles puissent en limiter les conséquences grâce à leur portefeuille. Aussi, face à la contrainte de participation que ce mécanisme soulève, nous proposons de combiner deux instruments qui semblent appropriés pour couvrir les deux composantes du risque : les contrats participatifs et les contrats financiers. Les premiers sont destinés à couvrir la composante individuelle du risque tandis que les seconds sont mobilisés pour sécuriser la partie systématique de celui-ci sur les marchés.

Les contrats participatifs prennent la forme d'un mécanisme de partage du risque dans lequel les souscripteurs sont des acteurs directs. Marshall (1974) note que cet instrument peut permettre une allocation du risque collectif : « les compagnies d'assurance et les mutuelles offrent des contrats qui incluent, outre l'obligation d'indemniser des pertes, un dividende pour le souscripteur qui dépend de la performance globale de la

compagnie »¹⁰. Ce court extrait définit une police d'assurance participative, dont le principe est le suivant : l'assuré couvre totalement la composante individuelle de son risque mais il peut recevoir (ou avoir à verser) un dividende (une surprime) si l'agrégation des contrats au sein du portefeuille de l'assureur est profitable (génère des pertes).

Le dividende potentiel du contrat participatif représente une incitation à s'assurer bien qu'il ne soit pas forcément proportionnel à la tolérance de l'assuré vis-à-vis du risque. Il apparaît également que ce type de contrats semble capable d'offrir une répartition plus efficace du risque qu'un contrat d'assurance traditionnel. Dionne et Doherty (1993) explorent et valident cette hypothèse par un modèle qui inclue à la fois des risques individuel et social (ce dernier pouvant être qualifié de systématique). Dès lors, les assureurs peuvent proposer des contrats ajustés au risque individuel ou qui incluent un dividende conditionné à la réalisation d'un état social particulier. Dans cette situation, il est démontré que l'allocation de la ressource est Pareto-supérieure.

Les contrats participatifs existent déjà sur le marché de l'assurance santé et de l'assurance automobile comme en témoignent les deux exemples suivants. En France, depuis 2003, la chute du nombre d'accidents de la route, en raison de contrôles renforcés de police et de la mise en place de radars automatiques, s'est rapidement répercutée sur le niveau des primes des mutuelles. Toujours en France, en 2006, un assureur (Mutuelles du Mans) a proposé un contrat participatif sur l'assurance santé : sa prime est supérieure de 15 % par rapport aux contrats traditionnels mais la cotisation se répartit en deux éléments : l'assureur collecte le premier comme il le fait avec une prime classique tandis qu'il met de côté le second afin de s'en servir éventuellement de réserve. Dans l'année qui suit la souscription du contrat, si les dépenses santé de l'assuré sont nulles ou très faibles, l'assureur rembourse à l'assuré une partie ou la totalité de la réserve. De cette manière, le principe de solidarité est corrigé par le risque individuel. Néanmoins, par construction, ce type de contrat, souscrit isolément, est tout à fait adapté à des personnes dont le risque d'accident de santé est faible.

¹⁰ "Mutual and participating stock insurance companies issue contracts which include, besides the obligation to indemnify loss, a dividend to the consumer which depends on the overall performance of the company".

Comme souligné précédemment, ce type de contrat permet de couvrir une composante individuelle du risque qui est généralement négligée dans les contrats d'assurance sur les catastrophes. En effet, les approches habituelles visent à couvrir en priorité les pertes liées aux événements extrêmes. C'est l'objet du paragraphe suivant qui s'intéresse à une couverture sur indices régionaux, laquelle peut être opérée grâce à des mécanismes financiers de marché.

4.2.3 L'assurance récolte indexée sur les rendements régionaux

La principale caractéristique des contrats d'assurance sur rendements agrégés, ou régionaux, est que le versement des indemnités est déclenché dès que des pertes apparaissent à l'échelle de la région à laquelle appartient l'exploitation assurée. Dans un premier temps, nous détaillons le principe et les avantages de ces contrats. Dans un deuxième temps, nous nous intéressons à leur limitation principale, à savoir le risque de base. Dans un troisième temps, nous proposons d'accroître l'efficacité de ces contrats financiers avec l'objectif d'offrir une couverture intégrée des risques naturels à l'échelle de l'exploitation agricole.

4.2.3.1 Présentation et intérêt

Les contrats d'assurance sur indices régionaux connaissent un regain d'intérêt à mesure que les systèmes nationaux (semi-étatiques) de couverture des risques naturels sont réformés à travers le monde. Aux Etats-Unis, les contrats dits AYCI ou GRP ont été introduits en 1996 et ils ont fait l'objet de plusieurs travaux dès leur introduction (Skees *et al.*, 1997). En France, ils sont réservés aux agriculteurs qui ne peuvent ou ne souhaitent pas révéler aux assureurs leurs rendements passés.

Barnett *et al.* (2005) ont démontré que raisonner à un niveau régional plutôt qu'à un niveau individuel présente plusieurs avantages en termes d'efficacité. Pour tenir compte du développement de ces nouvelles orientations politiques, il semble nécessaire d'actualiser les instruments existants. Dans ce domaine, la littérature considère seulement l'assurance d'une seule culture (Miranda, 1991 ; Mahul et Vermersch, 2000 ; Deng *et al.*, 2007). Dès lors, leur application n'est pas correctement adaptée aux nouveaux enjeux de l'assurance.

L'utilisation d'indices financiers a été largement développée afin de réduire les asymétries d'information (aléa moral et antisélection). Leur principal défaut est de générer un risque de base qui peut être réduit en utilisant des index régionaux plutôt que nationaux (Mahul et Vermersch, 2000). Selon une enquête que nous avons réalisée auprès des compagnies d'assurance françaises spécialisées dans la couverture des risques agricoles, les indices sont définis en croisant découpages administratifs et diversité du climat. Ils sont habituellement exprimés en quintaux par hectare ou en boisseaux par acre (*bushels per acre*). Contrairement à une mesure monétaire, cette approche est plus objective car le rendement effectif est directement observable. Par ailleurs, la volatilité des prix tend à s'accroître d'année en année (FAO, 2007), ce qui expose davantage l'assureur. Aussi, dans la plupart des contrats, les prix sont fixés au moment de la souscription suivant leur évolution les années précédentes.

La définition des indices est fondée sur l'hypothèse de « régressabilité », exposée par Benninga *et al.* (1984). Cette méthode consiste à projeter orthogonalement le rendement individuel d'un producteur sur un rendement régional, ce qui aboutit à l'équation suivante, également appelée Modèle Linéaire Additif (*Linear Additive Model*, LAM) :

$$\tilde{y}_i = \mu_i + \beta_i (\tilde{y} - \mu) + \tilde{\varepsilon}_i$$

Où y_i est le rendement individuel, avec $\mu_i = E(y_i)$, y est le rendement régional, avec $\mu = E(y)$, β_i est la sensibilité du rendement individuel aux mouvements du rendement régional et ε_i est le résidu du modèle, assimilable à un risque de base sur les rendements (*yield basis risk*).

Il est alors possible de déterminer la sensibilité du rendement individuel du producteur aux facteurs catastrophiques qui affectent le rendement régional (Miranda, 1991). Le risque systématique du producteur est capturé par un indice régional tandis que le risque individuel correspond à la différence entre le rendement effectif et le risque systématique.

Une extension immédiate de cette formulation est la définition de polices d'assurance adaptées à chaque récolte. Cet aspect a déjà été largement exploré (Miranda, 1991 ; Smith *et al.*, 1994 ; Mahul, 1999 ; Chambers et Quiggin, 2002 ; Rejesus *et al.*, 2006 ; Deng *et al.*, 2007). La plupart de ces études soulignent l'équivalence entre les coefficients bêta estimés et les ratios de couverture sur les contrats financiers. Ceci rend directement applicable une stratégie de couverture en faisant appel aux marchés financiers.

En pratique, l'assureur se réfère à un indice de rendement régional, supposé être fortement corrélé avec les rendements réels. Ce type de couverture permet essentiellement d'attirer des agriculteurs désireux de se prémunir contre un coup dur ou dont les rendements sont très volatils. Elle n'est en revanche pas adaptée pour une gestion personnalisée de la couverture.

La fonction d'indemnisation s'écrit de la façon suivante :

$$I^{AYCI}(y_{ij}) = P_{\text{réf}} \text{Max}\{\alpha\mu_j - y_j - D; 0\}$$

Où les notations précédentes restent valables, avec y_j , le rendement, et μ_j , la moyenne olympique du rendement de la culture j à l'échelle de la région considérée.

En souscrivant ce type de contrat, l'assuré ne révèle pas d'information sur ses rendements et il s'expose de fait à un risque de base sur les rendements dû à l'imparfaite corrélation entre la productivité de son exploitation et la productivité agrégée à l'échelle régionale. Cet écueil est un frein au développement de l'assurance agricole sur indices régionaux dans la mesure où les régions qui servent de référence aux indices doivent être homogènes.

4.2.3.2 *Un frein à l'assurance sur critères régionaux : le risque de base*

La contrepartie des avantages offerts par les contrats financiers est la présence d'un risque de base. En agriculture, la plupart des contrats financiers sont élaborés à une échelle globale (comté aux Etats-Unis, lander en Allemagne, communautés autonomes en Espagne) de sorte que le souscripteur est sujet à un risque de base dû à l'imparfaite corrélation entre l'indice financier et sa perte réelle. De plus, le sous-jacent de ces indices est très souvent la température (90 % des cas) et la pluie (9 % des cas), lesquels ne sont évidemment pas parfaitement corrélés avec les rendements des cultures agricoles (Turvey, 2003).

Le risque de base se retrouve par ailleurs à plusieurs échelons du système assurantiel : les individuels achètent des contrats indexés à une échelle régionale tandis que les assureurs se réassurent avec des contrats définis à l'échelle mondiale (Cummins *et al.*, 2004), ce qui génère des imperfections multiples.

Pour autant, des solutions existent, notamment sur les marchés où certains assureurs possèdent de grandes parts de marché ou, dans le cas contraire, lorsqu'il existe un ensemble de petits assureurs diversifiés.

Un autre moyen de réduire le risque de base est de raisonner en termes d'indices locaux, suffisamment agrégés pour qu'aucune exploitation agricole ne possède un poids significatif dans le calcul de l'indice mais également suffisamment corrélés avec les rendements des exploitations qu'ils sont supposés ajuster (Deng *et al.*, 2007). Major (1999) a notamment vérifié cet effet sur les assureurs de Floride tandis que Harrington et Niehaus (1999) ont mesuré un important risque de base dans le secteur de l'assurance des catastrophes sur les logements aux Etats-Unis.

Dans le secteur agricole, le risque de base a été défini et même mesuré dans les articles qui se sont intéressés aux rendements agricoles. Parmi ceux-ci, le Modèle Linéaire Additif (LAM) tient une place prédominante. Cependant, aucune solution originale n'a été proposée pour le réduire. Pour pallier cette carence, nous proposons une généralisation du LAM qui permette de couvrir simultanément l'ensemble des cultures d'une exploitation.

4.2.3.3 Une solution : la mise en place de contrats indexés pour l'ensemble de l'exploitation (Multi-LAM)

A l'échelle d'une exploitation agricole, le risque de base sur les rendements est potentiellement cumulatif lorsque plusieurs contrats sur indices régionaux de productivité sont souscrits séparément pour chaque culture. Aussi, nous proposons une solution globale qui vise la couverture de l'ensemble des cultures d'une exploitation pour une meilleure efficacité. Cette généralisation du LAM, ou Multi-LAM, offre une solution susceptible d'assurer un ensemble de récoltes quand les rendements des différentes cultures sont indépendants entre eux¹¹.

En pratique, les contrats d'assurance sont toujours individualisés par rapport aux besoins de chaque exploitation. Dès lors, nous pouvons raisonnablement supposer qu'un Multi-LAM peut être élaboré à cette échelle. Une conséquence prévisible de cette modélisation devrait résider dans la diminution du risque de base : ce dernier pourrait en effet devenir assurable dans la mesure où le Multi-LAM tient compte de la diversité des cultures et des éventuelles compensations entre leurs rendements. Dans ce cas, il est permis d'envisager une couverture additionnelle qui soit dédiée au risque de base afin d'assurer l'intégralité du risque. Au final, il en résulte potentiellement une assurabilité accrue des risques naturels au bénéfice de tous les acteurs.

¹¹ Quand il existe une corrélation significative entre les différents rendements agricoles, un seul indice de référence peut suffire à l'analyse.

Le défi principal est alors de surmonter le manque de données historiques pour estimer le modèle économétrique pour chaque exploitation. En utilisant un LAM, le coefficient bêta de corrélation entre le rendement individuel et le rendement régional peut être calculé avec une formule qui utilise la covariance entre les deux termes. L'utilisation d'un Multi-LAM exige d'estimer plusieurs coefficients bêta grâce à une régression linéaire. Dans la pratique, les assureurs ont à leur disposition un nombre limité de données historiques pour chaque exploitant, ce qu'il convient de surmonter grâce notamment à un rééchantillonnage des données (technique du *bootstrap*).

Une modélisation appropriée et accompagnée d'une procédure rigoureuse de tests statistiques et économétrique doit naturellement confirmer ces potentialités. Avant de nous intéresser plus en détails à la modélisation du Multi-LAM, nous procédons dans le chapitre suivant à un bilan d'étape sur les apports théoriques susceptibles d'accroître l'assurabilité des risques naturels.

5. CONCLUSION

Dans cette partie, nous avons analysé les différentes facettes de la littérature en rapport avec l'assurabilité des risques naturels, de la modélisation des phénomènes physiques à la conception de contrats d'assurance adaptés spécifiquement au monde agricole. Héritages de l'histoire de l'assurance des catastrophes naturelles, différents mécanismes de couverture coexistent. Publics ou privés, ils offrent une gamme de produits assurantiels et financiers dans le cadre d'un marché à la croissance soutenue.

Nous retenons de l'analyse précédente que l'assurabilité des risques naturels peut être particulièrement améliorée si nous combinons des produits capables de couvrir à la fois le risque de rendement lié aux actions individuelles de l'exploitant et le risque lié à la survenance d'événements climatiques de nature catastrophique. Il existe déjà sur les marchés financiers une vaste gamme de produits aptes à limiter l'exposition des agriculteurs aux risques purement catastrophiques. Cependant, ces produits sont entachés par un risque de base qui en limite l'efficacité et ils ne règlent pas le problème de l'assurance sur les risques courants. Certes, il existe des produits assurantiels traditionnels pour couvrir ces derniers mais leur exposition aux asymétries d'information en réduit sensiblement la portée.

Des solutions théoriques ont été identifiées (*cf.* Tableau 6) pour accroître l'assurabilité des risques naturels. Parmi elles, l'introduction de contrats participatifs et la prise en compte de l'intégralité du « portefeuille de cultures » d'une exploitation présentent des qualités indéniables pour l'élaboration d'une couverture plus efficace.

En préalable au développement d'un modèle structuré de couverture des risques naturels, nous proposons dans la partie suivante une étude de cas menée pour le compte du Ministère du Développement Durable. Cette analyse porte sur la gestion du risque d'inondation à l'échelle des bassins versants en France. Elle met notamment en relation les différents aspects évoqués dans cette partie tout en offrant un moyen de vérifier avec les acteurs présents sur le terrain la pertinence des solutions proposées pour accroître l'assurabilité des risques naturels.

Référence	Sujet	Méthode	Résultats principaux	Questions soulevées
Coble et al. (1997)	Modeler la demande en assurance récolte à partir de données de panel.	Modèle d'utilité espérée incluant les préférences des assurés et les moments des variables étudiées.	Méthode des moments validée. Aucune influence du climat sur la décision de s'assurer.	Antisélection. Echelle de l'agrégation des rendements agricoles.
Doherty et Schlesinger (2002)	Détermination de contrats d'assurance contre les CN.	Décomposition du risque en 2 éléments, individuel et systématique, et méthodes de couverture.	L'efficacité de la sécurisation du risque lié aux CN dépend de la distinction entre les composantes du risque.	Marchés financiers de couverture des CN très peu développés.
Dutta et al. (2003)	Modèles de détermination des pertes liées aux inondations à l'échelle d'un bassin versant.	Combinaison de modèles hydrologiques et déterministes de pertes. Etude de cas au Japon.	Les simulations des dommages concordent avec la réalité.	Aucune.
Froot (2001)	Examen du marché de réassurance lié aux CN : fortes primes et faibles souscriptions.	Examen des transactions de couverture sur les marchés.	Huit causes de défaillance du marché dont une faiblesse de l'offre lié à des imperfections et le pouvoir des réassureurs.	Amélioration de la situation.
Harrington et Nihaus (1999)	Comparaison du risque de base aux niveaux locaux et nationaux.	Comparaison de la performance de différents contrats assurantiels et financiers par les R^2 .	Le risque de base ne varie pas en fonction du niveau de l'agrégation. Performance des CAT Bonds.	Aucune.
Mahul (2001)	Détermination de contrats d'assurance contre les CN.	Décomposition du risque en 2 éléments, individuel et systématique, et méthodes de couverture. Application à l'assurance récolte.	Modèle normatif d'assurance et de sécurisation des risques quand il est possible de distinguer leurs composantes.	Existence de coûts de transaction et d'asymétries d'information.
Mahul et Vermersch (2000)	Analyse de la décision optimale de couverture du risque de CN sur récoltes.	Combinaison d'options et de contrats à terme. Etude de cas sur le blé en France.	La combinaison d'instruments financiers plus performants que l'assurance individuelle.	Aucune.
Ramaswami et al. (2004)	Formalisation du LAM et détermination de ses principales propriétés.	Décomposition du risque et des mécanismes d'agrégation.	Validité du LAM uniquement présence de composantes additives du risque et d'une agrégation suffisante.	Aucune.
Wang et Zang (2003)	Etude de la diversification interrégionale pour l'assurance-récolte.	Approche spatiale pour vérifier la validité de la diversification. Etude de cas aux Etats-Unis.	D'un point de vue théorique et empirique, des risques corrélés peuvent être mutualisés.	Effet temporel de la couverture. Taille de l'agrégation.
Woo (1999)	Modèles de détermination des dommages liés aux CN.	Examen des différentes catastrophes et des lois de probabilités adaptées.	Modélisation des pertes pour chaque type de CN à partir de leurs caractéristiques physiques.	Aucune.

Légende : CN = Catastrophe naturelle, LAM = Modèle Linéaire Additif.

Tableau 6. Résumé des principaux livres et articles mobilisés pour accroître l'assurabilité des risques naturels

Partie II



Etude de cas :

La gestion des inondations au niveau des bassins versants en France

Note : Cette partie est adaptée d'un article intitulé "Sustainability of local risk-sharing policies in the context of the French Flood Prevention Action Programs", écrit en collaboration avec Katrin Erdlenbruch, Frédéric Grelot, Robert Kast et Sophie Thoyer.

1. INTRODUCTION

Pour illustrer les théories et les mécanismes précédemment détaillés, nous présentons une étude de cas réalisée en 2007 sur des bassins versants français soumis à un risque d'inondation. Cette étude a été initiée par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) en vue d'expertiser des mécanismes de compensation en cas de sur-inondation.

Nous nous proposons d'analyser les conséquences des Programmes français d'Actions de Prévention contre les Inondations (PAPI), des plans conçus pour réduire les risques globaux d'inondation au niveau des bassins versants. Lancés en 2006, les PAPI financent des investissements pour recalibrer, relocaliser ou établir une nouvelle infrastructure qui permette de transférer l'écoulement des eaux des secteurs élevés de vulnérabilité (habituellement urbains) vers des secteurs moins sensibles (terres naturelles ou agricoles).

L'envergure de ces programmes génère deux conséquences importantes : la première consiste à soulager la pression sur le fonds national de solidarité qui fournit une assurance contre les catastrophes naturelles (Cat-Nat). La deuxième implication est une nouvelle distribution spatiale des risques au niveau local dont les perdants potentiels sont situés en zones rurales et agricoles alors que les gagnants potentiels se concentrent en zones urbaines.

Leur mise en œuvre a amené les responsables locaux de ces aménagements à prévoir des paiements compensatoires aux personnes les plus exposées aux inondations après la réalisation de travaux d'aménagement du lit des rivières. Dans la pratique, les secteurs à protéger se trouvent en zone urbaine tandis que les espaces affectés par le programme sont la plupart du temps des espaces agricoles. Nous pouvons par conséquent décrire les PAPI d'un point de vue théorique comme des mécanismes fournissant des biens publics : la réduction du risque au niveau du bassin bénéficie sans rivalité ni exclusion à tous les contributeurs des fonds nationaux de solidarité (Cat-Nat et FNGCA) puisqu'au final une compensation moindre devrait être réclamée.

Cependant, le coût financier pour fournir ce bien public est partiellement déplacé du niveau national au niveau local. C'est à cette dernière échelle que doit être organisé un système de compensation spécifique, voire autonome. Ce dernier point soulève des questions théoriques et pratiques : comment les systèmes d'assurance existants doivent-ils être ajustés ou reformés pour tenir compte de cette redistribution des risques aux niveaux locaux et nationaux ? Comment indemniser les personnes et les entreprises dont la vulnérabilité est accrue ?

Ces questions sont soulevées dans les trois prochains chapitres : le deuxième chapitre donne une vue d'ensemble des politiques publiques de gestion des inondations et de leur articulation avec le système d'assurance contre les risques d'inondation en France. Le troisième chapitre décrit les résultats d'une enquête approfondie sur les quarante-huit bassins versants participant aux programmes d'actions de prévention des inondations. Celle-ci analyse notamment les nouveaux systèmes locaux de compensation qui sont instaurés au niveau de chaque bassin. Le quatrième chapitre débat des limites et des possibilités d'adaptation des systèmes locaux et nationaux de compensation. Il s'agit d'étudier plus précisément leur combinaison et de définir un niveau soutenable de transfert du risque, d'un échelon local à des institutions nationales. La dernière section est consacrée à la conclusion.

2. LE CONTEXTE DE L'ETUDE

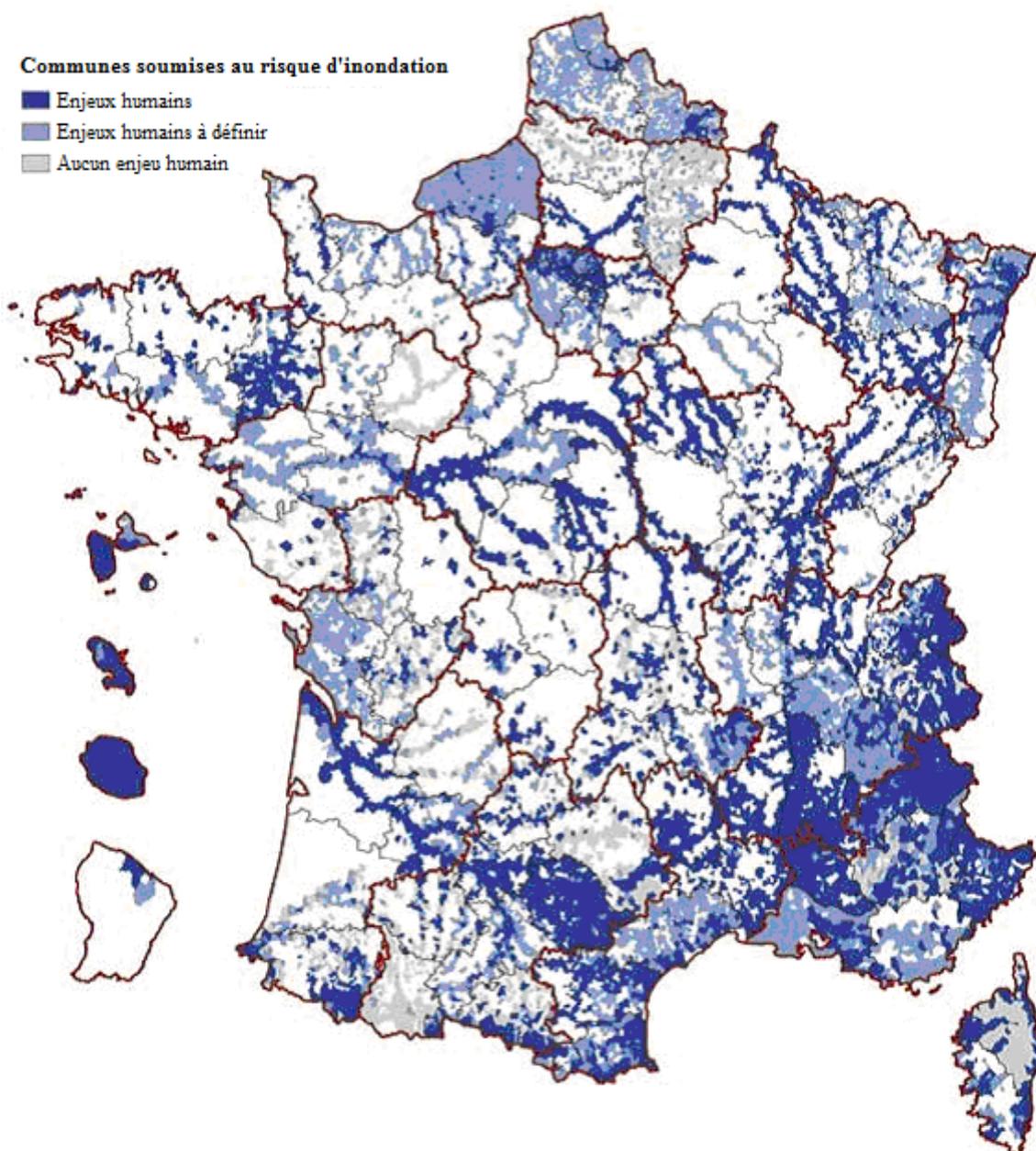
Les inondations sont les catastrophes naturelles qui génèrent le plus de dégâts en France métropolitaine. Pour y faire face, il existe trois outils principaux de gestion des risques d'inondations en France : des Plans de Prévention du Risque (PPR), des Programmes d'Actions de Prévention contre les Inondations (PAPI) et un fonds national de solidarité pour compenser les victimes des catastrophes naturelles (Cat-Nat). Nous étudions successivement ces différents aspects dans les sections suivantes.

2.1 Le risque d'inondation en France

Le risque d'inondation est un risque naturel majeur en France en termes de surfaces menacées (20.000 km²), de nombre de personnes concernées (4,5 millions) et de dommages potentiels (voir la Figure 8). A l'instar des autres types de catastrophes naturelles, le nombre des inondations et leurs pertes associées ont considérablement augmenté à l'échelle mondiale au cours des cinquante dernières années (Munich Re, 2005). Ce constat s'explique par un double phénomène : une plus grande densité des populations et des capitaux dans les zones inondables, d'une part, et une probabilité plus élevée des événements extrêmes, d'autre part. La vulnérabilité accrue aux inondations trouve sa source dans le changement climatique, dans un plus grand écoulement d'eau de pluie lié à l'urbanisation et à l'utilisation plus intensive de la terre dans les espaces ruraux (OCDE, 2006).

Dans une certaine mesure, le risque d'inondation est la « moins naturelle » des catastrophes climatiques car il dépend étroitement des infrastructures et des activités en amont du bassin versant. Aussi est-il de plus en plus admis que les sujets relatifs aux inondations soient traités par des décisions collectives au niveau de chaque bassin. De plus, la prévention et la gestion des risques naturels fournissent un bien public, ce qui justifie par conséquent l'intervention des pouvoirs publics (OCDE, 2006). La difficulté principale réside dans la fixation du niveau optimal de ce bien public : d'une échelle nationale, pour des prévisions météorologiques ou pour un système intégré d'assurance, à un plan local, lorsque les avantages attendus sont circonscrits à un secteur donné ou

exigent une information spécifique. Conséquence directe de l'accroissement des risques d'inondation, les dépenses publiques associées à la couverture des inondations connaissent une augmentation très rapide. Dès lors, il devient urgent de trouver des moyens de réduire les coûts de gestion de ce risque. Une première mesure a été adoptée en 1995 afin d'identifier les zones à risques et d'y réglementer les activités : les Plans de Prévention du Risque (PPR).



Source : www.prim.net

Figure 8. Le risque d'inondation en France

2.2 Les Plans de Prévention du Risque

Les Plans de Prévention du Risque (PPR) constituent l'instrument principal de zonage en France (loi Barnier n°95-101 du 2 février 1995). Ils sont établis par le gouvernement, sous la responsabilité de son représentant local, le préfet. Les PPR identifient les limites des plaines d'inondation et établissent un tracé de différentes zones de risques qui sont associées à des régulations et des restrictions spécifiques. Ainsi, les nouvelles constructions sont interdites dans les secteurs à haut risque, appelés « zones rouges », alors que leur installation est contingente au respect de valeurs-seuils dans les secteurs moyennement risqués, les « zones bleues ». Les autres espaces, classés « zones jaunes », connaissent des restrictions spéciales pour l'implantation de services de secours et d'hôpitaux publics. Bien que le tracé des différentes zones puisse faire l'objet de négociations avec les autorités locales pour le rendre plus acceptable, les PPR sont un exemple de régulation *top-down* pour la protection contre les inondations (Pottier *et al.*, 2005). Outils plutôt passifs, les PPR doivent cependant être complétés par des programmes d'actions de prévention afin de mettre en œuvre des mesures concrètes de réduction du risque d'inondation. Les outils actuels sont présentés dans la section suivante.

2.3 Les Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI)

Depuis 2002, la France favorise une approche intégrée par bassin versant en fournissant une aide financière publique à des « programmes d'actions de prévention des inondations » (présentés en 2002 sous le nom de *Plans Bachelot* et reconduits en 2006 sous le nom de *PAPI, Programmes d'Actions de Prévention des Inondations*). Sur la période 2004-2008, des PAPI ont été financés sur quarante-deux bassins versants en France, couvrant environ un quart du territoire français (OCDE, 2006). Un deuxième appel à projets a sélectionné quinze nouveaux bassins. Sur ces cinquante-sept programmes, quarante-huit étaient opérationnels au début de l'année 2008, impliquant un effort financier total de plus d'un milliard d'euros, d'après les données du Ministère de l'Écologie. Cette somme totalise les contributions financières de tous les partenaires associés aux différents projets jusqu'en 2013 et inclut un plan spécifique aux grands fleuves.

Les programmes incluent notamment des actions pour :

- Améliorer l'information des personnes résidentes au sujet des inondations.
- Installer un service de prévision des crues et des systèmes d'avertissement.
- Assurer la réduction de la vulnérabilité des zones inondables.
- Permettre la protection locale des secteurs urbains grâce à de nouvelles infrastructures.
- Favoriser la régulation des écoulements de l'eau dans les champs d'expansion naturels des crues par une « dynamique de ralentissement ».

En pratique, les projets éligibles visent à restaurer des plaines naturellement inondables, par exemple en déplaçant des remblais protégeant des champs, ou à sur-inonder des terrains, par la création de nouvelles berges et de haies à travers le champ d'expansion des crues pour retenir latéralement les flots. Localement, le secteur concerné par ces programmes s'avère parfois très vaste. Par exemple, dans le cas du bassin d'Oise-Aisne, 7.733 ha peuvent se retrouver sur-inondés.

Les PAPI favorisent en outre une approche intégrée de la gestion des risques d'inondation. Le plus souvent, ils sont développés et mis en application par un établissement institutionnel. Ce dernier est dirigé par un groupe élu de représentants des assemblées locales du bassin versant.

Outil local de prévention et de diminution des risques, les PAPI doivent trouver leur place au sein des mécanismes nationaux de compensation des catastrophes naturelles. Un examen exhaustif des programmes en place montre que cette insertion n'est pas évidente.

2.4 Articulation avec les fonds nationaux de solidarité de compensation des catastrophes naturelles (Cat-Nat et FNGCA)

L'élaboration des PAPI prévoit la restauration de champs naturels d'inondations et une sur-inondation de certains secteurs. Dans le premier cas, l'infrastructure existante est ajustée pour un retour à une ligne de base, cette dernière ramenant le niveau du risque à un état initial sans infrastructure de protection. Ce modèle d'aménagement est sujet à de multiples controverses, particulièrement dans des bassins où les interventions humaines pour orienter les écoulements des inondations sont anciennes et nombreuses. Dans le second cas, la sur-inondation consiste, en partant d'une situation de référence correspondant à l'état des lieux avant aménagement, à aboutir à la création d'un plus grand risque sur la même zone.

Par conséquent, dans divers lieux, les agriculteurs sont exposés à des inondations plus fréquentes et plus intenses après l'exécution des PAPI (Ledoux, 2006). Le problème majeur réside dans la couverture imparfaite des systèmes de compensation existants. Ainsi, le régime des calamités agricoles (FNGCA) ne s'applique absolument pas aux secteurs artificiellement inondés et les assureurs peuvent exclure de leur couverture au cas par cas des secteurs (sur-)inondés. Le secteur agricole concerné par les travaux se retrouve ainsi sans aucune protection. C'est la raison pour laquelle les gestionnaires locaux des aménagements ont essayé de lier les négociations sur la prévention des inondations à la discussion sur les protocoles de compensation des dommages.

Dans le cas des secteurs « nouvellement sur-inondés », la législation en vigueur, et tout particulièrement la loi de 2003, a prévu la possibilité d'introduire des paiements compensatoires pour les personnes et les entreprises nouvellement sinistrées. Elle accorde également aux gestionnaires des bassins versants le droit d'imposer des servitudes pour l'utilisation des terrains affectés par les projets. Dans certains cas, les paiements compensatoires proposés excèdent même les paiements courants du FNGCA. S'agissant de la restauration de plaines naturelles d'inondation, la loi reste imprécise quant aux droits à la perception d'une compensation pour les personnes affectées. En pratique, les gestionnaires de bassin ouvrent spontanément des négociations avec les exploitants agricoles et ils les associent au projet. Dans les deux cas, la loi autorise les établissements locaux de gestion des bassins à concevoir leurs propres règles de compensation. Leur examen est l'objet du prochain chapitre.

3. LES MECANISMES DE COMPENSATION A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT : UNE ENQUETE A L'ECHELLE NATIONALE

Nous avons conduit une enquête approfondie entre novembre 2006 et avril 2007 sur les quarante-huit bassins versants en France qui avaient signé un PAPI avec le Ministère de l'Ecologie et étaient opérationnels à l'heure de l'étude (Ministère de l'Ecologie, 2007).

Deux problématiques ont suscité notre intérêt : comment les dommages potentiels sont-ils évalués dans les différents bassins de fleuves ? Comment les systèmes locaux de compensation sont-ils insérés dans les systèmes nationaux existants ? Parmi ces quarante-huit programmes, vingt-sept projets étaient suffisamment avancés pour apporter des réponses relatives aux choix stratégiques en termes de protection et de compensation¹². Nous avons également conduit des enquêtes détaillées de terrain sur quatre bassins versants¹³ avec des entrevues auprès des structures de gestion des PAPI, des agriculteurs, des organisations agricoles, des assureurs, ainsi qu'auprès des services de l'Etat. Les résultats suivants sont une synthèse de ces deux études.

Nous débattons dans la première section du concept de solidarité et de ses modalités d'acceptation à l'échelle des bassins versants concernés par les PAPI. Dans une deuxième section, nous considérons la gestion des terrains affectés par les PAPI. La troisième section cerne la notion de sur-inondation et ses implications dans le cadre de la gestion des situations catastrophiques. La quatrième section se focalise sur les modalités d'évaluation des dommages, avec une mise en exergue du contrôle de l'aléa moral. La cinquième et dernière section apporte des éléments de réflexion sur la durabilité des fonds de compensation.

¹² Les bassins versants concernés sont : Agout-Thoré, Allan-Savoireuse, Aude, Cens-Bionne, Combe de Savoie, Devoussat, Cagne-Malvan, Dordogne Iotoise, Escaut-Hogneau, Essonne, Furan, Gardons, La Lézarde, Lèze, Loire amont, Mauldre, Orb, Ouvèze, Plaine de la Bassée, Saône, Savoie Pont-Baudin, Savoie Hexapole, Siagne, Vilaine et Yerres.

¹³ Des entretiens détaillés ont été conduits dans les bassins versants suivants : Meuse, Isère, Touloubre, Lèze. Des entretiens en face à face ont aussi été menés dans le bassin de l'Oise-Aisne.

3.1 Le concept de solidarité

La plupart des gestionnaires locaux de bassin mettent en avant la notion de solidarité, qu'elle soit de type amont-aval, rural-urbain ou les deux simultanément, pour justifier la réalisation des PAPI et la redistribution de risque qu'ils impliquent. Notre enquête a démontré que la majorité des personnes exposées à de plus grands risques à la suite de l'exécution des PAPI (propriétaires de terrains, agriculteurs ou représentants des associations agricoles) approuvaient le concept général proposé dans ces programmes. Par ailleurs, la plupart des gestionnaires locaux de bassins ont estimé que la population qui allait bénéficier d'une meilleure protection, *i.e.* la population urbaine, était disposée à contribuer à ces projets, par des moyens financiers ou en facilitant leur exécution.

Comme l'ont évoqué nombre de personnes interrogées, le concept de solidarité est inhérent à l'organisation des établissements de gestion de l'eau qui sont financés par leurs membres, principalement des communes et communautés de communes. Chacune de ces collectivités contribue financièrement à l'établissement et au fonctionnement de la structure selon une clef de distribution qui est négociée à sa création. Dans de nombreux cas, les contributions sont calculées selon la densité de la population, la richesse fiscale des communes et l'impact relatif des inondations.

En dépit de leur bonne volonté, les gestionnaires de bassin manquent d'assistance pour concevoir des schémas de compensation acceptables par les agriculteurs et financièrement soutenables. Seuls huit bassins ont réussi, au moment de notre étude, à signer un protocole d'indemnisation, dans lequel un cadre de référence pour l'évaluation des dommages a été clairement établi au niveau du bassin. De plus, seul un bassin avait transposé le protocole général à un protocole local, dans lequel les conditions détaillées pour les paiements compensatoires étaient fixées. Un autre aspect du problème est de considérer le sort des emprises affectées par les travaux de réalisation des ouvrages.

3.2 La gestion des terrains affectés par les PAPI

La solution la plus aisée pour le gestionnaire de bassin serait d'acheter ou d'exproprier les terrains exposés à des risques accrus. Bien qu'elle nécessite une négociation sur les prix d'achat ou les indemnités d'expropriation, cette issue présente l'avantage d'éliminer la question des compensations lors de futures inondations. Parfois envisagée pour des secteurs fortement exposés, elle ne peut pas être généralisée pour plusieurs raisons : en premier lieu, les gestionnaires locaux de bassin détiennent rarement les qualifications et l'équipement pour assurer l'entretien des terres et ils doivent sous-traiter cette tâche (la solution la plus commune est alors de laisser le propriétaire précédent cultiver la terre pour un taux de location négocié au-dessous du marché) ; en second lieu, les détenteurs de parcelles sont souvent peu disposés à vendre leur terre. Dans certains cas, la taille du secteur risqué est tout simplement excessive et il est trop coûteux pour le gestionnaire d'acheter les terrains.

Les compensations aux propriétaires de terrains et aux agriculteurs dont les terrains ne sont pas achetés ou expropriés comprennent deux parties :

- Une indemnité *ex-ante* attribuée définitivement au propriétaire pour la perte de valeur nominale de la terre (due aux servitudes et aux risques accrus) et les contraintes de cultures imposées par les servitudes. Ces dernières sont versées à l'agriculteur quand il n'est pas le propriétaire foncier.
- Une indemnité *ex-post* versée à l'agriculteur pour compenser les dommages aux terres et aux récoltes dès qu'une sur-inondation survient.

Cette compensation des dommages est naturellement la plus controversée puisqu'elle soulève trois difficultés : comment définir la sur-inondation ? Comment évaluer objectivement les dommages ? Quelle est la durabilité des systèmes locaux de compensation ? Nous examinons à présent chacune de ces questions plus en détail.

3.3 La définition de la sur-inondation

La possibilité de recourir à des mesures de sur-inondation sur une ou plusieurs parties d'un bassin versant pour protéger plus efficacement d'autres secteurs de ce même bassin a été introduite de façon formelle par la loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages¹⁴. Par de telles mesures, nous entendons toutes les pratiques qui impliquent une modification des caractéristiques de submersion du bassin versant (en termes de fréquence et d'ampleur). Sur le terrain, au moins une zone du bassin versant se trouve plus exposée qu'auparavant au profit d'une autre zone qui bénéficie d'une réduction d'exposition.

Dans le cas complexe de la sur-inondation, le risque est volontairement accru dans certains secteurs du bassin versant. En théorie, seuls des dommages résultant de cette action doivent être compensés. Cependant, la notion de sur-inondation nécessite que la situation d'inondation soit définie. Est-ce l'inondation qui se produit en l'absence de PAPI ? Ou est-ce l'inondation qui se produirait naturellement, en l'absence d'aménagements liés à l'homme ? Cette seconde interprétation, qui est celle retenue dans la loi de 2003 sur les risques, devrait logiquement débouter toute demande de compensation émanant d'agriculteurs affectés par des projets de restauration normale de plaine d'inondation. Cependant, le choix de la situation de référence demeure controversé parce que nombre de bassins versants sont loin de la situation dite « normale » depuis des décennies.

Notre enquête démontre que la plupart des gestionnaires de bassins versants ont choisi de se rapporter à la situation actuelle quand ils définissent la sur-inondation et non pas à la situation « naturelle ». Il n'en demeure pas moins que le niveau de la sur-inondation reste difficilement définissable car les gestionnaires de bassin doivent pouvoir calculer ce qu'aurait été la situation d'inondation sans PAPI. Puisqu'une inondation est décrite en

¹⁴ Le texte intégral est accessible à cette adresse : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000604335>

fonction de paramètres physiques (taille, volume, écoulement lors du pic de crue, durée d'immersion, *etc.*), il peut devenir délicat de définir l'impact exact du projet ou de l'infrastructure du PAPI car les aménagements n'affectent pas tous ces paramètres de façon identique. Aucun des huit protocoles ne prévoit une méthodologie claire pour qualifier la sur-inondation ou pour définir l'inondation de référence. L'appréciation est par conséquent laissée aux experts qui sont nommés par le comité de bassin après chaque inondation. Ces intermédiaires veillent également à évaluer les dommages suivant une grille précise explicitée à la section suivante.

3.4 L'évaluation des dommages et le contrôle de l'aléa moral

La plupart des protocoles prévoient l'évaluation des dommages au moyen d'une expertise indépendante mais ils limitent la liste des préjudices qui peuvent ouvrir un droit à une compensation : si les dommages aux récoltes sont toujours inclus, seuls quelques protocoles incluent les pertes de commercialisation (dus à la perte de réputation ou de contrats) et les dommages sur les sols. La compensation financière est alors calculée sur les pertes attendues ou sur une base fixe selon le type de récolte, la nature des sols et la période d'occurrence de l'inondation. L'évaluation sur la base des dommages fixes réduit le problème d'un risque subjectif lié à un système de compensation intégrale (*i.e.* des agriculteurs adoptant un comportement plus risqué qu'auparavant) et elle peut aider les décideurs à mieux prévoir les dépenses d'indemnisations. Elle a cependant l'inconvénient de dépendre d'une analyse initiale.

Notre enquête révèle que deux sources d'informations sont mobilisées pour évaluer des niveaux potentiels fixes de dommages : la liste locale des dommages indemnisables par le FNGCA dans le secteur agricole et les évaluations obtenues à partir de la profession agricole. Nous devons enfin noter qu'un bassin versant, qui n'a pas encore signé de protocole, a prévu un système très différent : les agriculteurs n'obtiennent qu'une subvention annuelle garantie, déconnectée des inondations réelles, à l'exclusion de toute autre compensation en cas de sinistre. Cette règle transfère le risque entier sur l'agriculteur, qui est alors responsable de sa propre stratégie d'assurance. Le fait qu'il n'existe pas de modèle unique pose clairement le problème de la solvabilité des différents systèmes de compensation.

3.5 La durabilité des fonds de compensation

Au sein des protocoles de compensation les plus avancés, plusieurs clauses limitent le risque supporté par les gestionnaires de bassin. Ainsi, la délimitation du secteur affecté est un élément clef du protocole car les agriculteurs localisés à l'extérieur de cet espace ne peuvent réclamer aucune compensation. En outre, le montant des dommages unitaires est très souvent explicitement mentionné pour que les gestionnaires de bassin puissent calculer les paiements maximaux. De plus, toute révision du calcul doit être acceptée par les deux parties. Néanmoins, au moment de la réalisation de notre étude, et dans les bassins les plus avancés, les protocoles locaux de compensation s'appliquent seulement à des zones d'essai restreintes et non à tous les secteurs affectés dans le bassin versant. Dès lors, la limitation du risque s'avèrera probablement plus contraignante quand le système sera généralisé au niveau du bassin.

Notre enquête a révélé qu'une minorité de directeurs des organismes gestionnaires de bassin ont une stratégie financière pour gérer les fonds de compensation. Aucun des protocoles n'a projeté explicitement un système d'assurance pour les fonds de compensation. Abstraction faite des recommandations des analystes du risque, les gestionnaires jugent que leurs réserves financières sont suffisantes pour couvrir « un risque moyen », le plus souvent fondé sur une évaluation des dommages liés à une crue décennale. Cependant, il est évident que si les inondations se produisent avec une fréquence accrue ou si les protocoles concernent de vastes secteurs, celles-ci pourraient conduire à une faillite des différents fonds de compensation. Le dernier chapitre présente une analyse prospective pour réduire de tels risques et accroître la viabilité du système.

4. LE NIVEAU DE TRANSFERT DU RISQUE

Afin d'éviter qu'une seule institution ou qu'une seule personne ne supportent l'intégralité du risque, les solutions impliquant l'intervention des différents acteurs sur le terrain devraient être privilégiées. Aussi, nous définissons cinq solutions possibles qui associent l'Etat, les gestionnaires locaux de bassins et les assureurs. Nous discutons alors de leurs avantages et inconvénients, en termes de partage de risque, de viabilité, d'efficacité et d'équité.

4.1 Un fonds de compensation national renforcé pour la couverture des pertes agricoles

Une solution évidente réside dans la réforme du fonds public national, le FNGCA, et l'extension de sa couverture à des secteurs sur-inondés ou dont la protection est neutralisée par la restauration des champs naturels d'expansion des crues. Cependant, les nouveaux aléas que nous étudions sont d'origine artificielle car déclenchés par des programmes publics dont le but est de réduire le risque global. De plus, le système du FNGCA fait déjà face à des problèmes de solvabilité, les sécheresses récentes ayant sérieusement mis à l'épreuve le système. Les pouvoirs publics privilégient par conséquent une réorientation de la couverture vers des assurances privées, dans la droite ligne de la réforme de l'assurance récolte engagée depuis 2005. Nous envisageons cette solution dans la section suivante.

4.2 Une assurance nationale couvrant l'intégralité des pertes

Cette solution opposée à la précédente consiste à établir un système d'assurance entièrement privé qui recouvre l'ensemble des actifs agricoles et non agricoles et concerne à la fois les secteurs ruraux et urbains. Cela permet de mutualiser les risques entre les personnes et entre les secteurs à l'échelle de l'ensemble du bassin versant. Cependant, la mise en place de ce mécanisme se heurte à la non assurabilité de la plupart des catastrophes naturelles. En effet, la capacité de mettre en commun les risques au niveau local est faible en raison d'une importante composante systématique des catastrophes naturelles. Les probabilités d'occurrence demeurent parfois inconnues et le calcul des primes devient plus périlleux. De plus, les assureurs privés que nous avons rencontrés au Crédit Agricole et à Groupama apparaissent plutôt frileux quant à la conception de contrats dédiés aux inondations. Outre l'incertitude liée aux événements à couvrir, ils mettent en évidence que le capital assuré serait relativement faible en comparaison du coût de conception des contrats.

Rendre obligatoire la souscription de contrats d'assurance peut probablement atténuer cet écueil en supprimant les effets d'antisélection. Cependant, l'introduction d'un système d'assurance obligatoire pour des dommages à la fois urbains et ruraux implique une réforme du régime national Cat-Nat et un changement intégral des régulations actuelles au profit des assureurs. La mise en place d'un tel système ne semble pas très réaliste alors que les projets de réforme actuels sur ce sujet peinent à aboutir. De fait, des fonds de compensation gérés localement voient le jour.

4.3 Un fonds local de compensation géré à l'échelle du bassin versant pour la couverture des pertes agricoles

Cette section présente la seule solution existante à l'heure actuelle : le gestionnaire local de bassin établit « un fonds de provision » pour des compensations lors de la survenance d'une inondation. Cette réserve monétaire est essentiellement financée par les partenaires de l'aménagement mais, pour des raisons administratives, elle ne peut faire l'objet d'une gestion financière apte à générer des intérêts. Le gestionnaire qui est une entité publique peut seulement estimer des probabilités de perte et établir en conséquence des provisions pour des frais exceptionnels.

Notre enquête a révélé que les pertes attendues sont estimées à partir de données historiques ou d'informations fournies par la profession agricole. Des experts en matière d'assurance sont sollicités dans certains cas pour vérifier leur degré de véridicité. Le calcul des dommages moyens qui est employé couramment dans des méthodes publiques d'évaluation et par les compagnies d'assurance (Erdlenbruch *et al.*, 2008) présente en fait peu d'intérêt pour le gestionnaire local de bassin du fait de sa faible capacité à mutualiser le risque.

Il n'est pas exclu que l'établissement de gestion de l'eau rencontre des difficultés financières (*e.g.* si ses disponibilités financières sont épuisées par plusieurs années de dommages exceptionnels) et ne puisse faire face à ses engagements en terme d'indemnisation. Ceci dépend de trois éléments : la délimitation des responsabilités dans le cadre des protocoles, la précision dans l'évaluation des dommages et la perception correcte des possibles événements d'inondation, y compris ceux dont la probabilité de survenance reste faible. Pour faire face à cette limitation majeure, le gestionnaire de bassin peut s'adresser auprès des assureurs pour couvrir son propre risque de faillite.

4.4 Un fonds de compensation géré par des compagnies d'assurance à l'échelle du bassin pour la couverture des pertes agricoles

Dans ce scénario, la compagnie d'assurance joue le rôle d'un réassureur pour le gestionnaire de bassin. L'établissement de gestion de l'eau est chargé de définir et d'appliquer le système de compensation mais il peut se réassurer contre sa propre faillite auprès d'une compagnie d'assurance. Ce schéma présente plusieurs avantages : pour le gestionnaire de bassin, il implique un transfert de risque tandis que pour la compagnie d'assurance, les asymétries d'information sont réduites en raison des connaissances détaillées du gestionnaire de bassin. L'existence d'un interlocuteur unique est censée réduire les coûts d'études pour évaluer le risque de faillite par rapport à la situation précédente de calcul d'un risque spécifique d'inondation. Enfin, la compagnie d'assurance peut se diversifier à son tour en ne couvrant pas un risque climatique *stricto sensu* mais un risque de faillite.

4.5 Une assurance privée subventionnée par des gestionnaires locaux de bassins pour la couverture des pertes agricoles

Cette situation décrit une assurance privée qui couvre des pertes liées à une inondation mais également d'autres risques affectant le secteur agricole. Elle rejoint notre démarche générale de couverture des catastrophes naturelles par une combinaison de produits assurantiels et financiers adaptés à l'échelle de chaque exploitation agricole. Dans ce cadre, la distinction que nous avons opérée entre le risque systématique et le risque individuel apparaît nette : le premier correspond aux conséquences de la sur-inondation tandis que le second est propre à chaque exploitation (choix de cultures).

Sous cette hypothèse, l'établissement de gestion de l'eau peut subventionner au moins la partie du contrat correspondant à la composante systématique de risque. Il reste cependant à déterminer la forme optimale des contrats, ce qui est l'objet de la modélisation théorique dans la prochaine partie. Nous précisons enfin que la distinction entre le risque systématique et le risque individuel est seulement possible dans le cadre très spécifique de la sur-inondation. Néanmoins, il semble envisageable d'adapter le concept au cas de la restauration des champs naturels d'expansion des crues.

L'objet de la prochaine section est de comparer les cinq méthodologies que nous venons de développer à travers plusieurs critères appropriés afin de vérifier leur adéquation avec les objectifs recherchés.

4.6 Les avantages comparés des différentes approches

Chacune des options décrites ci-dessus peut être évaluée par rapport aux critères suivants : la viabilité à long terme du système de financement, la qualité de la couverture assurantielle pour l'agriculteur, la nature des dommages pris en charge associée au coût engendré par la mise en œuvre de la couverture et enfin l'application du principe de solidarité pour déterminer le débiteur du montant des dommages.

4.6.1 La viabilité à long terme du financement

Plus le périmètre d'intervention de l'organisme responsable de la couverture est large, plus la mutualisation des risques est opérationnelle. Ainsi, une compagnie de réassurance a une plus grande chance de diversifier des risques qu'un gestionnaire local de bassin versant, une compagnie d'assurance ou même les pouvoirs publics. Il convient alors de déterminer si une compagnie de réassurance peut être intéressée pour assurer un bassin versant ou une union de bassins versants. Plus le financeur est proche du terrain, meilleure est son information. Par exemple, le gestionnaire de bassin connaît chaque propriétaire (ou agriculteur) concerné et ainsi évalue son niveau de risque. Il est informé des secteurs naturellement inondés et sur-inondés avec une grande précision. Ainsi, il peut aborder avec plus d'acuité la question de l'antisélection. Cette considération générale est atténuée par l'introduction éventuelle d'outils d'assurance plus complexes, tels les contrats participatifs qui incitent l'assuré à indiquer son vrai « type ». Du point de vue de la viabilité, les solutions dans lesquelles les assureurs et les gestionnaires de bassin sont tous deux impliqués dans la définition des contrats d'assurance semblent plus attractives, comme les options 4.3 ou 4.4 décrites ci-dessus. Naturellement, ces solutions ne préjugent en rien de la qualité de la couverture pour les sinistrés potentiels.

4.6.2 La qualité de la couverture assurantielle pour l'agriculteur

Comparés au FNGCA, les systèmes d'assurance privée présentent l'avantage d'offrir une couverture étendue pour l'assuré. Néanmoins, il subsiste le risque que les assureurs choisissent d'exclure les personnes ou les biens les plus exposés ou tarifent leurs prestations à un prix excessivement élevé. C'est pourquoi un pur système privé d'assurance (comme décrit dans la section 4.2) devrait être rejeté. Réciproquement, le retour au système dépassé du FNGCA n'accroît pas la couverture pour l'agriculteur, à moins qu'il ne subisse une réforme fondamentale (option 4.1). Dès lors, une double interrogation voit le jour au sujet du type de dommages couverts et des coûts de mise en œuvre de la couverture.

4.6.3 Les dommages pris en charge et les coûts de mise en œuvre de la couverture

A la différence des décideurs publics, les compagnies d'assurance sont en mesure de réduire deux sortes de coûts : les frais de gestion du fonds de compensation et ceux liés à l'évaluation des dommages. Pour les premiers, la compagnie d'assurance peut limiter son exposition par l'utilisation de dérivés climatiques ou la souscription de contrats de réassurance, auxquels les financeurs publics n'ont pas accès ou pour lesquels ils ne pourraient pas calculer l'investissement optimal. Pour les seconds, l'assurance utilise habituellement un réseau d'experts et crée une base de données historique sur les événements catastrophiques passés et les dommages indemnisés. Grâce aux économies d'échelle générées dans le rassemblement de l'information, la compagnie d'assurance joue le rôle d'un intermédiaire compétent.

Néanmoins, le coût des études hydrologiques et hydrauliques demeure probablement inférieur pour les autorités publiques de gestion des bassins, parce qu'elles ont déjà conduit une telle analyse et peuvent modéliser différents types d'inondations, tout en évaluant l'impact d'une infrastructure de protection spécifiquement adaptée. C'est l'une des raisons pour lesquelles l'option 4.3 apparaît trop onéreuse.

De plus, les compagnies d'assurance et les gestionnaires locaux de bassin ont actuellement tendance à se focaliser sur les dommages directs et à sous-estimer les dommages et le stress environnementaux qui s'avèrent plus difficiles à évaluer. Cependant, des méthodes économiques d'évaluation permettent de tenir compte de ce type de préjudices (par exemple les prix hédoniques, les évaluations contingentes ou les *choice experiments*). Il est probable que les gestionnaires locaux de bassin tendront à adopter ces méthodes plus facilement que les assureurs. En effet, ils sont plus intéressés par une vision holistique de la gestion des risques d'inondation que les assureurs (Hanley, 2003 ; Grelot, 2004 ; Messner et Parquage-Rowell, 2006 ; Kast et Lapied, 2006 ; Erdlenbruch *et al.*, 2008). Dans ce contexte, la solution 4.4 semble privilégiée par rapport à la solution 4.5. Il reste enfin à croiser ces critères avec l'application du principe de solidarité qui est un présupposé obligatoire pour que les aménagements soient acceptés localement.

4.6.4 L'application du principe de solidarité

Dans toutes les options mentionnées ci-dessus, une classe particulière de personnes supporte le paiement des dommages. A titre d'exemple, l'aménageur peut considérer que la population urbaine doit supporter les coûts pour le risque additionnel qui est imposé aux espaces ruraux. Ceci peut être réalisé par des versements directs à des fonds de compensation, par des contributions accrues à la gestion locale de l'établissement de bassin ou encore par l'accroissement du niveau d'une prime d'assurance obligatoire. Par conséquent, les options exposées ci-dessus présentent le même potentiel pour mettre en application la solidarité locale.

Afin de résumer la portée de notre démarche, le Tableau 7 offre une synthèse des différentes options permettant d'accroître l'assurabilité des secteurs sur-inondés.

Scénario	Viabilité à long terme du financement	Qualité de la couverture pour l'agriculteur	Dommages pris en charge Coût de la couverture	Application du principe de solidarité
Fonds de compensation national	Risque d'aggravation des problèmes de solvabilité du FNGCA.	Couverture imparfaite (cf. FNGCA).	Existence de plusieurs niveaux d'éligibilité (cf. FNGCA). Barèmes d'indemnisation.	Solidarité nationale.
Assurance nationale	Problème de l'assurabilité des catastrophes naturelles mais possibilité de réassurance.	Risque de rejet des dossiers à cause du risque renforcé.	Limitation des frais de gestion et d'évaluation des dommages. Expertise des dommages.	Solidarité locale et nationale.
Fonds de compensation local géré localement	Risque de solvabilité si plusieurs événements se succèdent.	Dépend des moyens du gestionnaire de bassin.	Limitation du coût des études hydrauliques. Expertise des dommages.	Solidarité locale.
Fonds de compensation local géré par l'assurance	Risque de solvabilité si plusieurs événements se succèdent.	Dépend des moyens du gestionnaire de bassin mais optimisation de la couverture par les assureurs.	Limitation des frais de gestion et d'évaluation des dommages ainsi que du coût des études hydrauliques. Expertise des dommages.	Solidarité locale.
Assurance privée subventionnée	Problème de l'assurabilité des catastrophes naturelles mais possibilité de réassurance.	Couverture étendue par rapport au FNGCA.	Limitation des frais de gestion et d'évaluation des dommages. Expertise des dommages.	Solidarité locale.

Tableau 7. Tableau de synthèse des différentes orientations proposées pour accroître l'assurabilité des secteurs sur-inondés

5. CONCLUSION

Cette étude de cas décrit les politiques menées actuellement en France pour améliorer la politique de gestion du risque d'inondation en fournissant une aide financière aux plans d'action conçus au niveau des bassins versants. L'objectif de ces mesures est de transférer les risques d'inondation des secteurs les plus vulnérables à des espaces moins exposés.

L'avantage d'un tel système est de réduire les dommages globaux générés par les inondations dans un bassin versant donné et par là-même de soulager la pression sur les fonds nationaux de solidarité qui compensent les victimes des catastrophes naturelles. Cependant, il reporte la charge du risque sur le secteur agricole et rural sans s'intéresser véritablement aux mécanismes de compensation appropriés devant être mis en place pour les nouvelles victimes de cette redistribution. Par ailleurs, en limitant les politiques de partage du risque à un plus petit secteur, il met en danger la viabilité de la totalité du mécanisme de financement.

Pour y faire face, nous comparons plusieurs options qui pourraient être mobilisées afin de concevoir une politique de partage du risque juste et soutenable. Les possibilités s'étendent d'un renforcement du système existant (bâti sur deux fonds de solidarité nationale couvrant des catastrophes naturelles pour les ménages et pour les activités agricoles) à une privatisation totale de l'assurance contre les risques, y compris le risque catastrophique. Il existe plusieurs solutions intermédiaires qui méritent d'être explorées plus en détail car elles développent le concept de solidarité locale ainsi qu'une assurance plus sûre et plus soutenable des dommages. Nous mettons cependant en évidence les limitations des régimes publics d'assurance, difficilement adaptables alors même que les aménagements liés aux PAPI diminuent paradoxalement leurs engagements financiers.

Ces considérations renforcent la pertinence de notre approche visant à personnaliser la couverture des risques naturels. Dans le cas présent, un traitement individualisé des agriculteurs concernés par les sur-inondations apparaît envisageable grâce à la distinction entre le risque lié aux nouveaux aménagements et le risque existant. Dès lors, une association d'instruments adaptés aux enjeux semble pertinente pour assurer une couverture efficace de ces deux aspects. Dans ce cadre, nous retrouvons la distinction entre les risques individuels (préexistants) et systématiques (liés aux PAPI). L'objet de la partie suivante est de déterminer un design optimal des contrats d'assurance qui offre des solutions adaptées à la diversité des besoins des exploitations agricoles.

Partie III



Un modèle théorique de couverture des risques naturels adapté à l'assurance récolte

Note : Cette partie est adaptée de deux articles intitulés “*Using Participating and Financial Contracts to Insure Catastrophe Risk: Implications for Crop Risk Management*” et “*Aggregation in Area-Yield Insurance: The Multi-Linear Additive Model*”, écrits en collaboration avec Robert Kast et Patrick Sentis.

1. INTRODUCTION

Considéré isolément et dans sa totalité, un risque de catastrophe naturelle semble difficilement assurable de prime abord. Certes, les mécanismes de couverture existants permettent de diversifier avec plus ou moins de succès la composante systématique du risque, commune à toutes les personnes sinistrées, mais ils négligent alors la composante individuelle du risque. L'élaboration d'un modèle théorique dont la finalité est de couvrir l'intégralité d'un risque de catastrophe naturelle apparaît donc essentielle pour mettre sur le marché des produits plus performants. Le design des contrats doit pouvoir par conséquent être ajusté au souscripteur sur la base à la fois de ses performances individuelles et du risque climatique qui affecte sa région.

La première priorité est de parvenir à distinguer les deux types de risques. Pour atteindre cet objectif, nous nous référons à l'hypothèse de « régressabilité » développée par Benninga *et al.* (1984). Cette méthode consiste à projeter orthogonalement le rendement individuel d'un producteur sur un rendement agrégé (régional) de référence. Il est alors possible de déterminer la sensibilité de la productivité individuelle du producteur aux facteurs systématiques qui affectent la productivité régionale (Miranda, 1991). Ce modèle économétrique est communément appelé Modèle Linéaire Additif (*Linear Additive Model* ou LAM, en anglais). Il renvoie à des indices agrégés afin de capturer l'effet d'une catastrophe naturelle qui affecterait une région particulière. De plus, l'introduction de références déconnectées des rendements individuels permet de lutter efficacement contre les effets d'aléa moral et d'antisélection. La composante du rendement expliquée par l'indice régional est identifiable à un risque systématique tandis que la composante résiduelle est assimilable à un risque individuel.

La seconde priorité est d'arriver à calibrer de façon adaptée la part de chacun des risques en vue d'une couverture optimale. Aussi étendons-nous la modélisation LAM usuelle, *i.e.* qui ne prend en compte qu'une seule culture, à un ensemble de cultures. Cette démarche peut prendre différentes formes que nous développons en nous référant à la modélisation de Rawaswami et Roe (2004). Dans ce cadre, la méthode la plus prometteuse est celle du Modèle Linéaire Additif Multiple (Multi-LAM) qui intègre une couverture de l'ensemble des cultures d'une exploitation agricole à partir d'indices régionaux de rendement dont les variations sont indépendantes au cours du temps. Grâce à un effet de compensation entre les variations de rendement des différentes cultures, l'objectif de ce modèle est de réduire sensiblement la part du risque individuel dans le risque total.

Une fois les deux composantes du risque correctement identifiées, nous envisageons une stratégie d'assurance pour l'intégralité du portefeuille de cultures. Pour cela, nous nous référons à une littérature (Mahul, 2001 ; Doherty et Schlesinger, 2002) qui propose de couvrir les deux composantes du risque grâce à deux produits adaptés : des contrats financiers sur indices pour sécuriser le risque systématique et des contrats participatifs, à prime ajustable *ex-post*, pour assurer le risque individuel. Associés, ces deux types de contrats permettent d'offrir une couverture optimisée de l'intégralité du risque. Afin d'être aussi exhaustif que possible, le modèle optimal comporte des franchises et des taux de chargement associés aux deux contrats ainsi qu'un risque de base spécifiquement associé au contrat financier.

Cette partie est organisée en trois temps. Le premier chapitre s'intéresse au Multi-LAM en détaillant sa conception, ses propriétés, ses extensions, sa portée et ses éventuelles alternatives. Le deuxième chapitre définit un modèle de couverture globale du risque qui combine de façon optimale des contrats participatifs et financiers. Le troisième chapitre expose enfin des hypothèses testables empiriquement afin de démontrer la validité de notre approche théorique.

2. LE MODELE LINEAIRE ADDITIF MULTIPLE (MULTI-LAM)

Dans cette section, nous détaillons le Modèle Linéaire Additif Multiple. Nous proposons cette modélisation originale afin de résoudre les enjeux liés à la performance des instruments actuels. Pour y parvenir, nous envisageons notamment diverses extensions au Modèle Linéaire Additif.

Le présent chapitre est organisé en trois sections : la première consiste en un rappel technique sur le Modèle Additif Linéaire (LAM) et l'hypothèse de « régressabilité ». La seconde développe le concept du Modèle Linéaire Additif Multiple (Multi-LAM) en se focalisant sur sa modélisation et sa validité théorique. Enfin, la troisième section étudie la portée du Multi-LAM.

2.1 Le Modèle Linéaire Additif (LAM) et l'hypothèse de régressabilité

Le Modèle Linéaire Additif (LAM) est un outil qui permet de faire la distinction entre les risques individuels et systématiques. Fondée sur l'hypothèse de « régressabilité » exposée par Benninga *et al.* (1984), cette formulation permet d'identifier le risque systématique du producteur par un indice régional tandis que le risque individuel correspond à la différence entre le rendement effectif et le risque systématique.

Nous rappelons que le LAM s'écrit habituellement¹⁵ :

$$\tilde{y}_i = \mu_i + \beta_i (\tilde{y} - \mu) + \tilde{\varepsilon}_i \quad (1)$$

¹⁵ Le symbole \sim indique des variables aléatoires alors que les variables sans tilde sont des réalisations de variables aléatoires.

Où y_i est le rendement individuel (pour une seule culture) d'une exploitation agricole i , avec $\mu_i = E(y_i)$ son espérance, y est le rendement régional avec $\mu = E(y)$ son espérance, β_i est la sensibilité du rendement individuel aux mouvements du rendement régional et ε_i est le résidu, également dénommé « risque de base du rendement ».

En pratique, nombre de contrats d'assurance récolte sont indexés sur des rendements régionaux et ils utilisent alors implicitement la formulation du LAM. Une interrogation réside alors sur l'extension du LAM lorsque l'agriculteur souhaite assurer plusieurs cultures. C'est l'objet principal de la section suivante.

2.2 Le Modèle Linéaire Additif Multiple (Multi-LAM)

Le Modèle Linéaire Additif (LAM) vise à décrire la relation entre le rendement individuel et le rendement moyen d'une seule culture dans un secteur donné. Son extension à un portefeuille de cultures vise à modéliser le rendement d'une exploitation agricole comme une fonction linéaire des rendements régionaux des cultures de l'exploitation.

Dans un premier paragraphe, nous étudions les moyens d'étendre la portée du LAM à un ensemble de cultures. Le deuxième paragraphe définit le modèle structurel de base du Multi-LAM, lequel est généralisé dans le troisième paragraphe. Le quatrième paragraphe examine la validité du Multi-LAM en présence de petites agrégations.

2.2.1 Du LAM au Multi-LAM

Le LAM considère le rendement d'une seule culture pour un agriculteur donné i . À partir de ce modèle de base, une littérature a été développée depuis l'article de Miranda (1991). Néanmoins, les fondements théoriques du LAM n'ont été formalisés pour la première fois par Rawaswami et Roe qu'en 2004. Bien que limitées à un seul paramètre, les analyses précédentes permettent d'élaborer des stratégies de couverture grâce à l'utilisation en pratique du coefficient bêta estimé par la régression.

Nous proposons de généraliser ce modèle de base à un ensemble de cultures. Pour cela, nous envisageons plusieurs stratégies. Le Tableau 8 résume chaque possibilité d'extension du Modèle Linéaire Additif.

LAM basique (1 culture, 1 estimateur)	$\tilde{y}_i = \mu_i + \beta_i (\tilde{y} - \mu) + \tilde{\varepsilon}_i$
LAM additif (j cultures, j estimateurs)	$\tilde{y}_i = \sum_j w_{ij} (\mu_{ij} + \beta_{ij} (\tilde{y}_j - \mu_j) + \tilde{\varepsilon}_{ij})$ avec $\sum_j w_{ij} = 1, \forall i$
LAM sur l'exploitation (j cultures, 1 estimateur)	$\tilde{y}_i = \mu_i + \beta_i \left[\sum_j w_{ij} (\tilde{y}_j - \mu_j) \right] + \tilde{\varepsilon}_i$ avec $\sum_j w_{ij} = 1, \forall i$
Multi-LAM (j cultures, j estimateurs)	$\tilde{y}_i = \sum_j w_{ij} (\mu_{ij} + \beta_{ij} (\tilde{y}_j - \mu_j)) + \tilde{\varepsilon}_i$ avec $\sum_j w_{ij} = 1, \forall i$

Légende : y_i est le rendement individuel avec $\mu_i = E(y_i)$

y_{ij} est le rendement individuel de la culture j avec $\mu_{ij} = E(y_{ij})$

y est le rendement régional avec $\mu = E(y)$

y_j est le rendement régional de la culture j avec $\mu_j = E(y_j)$

x_{ij} est la proportion la culture j dans le portefeuille de cultures avec $\sum_j w_{ij} = 1, \forall i$

β_i est la sensibilité du rendement individuel aux mouvements du rendement régional

β_{ij} est la sensibilité du rendement individuel du producteur aux mouvements du rendement régional de la culture j

ε_i et ε_{ij} sont des résidus (également désignés sous le nom de risque de base du rendement).

Tableau 8. Stratégies d'extension du LAM à plusieurs cultures

La première méthode est un LAM additif. Elle consiste à estimer des modèles LAM séparément pour chaque culture. Le risque de base lié à chaque entreprise agricole se déduit par différence entre le rendement effectif et la somme des « rendements expliqués », pondérée par le poids de chaque culture dans l'exploitation.

La deuxième méthode est un LAM calculé sur l'exploitation. Elle consiste à estimer un coefficient bêta unique pour toute l'exploitation agricole. Cela exige de calculer un indice régional en adéquation avec le portefeuille de cultures de l'exploitation. Le risque de base est alors un résultat direct de la régression, à savoir son résidu.

La troisième méthode est le Multi-LAM. Elle permet d'estimer un seul modèle avec un nombre de coefficients égal au nombre de cultures de l'exploitation agricole. Elle est supposée fournir un résultat plus fiable grâce à un meilleur ajustement des données. Dès lors, le Multi-LAM nous sert de référence théorique pour la suite du raisonnement.

Ramaswami *et al.* (2004) ont relevé une forte analogie entre le Modèle Linéaire Additif (LAM) et le Modèle d'Equilibre des Actifs Financiers (MEDAF ou CAPM). Nous estimons pour notre part que la comparaison doit plutôt être opérée avec un modèle de Sharpe (1963). Cependant, « le LAM est seulement la conséquence de l'agrégation de différentes technologies de production et n'est pas le produit d'une optimisation ». De même, en étendant le LAM à un Multi-LAM, nous constatons qu'il est possible de trouver des similitudes entre ce nouveau modèle et la Théorie des Prix d'Arbitrage (APT de Ross, 1976), voire le Multi-Bêta CAPM (Shanken, 1995 et Nawalkha, 1997). Les formulations proposées présentent également l'avantage d'introduire des indices pouvant être employés pour couvrir un risque catastrophique (voir le Tableau 9). Ces indices peuvent être cotés sur les marchés financiers comme le CBOT de Chicago ou servir tout simplement de référentiel à des assureurs pour établir des grilles d'indemnisation.

	Modèle de Sharpe <i>Sharpe Model</i>	APT <i>Asset Pricing Theory</i>	LAM <i>Linear Additive Model</i>	Multi-LAM <i>Multi-Linear Additive Model</i>
Principe	Le taux de rentabilité d'un actif financier est une fonction linéaire stochastique du taux de rentabilité d'un marché.	Le taux de rentabilité d'un portefeuille financier peut être modélisé comme une fonction stochastique de divers facteurs macroéconomiques ou d'indices de marchés théoriques.	Le taux de rendement individuel d'une culture est une fonction linéaire stochastique de son rendement régional.	Le taux de rendement individuel d'une exploitation peut être modélisé comme une fonction linéaire stochastique des rendements régionaux des cultures de l'exploitation.
Théorie	Optimisation du comportement de l'investisseur avec une séparation en deux fonds.	Optimisation du comportement de l'investisseur avec une séparation en deux fonds.	Conséquence de l'agrégation des technologies individuelles du producteur (\neq Optimisation).	Conséquence de l'agrégation des technologies individuelles du producteur (\neq Optimisation).
Formule de base	$R_i = \alpha_i + \beta_i R_m + \varepsilon_i$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ R_i, Taux de rentabilité de l'actif étudié ▪ R_m, Taux de rentabilité du marché ▪ α_i, Composante du rendement de l'actif indépendante du rendement du marché ▪ $E(\varepsilon_i) = 0$ et $\varepsilon_i \perp R_i$ 	$R_i = R_f + \sum_j \beta_{ij} F_j + \varepsilon_i$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ R_i, Taux de rentabilité du portefeuille ▪ R_f, Taux d'intérêt sans risque ▪ F_j, Facteur macro-économique ▪ $E(\varepsilon_i) = 0$ et $\varepsilon_i \perp R_i$ 	$y_i = \mu_i + \beta_i (y - \mu) + \varepsilon_i$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ y_i, rendement individuel ▪ $\mu_i = E(y_i)$ ▪ y, rendement régional, avec $\mu = E(y)$ ▪ $E(\varepsilon_i) = 0$ et $\varepsilon_i \perp y$ 	$\tilde{y}_i = \sum_j w_{ij} \left(\mu_{ij} + \beta_{ij} (\tilde{y}_j - \mu_j) \right) + \tilde{\varepsilon}_i$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ y_i, rendement individuel, avec $\mu_i = E(y_i)$ ▪ y_{ij}, rendement individuel de la culture j, avec $\mu_{ij} = E(y_{ij})$ ▪ y_j, rendement régional de la culture j ▪ w_{ij}, proportion de la culture j dans le portefeuille ▪ $E(\varepsilon_i) = 0$ et $\varepsilon_i \perp y_i$
Bêta	β_i = Sensibilité du rendement de l'actif par rapport à l'évolution de la rentabilité du marché.	β_{ij} = Sensibilité du rendement du portefeuille par rapport au facteur j .	β_i = Sensibilité du rendement de l'exploitation par rapport aux mouvements de l'indice régional.	β_{ij} = Sensibilité du rendement de l'exploitation par rapport aux mouvements de l'indice régional de la culture j .

Tableau 9. Analogies entre le modèle de Sharpe, l'APT, le LAM et le Multi-LAM

Une généralisation des résultats du LAM au Multi-LAM semble appropriée car ces deux modèles ont une structure linéaire, ce qui permet des analogies directes. Dans les prochains paragraphes, nous recherchons les propriétés essentielles auxquelles un Multi-LAM doit satisfaire. Nous veillons en particulier à vérifier la validité des résultats théoriques du LAM sur un modèle prenant en compte plusieurs cultures. Pour cela, nous étendons l'article et les théorèmes de Rawaswami et Roe (2004) au Multi-LAM.

2.2.2 Un modèle structurel de base du Multi-LAM

Pour calibrer le Multi-LAM, nous définissons le rendement individuel y_{ij} de chaque culture j pour l'exploitant i comme étant une fonction d'une composante individuelle e_{ij} et d'une composante systématique θ_j ¹⁶. Cette forme structurelle s'écrit :

$$y_{ij} = f_{ij}(e_{ij}, \theta_j) \quad (2)$$

Et il vient :

$$y_i = \sum_j w_{ij} y_{ij} = \sum_j w_{ij} f_{ij}(e_{ij}, \theta_j) \quad (3)$$

Le Multi-LAM s'écrit :

$$y_i = \sum_j w_{ij} \mu_j + \sum_j w_{ij} \beta_{ij} (y_j - \mu_j) + \varepsilon_i \quad (4)$$

Où y_i est le rendement global de l'exploitation i , $\mu_j = E(y_{ij})$ est la moyenne du rendement de la culture j dans l'exploitation i , y_j est le rendement régional de la culture j et $\mu_j = E(y_j)$ est la moyenne du rendement de la culture j à l'échelle régionale. Nous notons w_{ij} la variable de contrôle qui définit les proportions de chaque culture au sein du portefeuille de l'agriculteur i . Par construction, $\sum_j w_{ij} = 1$ pour toutes les exploitations.

ε_i est une variable aléatoire qui correspond à un bruit blanc et qui n'est pas corrélée avec les rendements régionaux des différentes cultures.

¹⁶ Ces notations sont propres à la forme structurelle et doivent donc être différenciées des notations usuelles du LAM et du Multi-LAM.

L'équation (4) décompose la variation des rendements individuels des différentes cultures en deux composantes :

- Une composante systématique $\sum_j w_{ij} \beta_{ij} (y_j - \mu_j)$ dont chaque élément est parfaitement corrélé avec les rendements régionaux.
- Une composante individuelle ε_i qui n'est pas corrélée avec ces mêmes rendements agrégés.

Considérons une région où se trouvent N producteurs. Le rendement de la culture j pour le producteur i est donné par :

$$y_{ij} = \mu_{ij} \eta_{ij} \tag{5}$$

Où $\mu_{ij} = E(y_{ij})$ est la moyenne du rendement de la culture j dans l'exploitation i et η_{ij} est une variable aléatoire qui capture les risques de l'exploitant pour chaque culture.

Cette équation est une spécification standard lorsque les risques se multiplient avec les rendements moyens. Le rendement moyen individuel est une fonction d'inputs contrôlés par le producteur. Le risque est capturé par une variable aléatoire donnée par :

$$\eta_{ij} = \alpha_j e_{ij} + \gamma_j \theta_j \tag{6}$$

Où e_{ij} traduit la variation de rendement spécifique à la culture j et au producteur i et θ_j transcrit un choc de productivité commun à tous les producteurs cultivant j . Par définition, le premier choc est individuel tandis que le second est systématique.

D'après leurs caractéristiques, nous supposons que les risques individuels et systématiques satisfont aux propriétés suivantes :

$$E(\theta_j) = 1, \forall j$$

$$E(e_{ij}) = 1, \forall i, j$$

$$\text{Cov}(e_{ij}, \theta_j) = 0, \forall i, j$$

$$\text{Cov}(e_{ij}, e_{kj}) = 0, \forall i \neq k, j$$

$$\alpha_j + \gamma_j = 1, \forall j \text{ (Moyenne unitaire)}$$

Ces propriétés impliquent d'après (5) et (6) que :

$$y_i = \sum_j w_{ij} \mu_{ij} (\alpha_j e_{ij} + \gamma_j \theta_j) \quad (7)$$

Ce modèle est appelé MRAC (*Multiplicative Risks and Additive Components*) car il additionne des risques multiplicatifs.

Le rendement régional de la culture j s'écrit :

$$y_j = \sum_i \omega_{ij} y_{ij} = \gamma_j \theta_j \left(\sum_i \omega_{ij} \mu_{ij} \right) + \alpha_j \left(\sum_i \omega_{ij} \mu_{ij} e_{ij} \right) \quad (8)$$

Où ω_{ij} dénote la part du producteur i dans le total des surfaces de la culture j cultivées dans la région étudiée. ω_{ij} satisfait également à la propriété suivante : $\sum_i \omega_{ij} \mu_i = 1, \forall j$

L'espérance des rendements moyens des différents agriculteurs pour la culture j s'écrit :

$$\mu_j = \sum_i \omega_i \mu_{ij} \quad (9)$$

Cette formulation implique que :

$$y_j = \gamma_j \theta_j \mu_j + \alpha_j \sum_i \omega_i \mu_{ij} e_{ij} \quad (10)$$

En décomposant le second terme de l'équation précédente, il vient :

$$\sum_i \omega_i \mu_{ij} e_{ij} = \sum_i \omega_i (\mu_{ij} - \mu_j) (e_{ij} - \bar{e}_j) + \mu_j \bar{e}_j \quad (11)$$

Avec $\bar{e}_j = \sum_i \omega_i e_{ij}$, la moyenne pondérée des risques individuels par rapport aux surfaces cultivées de j . Le premier terme de cette équation correspond à la covariance entre les rendements moyens et les risques individuels, ce qui permet d'écrire :

$$\sum_i \omega_i \mu_{ij} e_{ij} = Cov(\mu_{ij}, e_{ij}) + \mu_j E(e_{ij}) \stackrel{LGN}{=} \mu_j \quad (12)$$

Si nous supposons à présent que la région étudiée contient un grand nombre de producteurs tel que la loi faible des grands nombres (LGN) puisse s'appliquer¹⁷, alors :

- $Cov(\mu_{ij}, e_{ij}) \xrightarrow{\omega_i=1/N} Cov(\mu_j, e_j) \stackrel{Hyp}{=} 0$
- $\bar{e}_j \rightarrow E(e_{ij}) \stackrel{Hyp}{=} 0, \forall i$

Cela permet de réécrire (12) comme :

$$\sum_i \omega_i \mu_{ij} e_{ij} = Cov(\mu_{ij}, e_{ij}) + \mu_j E(e_{ij}) \stackrel{LGN}{=} \mu_j$$

¹⁷ Nous supposons également qu'aucune exploitation ne domine les autres en termes de superficie cultivée.

Par (11), cela implique que :

$$y_j = (\alpha_j + \gamma_j \theta_j) \mu_j \quad (13)$$

Le rendement régional de chaque culture j est donc aléatoire. Ce dernier étant une fonction monotone de θ , il est possible de réécrire (13) :

$$\theta_j = \frac{y_j - \alpha_j \mu_j}{\mu_j \gamma_j} \quad (14)$$

Par (8), cela implique que :

$$\begin{aligned} y_i &= \sum_j w_{ij} \mu_{ij} (\gamma_j \theta_j + \alpha_j e_{ij}) \\ \Leftrightarrow y_i &= \sum_j w_{ij} \mu_{ij} \left(\gamma_j \frac{y_j - \alpha_j \mu_j}{\mu_j \gamma_j} + \alpha_j e_{ij} \right) \\ \Leftrightarrow y_i &= \sum_j w_{ij} \left[\frac{\mu_{ij}}{\mu_j} (y_j - \mu_j \alpha_j) + \mu_{ij} \alpha_j e_{ij} \right] \\ \Leftrightarrow y_i &= \sum_j w_{ij} \mu_{ij} + \sum_j w_{ij} \frac{\mu_{ij}}{\mu_j} (y_j - \mu_j) + \sum_j w_{ij} \mu_{ij} (\alpha_j e_{ij} - 1) \end{aligned} \quad (15)$$

Ce résultat est au final équivalent à un Multi-LAM :

$$y_i = \sum_j w_{ij} \mu_{ij} + \sum_j w_{ij} \beta_{ij} (y_j - \mu_j) + \varepsilon_i$$

$$\text{Avec : } \beta_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\mu_j} \text{ et } \varepsilon_i = \sum_j w_{ij} \mu_{ij} (\alpha_j e_{ij} - 1)$$

Nous en déduisons la Proposition 1 :

Proposition 1 :

(i) Dans le modèle MRAC décrit par les équations (5) à (7), les relations entre rendement individuel et rendement régional suivent un Multi-LAM.

(ii) Les paramètres du Multi-LAM sont reliés au modèle structurel de la façon suivante : $\beta_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\mu_j}$ et $\varepsilon_i = \sum_j w_{ij} \mu_{ij} (\alpha_j e_{ij} - 1)$

Les implications de chaque partie de la Proposition 1 sont les suivantes :

(i) Pour toutes les cultures d'un producteur individuel, le bêta est égal au rapport entre le rendement moyen individuel et le rendement moyen régional, ce qui implique : $\sum_i \omega_{ij} \beta_{ij} = 1, \forall j$

(ii) Le terme d'erreur est hétéroscédastique : $Var(\varepsilon_i) = \sum_j w_{ij}^2 \mu_{ij}^2 \alpha_j^2 e_{ij}^2$

Nous notons que ce modèle très général ne spécifie pas les formes fonctionnelles de l'input et du rendement. Il ne spécifie pas non plus les densités de probabilité des risques systématiques et non systématiques. Après avoir considéré les propriétés élémentaires que doit satisfaire un Multi-LAM, nous renversons la perspective en étudiant les classes de modèles qui impliquent un Multi-LAM.

2.2.3 Un modèle structurel général du Multi-LAM

Se posent alors plusieurs questions : quels modèles structurels impliquent le Multi-LAM ? Quelles caractéristiques des modèles structurels n'impliquent pas le Multi-LAM ? C'est l'objet de la Proposition 2.

La forme structurelle de la production d'une culture j chez un exploitant i est donnée par l'équation suivante :

$$y_{ij} = f_{ij}(\theta_j, e_{ij}, \mu_{ij}) \equiv f_{ij}(\theta_j, e_{ij}) \quad (16)$$

Où θ_j et e_{ij} sont respectivement les réalisations aléatoires des chocs systématiques et individuels. μ_{ij} est un vecteur des rendements moyens réalisés, de sorte que nous pouvons l'omettre des notations par la suite.

Proposition 2 : Si la relation entre le rendement individuel et le rendement régional est décrite par un Multi-LAM (4), alors le modèle structurel satisfait nécessairement à :

(i) $y_{ij} = \sum_j w_{ij} h_{ij}(e_{ij}) + \sum_j w_{ij} g_{ij}(\theta_j)$, où h_{ij} et g_{ij} sont des fonctions qui caractérisent respectivement l'impact des chocs individuels et systématiques sur les rendements individuels.

(ii) $\forall i$, il existe une fonction $l(\theta)$ et un paramètre λ_i tels que : $g_{ij}(\theta_j) = \lambda_{ij} l(\theta_j) + c_{ij}$, où c_{ij} est une constante d'intégration.

La démonstration est donnée dans l'Annexe 1.1. La Proposition 2 spécifie la classe des modèles structurels impliqués par le Multi-LAM. Un résultat intéressant est que le Multi-LAM, comme le LAM, ne pose aucune contrainte spécifique sur la façon dont un risque donné affecte la production. En revanche, l'hypothèse de linéarité sous-jacente au Multi-LAM implique nécessairement que les composantes du risque et leurs effets sur la production soient additifs.

A présent, la question est de savoir si chaque classe de modèle structurel identifié dans la Proposition 2 implique un Multi-LAM. La Proposition 3 confirme cette hypothèse dès lors que l'agrégation au niveau régional est suffisamment large.

Proposition 3 : Le modèle structurel (16) implique un Multi-LAM si :

(i) La moyenne pondérée des risques individuels peut être remplacée par la moyenne d'une large population.

(ii) Le modèle structurel satisfait à :

$$y_i = \sum_j w_{ij} a_{ij} + \sum_j w_{ij} b_{ij} l_j(\theta_j) + \sum_j w_{ij} h_{ij}(e_{ij})$$

Où $l_j(\theta_j)$ et $h_{ij}(e_{ij})$ sont des fonctions monotones et a_{ij} et b_{ij} sont des paramètres qui peuvent varier avec i et j .

La démonstration est donnée dans l'Annexe 1.2. Elle fait notamment apparaître que ε_i est une variable aléatoire de moyenne nulle qui n'est pas corrélée avec les rendements régionaux. De plus, elle définit la relation entre les paramètres du modèle structurel et ceux du Multi-LAM.

Ce résultat ainsi que l'identification des principaux paramètres est précisé par la Proposition 4.

Proposition 4 : Dans le modèle structurel général qui est équivalent au Multi-LAM, les paramètres satisfont :

$$(i) \beta_{ij} = \frac{b_{ij}}{b_j}$$

$$(ii) \varepsilon_i = \sum_j w_{ij} [h_{ij}(e_{ij}) - E(h_{ij}(e_{ij}))]$$

Les implications de chaque partie de la Proposition 4 sont les suivantes :

(i) signifie que la sensibilité du rendement de la culture j du producteur i par rapport au rendement régional de la culture j est égale à la sensibilité du rendement de la culture j du producteur i à une catastrophe par rapport à la sensibilité du rendement régional à un choc systématique (catastrophe naturelle).

$$(ii) \text{ implique que : } Var(\varepsilon_i) = Var \sum_j w_{ij} h_{ij}(e_{ij}) = \sum_j w_{ij}^2 Var [h_{ij}(e_{ij})],$$

en supposant l'indépendance des $h_{ij}(e_{ij})$.

Le Tableau 10 propose des exemples de spécification du rendement adaptés de Ramaswami et Roe (2002). Pour chaque type de modèle, nous proposons une généralisation qui prenne en compte le portefeuille de cultures de l'exploitant.

Spécifications	LAM	Multi-LAM
Modèle de base	$y_i = \mu_i + \beta_i (y - \mu) + \varepsilon_i$	$y_i = \sum_j w_{ij} \mu_{ij} + \sum_j w_{ij} \beta_{ij} (y_j - \mu_j) + \varepsilon_i$
MRAC	$y_i = \mu_i [\alpha e_i + \gamma \theta]$	$y_i = \sum_j w_{ij} \mu_{ij} [\alpha e_{ij} + \gamma \theta_j]$
ARAC	$y_i = \mu_i + e_i + \theta$	$y_i = \sum_j w_{ij} [\mu_{ij} + e_{ij} + \theta_j]$
JPAC	$y_i = \mu_i + \sigma_i (e_i + \theta)$	$y_i = \sum_j w_{ij} [\mu_{ij} + \sigma_{ij} (e_{ij} + \theta_j)]$
MRMC	$y_i = \mu_i e_i \theta$	$y_i = \sum_j w_{ij} [\mu_{ij} e_{ij} \theta_j]$
Modèle structurel	$y_i = a_i + b_i l(\theta) + h_i(e_i)$	$y_i = \sum_j w_{ij} [a_{ij} + b_{ij} l_j(\theta_j) + h_{ij}(e_{ij})]$

Légende des sigles :

MRAC = Modèle avec des risques multiplicatifs et des composantes additives.

ARAC = Modèle avec des risques additifs et des composantes additives.

JPAC = Modèle de Just-Pope (1979) avec des composantes additives.

MRMC = Modèles avec des risques multiplicatifs et des composantes multiplicatives.

Tableau 10. Exemples de spécifications populaires du rendement appliquées au Multi-LAM

Nous en déduisons un calcul des β_{ij} pour chacune de ces spécifications usuelles :

- **Modèle MRAC**

Dans ce cadre, $\forall k, l_j(\theta_j) = \mu_{ij}\gamma_j\theta_j$, $b_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\mu_{kj}}$ et $h_{ij}(e_{ij}) = \mu_{ij}\alpha_j e_{ij}$

Les résultats précédents sont un cas particulier du modèle structurel avec le rendement individuel suivant :

$$y_j = \sum_j w_{ij} [b_{ij}l_j(\theta_j) + h_{ij}(e_{ij})]$$

Dans ce cadre, $b_j = \frac{\mu_j}{\mu_{kj}}$, $\forall j$ et par la Proposition 3, $\beta_{ij} = \frac{\mu_{ij}}{\mu_j}$.

- **Modèle ARAC**

Ce modèle est un cas particulier évident du modèle structurel avec risques additifs.

Dans ce cadre, $b_{ij} = 1$ implique que $b_j = 1$ et finalement que $\beta_{ij} = 1, \forall i, j$.

La valeur de ce dernier coefficient indique que l'hétérogénéité des rendements des différentes productions n'a aucun impact sur le rendement de l'exploitation agricole.

- **Modèle JPAC**

Ce modèle est un cas particulier du modèle structurel, avec $l_j(\theta_j) = \theta_j$.

Dans ce cadre, $b_{ij} = \sigma_{ij}$ implique que $b_j = \sigma_j$, avec $\sigma_j = \sum_i \omega_{ij}\sigma_{ij}$.

Nous en déduisons que $\beta_{ij} = \frac{\sigma_{ij}}{\sigma_j}$.

- **Modèle MRMC**

Ce modèle ne répond pas aux spécifications du Multi-LAM, en raison de sa forme purement multiplicative.

La forme structurelle du Multi-LAM étant définie, il apparaît intéressant de lever une hypothèse communément admise sur la taille de la région. L'agrégation des rendements à une petite échelle risque en effet de biaiser la qualité de la couverture. Son étude est l'objet du prochain paragraphe.

2.2.4 Validité du Multi-LAM avec de petites agrégations

La Proposition 1 définit le Multi-LAM comme la conséquence de l'interaction additive de risques individuels et systématiques. Cependant, ce type de structure de risques est une condition nécessaire mais non suffisante pour que le Multi-LAM possède des propriétés conventionnelles. De plus, la Proposition 4 repose sur l'hypothèse d'une région définie par un large échantillon. Qu'advient-il du Multi-LAM quand la région est définie à partir d'un petit nombre d'exploitations ?

Cette question répond à des besoins réels : en pratique, les assureurs cherchent à définir des classes de risques homogènes pour cibler leur couverture. Or, cette précision s'obtient en ciblant des régions peu étendues.

En reprenant l'intitulé de la Proposition (3b), le modèle structurel s'écrit :

$$y_i = \sum_j w_{ij} \left[a_{ij} + b_{ij} l_j(\theta_j) + h_{ij}(e_{ij}) \right] \quad (17)$$

Si nous reprenons l'équation (B4) de l'Annexe 1.2 :

$$y_j = a_j + b_j l_j(\theta_j) + \sum_i \omega_{ij} h_{ij}(e_{ij}) \quad (18)$$

D'autre part, les équations (B1) à (B4) de l'Annexe 1.2 n'impliquent pas de grands échantillons.

A partir de (18), il vient :

$$\mu_j = a_j + b_j E(l_j(\theta_j)) + \sum_i \omega_{ij} E(h_{ij}(e_{ij})) \quad (19)$$

En calculant la différence entre (18) et (19), nous obtenons :

$$l_j(\theta_j) - E(l_j(\theta_j)) = \frac{y_j - \mu_j}{b_j} - \frac{A_j}{b_j} \quad (20)$$

$$\text{Avec : } A_j = \sum_i \omega_i [h_{ij}(e_{ij}) - E(h_{ij}(e_{ij}))].$$

Si le nombre d'exploitations cultivant j dans la région était important, la loi faible des grands nombres (LGN) impliquerait que : $A_j \xrightarrow{LGN} 0$. Dans le cas contraire, il s'agit d'une variable aléatoire de moyenne nulle.

En calculant la différence entre (18) et (19) et en agrégeant, nous obtenons :

$$y_i = \sum_j w_j \mu_{ij} + \sum_j w_j b_{ij} [l_j(\theta_j) - E(l_j(\theta_j))] + \sum_j w_j b_{ij} [h_{ij}(e_{ij}) - E(h_{ij}(e_{ij}))] \quad (21)$$

L'insertion de (20) dans (21) donne :

$$y_i = \sum_j w_j \mu_{ij} + \sum_j w_j b_{ij} \left[\frac{y_j - \mu_j}{b_j} - \frac{A_j}{b_j} \right] + \sum_j w_j b_{ij} [h_{ij}(e_{ij}) - E(h_{ij}(e_{ij}))] \quad (22)$$

En réaménageant l'écriture :

$$y_i = \sum_j w_j \mu_{ij} + \sum_j w_j \beta_{ij} A_j + \sum_j w_j \beta_{ij} (y_j - \mu_j) + \varepsilon_i \quad (23)$$

$$\text{Avec : } \beta_{ij} = \frac{b_{ij}}{b_j} \text{ et } \varepsilon_i = \sum_j w_j b_{ij} \left[h_{ij}(e_{ij}) - E(h_{ij}(e_{ij})) \right]$$

Nous séparons ensuite les termes déterministes des termes aléatoires.

$$y_i = \sum_j w_j \left[\mu_{ij} + \beta_{ij} \sum_i \omega_i E(h_{ij}(e_{ij})) \right] + \sum_j w_j (y_j - \mu_j) + \left[\varepsilon_i - \sum_j w_j \sum_i \omega_i h_{ij}(e_{ij}) \right] \quad (24)$$

En réorganisant à nouveau l'écriture :

$$y_i = \sum_j w_j \varphi_{ij} + \sum_j w_j \beta_{ij} (y_j - \mu_j) + \nu_i \quad (25)$$

Au final, nous retrouvons une relation linéaire avec :

$$\varphi_{ij} = \mu_{ij} + \beta_{ij} \sum_i \omega_i E(h_{ij}(e_{ij})) \neq \text{Rendement individuel par culture.}$$

$$\nu_i = \varepsilon_i - \sum_j w_j \sum_i \omega_i h_{ij}(e_{ij}) : \text{ce résultat marque une corrélation négative avec } y_i \text{ et les } y_{ij}.$$

$$\sum_i \omega_i h_{ij}(e_{ij}) = \text{Moyenne par unité de surface des risques individuels liés à la culture } j.$$

Cette dernière valeur reste aléatoire car elle n'est pas liée à la population totale.

La conséquence principale d'une agrégation sur un petit nombre d'exploitations se traduit par un biais des estimateurs économétriques. Cependant, les propriétés et les résultats du Multi-LAM demeurent toujours valides.

D'une manière générale, nous constatons que les propriétés principales du Modèle Linéaire Additif sont préservées quand il est étendu à un ensemble de récoltes. Nous pouvons alors étudier la portée de cette formulation.

2.3 La portée du Multi-LAM

Par construction, nous pouvons supposer qu'un Multi-LAM fournit un meilleur ajustement qu'une addition de LAM estimés séparément ou qu'un LAM estimé sur l'intégralité de l'exploitation agricole. Dans le premier cas, l'évaluation des paramètres d'un Multi-LAM tient directement compte de la composition du portefeuille de cultures dans l'exploitation considérée tandis que cette structure de l'exploitation est considérée comme exogène avec un LAM additif. Ce point est pris en considération avec un LAM estimé sur l'exploitation mais un tel modèle (1 bêta estimé) ne semble pas être en mesure d'ajuster correctement la structure du portefeuille (j récoltes).

De plus, les propriétés théoriques du Multi-LAM demeurent valides si et seulement si deux conditions sont satisfaites. La première se rapporte à la taille de la région qui est employée comme référence. Elle ne doit pas être trop large pour assurer la qualité de l'ajustement mais elle doit être suffisamment grande afin qu'aucune exploitation agricole ne puisse avoir une taille prédominante. La seconde est un argument économétrique : pour obtenir un bon ajustement du modèle, les variations de rendements régionaux qui entrent en compte dans l'estimation du Multi-LAM ne doivent pas être significativement corrélées. Si c'est le cas, un indice, c'est-à-dire un LAM, suffit pour ajuster les données. De plus, il existe un risque que les coefficients du modèle économétrique estimé soient biaisés.

Une implication directe de la formulation du Multi-LAM est de pouvoir définir des contrats assurantiels et financiers qui permettent de couvrir la totalité d'un risque catastrophique. En effet, la distinction que permet ce modèle entre risques individuels et systématiques ouvre la voie à la détermination d'instruments de couverture qui soient spécifiquement adaptés à la nature de ces deux types de composantes. C'est un point de rupture avec les analyses traditionnelles qui se focalisent traditionnellement sur le risque pris dans sa globalité et n'envisagent qu'un seul moyen de couverture.

3. UN MODELE DE COUVERTURE GLOBALE DU RISQUE GRACE A LA COMBINAISON DE CONTRATS PARTICIPATIFS ET FINANCIERS

Le modèle de couverture doit s'attacher à proposer des instruments appropriés aux différentes composantes d'un risque catastrophique. Nous proposons d'introduire deux types de contrats : un contrat participatif pour assurer le risque individuel et un contrat financier pour sécuriser le risque systématique. Nous montrons que ces deux contrats sont adaptés au risque qu'ils doivent couvrir grâce à l'optimisation de l'utilité de la richesse finale du souscripteur. Nous en déduisons le design optimal des différents contrats et la stratégie de couverture de l'intégralité du risque.

Ce chapitre est en conséquence organisé de la façon suivante. La première section présente le modèle et les notations utilisées. Les deuxième et troisième sections étudient respectivement les contrats et leur design optimal. La quatrième section propose une stratégie optimale de couverture. Elle est finalement suivie d'une cinquième section qui examine la portée des résultats.

3.1 Le modèle

Afin de débiter notre analyse sur le modèle de couverture globale, nous présentons successivement les notations utilisées puis les différentes formes possibles de la fonction de perte.

3.1.1 Notations générales

Le modèle de couverture est développé dans le cadre de la théorie de l'utilité espérée. Un agent (personne ou firme) possède une richesse initiale déterministe w_0 soumise à un risque de perte. Nous supposons que cette perte possède deux composantes identifiables : une composante individuelle, $\tilde{\varepsilon}$, et une composante systématique, \tilde{x} . Aussi, l'expression de la perte s'écrit :

$$\tilde{l} = l(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}), \text{ avec } l_x \geq 0 \text{ et } l_\varepsilon \geq 0. \quad (26)$$

Nous supposons également que \tilde{l} , \tilde{x} et $\tilde{\varepsilon}$ sont communément identifiables par chaque agent. Parmi les agents, les différents $\tilde{\varepsilon}_i$ sont indépendants et ne sont pas corrélés avec le risque commun \tilde{x} .

Considérons par exemple le portefeuille d'un assureur qui contient un ensemble d'exploitations agricoles, toutes localisées dans un bassin versant inondable. Le risque \tilde{l} peut être assimilé à l'exposition individuelle au risque d'inondation. Le risque \tilde{x} devient alors l'incertitude commune qui affecte toutes les exploitations, *i.e.* l'intensité de l'inondation à venir. Au fil des ans, \tilde{x} prend très souvent une valeur négligeable car aucune inondation ne survient mais à de rares moments, cette valeur devient largement positive. Le risque $\tilde{\varepsilon}$ résulte de paramètres locaux sur les pertes individuelles qui peuvent être considérées comme indépendantes entre les membres du groupe. Il demeure diversifiable au niveau de l'ensemble des exploitations dans la mesure où la taille du portefeuille de l'assureur s'avère suffisamment large pour que la loi des grands nombres s'applique. Néanmoins, ce principe ne peut prévaloir pour le risque \tilde{x} , à moins que celui-ci ne soit diversifié avec d'autres groupes exposés à différentes catastrophes ou transféré sur les marchés financiers.

Pour établir plus précisément les dégradations liées aux catastrophes naturelles, nous devons spécifier des fonctions de pertes qui conjuguent risques individuels et systématiques.

3.1.2 Formes de la fonction de perte

La forme de la diversification du risque est étroitement liée à la spécification de la fonction de pertes l . Nous considérons pour les besoins de la démonstration deux cas usuels avec des fonctions de perte additive et multiplicative. Cette distinction est justifiée économiquement car elle correspond à deux types de situation. Une fonction additive de pertes suppose qu'une catastrophe donnée impacte chaque membre du groupe d'un même montant catastrophique x , quel que soit son risque individuel. Au contraire, une fonction multiplicative de pertes est proportionnelle au niveau initial du risque individuel. Il convient alors de vérifier si ces deux scénarii sont compatibles avec l'hypothèse de « régressabilité » de Benninga *et al.* (1984).

Considérons tout d'abord une forme additive de pertes : $l = l(x, \varepsilon) = x + \varepsilon$. Dans ce cas, nous supposons que les pertes peuvent être décomposées en deux risques additifs. Cette hypothèse est compatible avec le modèle de base du Multi-LAM, à savoir :

$$\tilde{y}_i = \sum_j w_{ij} (\mu_{ij} + \beta_{ij} (\tilde{y}_j - \mu_j)) + \tilde{\varepsilon}_i, \text{ avec } \sum_j w_{ij} = 1, \forall i \text{ et les notations habituelles.}$$

Cette formulation générique peut en effet être réécrite comme :

$$\tilde{y}_i - \mu_i = \sum_j w_{ij} \beta_{ij} (\tilde{y}_j - \mu_j) + \tilde{\varepsilon}_i, \text{ ce qui est équivalent à : } l_i(x_i, \varepsilon_i) = \tilde{x}_i + \tilde{\varepsilon}_i,$$

$$\text{Où } l_i(x_i, \varepsilon_i) = \tilde{y}_i - \mu_i \text{ et } \tilde{x}_i = \sum_j w_{ij} \beta_{ij} (\tilde{y}_j - \mu_j).$$

Cette structure est typiquement un modèle avec risques additifs et composantes additives (ARAC). A titre d'illustration, $x = 10$ implique que toutes les pertes individuelles augmentent de 10 unités monétaires lorsque survient une catastrophe. En agriculture, cela peut être le cas d'espaces affectés par des inondations qui endommagent une partie seulement des zones agricoles. Dans ce cas de figure, Mahul (2001) démontre que la couverture assurantielle peut être répliquée par une combinaison d'un contrat non participatif standard et d'un contrat à terme, ce dernier servant à couvrir la composante systématique du risque.

Considérons à présent la forme multiplicative : $l = l(x, \varepsilon) = \varepsilon (1 + x)$. Dans ce cas, nous retrouvons un modèle avec risques multiplicatifs et composantes multiplicatives (MRMC). Conséquence de la Proposition 3, cette formulation est incompatible avec un modèle Multi-LAM. En pratique, $x = 0,10$ implique que toutes les pertes individuelles s'accroissent de 10 %. En agriculture, un été plus frais que la moyenne peut générer de telles pertes frappant l'intégralité des cultures d'une exploitation. Dans ce cas de figure, Doherty et Schlesinger (2002) indiquent que l'intermédiation d'un assureur est nécessaire. La sécurisation du risque est effectuée au moyen d'une mise en commun du risque au sein du portefeuille de l'assureur. Le design optimal des contrats d'assurance est alors une combinaison d'un contrat participatif variable pour l'assuré et d'un contrat à terme pour l'assureur afin que ce dernier puisse couvrir son risque agrégé de dividendes. Nous présentons ces deux familles de contrats dans la section suivante.

3.2 Les contrats

L'état de la littérature sur les contrats assurantiels et financiers mis à la disposition des personnes et des entreprises nous permet d'identifier trois familles de polices de couverture (participative, non participative et financière) que nous étudions successivement. Cette analyse est complétée par une présentation du problème à résoudre.

3.2.1 Le contrat participatif

Chaque contrat est défini par une prime et une indemnité. Par définition, l'indemnité du contrat participatif dépend à la fois du risque individuel ε et de la réalisation x du risque systématique :

$$I(x, \varepsilon) \geq 0, \quad \forall x, \varepsilon \quad (27)$$

La prime est variable et dépend de l'occurrence d'une catastrophe naturelle. De plus, le portefeuille de l'assureur est supposé être suffisamment grand pour que la loi des grands nombres et le principe de mutualisation s'appliquent.

La prime est alors définie comme l'espérance mathématique de l'indemnité conditionnelle liée au risque systématique, soit :

$$P(x) = (1 + \theta_1) E(I(x, \tilde{\varepsilon})), \quad \forall x, \theta_1 \geq 0 \quad (28)$$

En supposant des assureurs averses au risque, le prix de marché du risque tel qu'il est défini par Schlesinger (1999) est représenté par le taux de chargement θ_1 . En effet, la prime P est potentiellement soumise à des ajustements *ex-post*, ce qui suppose implicitement que les assurés soient en mesure de procéder au versement d'une surprime.

Cette prime peut être fixée en se référant à des catastrophes de moyenne ampleur et révisée à la fin de chaque année pour refléter la survenance ou non d'un événement catastrophique. Dès lors, le risque systématique ne peut être couvert par ce type de contrat qui est, en revanche, tout à fait adapté pour assurer la composante individuelle du risque global. La seule police capable en théorie d'assurer la totalité du risque est un contrat usuel, *i.e.* non participatif.

3.2.2 Le contrat non participatif

A l'instar du cas précédent, l'indemnité du contrat non participatif est écrite comme une fonction des risques individuels et systématiques :

$$J(x, \varepsilon) \geq 0, \quad \forall x, \varepsilon \quad (29)$$

La prime est fixée *ex-ante* et elle est définie par l'espérance mathématique de l'indemnité conditionnelle à la réalisation des risques individuels et systématiques. Dans ces conditions, un taux de chargement θ_2 doit également être introduit :

$$Q = (1 + \theta_2) E(J(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon})), \quad \theta_2 \geq 0 \quad (30)$$

Cette formulation inclut des coûts de transaction dans le calcul de la prime en plus des pertes espérées. Nous supposons que $\theta_1 \neq \theta_2$ étant donné que la composante systématique du risque est probablement moins diversifiable au sein du portefeuille de l'assureur (Cummins et Weiss, 2000).

Capable d'assurer les deux composantes du risque d'un point de vue théorique, le contrat non participatif se caractérise en pratique par un taux de prime très élevé afin de tenir compte des conséquences éventuelles d'une catastrophe naturelle. Dès lors, les contrats financiers apparaissent comme les plus adaptés pour sécuriser la composante systématique du risque sur les marchés.

3.2.3 Le contrat financier

De façon générale, le niveau de la prime fixe du contrat non participatif implique que l'assureur accepte de prendre à sa charge le risque systématique. Dès lors, elle doit en théorie traduire le niveau de risque qu'il est prêt à accepter. Cependant, l'assureur peut sécuriser sa position en transférant tout ou partie de son risque systématique à des investisseurs financiers. Il peut notamment acheter des contrats financiers fondés sur des indices climatiques. Les plus connus sont les « degrés jours unifiés » (*cooling* ou *heating degree-days*), indexés sur des températures cumulées. Il existe également des dérivés climatiques axés sur le volume des précipitations mais leur marché demeure réduit.

Généralement, les produits dérivés sont calibrés à partir d'indices supposés être étroitement corrélés avec les pertes liées au climat. Ainsi, nous pouvons réécrire la composante systématique \tilde{x} comme une fonction d'un indice de pertes appelé \tilde{z} . En raison de l'imparfaite corrélation entre \tilde{x} et \tilde{z} , chaque contrat financier est exposé à un risque de base noté \tilde{b} . Les conséquences sont examinées par la suite. A la suite de Benninga *et al.* (1984), nous réécrivons \tilde{x} comme :

$$\tilde{x} = \tilde{x}(\tilde{z}, \tilde{b}) = \tilde{z} + \tilde{b}, \text{ avec : } E(\tilde{b}) = 0 \quad (31)$$

Le risque de base \tilde{b} est supposé être indépendant de l'indice \tilde{z} , du risque systématique \tilde{x} et du risque individuel $\tilde{\varepsilon}$. Dans ce modèle, \tilde{x} peut également être interprété comme la perte agrégée au niveau régional tandis que \tilde{z} représenterait alors une perte agrégée au niveau national.

En se rappelant les propriétés de \tilde{b} dans l'équation (31), il vient l'égalité suivante :

$$E(\tilde{x}) = E(\tilde{z}) \quad (32)$$

Par la suite, nous pourrions remplacer \tilde{x} par \tilde{z} et l'indemnité dépendra alors de l'indice catastrophique, tout en étant sujette à un risque de base \tilde{b} :

$$J(x, \varepsilon) = J(x(z, b), \varepsilon) \equiv J(z, b, \varepsilon) \geq 0, \quad \forall z, b, \varepsilon \quad (33)$$

La forme de la prime reste inchangée et le taux de chargement θ_2 inclut toujours des coûts administratifs :

$$Q = (1 + \theta_2) E(J(\tilde{z}, \tilde{b}, \tilde{\varepsilon})), \quad \theta_2 \geq 0 \quad (34)$$

Pour mieux distinguer le contrat participatif du contrat financier, nous réécrivons l'indemnité du contrat financier comme suit :

$$K(z) \geq 0, \quad \forall z \quad (35)$$

Dès lors, la prime fixe devient :

$$Q = (1 + \theta_2) E(K(\tilde{z})), \quad \theta_2 \geq 0 \quad (36)$$

Les différents contrats étant définis, nous pouvons à présent établir de manière formelle le problème à résoudre pour maximiser la performance de la couverture.

3.2.4 Le problème à résoudre

Au vu des notations précédentes, il apparaît que la combinaison des contrats d'assurance participatifs et non participatifs, également appelée police d'assurance participative variable, est définie par :

- Sa prime : $[P(x) + Q]$
- Son indemnité : $[I(x, \varepsilon) + J(z, b, \varepsilon)]$

Pour lesquelles les valeurs effectives des composantes individuelles et systématiques du risque sont respectivement ε , x , z et b .

Nous pouvons alors définir la richesse finale comme :

$$\tilde{w} = w_0 - l(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) + I(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) - P(\tilde{x}) + J(\tilde{z}, \tilde{b}, \tilde{\varepsilon}) - Q \quad (37)$$

Nous supposons alors que l'assuré possède une fonction d'utilité doublement différentiable à la *von Neumann-Morgenstern* : $u(\cdot)$, avec $u' > 0$ et $u'' < 0$.

Le problème de l'assuré est de déterminer à la fois les indemnités et les primes optimales des contrats participatifs et non participatifs qui maximisent l'utilité espérée de sa richesse finale sous les contraintes (27), (28), (33) et (34) :

$$\underset{l, J, P, Q}{Max} Eu\left(w_0 - l(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) + I(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) - P(\tilde{x}) + J(\tilde{z}, \tilde{b}, \tilde{\varepsilon}) - Q\right) \quad (38)$$

La résolution du problème permet de déterminer le design optimal que doit adopter une couverture assurantielle et financière contre les risques naturels.

3.3 Le design des contrats d'assurance participatifs variables

La Proposition 5 définit le design optimal des contrats d'assurance participatifs et non participatifs, ces derniers faisant appel au marché financier. Le résultat présenté ci-après provient de l'optimisation de l'équation (38). Il dérive également la condition nécessaire à l'existence des contrats participatifs.

Proposition 5 : Les indemnités optimales des contrats participatifs et non participatifs, notées I^* et J^* , solutions du problème (38), prennent les formes suivantes :

(i) Si $(1+\theta_1)E(I(\tilde{x},\tilde{\varepsilon})) < (1+\theta_2)E(J(\tilde{x},\tilde{\varepsilon}))$, alors il existe deux franchises $D_1 \geq 0$ et $D_2 \geq 0$ telles que : $J^*(x,z,b) \equiv J^*(x,\varepsilon) = \text{Max}(P(\varepsilon) - D_2; 0)$ et $I^*(x,\varepsilon) = \text{Max}(l(x,\varepsilon) - D_1; 0)$.

(ii) Si $(1+\theta_1)E(I(\tilde{x},\tilde{\varepsilon})) > (1+\theta_2)E(J(\tilde{x},\tilde{\varepsilon}))$, alors il existe une franchise $D_3 \geq 0$ telle que : $J^*(z,b,\varepsilon) \equiv J^*(x,\varepsilon) = \text{Max}(l(x,\varepsilon) - D_3; 0)$ et $I^*(x,\varepsilon) = 0$.

La démonstration est donnée dans l'Annexe 1.3. Nous devons tout d'abord noter que le contrat non participatif est systématiquement utilisé pour couvrir le risque systématique. Dès lors, le principal problème porte sur l'existence du contrat participatif pour assurer le risque individuel. Cette question se résout en comparant les prix des deux contrats.

Si le prix du contrat participatif est inférieur au prix du contrat non participatif, alors ce contrat peut légitimement exister, comme l'indique le point (i). Dans ce cas, les coûts administratifs et la prime de risque du contrat non participatif sont supérieurs à ceux attachés au contrat participatif. De plus, le prix du contrat non participatif dépend étroitement de la capacité de l'assureur à partager son risque systématique, ce qui justifie le point (i). Cette redistribution s'obtient auprès des marchés financiers, en introduisant néanmoins un risque de base. Par définition, le risque systématique ne peut se diversifier et il est par conséquent facturé à l'assuré à travers une prime plus élevée. Aussi, en suivant Arrow (1974) et Raviv (1979), la logique consiste à acheter un contrat participatif pour couvrir ce risque individuel, moyennant une franchise D_1 . Cette stratégie permet également de « filtrer » le risque systématique qui est alors couvert au moyen d'un contrat non participatif, moyennant une franchise D_2 . Il faut également remarquer que l'indemnité du contrat non participatif dépend de la prime du contrat participatif, lien sur lequel nous reviendrons.

En pratique, les assureurs préfèrent anticiper la survenance d'une catastrophe et ils augmentent artificiellement la prime du contrat participatif pour éviter les contraintes éventuelles liées à la perception d'une surprime *ex-post* (risque de défaillance de l'assuré, *etc.*). S'il ne survient aucune catastrophe, alors un dividende est distribué. Un tel mécanisme renchérit bien évidemment *ex-ante* le coût de souscription d'un contrat participatif, ce qui conduit au point (ii) : ce type de contrat n'est alors pas souscrit et l'assurance se limite, comme dans la majorité des cas, à un contrat non participatif. Ce cas est standard dans la littérature (Raviv, 1979). L'assuré est alors couvert au moyen d'un seul contrat, moyennant une franchise D_3 .

Par la suite et pour démontrer l'intérêt de notre modélisation, nous supposons que le contrat participatif existe. Dans ce cadre, la Proposition 6 caractérise le niveau optimal de la franchise.

Proposition 6 : Supposons à présent que le contrat participatif existe, i.e. $(1 + \theta_1)EI(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) < (1 + \theta_2)EJ(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon})$:

- (i) La franchise optimale D_1 du contrat participatif est égale à zéro si la prime est actuariellement neutre, i.e. $\theta_1 = 0$, alors qu'elle est positive dans le cas contraire, i.e. $\theta_1 > 0$.
- (ii) La franchise optimale D_2 du contrat non participatif est égale à zéro si la prime est actuariellement neutre, i.e. $\theta_2 = 0$, alors qu'elle est positive dans le cas contraire, i.e. $\theta_2 > 0$.

La démonstration est donnée dans l'Annexe 1.4. Ce résultat est conforme à la littérature usuelle en assurance : si les primes sont actuariellement neutres, alors la franchise et le taux de chargement sont nuls, tandis que dans le cas contraire, ces deux valeurs sont strictement positives. Nous pouvons également interpréter l'égalité $\theta_2 = 0$ (le risque systématique a un prix nul) comme le fait que l'assureur serait neutre vis-à-vis du risque systématique, ce qui est une hypothèse peu réaliste en pratique.

Enfin, les Propositions 5 et 6 caractérisent la stratégie optimale d'assurance en présence de contrats participatifs et non participatifs.

Dès lors, il apparaît que les contrats participatifs et non participatifs peuvent être combinés pour construire un contrat appelé « assurance participative variable » car il est partiellement participatif, contrairement aux polices habituellement commercialisées.

Cette police originale est définie par :

- Son indemnité : $A(x(z), \varepsilon) = I(x, \varepsilon) + J(z, b, \varepsilon)$ (39)

- Sa prime : $B(x) = P(x) + Q$ (40)

Ce résultat diffère de Mahul (2002) car l'indemnité du contrat non participatif dépend d'un index financier à la place d'un risque systématique pur. En insérant les valeurs optimales de I, J, P et Q dans (39) et (40), nous obtenons :

$$A(x, \varepsilon) = \text{Max}[I(x, \varepsilon) - D_1; 0] + \text{Max}[P(\tilde{x}) - D_2; 0] \quad (41)$$

$$B(x) = (1 + \theta_1) E(\text{Max}[I(x, \tilde{\varepsilon}) - D_1; 0]) + (1 + \theta_2) E(\text{Max}[P(\tilde{x}) - D_2; 0]) \quad (42)$$

L'indice financier n'apparaît pas à première vue dans les expressions précédentes car nous ne spécifions pas la forme de x . La stratégie optimale de couverture avec un contrat participatif variable permet de comprendre l'intérêt d'introduire des contrats financiers dans l'analyse.

3.4 La stratégie optimale de couverture

L'objectif est à présent d'examiner la stratégie optimale de couverture en utilisant tout d'abord un contrat participatif, ensuite un contrat non participatif (financier) et enfin la combinaison des deux types de contrats. L'ordre est donné par l'interprétation des résultats de la Proposition 5.

3.4.1 Le contrat participatif

Dans cette section, nous considérons toujours des primes qui ne sont pas actuariellement neutres et par conséquent $\theta_1 > 0$.

Nous sélectionnons tout d'abord la forme additive de la fonction de pertes, *i.e.* $l = l(x, \varepsilon) = x + \varepsilon$, et les équations (41) et (42) qui se réfèrent au contrat participatif deviennent :

$$I^*(x, \varepsilon) = x + \varepsilon - D_1 \quad (43)$$

$$P(x) = (1 + \theta_1)(E(\tilde{\varepsilon}) + x - D_1) \quad (44)$$

La perte finale de l'assuré est alors égale à sa perte de rendement plus la différence entre la prime et l'indemnité du contrat participatif :

$$\begin{aligned} Perte_{cp}^+ &= l(x, \varepsilon) + P(x) - I(x, \varepsilon) = x + \varepsilon + P(x) - \text{Max}[0; x + \varepsilon - D_1] \\ &= \begin{cases} x + \varepsilon + P(x) & \text{si } \varepsilon \leq D_1 - x \\ D_1 + P(x) & \text{si } \varepsilon \geq D_1 - x \end{cases} \end{aligned} \quad (45)$$

De façon similaire, nous considérons à présent la forme multiplicative de la fonction de pertes, *i.e.* $l = l(x, \varepsilon) = \varepsilon(1 + x)$, et les équations (41) et (42) deviennent :

$$I^*(x, \varepsilon) = \varepsilon(1 + x) - D_1 \quad (46)$$

$$P(x) = (1 + \theta_1)(E(\tilde{\varepsilon})(1 + x) - D_1) \quad (47)$$

La perte finale de l'assuré est toujours définie comme la perte de rendement plus la différence entre la prime et l'indemnité du contrat participatif :

$$\begin{aligned}
 Perte_{cp}^{\times} &= l(x, \varepsilon) + P(x) - I(x, \varepsilon) = \varepsilon(1+x) + P(x) - \text{Max}[x(1+\varepsilon) - D_1; 0] \\
 &= (1+x) \left(\varepsilon - \text{Max}[\varepsilon - D_1 / (1+x); 0] \right) + P(x) \\
 &= \begin{cases} \varepsilon(1+x) + P(x) & \text{si } \varepsilon \leq D_1 / (1+x) \\ D_1 + P(x) & \text{si } \varepsilon \geq D_1 / (1+x) \end{cases}
 \end{aligned} \tag{48}$$

En souscrivant un contrat participatif, la perte de l'assuré dépend toujours de la composante systématique x qui n'est pas assurée. De plus, pour de larges dommages individuels, *i.e.* $\varepsilon \geq D_1 - x$ pour une fonction additive de pertes et $\varepsilon \geq D_1 / (1+x)$ pour une fonction multiplicative de pertes, nous observons que le préjudice de l'assuré ne dépend que de x .

La Proposition 7 donne l'expression des pertes résultant de la souscription d'un contrat participatif :

*Proposition 7 : En utilisant l'expression optimale de $P(\varepsilon)$ sous l'hypothèse que le contrat n'est pas actuariellement neutre, *i.e.* $\theta_1 > 0$ et par conséquent $D_1 > 0$ (Proposition 6-i), il vient :*

(i) $Perte_{cp}^+ = E(\tilde{\varepsilon}) + x + \theta_1 (E(\tilde{\varepsilon}) + x - D_1)$

(ii) $Perte_{cp}^{\times} = E(\tilde{\varepsilon})(1+x) + \theta_1 (E(\tilde{\varepsilon})(1+x) - D_1)$

La démonstration est donnée dans l'Annexe 1.5. Si la tarification du contrat avait été actuariellement neutre, l'assuré aurait totalement couvert son risque individuel alors que son risque systématique n'aurait pas été assuré. Cependant, l'existence de θ_1 renchérit proportionnellement les pertes de l'assuré, ce qui en fait une source majeure d'inefficacité dont les conséquences sont cumulatives en combinant différents contrats.

Si les primes sont actuariellement neutres, alors la Proposition 7 peut être réécrite comme suit :

Corollaire 7 : En utilisant l'expression optimale de $P(x)$ sous l'hypothèse que le contrat est actuariellement neutre, i.e. $\theta_1=0$ et par conséquent $D_1 = 0$ (Proposition 6-i), il vient :

(i) $Perte_{CP}^+ = E(\tilde{\varepsilon}) + x$

(ii) $Perte_{CP}^x = E(\tilde{\varepsilon})(1+x)$

La démonstration est immédiate. Dans ce cas particulier, nous percevons clairement que la couverture participative est utilisée pour couvrir le seul risque individuel. Nous examinons à présent la stratégie optimale de couverture contre le risque systématique en utilisant un contrat financier non participatif.

3.4.2 Le contrat financier non participatif

Dans cette section, nous remplaçons le contrat non participatif usuel par un contrat financier. Ensuite, nous déterminons dans la Proposition 8 le mode de réplcation de ce contrat. Nous prenons toujours en compte dans l'analyse les taux de chargement et les franchises.

Proposition 8 :

(i) *Pour une fonction additive de pertes, le contrat non participatif optimal peut être répliqué en achetant $(1+\theta_1)$ options d'achat à un prix d'exercice égal à :*

$$E(\tilde{\varepsilon}) - \frac{D_1(1+\theta_1) + D_2}{1+\theta_1}, \text{ soumis à un risque de base } \tilde{b}.$$

(ii) *Pour une fonction multiplicative de pertes, le contrat non participatif optimal peut être répliqué en achetant $(1+\theta_1)E(\tilde{\varepsilon})$ options d'achats à un prix*

d'exercice égal à : $1 - \frac{D_1(1+\theta_1) + D_2}{(1+\theta_1)E(\tilde{\varepsilon})}, \text{ soumis à un risque de base } \tilde{b}.$

La démonstration est donnée dans l'Annexe 1.6. Ce résultat est une généralisation de Mahul (2001) qui considère des primes actuariellement neutres.

Par la définition de z dans (31) et de $K^*(z)$ dans (44), la stratégie optimale de réplcation d'un contrat financier non participatif est donnée par :

$$(i) \quad K^+(z) = (1 + \theta_1) \text{Max} \left[z + E(\tilde{\varepsilon}) - \frac{D_1(1 + \theta_1) + D_2}{1 + \theta_1} + b ; 0 \right]$$

pour une fonction additive de pertes.

$$(ii) \quad K^\times(z) = (1 + \theta_1) E(\tilde{\varepsilon}) \text{Max} \left[z + 1 - \frac{D_1(1 + \theta_1) + D_2}{(1 + \theta_1) E(\tilde{\varepsilon})} + b ; 0 \right]$$

pour une fonction multiplicative de pertes.

La présence d'un ratio de couverture $E(\tilde{\varepsilon})$ dans la seconde formule (*i.e.* pour une fonction multiplicative de pertes) indique que l'assuré n'est pas capable de répliquer par lui-même le contrat financier : une intermédiation de la compagnie d'assurance est par conséquent indispensable pour construire le contrat participatif variable. Ce résultat provient du fait que le ratio de couverture optimal devrait être égal à la variable aléatoire $\tilde{\varepsilon}$. Bien évidemment, cette variable n'est pas indexée sur les marchés financiers. Dès lors, le rôle de la compagnie d'assurance est d'éliminer ce risque individuel par la mutualisation des contrats de son portefeuille et de sélectionner un ratio de couverture égal à l'espérance des différents risques individuels qu'elle détient.

La Proposition 9 donne l'expression des pertes résultant de la souscription d'un contrat financier :

Proposition 9 : En utilisant les propriétés de z données par l'équation (32), la perte résultant de la souscription d'un contrat financier non participatif peut être couverte de façon optimale par les stratégies suivantes :

- (i) *La vente de $(1 + \theta_1)$ contrats à terme non biaisés indexés sur z mais soumis à un risque de base \tilde{b} , dans le cas d'une fonction additive de pertes.*
- (ii) *La vente de $(1 + \theta_1)E(\tilde{\varepsilon})$ contrats à terme non biaisés indexés sur z mais soumis à un risque de base \tilde{b} , dans le cas d'une fonction multiplicative de pertes.*

La démonstration est détaillée dans l'Annexe 1.7. Ce résultat est une extension de Mahul (2002) qui suppose des primes actuariellement neutres.

La perte après la souscription du contrat financier est égale à :

(i) $Perte_{CNP}^+ = Q - K^*(z) = (1 + \theta_1) \{ [E(\tilde{z}) - z - b] + \theta_2 E[K^+(z)] \}$
pour une fonction additive de pertes.

(ii) $Perte_{CNP}^\times = Q - K^*(z) = (1 + \theta_1) E(\tilde{\varepsilon}) \{ [E(\tilde{z}) - z - b] + \theta_2 E[K^\times(z)] \}$
pour une fonction multiplicative de pertes.

Dans chaque cas, les pertes sont augmentées du produit du taux de chargement θ_2 par l'indemnité $K(z)$ du contrat financier. Cette expression correspond en fait à un défaut d'indemnisation associé à la prime additionnelle du contrat non participatif. De plus, l'existence du coefficient θ_1 accroît de façon proportionnelle la perte totale. Aussi, la combinaison de deux contrats qui ne sont pas actuariellement neutres génère de multiples coûts additionnels pour l'assuré, ce qui peut justifier un éventuel comportement de défiance vis-à-vis de l'assurance.

Le Corollaire 9 examine le cas usuel dans lequel la prime du contrat financier est supposée actuariellement neutre. Cette simplification permet de percevoir plus clairement certaines implications de notre modèle.

Corollaire 9 : Sous l'hypothèse que les contrats sont actuariellement neutres, i.e. $D_1 = D_2 = 0$ et $\theta_1 = \theta_2 = 0$, la perte après la souscription d'un contrat financier peut être couverte de façon optimale par les stratégies suivantes :

- (i) La vente d'un contrat à terme non biaisé indexé sur z mais soumis à un risque de base \tilde{b} , dans le cas d'une fonction additive de pertes.
- (ii) La vente de $E(\tilde{\varepsilon})$ contrats à terme non biaisés indexés sur z mais soumis à un risque de base \tilde{b} , dans le cas d'une fonction multiplicative de pertes.

La démonstration est instantanée. Nous retrouvons alors un résultat ordinaire dans la littérature (Mahul, 2002), i.e. une couverture non biaisée avec des contrats à terme, seulement soumis à un risque de base :

(i)
$$Perte_{CNP}^+ = Q - K^*(z) = [E(\tilde{z}) - z - b]$$

pour une fonction additive de pertes.

(ii)
$$Perte_{CNP}^x = Q - K^*(z) = E(\tilde{\varepsilon}) [E(\tilde{z}) - z - b]$$

pour une fonction multiplicative de pertes.

En d'autres termes, l'efficacité de la couverture dépend de la corrélation entre $E(\tilde{z})$ et x . De plus, le risque de base est proportionnel à l'espérance du risque individuel pour une fonction multiplicative de pertes.

Les contrats non participatifs et financiers couvrent séparément les deux composantes du risque. Il convient à présent d'identifier la forme optimale de la police d'assurance qui combine ces deux contrats et concourt ainsi à la couverture de la globalité du risque.

3.4.3 Le contrat participatif variable

Tel qu'il a été défini précédemment, le contrat participatif variable résulte de la combinaison d'un contrat participatif et d'un contrat non participatif. La force d'une telle stratégie est d'obtenir une couverture plus efficace de la totalité du risque. Nous le démontrons grâce à la Proposition 10 et à son Corollaire.

Proposition 10 : En se référant aux propriétés de z données par l'équation (32), la perte totale après la souscription d'un contrat participatif variable est égale à :

$$(i) \quad Perte_{CP+CNP}^+ = (1 + \theta_1) \left[E(\tilde{\varepsilon}) + E(\tilde{z}) + \theta_2 E(K^+(z)) - \frac{\theta_1}{1 + \theta_1} D_1 \right]$$

pour une fonction additive de pertes.

$$(ii) \quad Perte_{CP+CNP}^\times = (1 + \theta_1) E(\tilde{\varepsilon}) \left[1 + E(\tilde{z}) + \theta_2 E(K^\times(z)) - \frac{\theta_1}{(1 + \theta_1)} \frac{D_1}{E(\tilde{\varepsilon})} \right]$$

pour une fonction multiplicative de pertes.

La démonstration est donnée dans l'Annexe 1.8. Ce résultat présente les deux atouts majeurs du contrat participatif variable. Premièrement, ce contrat neutralise le risque de base introduit avec les produits financiers. Deuxièmement, les deux risques individuels et systématiques sont couverts et remplacés par leur espérance. Néanmoins, les coûts de transaction subsistent.

En supposant un marché parfait, le Corollaire 10 propose une couverture optimale.

Corollaire 10 : Si nous supposons que le contrat financier est actuariellement neutre, i.e. $D_1 = D_2 = 0$ et $\theta_1 = \theta_2 = 0$, alors la perte totale après la souscription d'un contrat participatif variable est égale à :

$$(i) \quad Perte_{CP+CNP}^+ = E(\tilde{\varepsilon}) + E(\tilde{z}), \text{ pour une fonction additive de pertes.}$$

$$(ii) \quad Perte_{CP+CNP}^\times = E(\tilde{\varepsilon}) [1 + E(\tilde{z})], \text{ pour une fonction multiplicative de pertes.}$$

La démonstration est immédiate. En se référant à des hypothèses régulièrement adoptées dans la littérature, la combinaison des contrats participatifs et financiers génère une couverture parfaite sans biais. Nous notons en particulier qu'aucun terme de covariance n'est associé à la fonction multiplicative de pertes. Cela constitue un nouvel argument en faveur de la souscription de contrats participatifs et financiers par des assurés à risque. Souscrits séparément, ces contrats ne sont pas conçus pour couvrir l'intégralité du risque. Aussi, la Proposition 10 affirme l'intérêt théorique de l'utilisation de contrats participatifs en complément des contrats non participatifs indexés sur des indices financiers.

En supposant des primes actuariellement neutres, nous retrouvons un résultat usuel :

$$(i) \quad l^+ (x, \varepsilon) = x + \varepsilon + b \rightarrow E(\tilde{x}) + E(\tilde{z})$$

$$(ii) \quad l^\times (x, \varepsilon) = \varepsilon(1+x) = \varepsilon(1+z+b) \rightarrow E(\tilde{\varepsilon})(1+E(\tilde{z}))$$

Lorsque les contrats ne prévoient ni taux de chargement, ni franchise, le risque individuel est parfaitement couvert grâce à un contrat participatif et le risque systématique est parfaitement couvert sur les marchés financiers.

Dès lors, l'ensemble des résultats précédents peut être appliqué à tous types d'assurance dont l'assurance récolte puisque son objectif est de fournir une couverture intégrée du risque. La section suivante examine les conclusions que nous retirons des résultats de notre modélisation théorique.

3.5 La portée du modèle de couverture

L'introduction de contrats d'assurance récolte pour la gestion des catastrophes naturelles en agriculture se généralise à l'ensemble des pays développés. Face à des contrats traditionnels dont la prime est fixée *ex-ante*, les contrats participatifs variables semblent offrir une alternative pour promouvoir les produits assurantiels dans le secteur agricole. Confronté à un risque sur sa production, un agriculteur qui a varié ses productions est, en théorie, doublement avantageé face à un risque de catastrophes naturelles : non seulement, il est « naturellement » diversifié mais en plus sa couverture assurantielle doit s'avérer plus efficace.

Supposons qu'il puisse souscrire des contrats participatifs et financiers¹⁸. Comme démontré dans la Proposition 5, il choisit d'abord un contrat participatif pour couvrir son risque individuel. Il sélectionne ensuite un contrat non participatif pour se protéger du risque systématique. Nous pouvons également présumer qu'il existe un indice fondé sur le rendement moyen des récoltes¹⁹ que nous notons z et qui est étroitement corrélé avec le risque systématique tel qu'il est défini par l'équation (31). Par exemple, cet indice peut être fondé sur des degrés jours unifiés cumulés pour couvrir une perte de rendement après la récolte ou encore des précipitations mensuelles pour couvrir le risque de sécheresse ou d'inondation. En contrepartie, il est exposé à un risque de base \tilde{b} issu de la corrélation imparfaite entre l'indice utilisé et la réalité des pertes. Ce risque persiste si le contrat systématique est le seul à être souscrit (Proposition 9).

La Proposition 6 nous conduit à remarquer que les coûts de transaction et les primes de risque impliquent l'existence de franchises. De plus, d'après la Proposition 10, la combinaison des contrats génère un effet multiplicatif des taux de chargement sur la perte finale, ce qui réduit singulièrement l'efficacité de la couverture complète. Cette faiblesse peut également être interprétée comme une justification de l'intervention gouvernementale au sein des régimes d'assurance récolte. Dans la plupart des pays développés, les gouvernements encouragent le déploiement d'une assurance multi-périls qui est en réalité dédiée à la couverture du risque systématique. En subventionnant des contrats d'assurance participatifs variables intégrés, le marché peut devenir plus attractif pour chaque type d'agriculteurs, risqués ou non. Un des objectifs à rechercher est naturellement de tendre au maximum vers le Corollaire 10, *i.e.* une couverture parfaite (car non biaisée), par un système adapté de subventions.

La Proposition 8 a démontré que la combinaison optimale des contrats participatifs et financiers suppose une intermédiation de l'assureur. Ce rôle privilégié est également un encouragement pour ce dernier à proposer des contrats d'assurance récolte fondés sur des produits financiers. En transférant le risque systématique aux marchés financiers, les assureurs contribuent ainsi à résoudre les problèmes de réassurance. Si l'offre se développe dans ce sens, alors les agriculteurs sont également encouragés à couvrir leurs pertes potentielles.

¹⁸ Nous supposons que les deux types de contrats existent (*cf.* Proposition 5).

¹⁹ C'est typiquement le cas du système d'assurance états-unien dans lequel les agriculteurs peuvent souscrire différents contrats correspondant à leur "portefeuille" de cultures.

D'un point de vue général, des contrats intégrés et complets présentent des avantages pour tous les acteurs du marché de l'assurance :

- Les assurés peuvent profiter de la combinaison de deux contrats qui assurent à la fois leur risque individuel, grâce à des contrats participatifs, et leur risque systématique, par l'emploi de produits financiers indexés sur le climat.
- Les assureurs minimisent également leurs pertes potentielles en partageant le risque individuel avec les assurés, au moyen d'une prime variable, et en transférant le risque systématique sur les marchés financiers. Leur rôle d'intermédiaire pour l'assurance des risques climatiques agricoles est également renforcé dans la mesure où la combinaison optimale des deux types de contrats doit être internalisée.
- Les Etats restreignent leur intervention à la subvention des primes des deux contrats. De plus, leur action peut favoriser l'expansion d'un marché qui s'avère d'autant plus efficient que les acteurs sont nombreux.

Appliqué à notre étude sur la gestion des risques d'inondation à l'échelle des bassins versants, le contrat participatif variable présente un intérêt certain à la fois pour les assurés, les assureurs et l'établissement local de gestion du bassin. Dans ce cadre, les exploitations affectées bénéficient d'un contrat qui couvre complètement leur risque, cette condition étant systématiquement réclamée sur le terrain comme préalable aux discussions. Par comparaison avec la situation actuelle, les assureurs sont davantage motivés par un mécanisme qui réduit leurs pertes potentielles. Enfin, les autorités locales limitent également leur intervention à la subvention des primes d'assurance, un rôle plus simple à assumer que celui de gestionnaire de fonds. Par ailleurs, leur intervention financière peut contribuer à offrir un niveau plus juste des primes.

Dès lors, les perspectives sont prometteuses dans la mesure où les systèmes d'assurance existants sont réformés, le plus souvent au profit d'une couverture des risques par des compagnies privées. L'introduction de contrats d'assurance complets apparaît comme un moyen crédible d'accroître le nombre d'assurés et de stimuler un marché en croissance continue.

L'ensemble de ces résultats théoriques offre l'occasion d'explicitier au chapitre suivant des hypothèses expérimentales qui portent à la fois sur l'offre et la demande en assurance. Celles-ci sont testées dans la dernière partie de la thèse.

4. HYPOTHESES EXPERIMENTALES

Le développement de notre modèle théorique a permis de mettre en évidence l'intérêt de couvrir l'intégralité d'un portefeuille de cultures plutôt que des cultures considérées séparément. En effet, une catastrophe naturelle affecte toutes les récoltes mais le degré des dommages varie à la fois en fonction de chaque plantation et des actions individuelles de l'exploitant, ce qui permet une mutualisation des risques interne à chaque exploitation agricole. De plus, la distinction entre risque individuel et risque systématique permet un meilleur ajustement de la couverture. Cette dernière peut alors être réalisée grâce à une combinaison d'instruments assurantiels et financiers.

Ces résultats soulèvent plusieurs interrogations qu'il convient de tester afin de vérifier la portée pratique de ces avancées théoriques. Grâce à un accès aux données du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA), nous sommes en mesure de procéder à des tests d'hypothèses qui portent à la fois sur la demande en assurance agricole et sur l'efficacité des moyens de couverture d'un portefeuille de cultures par le Multi-LAM.

4.1 Hypothèses sur la demande en assurance agricole

L'analyse de la demande apparaît déterminante pour définir une couverture assurantielle. En effet, la connaissance du marché permet de vérifier la pertinence de produits dédiés à l'assurance agricole. Il faut notamment s'attacher à considérer les caractéristiques des exploitants et des exploitations, les phénomènes extérieurs, ainsi que la performance de la couverture. En nous appuyant sur la littérature et les résultats théoriques, nous pouvons formuler les hypothèses qui suivent.

H₁ : Les variations anormales du climat induisent une demande accrue en assurance.

Par nature, les variables météorologiques sont probablement le premier critère qui incite à souscrire une assurance sur les récoltes (*cf.* l'état des lieux de l'assurance au chapitre 2 et l'étude théorique de la demande au chapitre 4 de la Partie I). De plus, l'enquête réalisée auprès des assureurs dans le cadre des PAPI (partie II, chapitre 4) indique que ce sont les variations anormales du climat plus que les valeurs absolues des différentes

mesures qu'il convient de considérer. Plusieurs critères doivent être examinés afin de prendre en compte la diversité des périls climatiques (*e.g.* température, pluie, *etc.*) qui affectent les exploitations. Nous conjecturons que, quelle que soit la catastrophe étudiée, nous devrions toujours assister à une recrudescence de la souscription des contrats d'assurance.

H₂: La souscription d'une assurance récolte augmente avec la taille et la performance des exploitations agricoles.

Les exploitations caractérisées par une grande taille ou une performance appréciable sont par nature davantage exposées à la survenance de risques naturels si l'on en croit les modèles de vulnérabilité exposés au chapitre 2 de la partie I. C'est particulièrement véridique d'un point de vue physique car une catastrophe naturelle affecte généralement une grande part des parcelles d'une exploitation. De même, les productions à forte valeur ajoutée sont souvent localisées dans des zones à risque, très sensibles au climat, ce qui incite potentiellement à la souscription de polices de couverture (*e.g.* notre enquête de terrain indique par exemple que les cultures maraîchères se concentrent au bord des rivières et qu'elles sont très affectées par la sécheresse et les inondations).

En revanche, cette hypothèse peut être nuancée car une plus grande taille offre également un moyen de diversification des cultures ou de préservation vis-à-vis de certains risques : nous remarquons par exemple que les exploitations implantées dans des vallées ne sont jamais localisées intégralement en zone inondable. D'un point de vue financier, les exploitations de grande taille et performantes peuvent davantage trouver les ressources pour rétablir leur activité après une catastrophe comme en attestent les caractéristiques des acteurs présents sur le marché de la couverture des risques naturels et les produits proposés (partie I, chapitre 4).

H₃ : Les agriculteurs restent fidèles à leur assurance.

Cette hypothèse conjecture que les agriculteurs assurés renouvellent leurs polices car le régime d'assurance privé s'avère en théorie plus efficace que le fonds public des calamités agricoles. Les avantages d'une assurance contre les catastrophes naturelles sont exposés au chapitre 3 de la partie I : d'une part, les indemnisations sont davantage ajustées et plus rapides ; d'autre part, la politique commerciale des assureurs doit inciter à cette marque de confiance si nous considérons notamment les caractéristiques du marché français (duopole asymétrique).

Pour compléter ces postulats sur la demande, nous formulons des hypothèses en rapport avec l'autre côté du marché, *i.e.* l'offre de contrats d'assurance contre les catastrophes naturelles.

4.2 Hypothèses sur les contrats d'assurance agricole

Le test d'hypothèses se référant à la demande en assurance doit être considéré comme un moyen de légitimer la démarche consistant à proposer une couverture intégrée des cultures de chaque exploitation agricole. Nous devons nous attacher à montrer d'un point de vue empirique que la modélisation Multi-LAM est plus performante que d'autres méthodes de généralisation fondées sur les mêmes procédés, *ceteris paribus*. Cela revient à demander la vérification des hypothèses suivantes.

H₄ : Le Multi-LAM et le LAM additif sont plus performants que le LAM calculé sur l'ensemble de l'exploitation.

Nous présumons qu'une couverture sur l'intégralité des cultures doit utiliser un nombre d'instruments (ou d'indices) au moins égal au nombre de cultures couvertes pour un maximum d'efficacité dans l'ajustement de la couverture (*cf.* le tableau 8 du chapitre 2 de la partie III et son commentaire). Le Multi-LAM (coefficients estimés simultanément pour chaque culture) et le LAM additif (coefficients estimés séparément pour chaque culture) doivent donc présenter une performance meilleure qu'un LAM calculé sur l'ensemble de l'exploitation. Ce dernier critère est mesuré par la proportion du risque de base dans le risque total après l'estimation des différents modèles. L'analogie avec le passage du CAPM à l'APT en finance est dans ce cas très instructive (*cf.* le tableau 9 du chapitre 2 de la partie III).

H₅ : Le Multi-LAM réduit sensiblement la variance du risque individuel par rapport aux méthodes alternatives.

Pour affiner l'hypothèse précédente, nous pouvons supposer que le Multi-LAM offre un meilleur ajustement car ses paramètres sont optimisés au moyen de l'estimation d'une seule équation sur l'ensemble de l'exploitation. Dès lors, le Multi-LAM est censé apporter une meilleure réduction du risque individuel par rapport à ses alternatives grâce à l'utilisation d'indices de rendements régionaux pour chaque culture. Réduit, le risque propre à l'exploitant agricole doit être moins volatil grâce à cette méthode (*cf.* notamment les implications de la Proposition 1 du chapitre 2 de la partie III).

L'ensemble des hypothèses que nous proposons de tester est récapitulé dans le Tableau 11.

Hypothèses	Énoncé
H ₁	Les variations anormales du climat induisent une demande accrue en assurance.
H ₂	La souscription d'une assurance récolte augmente avec la taille et la performance des exploitations agricoles.
H ₃	Les agriculteurs restent fidèles à leur assurance.
H ₄	Le Multi-LAM et le LAM additif sont plus performants que le LAM calculé sur l'ensemble de l'exploitation.
H ₅	Le Multi-LAM réduit sensiblement la variance du risque individuel par rapport aux méthodes alternatives.

Tableau 11. Résumé des principales hypothèses

Dès lors, l'objectif de la Partie IV est de présenter les principaux résultats empiriques de la modélisation théorique que nous venons de développer, en veillant à vérifier la validité des énoncés précédents.

Partie IV



Tests et résultats sur la demande en assurance et le Multi-LAM

Cette partie est adaptée de deux articles intitulés “*The main determinants of insurance purchase: An empirical study on crop insurance policies in France*” et “*Aggregation in Area-Yield Insurance: The Multi-Linear Additive Model*”, écrits en collaboration avec Robert Kast et Patrick Sentis.

1. INTRODUCTION

L'objectif de cette partie est de tester les aspects essentiels que nous avons présentés dans le modèle théorique. Nous avons vu précédemment qu'il existe un moyen d'étendre l'assurabilité des catastrophes naturelles en mêlant produits assurantiels et financiers. Ces avancées théoriques posent principalement deux questions sur le plan pratique :

- La première interrogation s'adresse à l'existence d'une demande pour ce type de produits. Par extension, il importe de connaître les déterminants qui influent en faveur de la souscription d'une assurance. Un corollaire direct est de déterminer les avantages mesurables que procure une assurance contre les catastrophes par rapport à une situation sans couverture spécifique.
- Le second questionnement renvoie à l'efficacité des produits intégrés que nous avons introduits précédemment. Le fait de considérer la totalité d'un portefeuille de cultures d'une exploitation couplé à des indices régionaux permet-il de réduire significativement le risque systématique d'une exploitation ? Quelles en sont les conséquences sur l'assurabilité des risques naturels ?

Pour apporter des réponses, nous avons défini dans le chapitre précédent une série d'hypothèses sur la demande et l'offre d'assurance. Ces postulats sont testés et validés à l'échelle française dans le cadre de la réforme de l'assurance récolte. L'introduction de contrats d'assurance indexés notamment sur le rendement individuel des agriculteurs (ou par défaut sur le rendement départemental) en lieu et place du Fonds National de Garantie des Calamités Agricoles (FNGCA) ouvre un nouveau marché. De plus, au cours des années précédentes, plusieurs événements naturels ont affecté l'agriculture française. Le plus important a été la sécheresse de 2003 qui a occasionné des pertes de rendement notables à l'échelle du pays.

Notre analyse utilise les données françaises du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA). Mis en place dès 1965, le RICA est une enquête annuelle effectuée par les États membres de l'Union européenne. En France, l'INSEE et le Ministère de l'Agriculture supervisent la collecte de données comptables à partir d'un échantillon d'exploitations agricoles situées dans le pays. Le RICA est la seule source de données micro-économiques directement collectée auprès des exploitations agricoles et, nonobstant des disparités de collecte entre les pays, les unités de mesure sont harmonisées. Les exploitations sont sélectionnées en fonction d'un plan d'échantillonnage établi pour chaque pays. La méthodologie utilisée vise à fournir des données représentatives selon trois critères : la région, la dimension économique et l'orientation technico-économique. De plus, le RICA représente les exploitations agricoles professionnelles de l'Union, *i.e.* celles qui ont une dimension suffisante pour s'intégrer aux marchés agricoles. A partir du RICA, des données agrégées par région, par culture et par classe d'exploitations sont extraites. Ces données sont rassemblées au sein de la base AGRESTE.

Nous proposons en conséquence une analyse avec un ensemble très complet de variables de différents types pour une grande précision : variables individuelles liées à l'exploitant agricole, variables agricoles liées à la structure de l'exploitation, variables financières liées à la santé et à la performance de l'exploitation et variables météorologiques pour capturer les événements climatiques extrêmes.

Nous nous concentrons successivement sur la détermination des points suivants. Dans un premier chapitre, nous étudions les caractéristiques des exploitations assurées en mêlant statistiques descriptives et tests de comparaison d'échantillons (Mann-Whitney). Le deuxième chapitre se focalise sur l'évolution au fil du temps de la situation des exploitations assurées, par rapport aux non assurées, grâce à des tests de comparaison d'échantillons (Mann-Whitney). Le troisième chapitre est consacré aux principaux déterminants de l'assurance agricole qui sont établis par un ensemble de régressions logistiques. Une fois les caractéristiques de la demande étudiées, nous procédons à un test de performance empirique de la méthode du Multi-LAM grâce à des régressions linéaires *bootstrappées* et à des tests de comparaison d'échantillons (Mann-Whitney). Le cinquième chapitre établit une synthèse des résultats en les rapportant à nos hypothèses de départ.

2. LES CARACTERISTIQUES DES EXPLOITATIONS AGRICOLES SOUSCRIVANT DES CONTRATS D'ASSURANCE RECOLTE

Dans ce chapitre, nous recherchons les différences fondamentales entre les exploitations, selon qu'elles sont assurées ou non. Dans un premier temps, nous détaillons l'ensemble des données à notre disposition. Dans un deuxième temps, nous présentons des statistiques descriptives associées à ces données en considérant la population totale de notre échantillon ainsi que les deux sous-groupes des assurés et des non assurés. Dans un troisième temps, nous proposons une analyse transversale associée à des tests de comparaison de sous-groupes non appariés (Mann-Whitney) afin d'identifier les différences significatives entre assurés et non assurés.

2.1 Les données

Cette étude utilise un échantillon d'exploitations agricoles qui appartiennent au Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA). Sont retenues les entreprises mentionnées sans interruption de 2002 à 2005, essentiellement pour des raisons pratiques : en effet, avant cette date, nous ne pouvons distinguer les agriculteurs assurés des agriculteurs non assurés. Nous focalisons également l'analyse sur les seules exploitations susceptibles d'être concernées par l'assurance récolte. Au final, notre échantillon inclut 4.700 entreprises agricoles réparties sur la France entière.

La littérature consacrée à l'assurance récolte nous guide sur le choix des variables à retenir. Parmi les variables explicatives de la souscription d'une assurance récolte, nous retrouvons presque systématiquement la taille de l'exploitation, l'endettement (également connu sous le nom de levier financier) ainsi que l'âge et le niveau de formation de l'exploitant. Cependant, ces indicateurs récurrents occultent plusieurs variables dépendantes potentielles. Par exemple, aucune étude ne propose de détailler pleinement des indicateurs météorologiques alors que le rendement final des cultures dépend essentiellement du climat. Parmi ceux-ci, les précipitations sont les plus souvent citées (Blank *et al.*, 1996 ; Van Asseldonk *et al.*, 2002). De même, les indicateurs financiers autres que les dettes sont souvent écartés de l'analyse.

Dans quelques études, le chiffre d'affaires ou le revenu de l'exploitant est pris en compte (Blank *et al.*, 1996 ; Asseldonk *et al.*, 2002 ; Mishra *et al.*, 2003), de même que le niveau de subvention (Mishra *et al.*, 2003 ; Glauber, 2004). Il arrive également que les différentes options de gestion alternative des risques soient prises en considération, comme l'utilisation de produits chimiques (Serra *et al.*, 2003), l'irrigation ou la diversification des activités (Goodwin, 1993 ; Blank *et al.*, 1996 ; Serra *et al.*, 2003).

Dans les paragraphes suivants, nous détaillons les variables explicatives principales qui entrent en compte dans l'analyse. Nous étudions successivement des indicateurs liés à l'assurance en elle-même, puis les variables économiques et financières, souvent négligées dans les études antérieures. Nous poursuivons par la présentation de critères agricoles et individuels. Enfin, nous explicitons nos variables météorologiques.

2.1.1 Assurance

Notre analyse n'est évidemment possible que si nous possédons une variable de contrôle indiquant la souscription d'une assurance récolte. Cette variable est présente dans la base de données du RICA pour les années 2002 à 2005, ce qui délimite la portée temporelle de notre analyse. Pour la même période, la base de données indique également la quotité d'indemnités perçues. Le laps de temps considéré présente en outre un intérêt certain car il correspond à la mise en place du nouveau régime de l'assurance récolte en France. Ses effets sont marginaux pendant les années 2002 et 2003 parce que le système a été expérimenté à petite échelle. En revanche, dès 2004 et 2005, quasiment tous les agriculteurs qui ont souscrit des contrats d'assurance récolte contre la grêle se sont vu offrir une extension de leur garantie à d'autres risques²⁰. Cette protection additionnelle ne s'est pas immédiatement répercutée sur le niveau des primes en raison de la subvention des primes par l'Etat et de la stratégie expansive des compagnies d'assurance qui cherchaient à s'imposer très rapidement sur ce nouveau marché.

²⁰ Pour l'assureur qui domine le marché de l'assurance agricole en France avec 90 % de parts de marché, les risques garantis sont : excès de chaleur, excès de précipitations, excès d'humidité, excès de température, gel, grêle, inondations, pluies violentes, excès de neige, sécheresse, tempête et tornades et tourbillon de chaleur.

Depuis 2005, la taille du marché s'accroît chaque année avec l'extension du nombre de cultures couvertes et, d'après notre enquête auprès des assureurs, le niveau des primes n'a toujours pas varié. Ce paramètre n'en reste pas moins primordial dans le calcul économique et financier des agriculteurs qui souhaitent s'assurer.

2.1.2 Indicateurs économiques et financiers

Pour conduire notre analyse, nous considérons des indicateurs économiques et financiers reconnus et qui sont extrapolables à partir de la base de données :

- Chiffre d'affaires annuel, en euros.
- Capital investi, en euros.
- Levier financier = Endettement net / Capitaux propres.
- Disponibilités financières = Trésorerie et équivalents de trésorerie / Actif circulant.
- Coefficient de trésorerie = Argent comptant et titres négociables / Passif exigible.
- Rentabilité financière = Résultat net / Capitaux propres.
- Rentabilité économique = Excédent brut d'exploitation / Capital investi.
- Revenu par are cultivé, en euros.

Ces indicateurs, qui sont également des références reconnues en finance, devraient fournir une vue claire et objective de la santé et de la performance financières des exploitations agricoles (Carles, 1999 et 2004).

Bien que souvent négligée dans la littérature sur l'assurance récolte, la performance financière des exploitations agricoles apparaît comme un paramètre essentiel dans la décision de s'assurer (Harrington et Niehaus, 1999). Nous pouvons supposer que les grandes exploitations sont plus disposées à couvrir leurs pertes potentielles parce que leurs enjeux sont plus conséquents. Nous pouvons également conjecturer que les exploitations endettées sont davantage demandeuses de produits assurantiels.

Pour compléter cette approche, nous proposons des variables centrées sur le cœur de métier des exploitations assurées.

2.1.3 Indicateurs agricoles

Parmi les indicateurs agricoles, nous considérons en premier lieu différentes mesures de surfaces : les superficies totales, cultivées et irriguées. Nous tenons également compte du portefeuille de cultures de chaque exploitation et de sa spécialisation technico-économique (végétaux et/ou animaux). En pratique, la diversification des activités peut être considérée comme une stratégie pour stabiliser le chiffre d'affaires annuel de l'exploitation. A ce titre, elle s'assimile à un produit de remplacement des produits assurantiels (Knight et Coble, 1997).

L'irrigation est également perçue comme un moyen efficace de se prémunir contre le risque de sécheresse car elle assure un apport d'eau régulier tout en limitant le risque de moisissures (Zering, 1987). En revanche, l'agriculture biologique semble être une activité plus risquée car elle n'utilise pas de produits chimiques, lesquels sont également une sorte d'assurance contre divers parasites (Horowitz et Lichtenberg, 1993).

Les choix précédents relèvent d'une stratégie de production. Or, celle-ci dépend étroitement des caractéristiques individuelles de chaque exploitant que nous présentons au paragraphe suivant.

2.1.4 Indicateurs individuels

Nous tenons également compte dans l'analyse de différents indicateurs individuels liés à l'exploitant agricole, tels que son âge, son sexe et son niveau de formation. Nous distinguons également les producteurs individuels des producteurs associés au sein de groupements ou de coopératives. Nous pouvons penser que les agriculteurs qui ont une meilleure formation et/ou plus d'expérience sont davantage sensibilisés aux enjeux de l'assurance.

Quels que soient les indicateurs introduits précédemment, chaque agriculteur fait face à des risques exogènes qu'il convient de cerner correctement afin d'en mesurer les effets directs sur la décision de s'assurer.

2.1.5 Indicateurs géographiques et climatologiques

La base de données du RICA permet sous certaines conditions de localiser avec une bonne précision les exploitations agricoles. Dans tous les cas, elle permet de savoir si une exploitation se trouve ou non en zone défavorisée. Il est ainsi possible d'associer des indicateurs climatiques²¹ à chaque exploitation agricole. En nous référant à la littérature (Blank *et al.*, 1996 ; Van Asseldonk *et al.*, 2002) et à l'expérience des assureurs, nous avons retenu les critères annuels suivants : la température moyenne, les précipitations cumulées et le total des heures d'ensoleillement. Pour capturer des conditions climatiques dégradées, ces variables originales sont transformées en calculant, pour chaque année, la racine carrée de l'écart de chaque indicateur par rapport à sa moyenne calculée sur les dix dernières années. Enfin, nous décalons d'une année les variables obtenues car c'est le climat passé qui est supposé conditionner la décision de s'assurer. Ces indicateurs nous permettent par la suite de mesurer la sensibilité des agriculteurs aux variations excessives du climat.

Nous pouvons supposer que les exploitants agricoles sont risque-averses aux variations excessives du climat et que les plus exposés sont plus enclins à souscrire une assurance sur leurs récoltes. Néanmoins, en raison des effets de sélection adverse, les exploitants les plus risqués peuvent être exclus de l'assurance. Par ailleurs, il est fort probable qu'un événement climatique de grande ampleur, comme la sécheresse ou des précipitations excessives, puisse encourager les agriculteurs à se prémunir l'année suivante. A l'inverse, une absence d'événements catastrophiques peut inciter à ne pas s'assurer.

Grâce à cet ensemble complet de variables, nous pouvons établir une méthodologie permettant d'identifier des distinctions significatives entre les exploitations agricoles selon qu'elles assurent ou non leurs récoltes. La section suivante présente des statistiques descriptives afin de débiter l'exploration des données.

²¹ Les données proviennent des stations de l'Institut National de la Recherche Agronomique et de Météo France. Pour chaque exploitation, nous affectons des indicateurs climatiques qui tiennent compte de la localisation administrative (département) et de l'altimétrie.

2.2 Statistiques descriptives

L'objectif de cette section est d'examiner des statistiques descriptives. Puis, pour confirmer les résultats obtenus, nous utilisons le test non paramétrique de Mann-Whitney (Sentis, 1998).

Pour offrir un premier aperçu des principales différences entre exploitations assurées et exploitations non assurées, nous présentons dans le Tableau 12 ci-après quelques statistiques descriptives pour les années 2002 à 2005 confondues. Les variables sont regroupées en catégories afin de tenir compte des caractéristiques principales de chaque exploitation. La moyenne et la médiane sont des indicateurs fiables en raison du nombre significatif d'exploitations observées (4.700) pendant quatre ans dans notre échantillon et de la représentativité du RICA par rapport aux exploitations agricoles françaises.

Les résultats sont globalement convergents si nous comparons la moyenne et la médiane des deux sous-groupes : ceci est valable notamment pour les variables individuelles, agricoles et météorologiques (à l'exception de la température). Nous observons que les exploitations assurées ont une taille (financière et agricole) plus importante que les non assurées. Les exploitations assurées sont également davantage diversifiées en termes de cultures et elles sont davantage irriguées, ce qui est un signe d'aversion au risque. Par ailleurs, nous pouvons observer que les conditions atmosphériques sont davantage « extrêmes » pour les exploitations assurées.

Nous pouvons également noter quelques différences entre la moyenne et la médiane pour la température et certaines variables financières (endettement, rentabilité financière et revenu par are). Pour statuer sur les différences (ou non) de distribution de chacune de ces variables entre assurés et non assurés, des tests statistiques sont nécessaires. Ils devront également permettre de confirmer certaines tendances et d'offrir ainsi des interprétations plus précises. Nous considérons donc à présent une analyse transversale.

Variables		Moyenne			Médiane		
Catégorie	Détail	Général	Assurés	Non assurés	Général	Assurés	Non assurés
Assurance	Assuré (probabilité)	0,44	1	0	0	1	0
	Indemnités (en €)	663,57	1 214,67	228,69	0	0	0
Indicateurs individuels	Age (en années)	46,44	46,21	46,62	47	46	47
	Sexe (1=Homme)	0,93	0,94	0,93	1	1	1
Surface	Surface totale (en ares ²²)	9388	11 052	8 075	7 645	9 270	6 655
	Surface cultivée (en ares)	8807	10 388	7 559	7 160	8 616	6 166
	Surface irriguée (en ares)	601	925	346	0	0	0
Cultures	Nombre de cultures	6,60	7,19	6,14	7	7	6
Indicateurs météo. (écart)	Température moyenne	0,23	0,24	0,22	0,17	0,16	0,18
	Précipitations cumulées	19 803	21 424	18 525	10 692	11 273	10 501
	Ensoleillement cumulé	32 625	34 529	31 123	5 100	5 100	5 100
Indicateurs économiques et financiers	C.A. annuel (en €)	213 456	221 599	207 031	167 045	177 889	158 417
	Capital investi (en €)	444 239	467 114	426 188	367 825	386 761	352 816
	Levier financier	0,59	0,55	0,62	0,33	0,33	0,32
	Disponibilités financières	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
	Coefficient de trésorerie	0,48	0,46	0,49	0,18	0,18	0,19
	Rentabilité financière	0,41	0,38	0,43	0,27	0,29	0,26
	Rentabilité économique	0,25	0,24	0,26	0,19	0,19	0,20
	Revenu (en € par are)	43,23	17,84	63,26	3,24	4,37	2,31

Légende en colonnes : les valeurs grisées sont les plus élevées pour la moyenne et la médiane.

Tableau 12. Statistiques descriptives sur l'utilisation de l'assurance récolte (toutes années)

²² 1 are = 0,01 hectare = 0,0247 acre.

2.3 Analyse transversale

Le tableau présentant les statistiques descriptives a souligné des différences dans la distribution de plusieurs variables entre les assurés et les non assurés. Pour comparer ces deux groupes, qui ne sont pas de la même taille, nous réalisons pour chaque variable un test non paramétrique de Mann-Whitney. Dans chaque cas, le résultat est donné par la *p-value*. Une petite valeur indique que la différence entre les deux groupes est significative et par conséquent que les médianes sont statistiquement différentes. Le signe de la statistique U indique le signe de la relation. Les résultats complets sont détaillés dans le Tableau 13 pour chaque variable et pour chaque année, de 2002 à 2005. Nous pouvons ainsi conclure formellement si la différence est significative ou pas entre les deux groupes et suivant les années.

Notre première variable de contrôle indique que les assurés perçoivent plus d'indemnités que les non assurés²³, ce qui est une incitation à souscrire une couverture. Par ailleurs, cet accroissement des indemnités peut justifier le succès croissant de l'assurance récolte en France.

Parmi les variables financières, le chiffre d'affaires et le capital investi sont significativement plus élevés pour les assurés pendant les quatre années. Ce résultat est également vérifié pour la rentabilité économique. En 2005, soit au moment de la généralisation de l'assurance récolte, l'endettement des assurés était plus élevé par rapport aux non assurés. A l'inverse, il n'existe aucune différence entre les groupes si nous considérons le coefficient de trésorerie et la rentabilité financière.

Du point de vue des variables agricoles, nous notons une différence nette entre les deux groupes : les assurés produisent plus de variétés de cultures sur une surface (irriguée) plus étendue. Par ailleurs, le revenu par unité de surface est nettement plus élevé pour les assurés.

²³ Loin d'être trivial, ce résultat permet en fait la comparaison entre deux systèmes : l'indemnisation traditionnelle par le FNGCA, qui ne nécessite pas le versement de primes spécifiques d'assurance récolte mais permet d'être indemnisé, et l'indemnisation par les assureurs pour les agriculteurs qui ont accès à l'assurance récolte et qui souhaitent y souscrire.

		Age	Indem.	CA	Cap. inv.	Lev. Fin.	Disp. Fin.	Coef. Trés.	Rent. Fin.	Rent. Eco.	RPA	RPAC	Nb. Vég.	Surf. Tot.	Surf. Cult.	Surf. Irr.	S.I. / S.C.	Temp.	Précipit.	Ensoleil.
2002	V	-1,00	0,00	18066,00	24173,78	0,00	-0,01	-0,03	-0,01	0,02	1,93	2,48	1,00	2417,00	2256,00	0,00	0,00	0,00	9698,40	1261,43
	U	1,75	-13,32	-5,20	-4,13	-0,16	1,02	0,95	1,61	-4,17	-5,79	-11,63	-10,43	-12,41	-12,55	-7,16	-5,39	-1,77	1,10	0,59
	P	0,08	0,00	0,00	0,00	0,88	0,31	0,34	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,27	0,56
2003	V	0,00	0,00	15353,23	30844,00	-0,02	0,00	0,00	-0,01	0,02	2,10	2,55	1,00	2384,00	2307,00	0,00	0,00	0,00	-330,26	-532,67
	U	1,47	-16,13	-4,98	-5,28	0,90	0,15	-0,05	2,31	-4,04	-6,34	-11,82	-10,35	-12,40	-12,53	-7,67	-5,88	-1,20	4,18	-1,24
	P	0,14	0,00	0,00	0,00	0,37	0,88	0,96	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,22
2004	V	-1,00	0,00	22059,00	35087,71	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	2,06	2,43	1,00	2697,00	2574,00	0,00	0,00	0,00	13301,09	10295,36
	U	2,36	-15,08	-6,07	-4,97	-0,98	-0,19	0,15	-0,41	-5,03	-6,29	-11,49	-10,10	-13,14	-13,30	-6,20	-4,22	-5,33	-14,26	-5,39
	P	0,02	0,00	0,00	0,00	0,33	0,85	0,88	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2005	V	-1,00	0,00	23310,58	43116,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	2,22	2,65	1,00	2890,00	2726,00	0,00	0,00	-0,02	-407,07	0,00
	U	1,79	-17,72	-6,38	-5,55	-2,56	0,41	0,31	1,18	-5,97	-8,21	-14,06	-12,64	-14,07	-14,14	-6,67	-4,14	2,87	8,42	2,39
	P	0,07	0,00	0,00	0,00	0,01	0,68	0,76	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02

Légende en colonnes : **Age** = Age de l'exploitant (années), **Indem.** = Perception d'indemnités d'assurance (€), **CA** = Chiffre d'affaires (€), **Cap. Inv.** = Capital investi (€),
Lev. Fin. = Levier financier, **Disp. Fin.** = Disponibilités financières, **Coef. Trés.** = Coefficient de Trésorerie,
Rent. Fin. = Rentabilité financière, **Rent. Éco.** = Rentabilité économique,
RPA = Revenu par are (€ / are), **RPAC** = Revenu par are cultivé (€ / are),
Nb. Vég. = Nombre de variétés végétales cultivées, **Surf. Tot.** = Surface totale de l'exploitation (ares),
Surf. Cult. = Surface cultivée de l'exploitation (ares), **Surf. Irr.** = Surface irriguée de l'exploitation (ares),
S.I. / S.C. = Surface irriguée / Surface cultivée,
Temp., Précipit. et Ensoleil. = Racine carrée de l'écart à la moyenne des températures, précipitations et ensoleillement.

Légende en lignes : **V** = Valeur de la différence entre assurés et non assurés, **U** = Test U de Mann-Whitney,
P = P-value (les variables significatives au seuil de 5 % sont en gris).

Interprétation : Un signe positif signifie que la valeur des paramètres est supérieure pour les non assurés par rapport aux assurés, et *vice versa*.

Tableau 13. Analyse longitudinale des différences entre assurés et non assurés pour les années 2002 à 2005

Les variables météorologiques fournissent des résultats plus étonnants. Nous pourrions supposer que les assurés s'assureraient en raison de conditions climatiques plus difficiles que les non assurés. En fait, cette hypothèse n'est pas toujours vérifiée car le signe de la différence entre les deux groupes change au cours des années. Par exemple, les coefficients associés aux variables climatiques deviennent simultanément positifs et très significatifs en 2004. Ceci n'est pas étonnant si nous considérons que 2003 a été marquée en France par une sécheresse mémorable, caractérisée par des chaleurs intenses et un déficit pluviométrique. Ces conditions extrêmes ont certainement justifié une plus grande demande en assurance sur les secteurs affectés. Il semble en revanche que l'effet observé en 2004 est complètement opposé à celui de 2005, car 2004 était une année tout à fait normale.

Nous notons également que les valeurs des différents tests augmentent globalement en 2005, comparé à 2004, pour chacune des variables. Ce phénomène se produit au moment où l'assurance récolte est étendue du seul risque de grêle à différentes catastrophes. Cela signifie probablement que les effets notés ci-dessus sont renforcés après l'introduction d'une assurance multirisque multi-récoltes. Ils ont par ailleurs déjà été observés au cours des diverses réformes du régime d'assurance récolte aux Etats-Unis (Serra *et al.*, 2003).

Pour mesurer la portée de l'assurance récolte dans le temps, nous proposons au chapitre suivant une étude sur l'évolution de la situation des exploitations agricoles qui ont souscrit une couverture sur leurs cultures.

3. L'EVOLUTION AU FIL DU TEMPS DE LA SITUATION DES EXPLOITATIONS SOUSCRIVANT UNE ASSURANCE RECOLTE

Dans ce chapitre, nous nous intéressons à la situation des entreprises agricoles qui décident de s'assurer pour une année donnée. En nous référant aux indicateurs précédents, l'objectif est de vérifier si la situation des exploitations agricoles évolue de manière significative lorsqu'elles s'assurent. La comparaison est naturellement réalisée avec les exploitations qui ne s'assurent pas. Après une présentation de la méthodologie utilisée, nous procédons à l'analyse longitudinale grâce à laquelle nous offrons des perspectives d'interprétation.

3.1 Méthodologie

Nous reprenons le même échantillon que précédemment sur la même période, soit entre 2002 et 2005. Ce laps de temps implique que nous pouvons étudier l'évolution des exploitations agricoles avec deux points de référence possibles, en 2003 et 2004. À partir de ces deux jalons, nous pouvons cibler les agriculteurs assurés l'année 0 et examiner leur situation aux cours des années -1 et +1. De fait, il est tout à fait possible que des exploitations assurées en 0 puissent ne plus l'être en -1 et/ou +1, et *vice versa*. Auparavant, nous considérions la différence de chaque variable entre assurés et non assurés ; à présent, nous nous intéressons à l'évolution de cette différence au cours du temps. Par exemple, les assurés en 0 ont-ils des dettes sensiblement plus élevées en +1 que les non assurés pour le même laps de temps ? Le même raisonnement s'applique pour toutes les variables. Ces précisions apportées, nous pouvons procéder à l'analyse longitudinale.

3.2 Analyse longitudinale

La première étape de l'analyse consiste à choisir une année et à diviser l'échantillon en groupes selon que les agriculteurs sont assurés ou non cette année là. Comme nous comparons toujours deux sous-populations de tailles différentes, nous réalisons pour chaque variable un test de Mann-Whitney. Dans chaque cas, l'interprétation est donnée par la statistique du test et la *p-value*. Une petite valeur indique que la différence entre les deux groupes est significative et par conséquent que les médianes sont statistiquement différentes. Le signe de la statistique *Z* indique le sens de la relation. Les résultats complets de l'analyse longitudinale sont détaillés dans les Tableaux 14a et 14b pour chaque variable et pour chaque année de référence (2003 ou 2004). Nous pouvons alors en conclure si la différence entre les deux groupes est significative ou non et son évolution dans le temps.

	Age	Indem.	CA	Cap. inv.	Lev. Fin.	Disp. Fin.	Coef. Trés.	Rent. Fin.	Rent. Eco.	RPA	RPAC	Nb. Vég.	Surf. Tot.	Surf. Cult.	Surf. Irr.	S.I. / S.C.	Temp.	Précipit.	Ensoleil.		
2003 -2002 (-1,0)	Z	-0,09	5,13	-1,98	1,26	-0,39	1,11	2,50	-0,54	-1,19	-5,12	-6,10	0,59	-0,32	0,21	0,56	0,08	0,50	-1,88	-0,65	
	p	0,93	0,00	0,05	0,21	0,70	0,27	0,01	0,59	0,24	0,00	0,00	0,55	0,75	0,84	0,58	0,94	0,62	0,06	0,52	
	N ₁	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055
	N ₂	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645
2004 -2003 (0,+1)	Z	-0,99	-1,45	3,71	1,58	3,41	-0,37	-0,67	3,08	0,28	5,39	5,98	0,95	0,86	2,08	-0,76	-1,79	2,44	8,38	6,37	
	p	0,32	0,15	0,00	0,11	0,00	0,71	0,50	0,00	0,78	0,00	0,00	0,34	0,39	0,04	0,45	0,07	0,01	0,00	0,00	
	N ₁	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055
	N ₂	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645
2004 -2002 (-1,+1)	Z	-0,60	3,21	1,03	2,21	1,63	0,80	-0,06	1,97	-1,08	1,77	1,07	1,52	0,31	1,96	0,55	-1,10	5,44	6,21	2,66	
	p	0,55	0,00	0,30	0,03	0,10	0,42	0,95	0,05	0,28	0,08	0,28	0,13	0,76	0,05	0,58	0,27	0,00	0,00	0,01	
	N ₁	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055	2055
	N ₂	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645	2645

Légende en colonnes : **Age** = Age de l'exploitant (années), **Indem.** = Perception d'indemnités d'assurance (€), **CA** = Chiffre d'affaires (€), **Cap. Inv.** = Capital investi (€), **Lev. Fin.** = Levier financier, **Disp. Fin.** = Disponibilités financières, **Coef. Trés.** = Coefficient de Trésorerie, **Rent. Fin.** = Rentabilité financière, **Rent. Éco.** = Rentabilité économique, **RPA** = Revenu par are (€/ are), **RPAC** = Revenu par are cultivé (€/ are), **Nb. Vég.** = Nombre de variétés végétales cultivées, **Surf. Tot.** = Surface totale de l'exploitation (ares), **Surf. Cult.** = Surface cultivée de l'exploitation (ares), **Surf. Irr.** = Surface irriguée de l'exploitation (ares), **S.I. / S.C.** = Surface irriguée / Surface cultivée, **Temp., Précipit. et Ensoleil.** = Racine carrée de l'écart à la moyenne des températures, précipitations et ensoleillement.

Légende en lignes : **Z** = Test Z de Mann-Whitney,
P = P-value (les variables significatives au seuil de 5 % sont en gris).
N₁ = Nombre d'assurés et **N₂** = Nombre de non assurés.

Interprétation : Un signe positif signifie que la valeur des paramètres s'accroît plus vite pour les assurés par rapport aux non assurés sur la période considérée.

Tableau 14a. Analyse longitudinale des différences entre assurés et non assurés pour l'année de référence 2003

	Age	Indem.	CA	Cap. inv.	Lev. Fin.	Disp. Fin.	Coef. Trés.	Rent. Fin.	Rent. Eco.	RPA	RPAC	Nb. Vég.	Surf. Tot.	Surf. Cult.	Surf. Irr.	S.I. / S.C.	Temp.	Précipit.	Ensoleil.		
2004 -2003 (-1,0)	Z	-2,03	-0,22	3,71	0,62	3,14	-0,32	-0,74	3,35	0,28	4,80	5,23	0,91	0,41	2,04	-0,84	-1,40	1,78	9,14	8,30	
	p	0,04	0,83	0,00	0,53	0,00	0,75	0,46	0,00	0,78	0,00	0,00	0,36	0,68	0,04	0,40	0,16	0,08	0,00	0,00	
	N ₁	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125
	N ₂	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575
2005 -2004 (0,+1)	Z	0,57	0,10	-4,71	0,83	3,40	-1,73	-1,19	-2,34	-0,90	21,24	2,53	-28,68	0,46	-1,76	-1,75	-2,14	-9,40	-11,42	-5,75	
	p	0,57	0,92	0,00	0,41	0,00	0,08	0,23	0,02	0,37	0,00	0,01	0,00	0,65	0,08	0,08	0,03	0,00	0,00	0,00	
	N ₁	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125
	N ₂	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575
2005 -2003 (-1,+1)	Z	-0,73	0,05	-0,76	1,07	5,30	-1,85	-1,74	0,73	-0,41	22,19	8,02	-28,40	0,42	0,09	-1,63	-2,20	-3,52	-5,64	-0,98	
	p	0,46	0,96	0,45	0,29	0,00	0,06	0,08	0,46	0,68	0,00	0,00	0,00	0,68	0,93	0,10	0,03	0,00	0,00	0,33	
	N ₁	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125	2125
	N ₂	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575	2575

Légende en colonnes : **Age** = Age de l'exploitant (années), **Indem.** = Perception d'indemnités d'assurance (€), **CA** = Chiffre d'affaires (€), **Cap. Inv.** = Capital investi (€), **Lev. Fin.** = Levier financier, **Disp. Fin.** = Disponibilités financières, **Coef. Trés.** = Coefficient de Trésorerie, **Rent. Fin.** = Rentabilité financière, **Rent. Éco.** = Rentabilité économique, **RPA** = Revenu par are (€ / are), **RPAC** = Revenu par are cultivé (€ / are), **Nb. Vég.** = Nombre de variétés végétales cultivées, **Surf. Tot.** = Surface totale de l'exploitation (ares), **Surf. Cult.** = Surface cultivée de l'exploitation (ares), **Surf. Irr.** = Surface irriguée de l'exploitation (ares), **S.I. / S.C.** = Surface irriguée / Surface cultivée, **Temp., Précipit. et Ensoleil.** = Racine carrée de l'écart à la moyenne des températures, précipitations et ensoleillement.

Légende en lignes : **Z** = Test Z de Mann-Whitney,
P = P-value (les variables significatives au seuil de 5 % sont en gris).
N₁ = Nombre d'assurés et **N₂** = Nombre de non assurés.

Interprétation : Un signe positif signifie que la valeur des paramètres s'accroît plus vite pour les assurés par rapport aux non assurés sur la période considérée.

Tableau 14b. Analyse longitudinale des différences entre assurés et non assurés pour l'année de référence 2004

Nous notons que les variables financières apparaissent parmi les plus significatives. Si nous nous intéressons tout d'abord au montant des indemnités perçues, nous notons que cette variable est toujours significative quand l'analyse est centrée sur 2003 alors que ce n'est jamais le cas lorsqu'elle est focalisée sur 2004. La comparaison de la situation entre 2002 et 2003 mène à une valeur significative et positive : ce résultat signifie que la quantité d'indemnités pendant la période augmente beaucoup plus pour l'agriculteur qui s'assure en 2003 que pour celui qui ne s'assure pas. Entre 2003 et 2004, l'effet est opposé, comme indiqué par le signe négatif. Il en résulte que la variation des indemnités est étrangement plus favorable aux agriculteurs qui ne se sont pas assurés en 2003. Au cours de la période 2002-2004, l'équilibre demeure en faveur des assurés, ce qui semble cohérent, étant donné que le but de l'assurance est de fournir davantage d'indemnités à ses souscripteurs. Néanmoins, nous ne pouvons effectuer cette même comparaison pour les années 2003 à 2005, car aucune des statistiques n'est significative, signe qu'il n'existe pas de différence notable entre assurés et non assurés.

Peu de variables présentent en fait un signe uniforme le long des différentes périodes étudiées. C'est néanmoins le cas du levier financier : il apparaît ainsi que les dettes augmentent beaucoup plus rapidement pour les assurés au cours de la période étudiée. La même constatation peut être effectuée pour la surface cultivée. Nous pouvons en déduire que les assurés « profitent » de leur assurance pour développer leurs exploitations en cultivant et en s'endettant davantage. En agissant de la sorte, ils accroissent également leur exposition au risque. Cette intuition semble corroborée en observant de 2003 à 2005 la variable relative aux disponibilités financières dont l'évolution est plus importante, au seuil de 10 %, en défaveur des assurés. Ce dernier résultat est par ailleurs en phase avec la littérature (Knight et Coble, 1997). Nous notons également que le revenu par unité de surface augmente beaucoup plus pour les assurés une fois que le système privé d'assurance récolte est lancé (après 2004).

Les variables météorologiques sont globalement significatives et nous retrouvons le mécanisme exposé dans l'analyse transversale, à savoir une forte sensibilité de la décision de s'assurer contre les catastrophes naturelles. Jusqu'en 2004, les assurés supportent davantage des conditions de températures, de précipitations et d'ensoleillement extrêmes. Entre 2004 et 2005, l'effet est opposé. Cela semble donc confirmer l'augmentation des souscriptions d'assurance récolte en 2004 par les agriculteurs qui ont souffert de la sécheresse de 2003.

Les autres variables peuvent difficilement être interprétées, soit parce qu'elles ne sont pas significatives, soit parce que leur signe change selon l'année de référence (2003 ou 2004). Nous notons en particulier que les versements d'indemnités sont tout à fait ambivalents selon la période d'étude. Après avoir été assurés en 2003, les agriculteurs perçoivent moins d'indemnités mais ils augmentent la taille de leur exploitation, leur chiffre d'affaires et leur rentabilité, comparé aux non assurés. Pour des agriculteurs assurés en 2004, les avantages générés par la décision de s'assurer ne sont pas démontrés sachant que les indicateurs financiers et agricoles sont plus favorables aux non assurés.

Pour confirmer les tendances observées précédemment, nous proposons de revisiter les déterminants de la souscription d'une assurance récolte à partir de l'estimation de fonctions de régression logistiques. C'est l'objet du prochain chapitre.

4. LES PRINCIPAUX DETERMINANTS DE LA SOUSCRIPTION D'UNE ASSURANCE RECOLTE REVISITES

Notre analyse s'attache à mesurer l'influence d'un ensemble de facteurs sur la décision de s'assurer en agriculture. Parmi ces facteurs, deux ensembles essentiels sont souvent négligés dans la littérature : les variables financières et les variables météorologiques, probablement en raison d'un manque d'informations suffisamment précises. Grâce à notre échantillon, nous pouvons prétendre surmonter cet obstacle et examiner plus précisément l'impact de ces paramètres sur l'achat d'assurance.

Notre démarche se décompose en trois temps : après une présentation de la méthodologie utilisée, nous procédons à un ensemble de régressions année par année. Les résultats obtenus sont ensuite comparés à une régression logistique globale effectuée sur l'ensemble de notre échantillon, toutes années confondues.

4.1 Méthodologie

En nous fondant sur des analyses antérieures de la demande en assurance récolte (Glauber, 2004 ; Garrido et Zilberman, 2007), nous supposons que l'achat d'assurance est influencé par un certain nombre de caractéristiques des exploitations agricoles. La variable dépendante est binaire car elle indique simplement si l'agriculteur est assuré ou non au cours d'une année donnée. De plus, sont comprises dans l'analyse les variables déjà présentées dans les chapitres précédents.

Pour mesurer l'influence d'une souscription précédente de contrats d'assurance récolte, nous introduisons deux variables additionnelles qui indiquent si l'exploitation était assurée l'année précédente et le montant des indemnités perçues²⁴. Afin d'étendre la portée de nos analyses antérieures, nous souhaitons également déterminer l'influence du niveau initial de formation de l'exploitant agricole et de la localisation de l'exploitation.

Pour revisiter les déterminants de l'assurance récolte, nous estimons tout d'abord une série de régressions logistiques avec les mêmes variables pour chaque année²⁵. Ensuite, nous calibrons un modèle global fondé sur les données des années 2003 à 2005.

²⁴ Ces données sont seulement disponibles pour les années 2003, 2004 et 2005.

²⁵ Sauf pour l'année 2002, puisque nous ne disposons pas des données relatives à la décision de s'assurer et aux indemnités perçues en 2001.

4.2 Régressions annuelles

La comparaison de régressions comprenant les mêmes variables sur plusieurs périodes est directement inspirée des travaux de Serra *et al.* (2003). Elle permet de mesurer les modifications des déterminants qui influent sur la demande en assurance récolte au cours des années. Les résultats sont détaillés dans les tableaux de l'Annexe 2.

Nous notons que les mêmes variables demeurent significatives au cours des années, *e.g.* le fait d'avoir été assuré antérieurement augmente fortement la probabilité de s'assurer l'année étudiée. Un tel résultat a été déjà relevé par les assureurs dont les efforts se concentrent en priorité sur la recherche de nouveaux clients. Le fait de percevoir des indemnités est également un critère essentiel pour la souscription des polices de couverture.

Les variables présentes dans les régressions ne sont aucunement corrélées entre elles de façon significative. Lorsque nous introduisons simultanément dans la modélisation deux ensembles de variables financières et agricoles, ce sont ces dernières qui apparaissent déterminantes : les surfaces cultivées et irriguées ainsi que le nombre de cultures sur l'exploitation influent positivement sur la décision de s'assurer. L'effet est d'autant plus avéré pour les exploitations qui sont focalisées sur les cultures. Les variables financières, quant à elles, ne ressortent étrangement pas comme des facteurs explicatifs de la décision de s'assurer. Le climat, quant à lui, joue un rôle majeur uniquement lorsqu'un événement extrême s'est produit l'année qui précède la souscription.

Pour vérifier la portée globale de ces résultats et conforter les enseignements que nous en retirons, nous proposons, à la section suivante, de réaliser une régression sur l'ensemble de l'échantillon.

4.3 Régression logistique globale

En fusionnant les échantillons pour les années 2003 à 2005, nous obtenons une nouvelle base de données qui comprend 15.820 observations. Cela nous permet alors d'estimer une régression logistique avec les mêmes paramètres que précédemment. Les résultats sont détaillés dans le Tableau 15 (voir page suivante).

Parmi les variables significatives, nous retrouvons une fois de plus le fait d'avoir souscrit dans le passé une assurance et d'avoir perçu des indemnités. L'âge influe négativement sur la souscription de l'assurance récolte, ce qui est en phase avec les efforts consentis par le gouvernement français pour subventionner davantage les polices d'assurance pour les jeunes agriculteurs. Les variables agricoles qui se rapportent à la surface cultivée et au nombre de cultures sont également significatives mais leur portée sur la probabilité de s'assurer semble plus modeste. La spécialisation technique de l'exploitation possède également une influence déterminante sur l'assurance : les agriculteurs dont l'activité principale est la production végétale sont davantage exposés et leur disposition à souscrire une couverture est renforcée.

Les variables financières sont globalement non significatives et la régression globale ne confirme pas certains résultats obtenus avec les analyses longitudinales et transversales. La seule variable intéressante est le revenu par are qui tend à diminuer la probabilité de s'assurer. De la même manière, les variables météorologiques ne sont pas révélatrices, à l'exception des précipitations, même si le coefficient semble négligeable pour des raisons d'échelle. Leur effet sur la décision de s'assurer est beaucoup plus évident lorsque l'analyse est menée année par année. Néanmoins, ce dernier résultat semble confirmer que les précipitations sont l'indicateur climatique le plus déterminant dans la décision à assurer.

2003 - 2005	Coef.	Ecart-type	z	P > z	[I.C. à 95 %]		Odds Ratio	Ecart-type
Indem. -1	0,386	0,080	4,82	0,000	0,229	0,543	1,471	0,118
Assuré -1	3,997	0,055	72,64	0,000	3,889	4,105	54,420	2,994
Age	-0,008	0,003	-2,26	0,024	-0,014	-0,001	0,992	0,003
Sexe	-0,080	0,109	-0,73	0,463	-0,293	0,133	0,923	0,100
Statut	-0,031	0,061	-0,51	0,613	-0,152	0,089	0,969	0,060
C.A.	-0,000	0,000	-0,51	0,613	-0,000	0,000	1,000	0,000
Capital Inv.	-0,000	0,000	-0,63	0,531	-0,000	0,000	1,000	0,000
Lev. Fin.	-0,009	0,007	-1,26	0,208	-0,022	0,005	0,991	0,007
Disp. Fin.	0,141	0,125	1,13	0,260	-0,105	0,387	1,152	0,145
Coef. Trés.	-0,025	0,023	-1,08	0,280	-0,071	0,020	0,975	0,023
Rent. Fin.	0,002	0,017	0,11	0,914	-0,031	0,034	1,002	0,017
Rent. Eco	-0,022	0,027	-0,81	0,415	-0,076	0,031	0,978	0,027
RPAC	-0,001	0,000	-2,67	0,008	-0,001	0,000	0,999	0,000
Surf. Cult.	0,000	0,000	5,00	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000
Surf. Irr.	0,000	0,000	3,54	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000
Nb. Vég.	0,048	0,011	4,55	0,000	0,028	0,069	1,050	0,011
Agric. Bio.	0,029	0,092	0,31	0,757	-0,152	0,210	1,029	0,095
Temp.	0,159	0,130	1,22	0,221	-0,095	0,414	1,172	0,152
Précipit.	0,000	0,000	2,80	0,005	0,000	0,000	1,000	0,000
Ensoleil.	0,000	0,000	1,68	0,094	-0,000	0,000	1,000	0,000
Formation1	-0,046	0,136	-0,34	0,732	-0,312	0,219	0,955	0,129
Formation2	-0,056	0,131	-0,43	0,668	-0,314	0,201	0,945	0,124
Formation3	-0,255	0,149	-1,72	0,086	-0,547	0,036	0,775	0,115
Formation4	0,181	0,225	0,80	0,421	-0,260	0,623	1,199	0,270
Otex	0,514	0,061	8,36	0,000	0,393	0,634	1,672	0,103
Alti2	0,210	0,081	2,57	0,010	0,050	0,369	1,233	0,100
Alti3	-0,296	0,127	-2,33	0,020	-0,545	-0,047	0,744	0,095
Constante	-2,575	0,275	-9,36	0,000	-3,114	-2,035	—	—

Nombre d'observations	14100
LR : chi2 (25)	9892,59
Prob > chi2	0,0000
Log vraisemblance	-4741,2617
Pseudo R ²	0,5106

Légende des variables :

Indem. -1 = Montant des indemnités d'assurance versées l'année précédente (€),
Assuré -1 = Indique si l'exploitation était assurée l'année précédente, **Age** = Age de l'exploitant (années),
Sexe = Sexe (0 = Femme, 1 = Homme), **C.A.** = Chiffre d'affaires (€), **Cap. Inv.** = Capital investi (€),
Statut = Statut de l'exploitation (1 = Exploitation appartenant à un groupement), **Lev. Fin.** = Levier financier,
Disp. Fin. = Disponibilités financières, **Agric. Bio.** = Agriculture biologique (1 = Oui),
Coef. Trés. = Coefficient de Trésorerie, **Rent. Fin.** = Rentabilité financière, **Rent. Éco.** = Rentabilité économique,
RPAC = Revenu par are cultivé (€ / are), **Surf. Cult.** = Surface cultivée de l'exploitation (ares),
Surf. Irr. = Surface irriguée de l'exploitation (ares), **Nb. Vég.** = Nombre de variétés végétales cultivées,
Temp., Précipit. et Ensoleil. = Racine carrée de l'écart à la moyenne des températures, précipitations et ensoleillement,
Formation0 (référence) = Pas de diplôme, **Formation1** = Etudes courtes, **Formation2** = Niveau Baccalauréat,
Formation3 = Niveau Licence, **Formation4** = Niveau Master,
Otex = Spécialisation de l'exploitation (0 = Animaux, 1 = Végétaux),
Alti1 (Référence) = Altitude inférieure à 300 m, **Alti2** = Altitude comprise entre 300 m et 600 m,
Alti3 = Altitude supérieure à 600 m.

Tableau 15. Régression logistique globale pour les années 2003, 2004 et 2005

Il ressort enfin de la régression globale que l'altimétrie possède une influence sur l'achat d'assurance. L'interprétation des coefficients indique qu'une exploitation localisée entre 300 et 600 mètres a une probabilité plus importante d'être assurée, par comparaison avec les exploitations implantées à basse altitude. L'effet est inverse pour des exploitations situées à plus de 600 mètres. En fait, les grandes cultures, qui constituent la majorité des récoltes assurées, sont principalement localisées en plaines. De plus, pour des raisons biologiques, l'arboriculture, très exposée, se concentre à une altitude inférieure à 600 mètres.

Ces résultats pris au niveau national se révèlent d'un grand intérêt. Ils pourraient naturellement être affinés dans le cadre d'études plus localisées. De plus, le développement croissant de l'assurance récolte en France offrira à l'avenir de nouvelles opportunités d'étudier les évolutions des facteurs de la demande pour ces produits. Il semble probable que l'introduction de nouveaux risques assurés et le lancement de nouvelles polices modifie les déterminants de l'achat d'assurance récolte dans les années à venir. Les comportements vis-à-vis du risque peuvent en être affectés si la nouvelle couverture assurantielle s'avère performante.

Du point de vue méthodologique, la combinaison des analyses transversales et longitudinales ainsi que les régressions logistiques permettent d'éclairer sous plusieurs facettes la décision de s'assurer. L'étude de la demande est un outil précieux pour envisager des moyens de couverture. Il ressort ainsi que la diversité des cultures au sein d'une exploitation est un facteur qui motive un achat d'assurance récolte. Ce résultat légitime dès lors la création d'instruments qui visent à couvrir simultanément un portefeuille de cultures, sur le modèle du Multi-LAM. Aussi, l'objet du chapitre suivant est de tester en pratique la performance de cette nouvelle méthode.

5. TESTS EMPIRIQUES DE PERFORMANCE DU MULTI-LAM

Comme nous l'avons constaté dans la partie précédente consacrée au modèle théorique de couverture, le Multi-LAM offre des possibilités réelles d'extension de l'assurance des catastrophes naturelles. Fondé sur l'utilisation d'indices de rendement agrégés à l'échelle régionale et sur l'hypothèse d'une mutualisation interne des rendements des cultures de chaque exploitation, le Multi-LAM doit s'avérer plus performant que ses alternatives : une combinaison d'instruments élaborés séparément pour chaque culture (LAM Additif) et un modèle unique estimé sur l'ensemble de la propriété (LAM Exploitation).

Rappelons tout d'abord que le Multi-LAM s'écrit :

$$y_i = \sum_j w_{ij} \mu_{ij} + \sum_j w_{ij} \beta_{ij} (y_j - \mu_j) + \varepsilon_i$$

Où y_i est le rendement global de l'exploitation i , $\mu_{ij} = E(y_{ij})$ la moyenne du rendement de la culture j dans l'exploitation i , y_j est le rendement régional de la culture j et $\mu_j = E(y_j)$ est la moyenne du rendement de la culture j à l'échelle régionale. Nous notons w_{ij} la variable de contrôle qui définit les proportions de chaque culture à l'intérieur du portefeuille de l'agriculteur i .

Nous définissons une méthodologie qui permet de tester simultanément les trois modèles. En raison du manque de données historiques, l'estimation des différentes régressions fait appel à la technique du *bootstrap* que nous détaillons. A partir des coefficients bêta estimés, nous pouvons calculer les risques individuels et systématiques pour chaque méthode. Nous en déduisons également la variance résiduelle qui nous permet de conclure sur la validité du Multi-LAM. La démarche s'opère en deux temps : après une présentation de la méthodologie et des données utilisées, nous procédons aux tests de validité du Multi-LAM.

5.1 La méthodologie et les données

Notre étude utilise les données du Réseau d'Information Comptable Agricole (RICA). A partir de la base générale, nous sélectionnons un ensemble d'exploitations pour lesquelles les données sont disponibles en continu de 1990 à 2006, soit plus de 2.000 entreprises. Ensuite, nous détaillons le portefeuille de chaque exploitation en conservant seulement les propriétés qui récoltent au moins deux cultures (environ 1.700). Pour les données régionales, nous nous servons de la base de données AGRESTE qui comporte des indicateurs agrégés pour chaque récolte et chaque région administrative, avec un historique très conséquent. A la suite de Mahul *et al.* (2000), l'utilisation de données agrégées évite de calculer des espérances de rendement à partir de notre échantillon, par nature restreint. De plus, cette approche surmonte la difficulté liée aux petites agrégations.

La même base de données nous autorise à définir pour chaque région une liste de cultures dont les rendements sont indépendants. Cette distinction entre les récoltes corrélées et non corrélées permet à son tour de déterminer deux classes principales d'exploitations agricoles. Les exploitations avec des récoltes corrélées, soit 1.330 unités de production, cultivent au moins deux cultures dont les variations de rendements sont reliées à l'échelle régionale. Seules 402 exploitations produisent des cultures indépendantes. La plupart d'entre elles cultive uniquement deux récoltes : ce chiffre provient probablement d'un arbitrage naturel entre le risque de corrélation qui augmente avec le nombre de cultures et la variance du rendement qui tend à décroître en parallèle. Une indépendance des rendements peut être assimilée à un effort de diversification.

Par la suite, nous calculons des statistiques de test non paramétriques de Mann-Whitney pour comparer les distributions de rendement entre les deux groupes sans qu'aucune différence significative ne soit trouvée. Les résultats sont présentés en détail dans le Tableau 16.

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Rendements régionaux corrélés	1 330	0,001	3,654	0,093	0,383
Rendements régionaux non corrélés	402	0,001	3,462	0,046	0,242

Rendements régionaux corrélés vs. Rendements régionaux non corrélés	
U	270 325,000
p-value	0,733
alpha	0,050

Tableau 16. Statistiques descriptives et test de Mann-Whitney de comparaison des variances de rendement des exploitations selon la corrélation des cultures au niveau agrégé.

Le test de Mann-Whitney implique que ni l'effort de diversification des récoltes, ni la mise en culture de productions aux variations de rendements non corrélées ne permettent de réduire significativement la variance du rendement à l'échelle de l'exploitation.

Ce résultat nous incite à diviser notre sous-échantillon d'exploitations agricoles parmi celles qui présentent des cultures aux rendements non corrélés. Afin d'examiner l'efficacité du Multi-LAM, nous sélectionnons finalement les exploitations dont les variations de rendement sont supérieures à la moyenne des variations des exploitations non corrélées. Ces exploitations représentent un quart des fermes avec des rendements non corrélés, soit 105 unités de production. C'est un résultat attendu, dans la mesure où l'indépendance des rendements des cultures est supposée générer des productivités moins volatiles à l'échelle de l'exploitation agricole. Néanmoins, le Multi-LAM peut être utile pour les fermes dont la diversification n'est pas efficace. Aussi, notre étude se concentre sur ce type d'exploitations.

Pour affiner nos investigations, nous focalisons notre expérimentation sur deux cultures principales du nord de la France : le blé et la betterave à sucre. Leurs rendements présentent l'avantage de ne pas être corrélées, de sorte que nous retenons finalement 68 exploitations agricoles aux caractéristiques homogènes. Cet échantillon réduit permet de mener une analyse quantitative pour chaque exploitation de notre échantillon final.

5.2 L'estimation des régressions

L'objectif des régressions est d'estimer les paramètres des trois modèles qui étendent le LAM à un ensemble de cultures. En raison d'un historique limité des rendements, nous choisissons de rééchantillonner les valeurs disponibles pour chaque exploitation agricole. En pratique et pour chaque exploitation, nous appliquons la technique du *bootstrap* sur nos données originales.

5.2.1 La technique du bootstrap

Proposé en premier par Efron (1979), le *bootstrap* est une technique de calcul intensif qui permet d'estimer la distribution d'une statistique de test ou d'un estimateur en rééchantillonnant les données. De fait, cette technique est particulièrement utile dans les cas où il est difficile d'obtenir la distribution asymptotique d'une variable ou même lorsque cette distribution est tout simplement inconnue. De plus, l'utilisation du *bootstrap* permet d'obtenir dans de nombreux cas des évaluations plus précises de la distribution d'une variable par rapport à l'approximation asymptotique habituelle (Chou et Zhou, 2006). Ces avantages significatifs expliquent l'emploi de cette technique en finance, notamment pour estimer les paramètres bêta (Balduzzi et Robotti, 2005). Parmi les différentes méthodologies, celle développée par Hall (1994) fournit des estimateurs davantage appropriés et précis car leur écart type est réduit. Dans notre cas, elle est mise en œuvre grâce au logiciel SAS[®].

Afin d'effectuer une comparaison directe entre les différentes approches théoriques, nous utilisons le même rééchantillonnage pour estimer les régressions (LAM additif, LAM sur l'exploitation agricole et Multi-LAM). En considérant le LAM sur l'exploitation agricole et le Multi-LAM, nous obtenons directement le résidu de la régression. L'utilisation d'un LAM additif impose de calculer le résidu en soustrayant les valeurs estimées aux valeurs originales, tout en tenant compte de l'importance de chaque récolte au sein des exploitations considérées. Les valeurs des résidus obtenus par méthode permettent de mesurer leur niveau d'ajustement des données. En théorie, les résidus sont également assimilés au risque de base du rendement, supposé être purement individuel. Suivant nos hypothèses de départ, leur variance devrait être inférieure en utilisant une approche Multi-LAM. Les résultats sont présentés au paragraphe suivant.

5.2.2 Résultats

Nous proposons dans le Tableau 17 un extrait des résultats pour les dix premières exploitations agricoles de notre échantillon. Les résultats pour l'ensemble de l'échantillon sont disponibles dans l'Annexe 3.2.

Indicateurs Individuels	LAM Exploitation					LAM Additif				Multi-LAM			
	ID	Rend ^t Moyen	Var. Rend ^t	β Expl.*	Risque syst. (%)	Risque indiv. (%)	β Blé*	β Bett.*	Risque syst. (%)	Risque indiv. (%)	β Blé*	β Bett.*	Risque syst. (%)
1	241,87	11,77	0,44	66,54	33,45	0,73	1,03	62,77	37,22	2,67	0,24	74,06	25,93
2	139,71	4,78	0,51	51,34	48,65	0,69	1,13	45,77	54,22	1,17	0,59	51,50	48,49
3	309,17	15,69	1,13	73,36	26,63	0,94	0,91	70,20	29,79	1,28	0,85	73,74	26,25
4	165,32	27,65	1,44	64,11	35,88	1,18	0,56	67,82	32,17	1,70	0,53	78,89	21,10
5	282,52	17,35	1,34	64,63	35,36	1,30	1,15	59,65	40,34	0,28	1,40	93,64	6,35
6	330,26	161,54	1,85	63,68	36,31	0,84	0,78	58,31	41,68	0,91	1,12	94,70	5,29
7	440,23	56,19	-0,54	54,53	45,46	0,00	0,98	46,65	53,34	1,19	-0,67	90,29	9,70
8	387,13	133,03	1,96	49,00	50,99	0,62	0,77	39,89	60,10	0,56	0,87	91,28	8,71
9	215,51	3,71	0,19	50,36	49,63	0,87	0,06	43,44	56,55	0,73	0,32	52,03	47,96
10	263,77	3,44	1,47	88,22	11,77	1,40	1,21	86,16	13,83	0,97	1,08	81,19	18,80

Légende : Le « **LAM Exploitation** » est un modèle estimé pour l'ensemble de l'exploitation agricole.

Le « **LAM Additif** » est une combinaison de LAM estimés séparément pour le blé et la betterave à sucre mais à l'échelle de l'exploitation et en tenant compte de la part de chaque culture au sein du portefeuille de l'exploitant.

Le « **Multi-LAM** » est directement estimé à l'échelle de l'exploitation.

Description des variables :

- * Variables estimées par la technique du *bootstrap*.
- **Rend^t Moyen** : Rendement moyen sans tendance (quintaux par hectare, valeur 2006) calculé sur la période 1990-2006.
- **Var. Rend^t** : Variance du rendement calculé sur la période 1990-2006.
- **Risque Syst.** = Risque systématique (%) : Variance du risque expliqué rapportée à la variance du risque initial.
- **Risque Indiv.** = Risque individuel (%) : Variance du risque résiduel rapportée à la variance du risque initial.

Tableau 17. Estimateurs bêta et décomposition de la variance du rendement.

L'estimation des différentes régressions montre au premier abord une distribution des coefficients bêta qui évolue significativement entre les différents modèles. Ce résultat est logique dans la mesure où les coefficients associés au LAM additif sont estimés séparément pour chaque culture. Dans ce cas précis, nous retrouvons un résultat conforme à la littérature sur le LAM, à savoir une distribution des bêta en forme de cloche centrée autour de l'unité. Pour le Multi-LAM, la distribution des coefficients bêta ne possède pas ces propriétés en raison de l'ajustement entre les deux variables et probablement de la taille de notre échantillon (*cf.* l'Annexe 3.1).

Nous estimons (Multi-LAM, LAM Exploitation) ou calculons (LAM Additif) le résidu pour chaque exploitation à partir des données originales *bootstrappées*. Une caractéristique de la technique du *bootstrap* est de délivrer une mesure plus précise de la variance. Les résultats détaillés pour toutes les exploitations de notre échantillon sont donnés dans l'annexe 3.2. Pour chaque entreprise agricole, nous déterminons des indicateurs élémentaires : son rendement normal (ou moyen) et la variance de ce rendement. Ensuite, pour chaque méthode, nous détaillons les valeurs des coefficients bêta estimés, le risque systématique et le risque individuel. Ces indicateurs synthétiques ont été déjà employés pour mesurer la qualité de l'ajustement dans le cas d'un LAM simple (Mahul et Vermersch, 2002).

Le résultat le plus important est donné par les caractéristiques du résidu. Le risque individuel du rendement est défini comme la part de la variance de la composante résiduelle par rapport à la variance du risque de rendement initial du portefeuille, *i.e.* sans couverture. Réciproquement, le risque systématique est défini comme la part de la variance de la composante expliquée par rapport à la variance du risque initial de l'exploitation.

Le détail des calculs est exposé dans l'annexe 3.2. Considérons par exemple la première exploitation de notre échantillon. En combinant ses productions respectives de blé et de betterave à sucre, le rendement moyen de cette exploitation est égal à 241,87 quintaux par are. La variance de son rendement est égale à 11,77 quintaux par are. L'estimation d'un LAM à l'échelle de l'exploitation fournit un coefficient bêta (*bootstrappé*) égal à 0,44 et un risque individuel égal à 33,45 %. Si nous estimons des LAM séparés pour chaque récolte, nous obtenons un LAM additif avec deux bêta (*bootstrappés*) : $\beta = 0,69$ est associé au blé et $\beta = 1,13$ est associé à la betterave à sucre. La part du risque

individuel atteint 37,22 %, valeur plus élevée par rapport à un LAM calculé à l'échelle de l'exploitation. Dans le cadre du Multi-LAM, $\beta = 2,67$ est associé au blé et $\beta = 0,24$ est associé à la betterave à sucre. Le risque individuel décroît à 25,93 %, soit une chute de 30,33 % comparé au LAM additif et de 22,48 % comparé au LAM sur l'exploitation.

Nous proposons de mettre en parallèle dans le Tableau 18 la variance résiduelle, ou variance du risque individuel, qui résulte de l'estimation des différents modèles. Seules sont mentionnées les valeurs pour les dix premières exploitations agricoles de notre échantillon mais l'intégralité des résultats est disponible dans l'Annexe 3.3.

ID	LAM Exploitation	LAM Additif	Multi-LAM
1	3,93	4,38	3,05
2	2,32	2,59	2,32
3	4,18	4,67	4,12
4	9,92	8,89	5,83
5	6,13	7,00	1,10

ID	LAM Exploitation	LAM Additif	Multi-LAM
6	58,66	67,33	8,55
7	25,55	29,98	5,45
8	67,84	79,96	11,59
9	1,84	2,09	1,78
10	0,40	0,47	0,64

Légende : La table indique pour chaque méthode et pour chaque exploitation agricole de l'échantillon la valeur de la variance du risque individuel, *i.e.* $\text{Var}(\varepsilon_i)$, exprimée en quintaux par are au carré.

Tableau 18. Comparaison de la variance résiduelle selon différentes méthodes et pour l'ensemble de l'échantillon.

Pour l'ensemble de l'échantillon, nous notons clairement que le risque individuel (spécifique) associé au rendement est inférieur dans le cas d'un Multi-LAM par rapport aux autres stratégies : dans 59 cas sur 68, la variance du risque individuel est inférieure avec un Multi-LAM qu'avec un LAM additif et dans 55 cas sur 68, elle est moins élevée qu'avec un LAM sur l'exploitation. En moyenne, la variance du risque individuel est réduite de 194 % (médiane : 46 %) comparée au LAM sur l'exploitation et de 214 % (médiane : 51 %) comparée au LAM additif (voir l'annexe 3.3). Pour confirmer le pouvoir explicatif de ces résultats, nous procédons à des tests de Mann-Whitney. Le Tableau 19 synthétise ces résultats.

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
LAM Exploitation	68	11,772	51,043	38,439	10,793
LAM Additif	68	13,129	60,106	40,340	13,041
Multi-LAM	68	0,441	72,841	25,040	15,872

LAM Exploitation vs. Multi-LAM		LAM Additif vs. LAM Exploitation		LAM Additif vs. Multi-LAM	
U	3 487,000	U	2 569,000	U	3 564,000
p-value	< 0,0001	p-value	0,264	p-value	< 0,0001
alpha	0,05	alpha	0,05	alpha	0,05

Tableau 19. Statistiques descriptives et tests de Mann-Whitney entre les différentes distributions de la variance du risque individuel

Les tests de Mann-Whitney de comparaison des distributions entre le Multi-LAM et respectivement le LAM additif et le LAM sur l'exploitation confirment que la variance résiduelle associée au Multi-LAM est plus faible par rapport aux deux autres méthodes. En revanche, le même test réalisé entre le LAM sur l'exploitation et le LAM additif ne montre pas de différence significative entre les deux distributions de la variance résiduelle : la première de ces méthodes n'apporte donc pas les effets escomptés, en dépit de sa paramétrisation à l'échelle de l'entreprise agricole. Son développement ne paraît pas pertinent au vu de l'objectif de couverture, même si un échantillon plus important offrirait l'opportunité d'affiner ces résultats. Nous pouvons à ce stade en conclure que les puissances explicatives du LAM additif et du LAM sur l'exploitation sont équivalentes. De plus, notre exemple prouve sans ambiguïté que le Multi-LAM permet avec efficacité de réduire le risque de base (ou risque individuel) associé à un indice de rendement régional. Nous en déduisons plusieurs implications pour le développement de produits assurantiels indexés sur le Multi-LAM.

5.2.3 Portée des résultats

Les résultats précédents font en effet état d'une nette redistribution entre le risque systématique et le risque de base (ou risque individuel). Grâce au Multi-LAM, ce dernier voit sa proportion nettement diminuer, ce qui traduit un meilleur ajustement des rendements individuels par les indices financiers. De plus, la variance du risque individuel est sensiblement réduite comparativement à d'autres solutions alternatives (LAM sur l'exploitation agricole ou LAM additif). Il en résulte *de facto* une meilleure assurabilité des risques naturels affectant les rendements. Dès lors, la portée de ce résultat doit être examinée au regard du cadre de l'analyse, de la couverture des deux composantes du risque et du marché potentiel.

5.2.3.1 Le cadre d'analyse

Nous devons rappeler en premier lieu que l'échantillon servant de cadre à l'analyse porte uniquement sur des exploitations diversifiées mais qui ne retirent pas de bénéfice de cette stratégie. Une couverture intégrée à l'échelle du portefeuille de cultures prend tout son sens pour ces entreprises vulnérables. De plus, la diversification est obtenue en utilisant des cultures dont les variations de rendements (différence entre la productivité d'une année et sa moyenne) ne sont pas corrélées au niveau régional. Cette hypothèse apparaît restrictive au premier abord mais elle est un gage d'absence de biais des modèles économétriques estimés. Pour accroître le champ d'action du Multi-LAM, elle peut être partiellement relâchée mais il convient alors de vérifier systématiquement la validité du modèle économétrique estimé. Un raffinement de l'analyse devrait permettre d'identifier précisément des classes de cultures dont la sensibilité des rendements aux catastrophes climatiques est similaire (*e.g.* des variétés de céréales).

Nonobstant ces améliorations envisageables, il existe deux points principaux à approfondir : la définition des régions et l'historicité des données. Comme nous l'avons noté d'un point de vue théorique, les régions doivent être de taille satisfaisante afin d'autoriser une diversification des risques individuels. Néanmoins, cette taille ne doit pas dépasser un certain seuil afin de limiter les effets de l'inévitable risque de base sur le rendement. Dans notre analyse, nous avons raisonné à une échelle régionale pour des cultures subissant des contraintes climatiques similaires. En pratique, il semble que l'échelle départementale est privilégiée même si la cotation d'indices financiers à cette échelle n'est pas réaliste.

Un des apports fondamentaux de notre travail porte sur l'historicité des données. Face à des données temporelles par nature limitées (le suivi des exploitations au sein du RICA reflète la réalité des mutations continues de l'agriculture en France), il convient de rechercher des palliatifs. La technique du *bootstrap*, un outil puissant et éprouvé dans d'autres circonstances, prouve résolument son efficacité dans le cas présent. La réplique des données disponibles offre ainsi une réponse possible aux limites habituelles des sources d'information en rapport avec des événements catastrophiques, par nature rares. Dès lors, le risque systématique devient davantage assurable.

5.2.3.2 *La couverture du risque systématique*

Notre modélisation définit le risque systématique comme la part du risque global directement expliquée par des indices financiers. Ces derniers sont axés sur des rendements régionaux, ce qui est tout à fait réaliste du point de vue de l'assureur car de tels produits existent déjà.

L'interprétation des résultats du modèle économétrique repose principalement sur la signification financière du coefficient bêta qui est la sensibilité du rendement du producteur par rapport aux variations des rendements agricoles dans sa région (Miranda, 1991 ; Mahul, 1999). La littérature s'est jusqu'à présent concentrée sur des modèles avec une seule variable et par conséquent un seul bêta. Dans un modèle d'optimisation de moyenne-variance, Miranda (1991) a constaté que le comportement optimal de l'agriculteur est d'acheter un contrat d'assurance avec un niveau de couverture égal à son bêta individuel quand celui-ci est positif. Cependant, le concept du « bêta critique » doit être redéfini quand un ensemble de cultures est pris en compte. Mahul et Vermersch (2000) dérivent les ratios de couverture à partir de la valeur des coefficients bêta estimés. Ensuite, ils proposent un ensemble de contrats financiers comprenant des contrats à terme et des options afin de couvrir le risque sur les récoltes.

Lorsque les rendements des différentes récoltes ne sont pas corrélés, l'utilisation des coefficients bêta estimés avec une fonction Multi-LAM apparaît plus précise que celle des coefficients estimés avec de simples LAM. Ces éléments devraient rendre le risque sur récoltes mieux assurable sur les marchés financiers et ainsi renforcer les résultats de Barnett *et al.* (2005) sur la portée d'une assurance agricole fondée sur des indices régionaux. Cependant, pour assurer une couverture complète, il convient également de s'intéresser à la couverture du risque individuel, souvent négligé par ailleurs.

5.2.3.3 *La couverture du risque individuel*

Le caractère innovant du Multi-LAM réside dans la combinaison de plusieurs indices indexés sur les rendements au sein d'un même modèle. Après l'estimation économétrique, il subsiste malgré tout un risque de base, conséquence de l'inefficacité de la couverture sur indices. Nous pouvons assimiler ce dernier à un risque individuel dans la mesure où il est supposé indépendant entre les différents agriculteurs d'une même région. Ce postulat trouve sa justification dans les structures des portefeuilles de cultures qui varient entre les exploitations. La réduction du risque individuel procurée par le Multi-LAM le rend plus facilement assurable grâce à une assurance privée, d'autant que son ampleur et sa volatilité sont réduites par rapport aux modélisations alternatives. Le marché de la couverture des catastrophes naturelles se trouve ainsi complété.

5.2.3.4 *Vers un marché complet de la couverture des catastrophes naturelles*

La couverture peut se fonder sur des contrats d'assurance participatifs (usuels) ou non participatifs (innovants), selon la stratégie choisie. Ce point soulève la question de la délimitation d'une taille de marché qui autorise l'introduction de produits fondés sur le Multi-LAM. L'intérêt premier de l'assureur est de couvrir un large éventail de cultures afin de diversifier son portefeuille et d'acquérir des parts de marché. L'étude du cas français a permis de mettre en évidence cette double stratégie. Il apparaît également que les assureurs disposent des données nécessaires à l'estimation du Multi-LAM, notamment la distribution des rendements par culture pour chaque exploitation.

Ces résultats ouvrent de nombreuses perspectives. Il est désormais envisageable d'estimer un ensemble de bêta ajustés pour chaque exploitation. Ceci laisse supposer que les modèles existants fondés sur une seule culture (LAM) sont adaptables afin de concevoir des stratégies optimales de couverture (Multi-LAM). Dès lors, cette nouvelle paramétrisation des instruments financiers devrait conduire à une évaluation des primes plus adaptée et à une extension du marché de l'assurance récolte. La section suivante propose une synthèse des résultats empiriques qui sont mis en relation avec nos hypothèses de départ.

6. CONCLUSION

Nous avons conçu une étude à plusieurs niveaux pour essayer de capturer des éléments déterminants pour le développement de l'assurance agricole. Nous en rappelons les principaux enseignements dans les paragraphes suivants, en nous référant à nos hypothèses de départ.

H₁ : Les variations anormales du climat induisent une demande accrue en assurance.

Comme attendu, les variables météorologiques présentent un effet déterminant sur la demande en assurance. Il semble en effet logique que des variations anormales de température, de précipitations et/ou d'ensoleillement augmentent la probabilité de s'assurer en toutes circonstances. Cependant, il apparaît que ces indicateurs sont seulement significatifs quand ils sont liés à un événement climatique extrême, tel que la sécheresse de 2003.

H₂ : La souscription d'une assurance récolte augmente avec la taille et la performance des exploitations agricoles.

L'ensemble des tests montre que la taille agricole (mesurée par les surfaces cultivées et irriguées, ainsi que par l'étendue du portefeuille de cultures) a plus de poids que la taille financière dans la décision de s'assurer. Ce résultat est confirmé avec les analyses transversales et longitudinales, ainsi que par les régressions.

D'une manière générale, les variables financières (chiffre d'affaires, capital investi) sont difficilement interprétables car seules les analyses en coupe présentent des résultats nets. Ainsi, les variables qui se rapportent à la performance financière (rentabilités économiques et financières, revenu par unité de surface) ne sont globalement pas significatives. Seul l'endettement tend à s'accroître quand les agriculteurs sont assurés. *A contrario*, l'ensemble des tests et des régressions prouve la corrélation positive entre l'assurance, l'irrigation et la diversité du portefeuille de cultures, signe probable d'une aversion au risque.

H₃ : Les agriculteurs restent fidèles à leur assurance.

Nous observons un effet de fidélité à l'assurance car les agriculteurs qui ont souscrit une police d'assurance ou qui ont reçu des indemnités au cours d'une année donnée sont nettement plus disposés à s'assurer l'année suivante. En résumé, une fois qu'un agriculteur est assuré, il reste assuré.

H₄ : Le Multi-LAM et le LAM additif sont plus performants que le LAM calculé sur l'ensemble de l'exploitation.

Si nous examinons la performance du Multi-LAM au regard des proportions respectives du risque systématique et du risque individuel, alors cette méthode offre sans conteste le meilleur ajustement des données. Les tests d'appariement de Mann-Whitney confirment ce résultat mais ils ne donnent en revanche aucune supériorité au LAM additif sur le LAM calculé pour l'exploitation. En dépit de la taille de notre échantillon, ce résultat est robuste grâce à l'utilisation de la méthode du *bootstrap*, à l'étude de portefeuilles de cultures non corrélées et à la définition de régions homogènes.

H₅ : Le Multi-LAM réduit sensiblement la variance du risque individuel par rapport aux méthodes alternatives.

Cette hypothèse est vérifiée car le Multi-LAM permet une réduction sensible de la volatilité du risque individuel, ou risque de base, comparativement aux autres méthodes. Davantage maîtrisé, ce type de risque, propre à chaque exploitation, devient mécaniquement plus assurable grâce à des contrats à prime fixe ou variable. Cela profite dès lors à la couverture de l'ensemble du risque de catastrophe.

Les principaux éléments de validation ou d’infirmer de ces hypothèses sont rassemblés dans le Tableau 20.

Hypothèses	Enoncé	Validité
H₁	Les variations anormales du climat induisent une demande accrue en assurance.	Vérifiée uniquement lors d’événements extrêmes (e.g. sécheresse de 2003).
H₂	La souscription d’une assurance récolte augmente avec la taille et la performance des exploitations agricoles.	Vérifiée pour l’ensemble des variables agricoles. L’effet sur les variables financières est en revanche ambigu.
H₃	Les agriculteurs restent fidèles à leur assurance.	Vérifiée totalement.
H₄	Le Multi-LAM et le LAM additif sont plus performants que le LAM calculé sur l’ensemble de l’exploitation.	Vérifiée pour le Multi-LAM mais le LAM additif et le LAM sont sur un pied d’égalité.
H₅	Le Multi-LAM réduit sensiblement la variance du risque individuel par rapport aux méthodes alternatives.	Vérifiée totalement.

Tableau 20. Synthèse de la validité des principales hypothèses

Partie V



Conclusion

1. CONCLUSION GENERALE

« *L'humanité fait sortir du malheur même l'évidence que le monde est maniable.* »

Roland Barthes, Mythologies

L'époque où les catastrophes s'apparentaient à la fatalité est révolue. Il existe désormais des mécanismes de gestion du risque susceptibles d'offrir une couverture plus efficace des calamités naturelles. Cette thèse a notamment démontré que des avancées étaient possibles sur quatre aspects différents : théorique, technique, pratique et individuel.

Sur un plan théorique, nous mettons en exergue la perfectibilité des marchés axés sur l'assurance des catastrophes naturelles. Nous démontrons que ceux-ci peuvent être complétés en élargissant au maximum le champ de l'assurance. C'est le sens du modèle Multi-LAM qui permet d'identifier les deux facettes du risque de catastrophe et d'envisager une couverture mieux appropriée. La composante systématique du risque est sécurisée grâce à des contrats financiers tandis que la composante individuelle est assurée par un mécanisme participatif.

D'un point de vue technique, nous prouvons que l'absence de données historiques n'est pas un obstacle à la couverture des catastrophes naturelles. Naturellement, cette problématique demeure réellement préoccupante pour les événements très rares mais cet argument ne doit plus être invoqué dans un contexte de pertes agricoles. En effet, dans ce cas, nous montrons qu'une technique statistique comme le *bootstrap* apparaît désormais crédible pour dépasser le manque de données quantitatives.

Les applications pratiques de notre travail sont multiples. Nous avons exploré plusieurs voies permettant d'accroître l'assurabilité des catastrophes naturelles grâce à une nouvelle structure des polices de couverture. Les conditions sont dès lors réunies pour que le marché continue à se développer grâce à la commercialisation de produits plus adaptés, éventuellement assortie d'une tarification ajustée. Ce dernier point présente un intérêt tout particulier, notamment dans l'optique d'une mise sur le marché de contrats participatifs variables indexés sur un Multi-LAM.

Sur le plan individuel, une couverture renforcée est un facteur incitatif capital pour la souscription de polices d'assurance. Dans le cas que nous avons exposé, la couverture existante est d'autant plus efficace qu'elle est élargie à l'ensemble du portefeuille de cultures au sein d'une exploitation. Grâce à l'introduction de contrats participatifs, la responsabilisation des souscripteurs est également plus élevée, ce qui est en phase avec le renforcement de la prévention.

Il convient à ce propos de rappeler que la modélisation proposée dans l'analyse peut être applicable à d'autres sujets d'études. Certains risques industriels tels que les fuites radioactives ou les incendies d'entrepôts, voire les risques terroristes, présentent intrinsèquement des caractéristiques similaires aux phénomènes que nous avons étudiés. Cependant, les mécanismes de couverture de ces événements sont encore moins développés que dans le secteur agricole. Il existe par conséquent de larges perspectives pour l'assurance des événements extrêmes, puisque les enjeux dans ce domaine et la prise de conscience des personnes et des entreprises affectées ne cessent de se développer.

2. BIBLIOGRAPHIE

Akerlof, G. (1970), “The market for lemons: quality uncertainty and the market mechanism”, *Quarterly Journal of Economics* 84, 488-500.

Arrow, K.J. (1974), “Optimal Insurance and Generalized Deductible”, *Scandinavian Actuarial Journal* 1, 1-42.

Arrow, K.J. (1996), “The theory of risk-bearing: Small and great risks”, *Journal of Risk and Uncertainty* 12, 103-111.

Balduzzi, P. et Robotti, C. (2005), “Mimicking Portfolios, Economic Risk Premia, and Tests of Multi-beta Models”, Working paper series, Federal Reserve Bank of Atlanta, 2005-4.

Barbusiaux, C. (2000), L’assurance récolte et la protection contre les risques climatiques en agriculture ; Ministère de l’économie, des finances et de l’industrie, Ministère de l’agriculture et de la pêche.

Barnett, B.J., Black, J.R., Hu, Y. et Skees, J.R. (2005), “Is Area Yield Insurance Competitive with Farm Yield Insurance?”. *Journal of Agricultural and Resource Economics* 30, 285-301.

Benninga, S., Eldor, R. et Zilcha, I. (1984), “The optimal hedge ratio in unbiased futures markets”, *Journal of Futures Markets* 4 (2), 155-161.

Black, F. et Scholes, M. (1973), “The pricing of options and corporate liabilities”, *Journal of Political Economy* 81, 637-654.

Blank, S.C. et McDonald, J. (1996), “Preferences for Crop Insurance When Farmers Are Diversified”, *Agribusiness* 12 (6), 583-592.

Born, P. et Viscusi, W. (2006), “The catastrophic effects of natural disasters on insurance markets”, *Journal of Risk and Uncertainty* 33 (1), 55-72.

Cao, M. et Wei, J. (2004), “Weather Derivatives Valuation and Market Price of Weather Risk”, *The Journal of Futures Markets* 24(11), 1065-1089.

Carles, R. (1999), *Audit et gestion de l'entreprise agricole : Comment repérer les forces et les faiblesses de l'entreprise agricole ?*, Editions France Agricole, Paris, 254 pp.

Carles, R. (2004), *Comptes et résultats de l'entreprise agricole*, Editions France Agricole, Paris, 320 pp.

Chambers, R. G. et Quiggin, J. (2002), “Optimal producer behavior in the presence of area-yield crop insurance”, *American Journal of Agricultural Economics* 84, 320-334.

Chavarot, A., Dimitrov, C., Queffelec, C., Dumas, P., Macaire, A., Legrand, H. et Martin, X. (2004), “État des lieux du régime d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles Cat-Nat”, Conseil Général des Ponts et Chaussées, Rapport n°2004-0304-01.

Choi, B.P. et Weiss, M.A. (2005), “An Empirical Investigation of Market Structure, Efficiency and Performance in Property-Liability Insurance”, *Journal of Risk and Insurance* 72 (4), 635-673.

Chou, P.H. et Zhou, G. (2006), “Using Bootstrap to Test Portfolio Efficiency”, *Annals of Economics and Finance* 7, 217-249.

Coble, K.H., Knight, T.O., Pope, R.D., et Williams, J.R. (1996), “Modeling Farm-Level Crop Insurance Demand with Panel Data”, *American Journal of Agricultural Economics* 78, 439-447.

Coble, K.H., Knight, T.O., Pope, R.D. et Williams, J.R. (1997), “An expected indemnity approach to the measurement of moral hazard in crop insurance”, *American Journal of Agricultural Economics* 79, 216-226.

Coble, K.H., Heifner, R. et Zuniga, M. (2000), “Implications of Crop Yield and Revenue Insurance for Producer Hedging”, *Journal of Agricultural and Resource Economics* 25 (2), 432-452.

Cummins, J.D. et Weiss, M.A. (2000), “The Global Market for Reinsurance: Consolidation, Capacity, and Efficiency”, in Litan R. and A. Santomero, *eds.*, *Brooking-Wharton Papers of Financial Service*, 3, Brooking Institution Press, Washington, D.C.

Cummins, J.D., Doherty, N. et Lo, A. (2002), “Can insurers pay for the “big one”? Measuring the capacity of the insurance market to respond to catastrophic losses”, *Journal of Banking and Finance* 26 (2-3), 557-583.

Cummins, J.D., Lalonde, D. et Phillips, R.D. (2004), “The basis risk of catastrophic-loss index securities”, *Journal of Financial Economics* 71, 77-111.

Cummins, J.D. (2006), “Should the Government Provide Insurance for Catastrophes?”, *Federal Reserve Bank of St. Louis Review* 88 (4), 337-79.

Cummins, J.D. (2008), “CAT Bonds and Other Risk-Linked Securities: State of the Market and Recent Developments”, *Risk Management and Insurance Review* 11 (1), 23-47.

Deng, X., Barnett, B.J. et Vedenov, D.V. (2007), “Is There a Viable Market for Area-Based Crop Insurance?”, *American Journal of Agricultural Economics* 89 (2), 508-519.

Dionne, G. et Doherty, N. (1993), “Insurance with Undiversifiable Risk: Contract Structure and Organizational Form of Insurance Firms”, *Journal of Risk and Uncertainty* 6, 187-203.

Doherty, N.A. (1997), “Innovations in Managing Catastrophe Risk”, *Journal of Risk and Insurance* 64 (4), 713-718.

Doherty, N.A. et Richter, A. (2002), “Moral Hazard, Basis Risk, and Gap Insurance”, *Journal of Risk and Insurance* 69 (1), 9-24.

Doherty, N. A. et Schlesinger, H. (2002), “Insurance Contracts and Securitization”, *Journal of Risk & Insurance* 69, 45-62.

Dutta, D., Herath, S. et Musiake, K. (2002), “Direct Flood Damage Modeling towards Urban Flood Risk Management”, Proceedings of the Joint Workshop on Urban Safety Engineering 2001, ICUS Report 1, University of Tokyo, Japan, 127-143.

Dutta, D., Herath, S. et Musiake, K. (2003), “A Mathematical Model for Flood Loss Estimation”, *Journal of Hydrology* 277 (1-2), 24-49.

Efron, B. (1979), “Bootstrap Methods: Another Look at the Jackknife”, *The Annals of Statistics* 7 (1), 1-26.

Erdlenbruch, K., Gilbert, E., Grelot, F. et Lescoulier, C. (2008), “Une analyse coût-bénéfice spatialisée de la protection contre les inondations : application de la méthode des dommages évités à la basse vallée de l’Orb”, *Ingénieries E.A.T.*, n°53, à paraître.

FAO (2007), “Prix élevés et volatilité des produits agricoles”, Perspectives de l’alimentation de la FAO – Analyse des marchés mondiaux, Novembre 2007. Rapport disponible en ligne : <http://www.fao.org/docrep/010/ah876f/ah876f13.htm>

Freeman, P.K. et Kunreuther, H. (2003), “Managing Environmental Risk Through Insurance”, in *International Yearbook of Environmental and Resource Economics* 2003/04, Chapitre 4, 159-189, édité par : Folmer/Tietenberg, Edward Elgar Publishing Ltd.

Froot, K.A. (1999), “The Market for Catastrophic Risk: a Clinical Examination”, *Journal of Financial Economics* 60, 529-571.

Garrido, A. et Zilberman, D. (2007), "Revisiting the Demand of Agricultural Insurance: The Case of Spain", Article présenté au 101st Seminar of the European Association of Agricultural Economists, Berlin, Allemagne.

Glauber, J.W. (2004), "Crop Insurance Reconsidered", *American Journal of Agricultural Economics* 86 (5), 1179-1195.

Goodwin, B.K. (1993), "An Empirical Analysis of the Demand for Multiple Peril Crop Insurance", *American Journal of Agricultural Economics* 75, 425-434.

Goodwin, B.K. et Smith, V.H. (1995), "The Economics of Crop Insurance and Disaster Aid", AEI Press, Washington DC.

Grace, M.F., Klein, R.W. et Kleindorfer, P.R. (2004), "Homeowners Insurance With Bundled Catastrophe Coverage", *Journal of Risk and Insurance* 71 (3), 351-379.

Grelot, F. (2004), "Gestion collective des inondations : peut-on tenir compte de l'avis de la population dans la phase d'évaluation économique a priori ?", Thèse de l'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers, Paris, 383 pp. + annexes.

Hall, P. (1994), "Methodology and Theory for the Bootstrap", in Engle, R.F. et McFadden, D.L., eds. *Handbook of Econometrics*. Vol. IV, Chapitre 39, New York : Elsevier, 2342-2379.

Harrington, S.E. et Niehaus, G.R. (1999), "Basis Risk with PCS Catastrophe Insurance Derivative Contracts", *Journal of Risk and Insurance* 66, 49-82.

Harrington, S.E. et Niehaus, G.R. (1999), *Risk Management and Insurance*, Irwin/McGraw-Hill eds.

Hazell, P.B.R. (1992), "The Appropriate Role of Agricultural Insurance in Developing Countries", *Journal of International Development* 4, 567-581.

Hanley, N. et Spash, C. (2003), “Cost-benefit analysis and the environment”, Edward Elgar, Northampton, 278 pp.

Harwood, J. et Novak, J. (2001), “Crop insurance and disaster assistance”, *in* Outlaw, J.L. et Smith, E.G., “The 2002 Farm Bill: Policy Options and Consequences”, Oak Brook, IL : Farm Foundation, Septembre 2001.

Horowitz, J.K. et Lichtenberg, E. (1993), “Insurance, Moral Hazard, and Chemical Use in Agriculture”, *American Journal of Agricultural Economics* 75 (4), 926-935.

Hull, J. (2008), Introduction to Futures Options Markets, Prentice-Hall, 7^{ème} édition, 444 pp.

Ibarra, H. et Skees, J. (2007), “Innovation in risk transfer for natural hazards impacting agriculture”, *Environmental Hazards* 7 (1), 62-69.

IRS (2000), Etude globale pour une stratégie de réduction des risques dus aux crues du Rhône, Rapport de synthèse, 5 volumes, Institution interdépartementale des bassins Rhône-Saône, Valence, France, 469 pp.

Isengildina, O. et Hudson, M.D. (2001), “Factors Affecting Hedging Decisions Using Evidence from the Cotton Industry”, Proceedings of the NCR-134 Conference on Applied Commodity Price Analysis, Forecasting and Market Risk Management, Saint-Louis, MO.

Jaffe, D. et Russell, T. (1997), “Catastrophe Insurance, Capital Markets, and Uninsurable Risks”, *Journal of Risk and Insurance* 64 (2), 205-230.

Jewson, S. et Zervos, M. (2003), “The Black-Scholes equation for Weather Derivatives”, RMS and Kings College, London.

Just, R.E. et Pope, R.D. (1979), “Production Function Estimation and Related Risk Considerations”, *American Journal of Agricultural Economics* 61, 277-284.

Kast, R. et Lapied, A. (2006), *Economics and Finance of Risks and of the Future*, Wiley-Finance, 220 pp.

Kelly, M. et Kleffner, A.E. (2003), “Optimal Loss Mitigation and Contract Design”, *Journal of Risk and Insurance* 70 (1), 53-72.

Klaus, J. et Schmidtke, R. F. (1990), “Bewertungsgutachten für Deichbauvorhaben an der Festlandküste – Modellgebiet Wesermarsch”, Untersuchungsbericht an den Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.

Knight, T.O. et Coble, K.H. (1997), “Survey of U.S. Multiple Peril Crop Insurance Literature Since 1980”, *Review of Agricultural Economics* 19 (1), 128-156.

Kosowski, R, Timmermann, A, Wermers, R. et White, H. (2006), “Can mutual fund “stars” really pick stocks? New evidence from a bootstrap analysis”, *Journal of Finance* 61, 2551-2595.

Latruffe, L. et Picard, P. (2005), “Assurance des catastrophes naturelles : faut-il choisir entre prévention et solidarité ?”, *Annales d'Economie et de Statistique* 78, 33-56

Ledoux, B. (2006), *La gestion du risque inondation*, Tec et Doc, Paris, 770 pp.

Loubergé, H. et Schlesinger, H. (1999), “Optimal Catastrophe Insurance with Multiple Catastrophes”, FAME Research Paper Series n°7, International Center for Financial Asset Management and Engineering.

Lustig, H.N. et Van Nieuwerburgh, S.G. (2005), “Housing Collateral, Consumption Insurance and Risk Premia: An Empirical Perspective”, *Journal of Finance* LX (3), 1167-1219.

Mahul, O. (1998), “Vers une redéfinition du rôle de l'assurance agricole dans la gestion des risques sur récoltes”, *Cahiers d'économie et sociologie rurales* 49, 33-58.

Mahul, O. (1999), “Optimum Area Yield Crop Insurance”, *American Journal of Agricultural Economics* 81 (1), 75–82.

Mahul, O. et Vermersch, D. (2000), “Hedging crop risk with yield insurance futures and Options”, *European Review of Agricultural Economics* 27 (2), 109-126.

Mahul, O. (2001), “Managing Catastrophic Risk Through Insurance and Securitization”, *American Journal of Agricultural Economics* 83, 656-661.

Mahul, O. (2002), “Coping with Catastrophic Risk: The Role of (Non-)Participating Contracts”, Article présenté au 29th Seminar of the European Group of Risk and Economists, Nottingham, Septembre 2002.

Mahul, O. (2003), “Hedging price risk in the presence of crop yield and revenue insurance”, *European Review of Agricultural Economics* 30 (2), 217-239.

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

Major, J.A. (1999), “Index Hedge Performance: Insurer Market Penetration and Basis Risk”, in Froot, K.A. ed., “The Financing of Catastrophe Risk”, University of Chicago Press, Chicago.

Makki, S.S. et Somwaru, A. (2001), “Evidence of Adverse Selection in Crop Insurance Markets”, *Journal of Risk and Insurance* 68, 685-708.

Malliaropulos, D. (1996), “Are long-horizon stock returns predictable? A bootstrap analysis”, *Journal of Business Finance and Accounting* 23, 93-106.

Marshall, J.M. (1974), “Insurance Theory: Reserves versus Mutuality”, *Economic Inquiry* 12, 476-492.

Ménard, C. (2004), Gestion des risques climatiques en agriculture : engager une nouvelle dynamique, Assemblée Nationale, Janvier 2004.

Merz, B., Kreibich, H., Thielen, A. et Schmidtke, R. (2004), “Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings”, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4, 153-163.

Messner, F., Penning-Rowsell, E., Green, C., Meyer, V., Tunstall, S. et van der Veen, A. (2006), Guidelines for socio-economic flood damage evaluation, European Community, FLOODsite Project, Report T9-06-01.

Michel-Kerjean, E. (2001), “Insurance against Natural Disasters: Do the French have the Answer? Strengths and Limitations”, *Les cahiers du laboratoire d'Économétrie de l'École Polytechnique*, n°7.

Michel-Kerjean, E. et Morlaye, F. (2008), “Extreme Events, Global Warming, and Insurance-Linked Securities: How to Trigger the Tipping Point”, *The Geneva Papers* 33 (1), 153-176.

Miranda, M.J. (1991), “Area-Yield Crop Insurance Reconsidered”, *American Journal of Agricultural Economics* 73, 233-242.

Miranda, M.J. et J.W. Glauber (1997), “Systemic Risk, Reinsurance, and the Failure of Crop Insurance Markets”, *American Journal of Agricultural Economics* 79 (1), 206-215.

Mishra, A.K. et Goodwin, B.K. (2003), “Adoption of Crop versus Revenue Insurance: A Farm-Level Analysis”, *Agricultural Finance Review*, Fall 2003, 143-155.

Mortemousque, D. (2007), Une nouvelle étape pour la diffusion de l'assurance récolte, Sénat, Février 2007.

Munich Re Group (2006), “Topics Geo – Annual Review: Natural Catastrophes 2005”, *Munich Re Knowledge Series*, Munich.

Nawalkha, S. (1997), “A Multibeta Representation Theorem for Linear Asset Pricing Theories”, *Journal of Financial Economics* 46 (3), 357-381.

Niehaus, G. (2002), “The Allocation of Catastrophe Risk”, *Journal of Banking and Finance* 26, 585-596.

OECD (2006), “Policies for Preventing and Compensation Flood-Related Damage”, OECD Studies in Risk Management – France, 58 pp.

Peters, S.C. et Freedman, D.A. (1984), “Some Notes on the Bootstrap in Regression Problems”, *Journal of Business & Economic Statistics* 2 (4), 406-409.

Phelippe-Guivarc'h, M.V. et Cordier, J.E. (2006), “A private management strategy for the crop yield insurer: A theoretical approach and tests”, *Insurance: Mathematics and Economics* 39 (1), 35-46.

Pottier, N., Penning-Roswell, E., Tunstall, S., et Hubert, G. (2005), “Land use and flood protection: contrasting approaches and outcomes in France and in England and Wales”, *Applied Geography* 25, 1-25.

Puelz, R. (1999), “Reviewed work: Risk Management and Insurance”, *Journal of Finance* 54 (3), 1187-1189.

Quiggin, J., Karagiannis, G. et Stanton, J. (1994), “Crop Insurance and Crop Production: An Empirical Study of Moral Hazard and Adverse Selection”, *Australian Journal of Agricultural Economics* 37, 95-113.

Ramaswami, B. et Roe, T.L. (2004), “Aggregation in Area-Yield Crop Insurance: The Linear Additive Model”, *American Journal of Agricultural Economics* 86 (2), 420-431.

Raviv, A. (1979), “The Design of an Optimal Insurance Policy”, *American Economic Review* 69, 84-96.

Rejesus, R.M., Coble, K.H., Knight, T. et Yufei, J. (2006), “Developing Experience-Based Premium Rate Discounts in Crop Insurance”, *American Journal of Agricultural Economics* 88 (2), 409-419.

Richards, T.J., Manfredo, M.R. et Sanders, D.R. (2004), “Pricing Weather Derivatives”, *American Journal of Agricultural Economics* 86 (4), 1005-1017.

Ross, S.A. (1976), “The arbitrage theory of capital asset pricing”, *Journal of Economic Theory* 13 (3), 341-360.

Rothschild, M. et Stiglitz, J. (1976), “Equilibrium in Competitive Insurance Markets: An Essay on the Economics of Imperfect Information”, *The Quarterly Journal of Economics* 90 (4), 630-649.

Ruiz, E. et Pascual, L. (2002), “Bootstrapping Financial Time Series”, *Journal of Economic Surveys* 16 (3), 271-300.

Satrapa, V., Fosumpor, P. et Horsky, M. (2006), "Methods for the evaluation of potential flood losses in Methodology”, Proceedings of the II. Workshop zu den Studien über die Ermittlung von Hochwasserrisiken und Hochwasserschäden, Dresden.

Schlesinger, H. (1999), “Decomposing Catastrophic Risk”, *Insurance: Mathematics and Economics* 24 (1), 95-101.

Sentis, P. (1998), “Performances à long terme et caractéristiques financières des entreprises qui réduisent leurs effectifs”, *Finance Contrôle Stratégie* 1 (4), 115-150.

Serra, T., Goodwin, B.G. et Featherstone, A.M. (2003), “Modeling Changes in the U.S. Demand for Crop Insurance During the 1990s”, *Agricultural Finance Review*, Fall 2003, 109-125.

Shanken, J. (1985), “Multi-beta CAPM or equilibrium APT?: A reply”, *Journal of Finance* 40, 1189-1196.

Sharpe, W.F. (1963), "A simplified model for portfolio analysis", *Management Science* 9 (1), 277-293.

Sherrick, B.J., Barry, P.J., Schnitkey, G.D., Ellinger, P.N., et Wansink, B. (2003), "Farmers' Preferences for Crop Insurance Attributes", *Review of Agricultural Economics* 25 (2), 415-429.

Sherrick, B.J., Barry, P.J., Ellinger, P.N. et Schnitkey, G. (2004), "Factors Influencing Farmers' Crop Insurance Decisions", *American Journal of Agricultural Economics* 86 (1), 103-114.

Skees, J.R., Black, J.R. et Barnett, B.J. (1997), "Designing and Rating an Area Yield Crop Insurance Contract", *American Journal of Agricultural Economics* 79, 430-438.

Smith, V.H., Chouinard, H.H. et Baquet, A.E. (1994), "Almost Ideal Area Yield Crop Insurance Contracts", *Agricultural and Resource Economic Review* 23, 75-83.

Smith, V.H. et Baquet, A.E. (1996), "The Demand for Multiple Peril Crop Insurance: Evidence from Montana Wheat Farms", *American Journal of Agricultural Economics* 78, 189-201.

Turvey, C.G. (2001), "Weather Derivatives for Specific Event Risks in Agriculture", *Review of Agricultural Economics* 23 (2), 333-351.

Van Asseldonk, M., Meuwissen, M. et Huirne, R. (2002), "Belief in Disaster Relief and the Demand for a Public-Private Insurance Program", *Review of Agricultural Economics* 24 (1), 196-207.

Wang, H.H. et Zang, H. (2003), "On the Possibility of a Private Crop Insurance Market: A Spatial Statistics Approach", *Journal of Risk and Insurance* 70 (1), 111-124.

Weaver, R.D. et Kim, T. (2002), "Designing Crop Insurance to Manage Moral Hazard Costs", Proceedings of the EAAE Xth World Congress, n°008-301.

Woo, G. (1999), *The mathematics of natural catastrophes*, Imperial College Press, London, 292 pp.

Zanjani, G. (2002), "Pricing and Capital Allocation in Catastrophe Insurance", *Journal of Financial Economics* 65, 283-305.

Zering, K.D., McCorkle, C.O. et Moore, C.V. (1987), "The Utility of Multiple Peril Crop Insurance for Irrigated, Multiple-Crop Agriculture", *Western Journal of Agricultural Economics* 12, 50-59.

Partie VI



Annexes

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1. DEMONSTRATION DES PROPOSITIONS.....	209
1.1 DEMONSTRATION DE LA PROPOSITION 2	209
1.2 DEMONSTRATION DE LA PROPOSITION 3	212
1.3 DEMONSTRATION DE LA PROPOSITION 5	214
1.4 DEMONSTRATION DE LA PROPOSITION 6	218
1.5 DEMONSTRATION DE LA PROPOSITION 7	220
1.6 DEMONSTRATION DE LA PROPOSITION 8	221
1.7 DEMONSTRATION DE LA PROPOSITION 9	222
1.8 DEMONSTRATION DE LA PROPOSITION 10	223
ANNEXE 2. REGRESSIONS LOGISTIQUES SUR LES DETERMINANTS DE L'ASSURANCE RECOLTE.....	224
2.1 REGRESSION LOGISTIQUE POUR L'ANNEE 2002	224
2.2 REGRESSION LOGISTIQUE POUR L'ANNEE 2003	225
2.3 REGRESSION LOGISTIQUE POUR L'ANNEE 2004	226
2.4 REGRESSION LOGISTIQUE POUR L'ANNEE 2005	227
ANNEXE 3. TESTS DE PERFORMANCE DU MULTI-LAM.....	228
3.1 COMPARAISON DE LA DISTRIBUTION DES ESTIMATEURS BETA AVEC UN LAM ET UN MULTI-LAM	228
3.2 ESTIMATEURS BETA ET DECOMPOSITION DE LA VARIANCE DU RENDEMENT	229
3.3 COMPARAISON DE LA VARIANCE RESIDUELLE SELON DIFFERENTES METHODES ET POUR L'ENSEMBLE DE L'ECHANTILLON.....	231
ANNEXE 4. LISTE DES SIGLES	232
ANNEXE 5. LISTE ET RESUME DES ARTICLES.....	233
ANNEXE 6. LISTE DES TABLEAUX	237
ANNEXE 7. LISTE DES FIGURES.....	238
TABLE DES MATIERES	239

ANNEXE 1. DEMONSTRATION DES PROPOSITIONS

1.1 Démonstration de la Proposition 2

L'équation (16) satisfait à :

$$\forall j, \frac{\partial y_i}{\partial e_{ij}} = \frac{\partial y_i}{\partial \varepsilon_i} \frac{\partial \varepsilon_i}{\partial e_{ij}} \quad (\text{A1})$$

Or, l'équation de base du Multi-LAM implique que : $\frac{\partial y_i}{\partial \varepsilon_i} = 1$, de sorte qu'il en résulte :

$$\forall j, \frac{\partial y_i}{\partial e_{ij}} = \frac{\partial \varepsilon_i}{\partial e_{ij}} \quad (\text{A2})$$

Le Multi-LAM suppose également que : $\forall j, y_j \perp \varepsilon_i$, ce qui implique que :

$$\forall j, \frac{\partial^2 y_i}{\partial e_{ij} \partial \theta_i} = \frac{\partial^2 \varepsilon_i}{\partial e_{ij} \partial \theta_i} = 0 \quad (\text{A3})$$

Ce résultat n'est vrai qu'en présence d'une forme additive du type :

$$y_{ij} = \sum_j w_{ij} h_{ij}(e_{ij}) + \sum_j w_{ij} g_{ij}(\theta_j) \quad (\text{A4})$$

Il en découle la partie (i) de la Proposition.

Définissons à présent les sensibilités des rendements individuel et régional à un choc systématique.

- Sensibilité de y_{ij} à une catastrophe : $\forall i, j, \delta_{ij} = \frac{\partial y_{ij}}{\partial \theta_j}$
- Sensibilité de y_j à une catastrophe : $\forall j, \delta_j = \frac{\partial y_j}{\partial \theta_j}$

Ces notations impliquent que : $\frac{\partial y_j}{\partial \theta_j} = \sum_i \omega_i \frac{\partial y_{ij}}{\partial \theta_j}$ et par conséquent que : $\delta_j = \sum_i \omega_i \delta_{ij}$

Il en résulte que :

$$\delta_{ij} = \frac{\partial y_{ij}}{\partial \theta_j} = \frac{\partial y_{ij}}{\partial y_j} \frac{\partial y_j}{\partial \theta_j} = \delta_j \frac{\partial y_{ij}}{\partial y_j}, \forall i, j \quad (\text{A5})$$

et :

$$\frac{\partial y_{ij}}{\partial y_j} = \frac{\delta_{ij}}{\delta_j}, \forall i, j \quad (\text{A6})$$

Considérons un producteur k . Nous pouvons alors définir :

$$\forall i, j, \lambda_{ij} = \frac{\partial y_{ij}}{\partial y_j} \bigg/ \frac{\partial y_{kj}}{\partial y_j} \quad (\text{A7})$$

Avec la propriété : $\lambda_{kj}^{i=k} = 1$

Par (A6), cela implique que : $\delta_{ij} = \lambda_{ij} \delta_{kj}$

En utilisant la Proposition (2a), nous obtenons :

$$\frac{\partial g_{ij}}{\partial \theta_j} = \lambda_{ij} \frac{\partial g_{kj}}{\partial y_j} \quad (\text{A8})$$

De ce résultat, nous déduisons que $\forall i, j, \lambda_{ij}$ ne varie pas avec θ_j .

Un tel résultat s'applique au Multi-LAM quand nous considérons l'addition des composantes de l'équation (1).

Il en résulte que : $\forall i, j, \frac{\partial y_{ij}}{\partial y_j} \perp \theta_j$

En intégrant (A8) par rapport à $\theta_j : \forall i$, chaque composante du modèle structurel satisfait à :

$$g_{ij}(\theta_j) = \lambda_{ij} g_{kj}(\theta_j) + c_{ij} = \lambda_{ij} l(\theta_j) + c_{ij} \quad (\text{A9})$$

Où k étant arbitraire, nous définissons $g_{kj}(\theta_j) \equiv l_j(\theta_j)$, ce qui implique la partie (ii).

1.2 Démonstration de la Proposition 3

A partir du modèle structurel (Partie (ii) de la Proposition 3), le rendement moyen de l'exploitation i est défini par :

$$\mu_i = \sum_j w_{ij} a_{ij} + \sum_j w_{ij} b_{ij} E(l_j(\theta_j)) + \sum_j w_{ij} E(h_{ij}(e_{ij})) \quad (\text{B1})$$

La différence entre le rendement et son espérance s'écrit alors :

$$y_i - \mu_i = \sum_j w_{ij} b_{ij} [l_j(\theta_j) - E(l_j(\theta_j))] + \sum_j w_{ij} [h_{ij}(e_{ij}) - E(h_{ij}(e_{ij}))] \quad (\text{B2})$$

En reprenant l'équation de la Partie (ii) de la Proposition 3, le rendement régional de la culture j est :

$$y_j = \sum_i \omega_{ij} a_{ij} + \sum_i \omega_{ij} b_{ij} l_j(\theta_j) + \sum_i \omega_{ij} h_{ij}(e_{ij}) \quad (\text{B3})$$

Ce qui équivaut à :

$$y_j = a_j + b_j l_j(\theta_j) + \sum_i \omega_{ij} h_{ij}(e_{ij}) \quad (\text{B4})$$

$$\text{Avec : } a_j = \sum_i \omega_{ij} a_{ij} \text{ et } b_j = \sum_i \omega_{ij} b_{ij}$$

En supposant que les conditions de la loi faible des grands nombres s'appliquent, alors :

$$\sum_i \omega_{ij} h_{ij}(e_{ij}) \xrightarrow{\text{LGN}} \sum_i \omega_{ij} E(h_{ij}(e_{ij}))$$

Il en résulte que :

$$y_j(\theta_j) = a_j + b_j l_j(\theta_j) + \sum_i \omega_{ij} E(h_{ij}(e_{ij})) \quad (\text{B5})$$

et que :

$$\mu_j = a_j + b_j E(l_j(\theta_j)) + \sum_i \omega_{ij} E(h_{ij}(e_{ij})) \quad (\text{B6})$$

(B5) et (B6) impliquent :

$$y_j - \mu_j = b_j [l_j(\theta_j) - E(l_j(\theta_j))] \quad (\text{B7})$$

En intégrant le résultat précédent dans (B2), nous obtenons :

$$y_i = \sum_j w_{ij} \mu_j + \sum_j w_{ij} \frac{b_{ij}}{b_j} (y_j - \mu_j) + \sum_j w_{ij} [h_{ij}(e_{ij}) - E(h_{ij}(e_{ij}))] \quad (\text{B8})$$

Ceci est équivalent à :

$$y_i = \sum_j w_{ij} \mu_j + \sum_j w_{ij} \beta_{ij} (y_j - \mu_j) + \varepsilon_i \quad (\text{B9})$$

$$\text{Avec : } \beta_{ij} = \frac{b_{ij}}{b_j} \text{ et } \varepsilon_i = \sum_j w_{ij} [h_{ij}(e_{ij}) - E(h_{ij}(e_{ij}))]$$

Il apparaît clairement que ε_i est une variable aléatoire de moyenne nulle et non corrélée avec les rendements régionaux. L'équation (B9) donne également la relation entre les paramètres du modèle structurel et ceux du Multi-LAM.

1.3 Démonstration de la Proposition 5

Le Problème (38) peut être résolu en utilisant les conditions de Karush-Kuhn-Tucker pour $I(x, \varepsilon)$ et $J(z, b, \varepsilon)$ car leurs dérivées premières n'apparaissent ni dans la fonction objectif ni dans les contraintes.

$$\underset{I, J, P, Q}{Max} Eu(w_0 - l(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) + I(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) - P(\tilde{x}) + J(\tilde{z}, \tilde{b}, \tilde{\varepsilon}) - Q)$$

sous les contraintes :

$$\begin{cases} I(x, \varepsilon) \geq 0 \text{ associée avec } \lambda_1(x, \varepsilon) \\ P(x) = (1 + \theta_1) E(I(x, \varepsilon)) \text{ associée avec } \mu_1(x) \\ J(z, b, \varepsilon) \geq 0 \text{ associée avec } \lambda_2(z, \varepsilon) \\ Q = (1 + \theta_2) E(I(x, \varepsilon)) \text{ associée avec } \mu_2 \end{cases} \quad (C1)$$

Où $\lambda_1, \lambda_2, \mu_1$ et μ_2 sont des multiplicateurs de Lagrange.

La condition de premier ordre associée à l'indemnité du contrat participatif est :

$$\frac{\partial L}{\partial I(x, \varepsilon)} = u'(w_0 - l(x, \varepsilon) + I(x, \varepsilon) - P(x) + J(z, b, \varepsilon) - Q) + \lambda_1(x, \varepsilon) - (1 + \theta_1) = 0 \quad (C2)$$

Une condition supplémentaire pour la maximisation est associée au multiplicateur de Lagrange de l'indemnité du contrat participatif :

$$\lambda_1(x, \varepsilon) \begin{cases} = 0 \text{ if } I(x, \varepsilon) > 0 \\ \geq 0 \text{ sinon} \end{cases} \quad (C3)$$

En considérant une indemnisation positive, (C2) peut être réécrite comme :

$$u'(w_0 - l(x, \varepsilon) + I(x, \varepsilon) - P(x) + J(z, b, \varepsilon) - Q) = \mu_1(x)(1 + \theta_1) \quad (C4)$$

A l'optimum, la dérivée première de la fonction d'utilité est supposée être constante pour chaque niveau du risque systématique (ou financier) puisque les contrats participatifs filtrent ce type de risque. Aussi, pour une richesse initiale w_0 et une prime Q données, nous obtenons :

$$I(x, \varepsilon) + J(z, b, \varepsilon) = l(x, \varepsilon) + P(x), \forall x : I(x, \varepsilon) > 0 \quad (C5)$$

Nous utilisons le même raisonnement pour les contrats non participatifs. La condition de premier ordre associée à l'indemnité du contrat non participatif est :

$$\frac{\partial L}{\partial J(z, b, \varepsilon)} = u'(w_0 - l(x, \varepsilon) + I(x, \varepsilon) - P(x) + J(z, b, \varepsilon) - Q) + \lambda_2(z, b, \varepsilon) - \mu_2(1 + \theta_2) = 0 \quad (C6)$$

Une condition supplémentaire pour la maximisation est associée au multiplicateur de Lagrange de l'indemnité du contrat non participatif :

$$\lambda_2(z, b, \varepsilon) \begin{cases} = 0 \text{ if } J(z, b, \varepsilon) > 0 \\ \geq 0 \text{ sinon} \end{cases} \quad (C7)$$

En considérant une indemnisation positive, (C6) peut être réécrite comme :

$$u'(w_0 - l(x, \varepsilon) + I(x, \varepsilon) - P(x) + J(z, b, \varepsilon) - Q) = \mu_2(1 + \theta_2) \quad (C8)$$

A l'optimum, la dérivée première de la fonction d'utilité est supposée être constante pour chaque niveau du risque systématique (ou financier) dans chaque état du monde où J est versé, en considérant que le contrat non participatif couvre à la fois les risques individuel et systématique. Aussi, pour une richesse initiale w_0 et une prime Q donnés, il en résulte que :

$$I(x, \varepsilon) + J(z, b, \varepsilon) = l(x, \varepsilon) + P(x), \forall (z, b, \varepsilon) : J(z, b, \varepsilon) > 0 \quad (C9)$$

A présent, nous considérons le choix de l'assuré. Le premier point à déterminer se rapporte à l'utilisation ou non de contrats participatifs. En effet, le contrat traditionnel (non participatif) est toujours choisi car c'est le seul qui permette de couvrir le risque systématique. Le second point à déterminer porte sur la forme du contrat. D'après Arrow (1974) et Raviv (1979), quand deux risques x et ε sont assurables, alors un contrat d'assurance avec franchise est optimal.

Pour la souscription du contrat participatif, deux cas de figure se présentent :

- La prime du contrat non participatif est supérieure que celle du contrat participatif :

$$Q > P(x) \Leftrightarrow (1 + \theta_1)EI(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) < (1 + \theta_2)EJ(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) \quad (C10)$$

Ainsi, pour couvrir le risque individuel x , le contrat le moins coûteux, *i.e.* le contrat participatif, est sélectionné et la prime est définie en prenant en compte la perte totale minorée d'une franchise D_1 , comme suit :

$$I^*(x, \varepsilon) = \text{Max}\{I(x, \varepsilon) - D_1; 0\} \quad (C11)$$

D'après (C5), la prime du contrat non participatif dépend de la prime variable du contrat participatif à laquelle est soustraite une franchise D_2 :

$$J^*(z, b, \varepsilon) \equiv J^*(x, \varepsilon) = \text{Max}\{P(x) - D_2; 0\} \quad (C12)$$

- La prime du contrat participatif est supérieure à celle du contrat non participatif :

$$P(x) > Q \Leftrightarrow (1 + \theta_1)E(I(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon})) > (1 + \theta_2)E(J(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon})) \quad (C13)$$

Ainsi, pour couvrir le risque individuel x , le contrat le moins coûteux *i.e.* le contrat non participatif, est sélectionné.

Il en résulte que le contrat participatif n'est jamais souscrit, soit :

$$I^*(x, \varepsilon) = 0 \quad (\text{C14})$$

Sa prime n'est par conséquent pas calculée et l'assurance contre l'intégralité du risque est procurée par le seul contrat non participatif pour lequel s'applique une franchise D_3 :

$$J^*(z, b, \varepsilon) \equiv J^*(x, \varepsilon) = \text{Max}\{l(x, \varepsilon) - D_3; 0\} \quad (\text{C15})$$

C'est le cas usuel dans la littérature (Raviv, 1979) quand seuls existent des contrats non participatifs.

1.4 Démonstration de la Proposition 6

Nous optimisons à présent (C1) par rapport à Q et $P(\varepsilon)$ pour trouver le niveau optimal des franchises D_1 et D_2 . Pour alléger les notations, nous définissons :

$$\psi(x, \varepsilon) = w_0 - l(x, \varepsilon) + I(x, \varepsilon) - P(x) + J(z, b, \varepsilon) - Q \quad (D1)$$

- Dans le cas des contrats non participatifs, la condition de premier ordre est :

$$\frac{\partial L}{\partial Q} = Eu'(\psi(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon})) - \mu_2 = 0 \quad (D2)$$

En remplaçant la valeur de μ_2 dans (C6), nous obtenons l'égalité suivante :

$$\lambda_2(z, b, \varepsilon) = -u'(\psi(x, \varepsilon)) + Eu'(\psi(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}))(1 + \theta_2) \quad (D3)$$

L'espérance de λ_2 est alors :

$$E\lambda_2(\tilde{z}, \tilde{b}, \tilde{\varepsilon}) = \theta_2 \times Eu'(\psi(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon})) \quad (D4)$$

Dès lors, $\theta_2 = 0$ implique que $E\lambda_2(\tilde{z}, \tilde{b}, \tilde{\varepsilon}) = 0$. De plus, $\lambda_2(z, b, \varepsilon) = 0, \forall (z, b, \varepsilon)$ car $\lambda_2(z, b, \varepsilon) \geq 0$. Avec (C7), cela implique que $J(z, b, \varepsilon) > 0$. Il en résulte que $D_2 = 0$. De manière similaire, $\theta_2 > 0$ implique que $D_2 > 0$.

- Dans le cas des contrats participatifs, l'optimisation est différente car la prime est variable et dépend de x . Aussi, il n'est pas possible de calculer la dérivée première du problème (C1) en dérivant la fonction de Lagrange. Une solution est de remplacer $I(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon})$ par sa valeur trouvée à la Proposition 5, soit :

$$I(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) = \text{Max}(l(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) - D_1; 0) \quad (D5)$$

Le problème (C1) devient :

$$\text{Max}_{D_1} Eu' \left(w_0 - l(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) + \text{Max}(l(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) - D_1; 0) - P(\tilde{x}) + J(\tilde{z}, \tilde{b}, \tilde{\varepsilon}) - Q \right) \quad (\text{D6})$$

La condition de premier ordre de ce problème est :

$$\frac{\partial L}{\partial D_1} = Eu'(\psi(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon})) + \lambda_1(x, \varepsilon) - \mu_1(x)(1 + \theta_1) = 0 \quad (\text{D7})$$

En remplaçant la valeur de μ_1 dans (C2) et en arrangeant les termes liés à l'espérance, nous obtenons l'égalité suivante :

$$E\lambda_1(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) = \theta_1 \times Eu'(\psi(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon})) \quad (\text{D8})$$

Par conséquent, $\theta_1 = 0$ implique que $E\lambda_1(\tilde{x}, \tilde{\varepsilon}) = 0$ et $\lambda_1(x, \varepsilon) = 0, \forall(x, \varepsilon)$ car $\lambda_1(x, \varepsilon) \geq 0$. Avec (C3), cela implique que $I(x, \varepsilon) > 0$. Il en résulte que $D_1 = 0$. De manière similaire, $\theta_1 > 0$ implique que $D_1 > 0$.

1.5 Démonstration de la Proposition 7

En détaillant $P(\varepsilon)$ avec l'hypothèse que le contrat n'est pas tarifé de manière actuariellement neutre, *i.e.* $\theta_1 > 0$ et $D_1 > 0$ (Proposition 6-i), les pertes liées au contrat participatif sont :

$$\begin{aligned}
 Perte_{cp}^+ &= l(x, \varepsilon) + P(x) - I(x, \varepsilon) \\
 &= x + \varepsilon + (1 + \theta_1) E(\text{Max}[x + \varepsilon - D_1; 0]) - \text{Max}[x + \varepsilon - D_1; 0] \\
 &= x + E(\tilde{\varepsilon}) + \theta_1 (x + E(\tilde{\varepsilon}) - D_1)
 \end{aligned} \tag{E1}$$

$$\begin{aligned}
 Perte_{cp}^\times &= l(x, \varepsilon) + P(x) - I(x, \varepsilon) \\
 &= \varepsilon(1 + x) + (1 + \theta_1) E(\text{Max}[\varepsilon(1 + x) - D_1; 0]) - \text{Max}[\varepsilon(1 + x) - D_1; 0] \\
 &= E(\tilde{\varepsilon})(1 + x) + \theta_1 (E(\tilde{\varepsilon})(1 + x) - D_1)
 \end{aligned} \tag{E2}$$

Ce qui correspond aux points (i) et (ii).

1.6 Démonstration de la Proposition 8

Supposons tout d'abord une fonction additive de pertes, *i.e.* $l(x, \varepsilon) = x + \varepsilon$, alors, d'après les définitions de z dans (31), de $K^*(z)$ dans (35) et de $P(x)$ dans (44), la stratégie optimale de réplication du contrat non participatif est donnée par :

$$\begin{aligned} K^*(z) &= \text{Max}[P(x) - D_2; 0] = \text{Max}[(1 + \theta_1)(x + E(\tilde{\varepsilon}) - D_1) - D_2; 0] \\ &= (1 + \theta_1) \text{Max}\left[z + E(\tilde{\varepsilon}) - \frac{D_1(1 + \theta_1) + D_2}{1 + \theta_1} + b; 0\right] \end{aligned} \quad (\text{F1})$$

Ce qui correspond au point (i).

Supposons à présent une fonction multiplicative de pertes, *i.e.* $l(x, \varepsilon) = \varepsilon(1 + x)$, alors, d'après les définitions de z dans (31), de $K^*(z)$ dans (35) et de $P(x)$ dans (44), la stratégie optimale de réplication du contrat non participatif est donnée par :

$$\begin{aligned} K^*(z) &= \text{Max}[P(x) - D_2; 0] = \text{Max}[(1 + \theta_1)(E(\tilde{\varepsilon})(1 + x) - D_1) - D_2; 0] \\ &= (1 + \theta_1) E(\tilde{\varepsilon}) \text{Max}\left[z + 1 - \frac{D_1(1 + \theta_1) + D_2}{(1 + \theta_1) E(\tilde{\varepsilon})} + b; 0\right] \end{aligned} \quad (\text{F2})$$

Ce qui correspond au point (ii).

1.7 Démonstration de la Proposition 9

Considérons tout d'abord le cas additif avec $l(x, \varepsilon) = x + \varepsilon$. D'après les définitions de $K^+(z)$ à la Proposition 8, de Q dans (36), de $P(x)$ dans (44) et en utilisant la définition de z dans (31) et (32), nous obtenons :

$$\begin{aligned}
 Perte_{CNP}^+ &= Q - K^+(z) = (1 + \theta_2) E \left[\text{Max}(P(\tilde{x}) - D_2; 0) \right] - \text{Max}(P(\tilde{x}) - D_2; 0) \\
 &= (1 + \theta_2) E \left[(1 + \theta_1) (E(\tilde{\varepsilon}) + z + b - D_1 - D_2 / (1 + \theta_1)) \right] \\
 &\quad - (1 + \theta_1) (E(\tilde{\varepsilon}) + z + b - D_1 - D_2 / (1 + \theta_1)) \\
 &= (1 + \theta_1) \left\{ (E(\tilde{z}) - z - b) + \theta_2 E(K^+(z)) \right\}
 \end{aligned} \tag{G1}$$

Ce qui correspond au point (i).

Considérons à présent le cas multiplicatif avec $l(x, \varepsilon) = \varepsilon(1 + x)$. D'après les définitions de $K^\times(z)$ à la Proposition 4, de Q dans (36), de $P(x)$ dans (44) et en utilisant la définition de z dans (31) et (32), nous obtenons :

$$\begin{aligned}
 Perte_{CNP}^\times &= Q - K^\times(z) = (1 + \theta_2) E \left[\text{Max}(P(\tilde{x}) - D_2; 0) \right] - \text{Max}(P(\tilde{x}) - D_2; 0) \\
 &= (1 + \theta_2) E \left[(1 + \theta_1) E(\tilde{\varepsilon}) (z + 1 - D_1 / E(\tilde{\varepsilon}) - D_2 / E(\tilde{\varepsilon})(1 + \theta_1) + b) \right] \\
 &\quad - (1 + \theta_1) E(\tilde{\varepsilon}) (z + 1 - D_1 / E(\tilde{\varepsilon}) - D_2 / E(\tilde{\varepsilon})(1 + \theta_1) + b) \\
 &= (1 + \theta_1) E(\tilde{\varepsilon}) \left\{ (E(\tilde{z}) - z - b) + \theta_2 E(K^+(z)) \right\}
 \end{aligned} \tag{G2}$$

Ce qui correspond au point (ii).

1.8 Démonstration de la Proposition 10

Nous définissons un contrat participatif variable comme la combinaison d'un contrat participatif et d'un contrat non participatif. La perte totale est égale alors à la somme des pertes des deux contrats.

Dans un cadre additif, la perte totale est égale à la somme de (E1) et (F1), *i.e.* :

$$\begin{aligned}
 Perte_{CP+CNP}^+ &= x + E(\tilde{\varepsilon}) + \theta_1(x + E(\tilde{\varepsilon}) - D_1) + (1 + \theta_1)(E(\tilde{z}) - z - b + \theta_2 E[K^+(z)]) \\
 &= (x + E(\tilde{\varepsilon}))(1 + \theta_1) - \theta_1 D_1 + (1 + \theta_1)(E(\tilde{z}) - z - b + \theta_2 E[K^+(z)]) \\
 &= (1 + \theta_1) \left[E(\tilde{\varepsilon}) + E(\tilde{z}) + \theta_2 E[K^+(z)] - \frac{\theta_1 D_1}{1 + \theta_1} \right]
 \end{aligned} \tag{H1}$$

Ceci amène au point (i).

Dans un cadre multiplicatif, la perte totale est égale à la somme de (E2) et (F2), *i.e.* :

$$\begin{aligned}
 Perte_{CP+CNP}^x &= E(\tilde{\varepsilon})(1 + x) + \theta_1(E(\tilde{\varepsilon})(1 + x) - D_1) \\
 &\quad + E(\tilde{\varepsilon})(1 + \theta_1) \{ (E(\tilde{z}) - z - b) + \theta_2 E[K^\times(z)] \} \\
 &= E(\tilde{\varepsilon})(1 + x)(1 + \theta_1) - \theta_1 D_1 \\
 &\quad + E(\tilde{\varepsilon})(1 + \theta_1)(E(\tilde{z}) - z - b) + E(\tilde{\varepsilon})(1 + \theta_1) \theta_2 E[K^\times(z)] \\
 &= E(\tilde{\varepsilon})(1 + \theta_1) \left[1 + E(\tilde{z}) + \theta_2 E[K^+(z)] - \frac{\theta_1 D_1}{(1 + \theta_1) E(\tilde{\varepsilon})} \right]
 \end{aligned} \tag{H2}$$

Ceci amène au point (ii).

ANNEXE 2. REGRESSIONS LOGISTIQUES SUR LES DETERMINANTS DE L'ASSURANCE RECOLTE

2.1 Régression logistique pour l'année 2002

2002	Coef.	Ecart-type	z	P > z	[I.C. à 95 %]	
Indem. -1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Assuré -1	NA	NA	NA	NA	NA	NA
Age	-0,014	0,004	-3,72	0,000	-0,022	-0,007
Sexe	0,115	0,129	0,89	0,372	-0,138	0,368
Statut	0,024	0,071	0,34	0,734	-0,115	0,163
C.A.	-0,000	0,000	-0,18	0,853	-0,000	0,000
Capital Inv.	-0,000	0,000	-0,61	0,543	-0,000	0,000
Lev. Fin.	-0,003	0,008	-0,39	0,694	-0,019	0,013
Disp. Fin.	0,041	0,133	0,31	0,755	-0,219	0,302
Coef. Trés.	-0,032	0,026	-1,21	0,225	-0,083	0,019
Rent. Fin.	0,015	0,023	0,65	0,518	-0,030	0,060
Rent. Eco	-0,123	0,076	-1,62	0,106	-0,272	0,026
RPAC	-0,001	0,000	-3,97	0,000	-0,002	-0,001
Surf. Cult.	0,000	0,000	6,69	0,000	0,000	0,000
Surf. Irr.	0,000	0,000	5,36	0,000	0,000	0,000
Nb. Vég.	0,067	0,012	5,48	0,000	0,043	0,091
Agric. Bio.	0,026	0,133	0,19	0,846	-0,234	0,286
Temp.	5,736	1,059	5,42	0,000	3,661	7,811
Précipit.	0,000	0,000	0,11	0,911	0,000	0,000
Ensoleil.	0,000	0,000	1,01	0,312	-0,000	0,000
Formation1	0,440	0,155	2,84	0,004	0,137	0,744
Formation2	0,279	0,150	1,85	0,064	-0,016	0,574
Formation3	-0,105	0,171	-0,61	0,540	-0,441	0,231
Formation4	0,243	0,253	0,96	0,338	-0,253	0,738
Otex	0,642	0,072	8,94	0,000	0,501	0,783
Alti2	-0,045	0,100	-0,45	0,653	-0,240	0,150
Alti3	-0,613	0,148	-4,14	0,000	-0,904	-0,323
Constante	-1,243	0,326	-3,81	0,000	-1,883	-0,604

Nb. obs.	4700
LR : chi2(25)	2478,92
Prob > chi2	0,00
Log-vraisemblance	-1968,70
Pseudo R²	0,45

Légende des variables : **Indem. -1** = Montant des indemnités d'assurance versées l'année précédente (€), **Assuré -1** = Indique si l'exploitation était assurée l'année précédente, **Cap. Inv.** = Capital investi (€), **Age** = Age de l'exploitant (années), **Sexe** = Sexe (0 = Femme, 1 = Homme), **C.A.** = Chiffre d'affaires (€), **Statut** = Statut de l'exploitation (1 = Exploitation appartenant à un groupement), **Lev. Fin.** = Levier financier, **Disp. Fin.** = Disponibilités financières, **Coef. Trés.** = Coefficient de Trésorerie, **Rent. Fin.** = Rentabilité financière, **Rent. Éco.** = Rentabilité économique, **RPAC** = Revenu par are cultivé (€ / are), **Agric. Bio.** = Agriculture biologique (1 = Oui), **Surf. Cult.** = Surface cultivée de l'exploitation (ares), **Surf. Irr.** = Surface irriguée de l'exploitation (ares), **Nb. Vég.** = Nombre de variétés végétales cultivées, **Otex** = Spécialisation de l'exploitation (0 = Animaux, 1 = Végétaux), **Temp., Précipit. et Ensoleil.** = Racine carrée de l'écart à la moyenne des températures, précipitations et ensoleillement, **Formation0** (référence) = Pas de diplôme, **Formation1** = Etudes courtes, **Formation2** = Niveau Baccalauréat, **Formation3** = Niveau Licence, **Formation4** = Niveau Master, **Alti1** (Référence) = Altitude inférieure à 300 m, **Alti2** = Altitude comprise entre 300 m et 600 m et **Alti3** = Altitude supérieure à 600 m.

2.2 Régression logistique pour l'année 2003

2003	Coef.	Ecart-type	z	P > z	[I.C. à 95 %]	
Indem. -1	0,335	0,147	2,28	0,022	0,047	0,622
Assuré -1	4,072	0,098	41,37	0,000	3,879	4,265
Age	0,001	0,006	0,23	0,820	-0,010	0,013
Sexe	-0,126	0,191	-0,66	0,510	-0,501	0,249
Statut	0,072	0,108	0,67	0,504	-0,140	0,284
C.A.	-0,000	0,000	-0,09	0,932	-0,000	0,000
Capital Inv.	-0,000	0,000	-0,24	0,813	-0,000	0,000
Lev. Fin.	-0,014	0,015	-0,96	0,338	-0,043	0,015
Disp. Fin.	-0,073	0,217	-0,34	0,735	-0,498	0,351
Coef. Trés.	0,023	0,039	0,59	0,558	-0,054	0,100
Rent. Fin.	0,016	0,028	0,59	0,557	-0,038	0,070
Rent. Eco	-0,029	0,034	-0,84	0,399	-0,095	0,038
RPAC	0,000	0,000	-1,42	0,157	-0,001	0,000
Surf. Cult.	0,000	0,000	3,00	0,003	0,000	0,000
Surf. Irr.	0,000	0,000	1,99	0,047	0,000	0,000
Nb. Vég.	0,040	0,019	2,09	0,037	0,002	0,078
Agric. Bio.	0,689	0,181	3,80	0,000	0,333	1,044
Temp.	1,200	0,567	2,12	0,034	0,090	2,311
Précipit.	0,000	0,000	0,92	0,355	-0,000	0,000
Ensoleil.	-0,000	0,000	-2,85	0,004	-0,000	-0,000
Formation1	-0,241	0,233	-1,03	0,302	-0,697	0,216
Formation2	-0,148	0,225	-0,66	0,510	-0,590	0,293
Formation3	-0,186	0,255	-0,73	0,465	-0,687	0,314
Formation4	-0,452	0,401	-1,13	0,260	-1,238	0,334
Otex	0,602	0,108	5,55	0,000	0,389	0,814
Alti2	0,370	0,145	2,56	0,010	0,087	0,654
Alti3	-0,398	0,218	-1,82	0,068	-0,826	0,030
Constante	-3,643	0,493	-7,40	0,000	-4,609	-2,678

Nb. obs.	4700
LR : chi2(25)	3337,52
Prob > chi2	0,00
Log-vraisemblance	-1550,75
Pseudo R ²	0,52

Légende des variables : **Indem. -1** = Montant des indemnités d'assurance versées l'année précédente (€), **Assuré -1** = Indique si l'exploitation était assurée l'année précédente, **Cap. Inv.** = Capital investi (€), **Age** = Age de l'exploitant (années), **Sexe** = Sexe (0 = Femme, 1 = Homme), **C.A.** = Chiffre d'affaires (€), **Statut** = Statut de l'exploitation (1 = Exploitation appartenant à un groupement), **Lev. Fin.** = Levier financier, **Disp. Fin.** = Disponibilités financières, **Coef. Trés.** = Coefficient de Trésorerie, **Rent. Fin.** = Rentabilité financière, **Rent. Éco.** = Rentabilité économique, **RPAC** = Revenu par are cultivé (€ / are), **Agric. Bio.** = Agriculture biologique (1 = Oui), **Surf. Cult.** = Surface cultivée de l'exploitation (ares), **Surf. Irr.** = Surface irriguée de l'exploitation (ares), **Nb. Vég.** = Nombre de variétés végétales cultivées, **Otex** = Spécialisation de l'exploitation (0 = Animaux, 1 = Végétaux), **Temp., Précipit. et Ensoleil.** = Racine carrée de l'écart à la moyenne des températures, précipitations et ensoleillement, **Formation0** (référence) = Pas de diplôme, **Formation1** = Etudes courtes, **Formation2** = Niveau Baccalauréat, **Formation3** = Niveau Licence, **Formation4** = Niveau Master, **Alti1** (Référence) = Altitude inférieure à 300 m, **Alti2** = Altitude comprise entre 300 m et 600 m et **Alti3** = Altitude supérieure à 600 m.

2.3 Régression logistique pour l'année 2004

2004	Coef.	Ecart-type	z	P > z	[I.C. à 95 %]	
Indem. -1	0,231	0,132	1,74	0,081	-0,029	0,491
Assuré -1	3,905	0,096	40,67	0,000	3,717	4,094
Age	-0,014	0,006	-2,46	0,014	-0,025	-0,003
Sexe	-0,072	0,187	-0,38	0,701	-0,438	0,295
Statut	-0,014	0,104	-0,13	0,897	-0,218	0,191
C.A.	0,000	0,000	0,07	0,942	0,000	0,000
Capital Inv.	-0,000	0,000	-0,93	0,354	-0,000	-0,000
Lev. Fin.	0,001	0,011	0,12	0,903	-0,021	0,023
Disp. Fin.	0,417	0,225	1,86	0,063	-0,023	0,857
Coef. Trés.	-0,067	0,041	-1,64	0,100	-0,146	0,013
Rent. Fin.	-0,002	0,026	-0,09	0,926	-0,053	0,048
Rent. Eco	0,017	0,034	0,49	0,624	-0,050	0,084
RPAC	-0,000	0,000	-1,48	0,138	-0,001	0,000
Surf. Cult.	0,000	0,000	3,32	0,001	0,000	0,000
Surf. Irr.	0,000	0,000	2,99	0,003	0,000	0,000
Nb. Vég.	0,009	0,018	0,52	0,606	-0,025	0,043
Agric. Bio.	-0,380	0,175	-2,17	0,030	-0,724	-0,036
Temp.	0,135	0,224	0,60	0,548	-0,305	0,574
Précipit.	0,000	0,000	3,51	0,000	0,000	0,000
Ensoleil.	0,000	0,000	2,22	0,026	0,000	0,000
Formation1	0,266	0,234	1,14	0,255	-0,192	0,725
Formation2	0,199	0,226	0,88	0,380	-0,245	0,642
Formation3	-0,246	0,256	-0,96	0,338	-0,748	0,256
Formation4	0,703	0,372	1,89	0,059	-0,026	1,433
Otex	0,503	0,105	4,79	0,000	0,297	0,709
Alti2	0,198	0,143	1,38	0,168	-0,084	0,479
Alti3	-0,312	0,216	-1,44	0,149	-0,735	0,112
Constante	-2,064	0,487	-4,24	0,000	-3,019	-1,110

Nb. obs.	4700
LR : chi2(25)	3238,12
Prob > chi2	0,00
Log-vraisemblance	-1617,16
Pseudo R²	0,50

Légende des variables : **Indem. -1** = Montant des indemnités d'assurance versées l'année précédente (€), **Assuré -1** = Indique si l'exploitation était assurée l'année précédente, **Cap. Inv.** = Capital investi (€), **Age** = Age de l'exploitant (années), **Sexe** = Sexe (0 = Femme, 1 = Homme), **C.A.** = Chiffre d'affaires (€), **Statut** = Statut de l'exploitation (1 = Exploitation appartenant à un groupement), **Lev. Fin.** = Levier financier, **Disp. Fin.** = Disponibilités financières, **Coef. Trés.** = Coefficient de Trésorerie, **Rent. Fin.** = Rentabilité financière, **Rent. Éco.** = Rentabilité économique, **RPAC** = Revenu par are cultivé (€ / are), **Agric. Bio.** = Agriculture biologique (1 = Oui), **Surf. Cult.** = Surface cultivée de l'exploitation (ares), **Surf. Irr.** = Surface irriguée de l'exploitation (ares), **Nb. Vég.** = Nombre de variétés végétales cultivées, **Otex** = Spécialisation de l'exploitation (0 = Animaux, 1 = Végétaux), **Temp., Précipit. et Ensoleil.** = Racine carrée de l'écart à la moyenne des températures, précipitations et ensoleillement, **Formation0** (référence) = Pas de diplôme, **Formation1** = Etudes courtes, **Formation2** = Niveau Baccalauréat, **Formation3** = Niveau Licence, **Formation4** = Niveau Master, **Alti1** (Référence) = Altitude inférieure à 300 m, **Alti2** = Altitude comprise entre 300 m et 600 m et **Alti3** = Altitude supérieure à 600 m.

2.4 Régression logistique pour l'année 2005

2005	Coef.	Ecart-type	z	P > z	[I.C. à 95 %]	
Indem. -1	0,548	0,144	3,82	0,000	0,267	0,830
Assuré -1	4,130	0,099	41,86	0,000	3,937	4,323
Age	-0,007	0,006	-1,18	0,240	-0,019	0,005
Sexe	-0,099	0,189	-0,52	0,600	-0,470	0,272
Statut	-0,177	0,109	-1,62	0,106	-0,392	0,038
C.A.	-0,000	0,000	-0,33	0,745	-0,000	-0,000
Capital Inv.	-0,000	0,000	-0,24	0,810	-0,000	-0,000
Lev. Fin.	-0,018	0,011	-1,67	0,094	-0,040	0,003
Disp. Fin.	0,113	0,217	0,52	0,603	-0,312	0,538
Coef. Trés.	-0,040	0,041	-0,97	0,332	-0,121	0,041
Rent. Fin.	-0,008	0,029	-0,27	0,789	-0,065	0,049
Rent. Eco	-0,079	0,072	-1,10	0,271	-0,219	0,062
RPAC	-0,001	0,000	-1,84	0,065	-0,001	0,000
Surf. Cult.	0,000	0,000	0,71	0,478	-0,000	0,000
Surf. Irr.	0,000	0,000	2,48	0,013	0,000	0,000
Nb. Vég.	0,100	0,019	5,15	0,000	0,062	0,138
Agric. Bio.	0,003	0,130	0,02	0,985	-0,252	0,257
Temp.	0,113	0,368	0,31	0,760	-0,609	0,835
Précipit.	0,000	0,000	0,62	0,533	-0,000	0,000
Ensoleil.	-0,000	0,000	-3,45	0,001	-0,000	-0,000
Formation1	-0,293	0,242	-1,21	0,225	-0,768	0,181
Formation2	-0,287	0,235	-1,22	0,221	-0,747	0,173
Formation3	-0,407	0,265	-1,54	0,124	-0,925	0,112
Formation4	0,111	0,396	0,28	0,780	-0,666	0,887
Otex	0,419	0,112	3,73	0,000	0,199	0,639
Alti2	0,034	0,157	0,22	0,828	-0,274	0,342
Alti3	-0,256	0,236	-1,08	0,278	-0,718	0,207
Constante	-2,249	0,501	-4,49	0,000	-3,231	-1,266

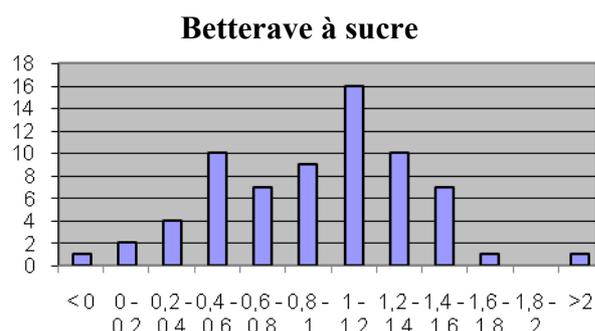
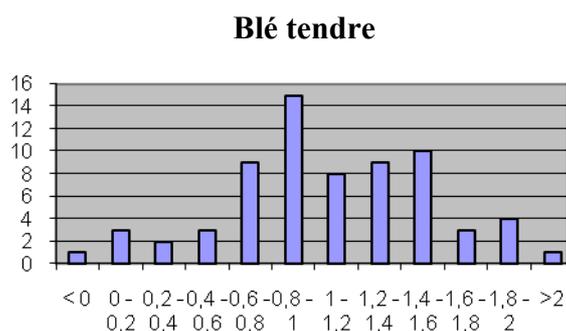
Nb. obs.	4700
LR : chi2(25)	3436,51
Prob > chi2	0,00
Log-vraisemblance	-1512,51
Pseudo R²	0,53

Légende des variables : **Indem. -1** = Montant des indemnités d'assurance versées l'année précédente (€), **Assuré -1** = Indique si l'exploitation était assurée l'année précédente, **Cap. Inv.** = Capital investi (€), **Age** = Age de l'exploitant (années), **Sexe** = Sexe (0 = Femme, 1 = Homme), **C.A.** = Chiffre d'affaires (€), **Statut** = Statut de l'exploitation (1 = Exploitation appartenant à un groupement), **Lev. Fin.** = Levier financier, **Disp. Fin.** = Disponibilités financières, **Coef. Trés.** = Coefficient de Trésorerie, **Rent. Fin.** = Rentabilité financière, **Rent. Éco.** = Rentabilité économique, **RPAC** = Revenu par are cultivé (€ / are), **Agric. Bio.** = Agriculture biologique (1 = Oui), **Surf. Cult.** = Surface cultivée de l'exploitation (ares), **Surf. Irr.** = Surface irriguée de l'exploitation (ares), **Nb. Vég.** = Nombre de variétés végétales cultivées, **Otex** = Spécialisation de l'exploitation (0 = Animaux, 1 = Végétaux), **Temp., Précipit. et Ensoleil.** = Racine carrée de l'écart à la moyenne des températures, précipitations et ensoleillement, **Formation0** (référence) = Pas de diplôme, **Formation1** = Etudes courtes, **Formation2** = Niveau Baccalauréat, **Formation3** = Niveau Licence, **Formation4** = Niveau Master, **Alti1** (Référence) = Altitude inférieure à 300 m, **Alti2** = Altitude comprise entre 300 m et 600 m et **Alti3** = Altitude supérieure à 600 m.

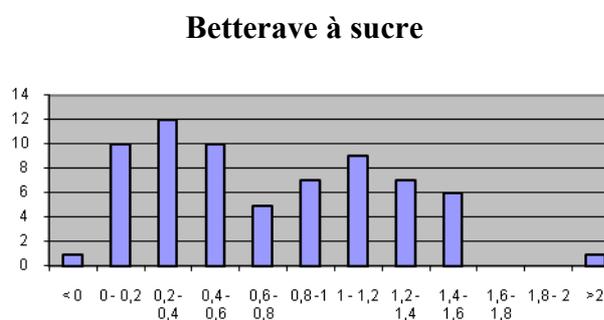
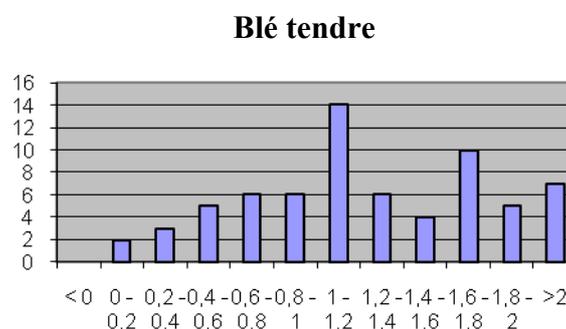
ANNEXE 3. TESTS DE PERFORMANCE DU MULTI-LAM

3.1 Comparaison de la distribution des estimateurs bêta avec un LAM et un Multi-LAM

LAM



Multi-LAM



Légende : Les diagrammes détaillent la distribution des coefficients bêta estimés pour chaque méthode : ils sont estimés séparément dans le cas d'un LAM et conjointement dans le cas d'un Multi-LAM. En abscisse, figurent les valeurs possibles des coefficients bêta avec des intervalles resserrés. En ordonnée, figurent les nombres d'occurrences possibles pour chaque intervalle.

3.2 Estimateurs bêta et décomposition de la variance du rendement

Indicateurs Individ.			LAM Exploitation			LAM Additif				Multi-LAM			
ID	Rend ^t Moyen	Var. Rend ^t	β Expl.*	Risque syst. (%)	Risque indiv. (%)	β Blé*	β Bett.*	Risque syst. (%)	Risque indiv. (%)	β Blé*	β Bett.*	Risque syst. (%)	Risque indiv. (%)
1	241,87	11,77	0,44	66,54	33,45	0,73	1,03	62,77	37,22	2,67	0,24	74,06	25,93
2	139,71	4,78	0,51	51,34	48,65	0,69	1,13	45,77	54,22	1,17	0,59	51,50	48,49
3	309,17	15,69	1,13	73,36	26,63	0,94	0,91	70,20	29,79	1,28	0,85	73,74	26,25
4	165,32	27,65	1,44	64,11	35,88	1,18	0,56	67,82	32,17	1,70	0,53	78,89	21,10
5	282,52	17,35	1,34	64,63	35,36	1,30	1,15	59,65	40,34	0,28	1,40	93,64	6,35
6	330,26	161,54	1,85	63,68	36,31	0,84	0,78	58,31	41,68	0,91	1,12	94,70	5,29
7	440,23	56,19	-0,54	54,53	45,46	0,00	0,98	46,65	53,34	1,19	-0,67	90,29	9,70
8	387,13	133,03	1,96	49,00	50,99	0,62	0,77	39,89	60,10	0,56	0,87	91,28	8,71
9	215,51	3,71	0,19	50,36	49,63	0,87	0,06	43,44	56,55	0,73	0,32	52,03	47,96
10	263,77	3,44	1,47	88,22	11,77	1,40	1,21	86,16	13,83	0,97	1,08	81,19	18,80
11	187,65	22,67	1,25	76,26	23,73	1,85	0,97	78,13	21,86	2,61	0,42	84,00	15,99
12	409,64	61,85	1,49	64,55	35,44	1,17	1,04	58,83	41,16	1,60	0,22	91,47	8,52
13	232,04	35,16	1,35	62,31	37,68	0,74	1,17	55,63	44,36	0,51	1,28	65,71	34,28
14	162,03	5,49	0,30	50,20	49,79	0,89	0,47	42,30	57,69	1,41	0,27	58,23	41,76
15	225,19	14,22	0,33	51,07	48,92	0,53	1,07	52,37	47,62	1,09	0,24	84,47	15,52
16	187,03	6,76	1,16	75,50	24,49	0,95	0,40	84,24	15,75	1,79	0,08	73,19	26,80
17	190,26	10,82	0,11	51,96	48,03	0,04	0,02	45,48	54,51	1,70	0,00	51,61	48,38
18	144,45	24,67	2,41	65,46	34,53	1,44	1,29	59,42	40,57	1,16	1,39	93,94	6,05
19	249,19	24,45	1,49	65,44	34,55	1,23	1,27	59,20	40,79	1,30	1,40	93,52	6,47
20	161,32	3,01	1,33	80,47	19,52	1,76	1,50	77,32	22,67	1,48	1,14	75,85	24,14
21	118,13	3,49	1,10	60,51	39,48	1,42	1,02	60,74	39,25	2,13	0,25	68,42	31,57
22	329,71	66,58	0,32	48,95	51,04	1,82	0,52	41,70	58,29	1,81	0,05	84,22	15,77
23	221,60	13,92	0,62	51,74	48,25	1,33	1,07	51,14	48,85	1,65	0,11	80,16	19,83
24	283,91	15,09	0,75	58,10	41,89	0,90	1,29	56,22	43,77	1,95	0,48	86,19	13,80
25	272,12	27,67	1,03	59,97	40,02	0,26	0,81	56,09	43,90	0,19	1,10	70,17	29,82
26	200,21	4,08	0,22	50,13	49,86	1,48	1,08	73,93	26,06	1,39	0,44	67,20	32,79
27	318,46	54,21	1,15	60,99	39,00	1,23	0,73	60,42	39,57	1,17	0,27	55,44	44,55
28	197,47	4,07	0,76	59,83	40,16	1,25	1,17	73,09	26,90	1,19	0,17	82,74	17,25
29	254,33	13,98	0,74	56,65	43,34	1,48	0,95	52,08	47,91	2,88	0,49	72,72	27,27
30	217,99	15,32	1,11	64,61	35,38	0,57	1,01	60,88	39,11	1,12	0,74	56,18	43,81
31	262,33	6,97	0,12	50,13	49,86	0,72	0,93	41,87	58,12	0,76	0,05	54,27	45,72
32	304,06	15,54	0,30	50,56	49,43	0,85	0,47	48,71	51,28	1,73	0,38	79,60	20,39
33	315,70	18,11	0,64	59,05	40,94	1,12	1,25	62,49	37,50	1,28	0,28	82,40	17,59
34	294,05	158,73	0,62	56,12	43,87	0,64	0,35	52,30	47,69	1,83	0,15	80,88	19,11
35	204,48	19,07	1,13	57,90	42,09	0,86	1,43	50,90	49,09	0,38	1,46	91,00	8,99
36	193,73	12,73	1,61	68,57	31,42	0,20	1,47	69,53	30,46	0,21	1,20	82,38	17,61
37	175,73	11,68	0,46	50,90	49,09	1,33	0,74	48,16	51,83	2,76	0,02	80,49	19,50
38	207,16	9,47	0,56	52,52	47,47	0,96	0,72	43,99	56,00	0,50	0,96	66,18	33,81
39	313,46	8,08	0,67	62,64	37,35	1,10	1,10	57,20	42,79	1,05	1,01	89,61	10,38
40	333,96	13,28	0,80	63,55	36,44	0,72	0,47	58,03	41,96	0,69	0,76	86,65	13,34

Légende : voir page suivante.

Indicateurs Indiv.			LAM Exploitation			LAM Additif				Multi-LAM			
ID	Rend ^t Moyen	Var. Rend ^t	β Expl.*	Risque syst. (%)	Risque indiv. (%)	β Blé*	β Better.*	Risque syst. (%)	Risque indiv. (%)	β Blé*	β Better.*	Risque syst. (%)	Risque indiv. (%)
41	182,38	8,05	0,11	49,90	50,09	1,49	0,56	48,99	51,00	2,36	0,24	60,39	39,60
42	199,29	14,13	0,76	54,74	45,25	1,36	1,20	60,55	39,44	0,92	0,62	83,28	16,71
43	239,18	5,62	0,29	51,88	48,11	0,81	1,60	54,91	45,08	0,05	0,20	80,70	19,29
44	219,13	12,27	1,64	83,45	16,54	0,11	1,21	80,66	19,33	1,08	1,59	74,43	25,56
45	227,01	17,71	-0,45	52,66	47,33	1,52	0,46	63,30	36,69	1,44	0,73	90,37	9,62
46	256,62	12,71	0,91	62,79	37,20	1,57	0,93	71,84	28,15	1,67	0,49	80,47	19,52
47	278,47	9,96	1,16	84,59	15,40	0,90	1,49	86,87	13,12	0,65	0,93	92,20	7,79
48	255,95	11,94	1,26	75,51	24,48	0,70	1,33	75,41	24,58	0,87	1,00	79,62	20,37
49	334,01	24,78	0,48	52,84	47,15	0,93	0,39	79,81	20,18	0,44	1,21	86,53	13,46
50	333,96	9,67	0,07	50,49	49,50	1,49	0,22	41,72	58,27	0,51	0,52	49,59	50,40
51	237,02	16,80	1,32	68,05	31,94	1,06	1,35	65,62	34,37	1,61	1,01	69,31	30,68
52	147,29	4,90	1,36	73,76	26,23	1,71	1,40	70,21	29,78	1,87	1,00	74,01	25,98
53	292,93	136,31	1,34	76,33	23,66	1,05	0,99	73,06	26,93	0,77	1,33	98,45	1,54
54	344,55	134,80	1,82	67,70	32,29	1,13	0,58	69,12	30,87	1,07	1,31	95,44	4,55
55	244,81	5,38	0,18	50,45	49,54	0,88	1,12	43,17	56,82	1,01	1,50	51,30	48,69
56	255,28	322,16	1,84	85,78	14,21	0,75	0,72	83,96	16,03	1,00	0,87	99,55	0,44
57	279,04	23,34	-0,06	50,80	49,19	-0,33	0,65	46,99	53,00	1,29	0,42	88,57	11,42
58	195,84	28,06	1,92	63,85	36,14	1,90	1,47	57,09	42,90	1,60	1,43	27,15	72,84
59	261,36	11,73	1,12	59,12	40,87	1,44	1,12	54,30	45,69	1,33	1,10	62,32	37,67
60	326,60	13,38	1,15	79,21	20,78	0,43	1,06	79,86	20,13	0,90	0,93	80,73	19,26
61	214,50	165,43	1,17	64,78	35,21	1,36	1,24	51,36	48,63	1,73	1,35	91,40	8,59
62	189,24	11,26	1,09	58,51	41,48	1,75	1,43	56,44	43,55	2,16	0,72	60,39	39,60
63	210,68	3,31	0,30	50,79	49,20	1,31	0,53	47,35	52,64	0,91	0,43	50,74	49,25
64	199,64	14,87	0,29	57,94	42,05	1,88	1,16	53,09	46,90	1,90	0,13	45,34	54,65
65	236,85	21,52	0,93	55,23	44,76	2,06	0,93	54,05	45,94	1,54	0,93	67,41	32,58
66	308,68	23,03	0,24	50,81	49,18	0,89	-0,06	42,05	57,94	0,66	0,11	49,70	50,29
67	254,67	55,11	2,46	86,81	13,18	1,07	2,14	84,62	15,37	1,12	2,28	87,91	12,08
68	235,08	5,43	0,47	54,64	45,35	0,94	0,38	47,12	52,87	1,07	0,29	49,50	50,49

Légende : Le « LAM Exploitation » est un modèle estimé pour l'ensemble de l'exploitation agricole. Le « LAM Additif » est une combinaison de LAM estimés séparément pour le blé et la betterave à sucre mais à l'échelle de l'exploitation et en tenant compte de la part de chaque culture au sein du portefeuille de l'exploitant. Le « Multi-LAM » est directement estimé à l'échelle de l'exploitation.

Description des variables :

- * Variables estimées par la technique du *bootstrap*.
- Rend^t Moyen : Rendement moyen sans tendance (quintaux par hectare, valeur 2006) calculé sur la période 1990-2006.
- Var. Rend^t : Variance du rendement calculé sur la période 1990-2006.
- Risque Syst. = Risque systématique (%) : Variance du risque expliqué rapportée à la variance du risque initial.
- Risque Indiv. = Risque individuel (%) : Variance du risque résiduel rapportée à la variance du risque initial.

3.3 Comparaison de la variance résiduelle selon différentes méthodes et pour l'ensemble de l'échantillon.

ID	LAM Exploitation	LAM Additif	Multi-LAM
1	3,93	4,38	3,05
2	2,32	2,59	2,32
3	4,18	4,67	4,12
4	9,92	8,89	5,83
5	6,13	7,00	1,10
6	58,66	67,33	8,55
7	25,55	29,98	5,45
8	67,84	79,96	11,59
9	1,84	2,09	1,78
10	0,40	0,47	0,64
11	5,38	4,95	3,62
12	21,93	25,47	5,27
13	13,25	15,60	12,06
14	2,73	3,17	2,29
15	6,95	6,77	2,20
16	1,65	1,06	1,81
17	5,19	5,89	5,23
18	8,52	10,00	1,49
19	8,44	9,97	1,58
20	0,58	0,68	0,72
21	1,38	1,37	1,10
22	33,99	38,82	10,51
23	6,72	6,80	2,76
24	6,32	6,60	2,08
25	11,08	12,15	8,25
26	2,03	1,06	1,34
27	21,15	21,45	24,15
28	1,63	1,09	0,70
29	6,06	6,69	3,81
30	5,42	5,99	6,71
31	3,47	4,05	3,18
32	7,68	7,96	3,16
33	7,41	6,79	3,18
34	69,64	75,72	30,35

ID	LAM Exploitation	LAM Additif	Multi-LAM
35	8,02	9,36	1,71
36	4,00	3,87	2,24
37	5,73	6,05	2,27
38	4,49	5,30	3,20
39	3,01	3,45	0,83
40	4,84	5,57	1,77
41	4,03	4,10	3,19
42	6,39	5,57	2,36
43	2,70	2,53	1,08
44	2,03	2,37	3,13
45	8,38	6,49	1,70
46	4,73	3,58	2,48
47	1,53	1,30	0,77
48	2,92	2,93	2,43
49	11,69	5,00	3,33
50	4,78	5,63	4,87
51	5,36	5,77	5,15
52	1,28	1,46	1,27
53	32,26	36,72	2,11
54	43,54	41,63	6,14
55	2,66	3,05	2,62
56	45,78	51,67	1,41
57	11,48	12,37	2,66
58	10,15	12,04	20,45
59	4,79	5,35	4,41
60	2,78	2,69	2,57
61	58,26	80,45	14,22
62	4,67	4,90	4,46
63	1,62	1,74	1,63
64	6,25	6,97	8,12
65	9,63	9,89	7,01
66	11,33	13,35	11,59
67	7,26	8,47	6,66
68	2,46	2,87	2,74

Légende : La table indique pour chaque méthode et pour chaque exploitation agricole de l'échantillon la valeur de la variance du risque individuel, *i.e.* $\text{Var}(\varepsilon_i)$, exprimée en quintaux par are au carré.

ANNEXE 4. LISTE DES SIGLES

Note : La plupart des sigles mentionnés ci-dessous reprennent une typologie anglo-saxonne, conforme à celle rencontrée dans la littérature.

ART : *Alternative Risk Transfer*, Transfert alternatif de risque, notamment par la voie des marchés financiers.

AYCI : *Area-Yield Crop Insurance*, Assurance récolte calibrée sur des indices régionaux et non individuels.

Cat Bond : *Catastrophe Bond*, Obligation dont le versement des intérêts et le remboursement du principal dépendent de la survenance d'une ou plusieurs catastrophes.

FNGCA : Fonds National de Garantie des Calamités Agricoles.

LAM : *Linear Additive Model*, Modèle Linéaire Additif.

Multi-LAM : *Multi-Linear Additive Model*, Modèle Linéaire Additif Multiple.

MPCI : *Multi-Peril Crop Insurance*, Assurance récolte multirisques.

PPR : Plan de Prévention des Risques

ANNEXE 5. LISTE ET RESUME DES ARTICLES

Enjolras, G. et Kast, R. (2008), “Using Participating and Financial Contracts to Insure Catastrophe Risk: Implications for Crop Risk Management”, *Agricultural Finance Review*, Vol. 68, No. 1 (Spring 2008), 219-220.

Article présenté aux Journées Jeunes Chercheurs INRA (12 – 13 Avril 2007, Toulouse, France), au 101st Seminar of the European Association of Agricultural Economists: Management of Climate Risks in Agriculture (5 – 6 Juillet 2007, Berlin, Allemagne) et au 34th Seminar of the European Group of Risk and Insurance Economists (1 – 4 Septembre 2007, Cologne, Allemagne).

This paper examines a combination of two types of insurance policies: a policy in which the premium is fixed and a participating policy where the premium is ex-post adjustable. Losses are assumed to be composed of both an idiosyncratic component and a systematic component. We find that the optimal arrangement consists of two separate deductible policies: one is a participating policy for the loss, where the premium is adjusted ex-post for the realized level of the systematic risk. The other component is a fixed-premium policy, which refunds any portion of the adjusted participating premium in excess of some deductible level. As this formulation is well suited for firms that are directly exposed to natural catastrophes, we provide an illustration for crop risk management.

Enjolras, G. et Sentis, P. (2008), “The Main Determinants of Insurance Purchase: An Empirical Study on Crop insurance Policies in France”, Document de Recherche LAMETA 2008-6.

Article présenté à la Midwest Finance Association 2008 Conference (27 février – 1^{er} Mars 2008, San Antonio, USA) et au 12th Congress of the European Association of Agricultural Economists (26 – 29 août 2008, Gand, Belgique).

Using data for 2002-2005 on a representative survey of French farms (FADN-RICA), we investigate the different factors that lead farmers to insure against crop risk. Our analysis takes into account a mix of both standard individual, financial and agricultural criteria. Cross-sectional and longitudinal analyses as well as logistic regressions underline the main differences between insured and non-insured farms. Compared to non-insured farms, we find that insured farms present greater financial and agricultural sizes, a more diversified production and have been motivated by the occurrence of recent catastrophic climatic events. Although essential in the cross-sectional analysis, the influence of financial parameters in the decision to insure is mitigated. On the other hand, the agricultural characteristics of the farms confirm their leading influence for the subscription of crop insurance policies.

Enjolras, G., Erdlenbruch, K., Grelot, F., Kast R. et Thoyer, S. (2008), “Flood management at the basin level in France: Sustainability of local risk-sharing policies”.

Article présenté au 13th World Water Congress (1 – 4 Septembre 2008, Montpellier, France).

Cet article est issu d'un rapport de recherche réalisé pour le compte du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du Territoire : Enjolras, G., Brémond, C., Breton, C., Erdlenbruch, K., Grelot, F., Kast R. et Thoyer, S. (2008), “Expertise des pratiques de compensation en cas de transfert d'exposition aux inondations”.

This article analyzes the consequences of the French Flood Prevention Action Program, PAPI, a program designed to reduce flood risks at the basin level by reallocating risks from the most vulnerable areas to the least vulnerable zones. Such programs have led local water managers to introduce compensation payments for those who are more heavily exposed to floods, after implementation of the program, mostly farmers. The introduction of such programs has thus shifted the risk burden from the national level (through the national compensation system for natural disasters) to the local level, and especially to the local water manager. This article outlines the results of an exhaustive survey on all PAPI basins and shows that this new flood management program leads to non-sustainable policy options. Several solutions involving local water managers, insurance companies and public authorities, are discussed, which might resulting a more balanced and more sustainable management of flood risks.

Enjolras, G., Kast, R. et Sentis, P. (2008), “Aggregation in Area-Yield Insurance: The Multi-Linear Additive Model”.

This article tackles the problem of area-yield insurance when there are several crops to cover. Previous analyses have focused on a Linear Additive Model (LAM), which has recently received theoretical foundations. However, this kind of formulation has only been developed with one a single crop. We investigate the case where there exists is a portfolio of crops with independent yield variations. Furthermore, we develop a generalization of the Linear Additive Model, the Multi-LAM, and its implications. An illustration is given for wheat and sugar beet producers in France using the bootstrap technique. We prove that, in most cases, the use of the Multi-LAM generates in most cases a significant decrease of in the area-yield basis risk. Implications for crop insurance are emphasized.

ANNEXE 6. LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Répartition des dommages en milliards d'euros par type d'enjeu et pour trois niveaux de crue du Rhône	20
Tableau 2	Hauteur critique au-delà de laquelle l'intégralité d'une récolte est détruite.....	22
Tableau 3	Comparaison des principales caractéristiques des produits financiers	32
Tableau 4	Comparaison sommaire des deux régimes d'assurance agricole en France.....	46
Tableau 5	Types de contrats d'assurance agricole.....	55
Tableau 6	Résumé des principaux livres et articles.....	71
Tableau 7	Tableau de synthèse des différentes orientations proposées pour accroître l'assurabilité des secteurs sur-inondés	95
Tableau 8	Stratégies d'extension du LAM à plusieurs cultures	105
Tableau 9	Analogies entre le modèle de Sharpe, l'APT, le LAM et le Multi-LAM ..	107
Tableau 10	Exemples de spécifications populaires du rendement appliquées au Multi-LAM.....	116
Tableau 11	Résumé des principales hypothèses.....	146
Tableau 12	Statistiques descriptives sur l'utilisation de l'assurance récolte (toutes années)	157
Tableau 13	Analyse longitudinale des différences entre assurés et non assuré pour les années 2002 à 2005	159
Tableau 14a	Analyse longitudinale des différences entre assurés et non assurés pour l'année de référence 2003	162
Tableau 14b	Analyse longitudinale des différences entre assurés et non assurés pour l'année de référence 2004	163
Tableau 15	Régression logistique globale pour les années 2003, 2004 et 2005.....	169
Tableau 16	Statistiques descriptives et test de Mann- Whitney de comparaison des variances de rendement des exploitations selon la corrélation des cultures au niveau agrégé.....	173
Tableau 17	Estimateurs bêta et décomposition de la variance du rendement	176
Tableau 18	Comparaison de la variance résiduelle selon différentes méthodes et pour l'ensemble de l'échantillon.....	178
Tableau 19	Statistiques descriptives et test de Mann- Whitney entre les différentes distributions de la variance du risque individuel	179
Tableau 20	Synthèse de la validité des principales hypothèses.....	186

ANNEXE 7. LISTE DES FIGURES

Figure 1	Etat des lieux des catastrophes naturelles dans le monde de 1950 à 2005	13
Figure 2	Le lien entre le risque d'inondation, l'aléa et la vulnérabilité	15
Figure 3	Estimation des dégâts liés aux inondations.....	18
Figure 4	Degré de pertes pour différentes catégories d'actifs.....	21
Figure 5	Dommmages sur les récoltes dans la vallée de l'Elbe : l'influence des saisons	24
Figure 6	Etat du marché des Cat Bonds entre 1997 et 2006	33
Figure 7	Le système assurantiel traditionnel en agriculture.....	49
Figure 8	Le risque d'inondation en France	78

TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE	1
INTRODUCTION	3
PARTIE I - UNE REVUE DE LA LITTERATURE SUR L'ASSURABILITE DES CATASTROPHES NATURELLES	7
1. INTRODUCTION	9
2. UNE RECRUESCENCE DES PHENOMENES CLIMATIQUES ASSOCIEE A UNE CONNAISSANCE ACCRUE DE LEUR FONCTIONNEMENT ET DE LEURS IMPLICATIONS.....	12
2.1 <i>L'état des lieux des catastrophes naturelles en France et dans le monde</i>	12
2.2 <i>Trois notions clés : risque, aléa et vulnérabilité</i>	14
2.3 <i>Les modèles physiques de détermination des dommages</i>	16
2.3.1 Un rôle indéniable et souvent méconnu	17
2.3.2 Les modèles de vulnérabilité.....	19
2.3.3 Application aux dommages sur les récoltes	22
2.3.3.1 La hauteur d'eau : un critère de référence parmi d'autres	22
2.3.3.2 La saison : un critère agricole essentiel	23
3. LE RISQUE DE CATASTROPHES NATURELLES : UN RISQUE REELLEMENT ASSURABLE ?	26
3.1 <i>Le point de vue de l'assureur</i>	26
3.1.1 Les dommages non assurables	27
3.1.2 L'intensité anormale d'un agent naturel.....	28
3.1.3 Les mesures préventives	28
3.2 <i>Le point de vue des marchés financiers</i>	29
3.2.1 Un marché de l'assurance mis sous pression par les catastrophes	30
3.2.2 Des titres financiers adaptés à la couverture des catastrophes naturelles.....	31
3.2.2.1 Le design des nouveaux produits financiers indexés sur le climat	32
3.2.2.2 Un exemple de titre financier : les Catastrophe Bonds	33
3.2.2.3 Les dérivés financiers mobilisables en agriculture.....	34
3.3 <i>Les régimes d'assurance des catastrophes naturelles dans le monde : vers une nouvelle répartition des rôles</i>	36
3.3.1 Les Etats-Unis : une intervention publique dans un régime facultatif	37
3.3.1.1 Le programme national d'assurance contre les inondations (National Flood Insurance Program, NFIP).....	37
3.3.1.2 L'assurance récolte (Crop insurance).....	38
3.3.2 La France : une intervention publique dans un régime obligatoire	40
3.3.2.1 Le régime Cat-Nat	41
3.3.2.2 Le Fonds National de Garantie des Calamités Agricoles	43
3.3.2.3 La réforme du FNGCA amorcée depuis 2005.....	45
3.3.3 Bilan	50

4. UN MARCHÉ DE L'ASSURANCE RÉCOLTE EN RECOMPOSITION.....	51
4.1 <i>La demande en assurance récolte : une thématique à revisiter</i>	51
4.2 <i>Une offre d'assurance agricole en recomposition</i>	53
4.2.1 Introduction.....	55
4.2.2 L'assurance récolte indexée sur les rendements individuels.....	56
4.2.2.1 Présentation et intérêt.....	57
4.2.2.2 Un frein à l'assurance sur critères individuels : les asymétries d'information.....	58
4.2.2.3 Une solution : la mise en place de contrats participatifs.....	62
4.2.3 L'assurance récolte indexée sur les rendements régionaux.....	64
4.2.3.1 Présentation et intérêt.....	64
4.2.3.2 Un frein à l'assurance sur critères régionaux : le risque de base.....	67
4.2.3.3 Une solution : la mise en place de contrats indexés pour l'ensemble de l'exploitation (Multi-LAM).....	68
5. CONCLUSION.....	70
PARTIE II - ETUDE DE CAS : LA GESTION DES INONDATIONS AU NIVEAU DES BASSINS VERSANTS EN FRANCE.....	73
1. INTRODUCTION.....	75
2. LE CONTEXTE DE L'ETUDE.....	77
2.1 <i>Le risque d'inondation en France</i>	77
2.2 <i>Les Plans de Prévention du Risque</i>	79
2.3 <i>Les Programmes d'Actions de Prévention des Inondations (PAPI)</i>	79
2.4 <i>Articulation avec les fonds nationaux de solidarité de compensation des catastrophes naturelles (Cat-Nat et FNGCA)</i>	81
3. LES MÉCANISMES DE COMPENSATION À L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT : UNE ENQUÊTE À L'ÉCHELLE NATIONALE.....	82
3.1 <i>Le concept de solidarité</i>	83
3.2 <i>La gestion des terrains affectés par les PAPI</i>	84
3.3 <i>La définition de la sur-inondation</i>	85
3.4 <i>L'évaluation des dommages et le contrôle de l'aléa moral</i>	86
3.5 <i>La durabilité des fonds de compensation</i>	87
4. LE NIVEAU DE TRANSFERT DU RISQUE.....	88
4.1 <i>Un fonds de compensation national renforcé pour la couverture des pertes agricoles</i>	88
4.2 <i>Une assurance nationale couvrant l'intégralité des pertes</i>	89
4.3 <i>Un fonds local de compensation géré à l'échelle du bassin versant pour la couverture des pertes agricoles</i>	90
4.4 <i>Un fonds de compensation géré par des compagnies d'assurance à l'échelle du bassin pour la couverture des pertes agricoles</i>	91
4.5 <i>Une assurance privée subventionnée par des gestionnaires locaux de bassins pour la couverture des pertes agricoles</i>	91

4.6	<i>Les avantages comparés des différentes approches</i>	92
4.6.1	La viabilité à long terme du financement	92
4.6.2	La qualité de la couverture assurantielle pour l'agriculteur	93
4.6.3	Les dommages pris en charge et les coûts de mise en œuvre de la couverture	93
4.6.4	L'application du principe de solidarité	94
5.	CONCLUSION	96
PARTIE III - UN MODELE THEORIQUE DE COUVERTURE DES RISQUES NATURELS ADAPTE A L'ASSURANCE RECOLTE		99
1.	INTRODUCTION	101
2.	LE MODELE LINEAIRE ADDITIF MULTIPLE (MULTI-LAM)	103
2.1	<i>Le Modèle Linéaire Additif (LAM) et l'hypothèse de régressabilité</i>	103
2.2	<i>Le Modèle Linéaire Additif Multiple (Multi-LAM)</i>	104
2.2.1	Du LAM au Multi-LAM	104
2.2.2	Un modèle structurel de base du Multi-LAM	108
2.2.3	Un modèle structurel général du Multi-LAM	113
2.2.4	Validité du Multi-LAM avec de petites agrégations	118
2.3	<i>La portée du Multi-LAM</i>	121
3.	UN MODELE DE COUVERTURE GLOBALE DU RISQUE GRACE A LA COMBINAISON DE CONTRATS PARTICIPATIFS ET FINANCIERS	122
3.1	<i>Le modèle</i>	122
3.1.1	Notations générales	122
3.1.2	Formes de la fonction de perte	123
3.2	<i>Les contrats</i>	125
3.2.1	Le contrat participatif	125
3.2.2	Le contrat non participatif	126
3.2.3	Le contrat financier	127
3.2.4	Le problème à résoudre	128
3.3	<i>Le design des contrats d'assurance participatifs variables</i>	129
3.4	<i>La stratégie optimale de couverture</i>	132
3.4.1	Le contrat participatif	133
3.4.2	Le contrat financier non participatif	135
3.4.3	Le contrat participatif variable	139
3.5	<i>La portée du modèle de couverture</i>	140
4.	HYPOTHESES EXPERIMENTALES	143
4.1	<i>Hypothèses sur la demande en assurance agricole</i>	143
4.2	<i>Hypothèses sur les contrats d'assurance agricole</i>	145

PARTIE IV - TESTS ET RESULTATS SUR LA DEMANDE EN ASSURANCE ET LE MULTI-LAM	147
1. INTRODUCTION	149
2. LES CARACTERISTIQUES DES EXPLOITATIONS AGRICOLES SOUSCRIVANT DES CONTRATS D'ASSURANCE RECOLTE.....	151
2.1 <i>Les données</i>	151
2.1.1 Assurance.....	152
2.1.2 Indicateurs économiques et financiers	153
2.1.3 Indicateurs agricoles.....	154
2.1.4 Indicateurs individuels	154
2.1.5 Indicateurs géographiques et climatologiques	155
2.2 <i>Statistiques descriptives</i>	156
2.3 <i>Analyse transversale</i>	158
3. L'EVOLUTION AU FIL DU TEMPS DE LA SITUATION DES EXPLOITATIONS SOUSCRIVANT UNE ASSURANCE RECOLTE	160
3.1 <i>Méthodologie</i>	161
3.2 <i>Analyse longitudinale</i>	161
4. LES PRINCIPAUX DETERMINANTS DE LA SOUSCRIPTION D'UNE ASSURANCE RECOLTE REVISITES.....	166
4.1 <i>Méthodologie</i>	166
4.2 <i>Régressions annuelles</i>	167
4.3 <i>Régression logistique globale</i>	168
5. TESTS EMPIRIQUES DE PERFORMANCE DU MULTI-LAM	171
5.1 <i>La méthodologie et les données</i>	172
5.2 <i>L'estimation des régressions</i>	174
5.2.1 La technique du bootstrap	174
5.2.2 Résultats	176
5.2.3 Portée des résultats.....	180
5.2.3.1 Le cadre d'analyse.....	180
5.2.3.2 La couverture du risque systématique	181
5.2.3.3 La couverture du risque individuel.....	182
5.2.3.4 Vers un marché complet de la couverture des catastrophes naturelles... 182	
6. CONCLUSION.....	184

PARTIE V - CONCLUSION.....	187
1. CONCLUSION GENERALE.....	189
2. BIBLIOGRAPHIE.....	191
PARTIE VI - ANNEXES	205
TABLE DES ANNEXES.....	207
ANNEXE 1. DEMONSTRATION DES PROPOSITIONS.....	209
1.1 Démonstration de la Proposition 2.....	209
1.2 Démonstration de la Proposition 3.....	212
1.3 Démonstration de la Proposition 5.....	214
1.4 Démonstration de la Proposition 6.....	218
1.5 Démonstration de la Proposition 7.....	220
1.6 Démonstration de la Proposition 8.....	221
1.7 Démonstration de la Proposition 9.....	222
1.8 Démonstration de la Proposition 10.....	223
ANNEXE 2. REGRESSIONS LOGISTIQUES SUR LES DETERMINANTS DE L'ASSURANCE RECOLTE.....	224
2.1 Régression logistique pour l'année 2002.....	224
2.2 Régression logistique pour l'année 2003.....	225
2.3 Régression logistique pour l'année 2004.....	226
2.4 Régression logistique pour l'année 2005.....	227
ANNEXE 3. TESTS DE PERFORMANCE DU MULTI-LAM.....	228
3.1 Comparaison de la distribution des estimateurs bêta avec un LAM et un Multi-LAM.....	228
3.2 Estimateurs bêta et décomposition de la variance du rendement.....	229
3.3 Comparaison de la variance résiduelle selon différentes méthodes et pour l'ensemble de l'échantillon.....	231
ANNEXE 4. LISTE DES SIGLES	232
ANNEXE 5. LISTE ET RESUME DES ARTICLES.....	233
ANNEXE 6. LISTE DES TABLEAUX.....	237
ANNEXE 7. LISTE DES FIGURES.....	238
TABLE DES MATIERES	239

VU et PERMIS D'IMPRIMER

Montpellier, le

La Présidente de l'Université Montpellier I

Dominique DEVILLE de PERIERE

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ MONTPELLIER I

FACULTÉ D'ADMINISTRATION ET GESTION

ARRÊTÉ DU 25 AVRIL 2002

TITRE DE L'ASSURABILITÉ DES CATASTROPHES NATURELLES : MODÉLISATION ET APPLICATION A L'ASSURANCE RÉCOLTE

RÉSUMÉ Les catastrophes naturelles sont des aléas par nature complexes et générateurs de lourdes pertes, notamment dans le secteur agricole. Il en résulte une assurabilité limitée qui engendre des mécanismes de couverture incomplets. Pour y remédier, nous développons une combinaison innovante d'outils assurantiels et financiers adaptés à la couverture des différentes facettes des risques naturels. Notre application se focalise sur l'assurance récolte en voie de réforme en France. Le raisonnement s'articule autour de quatre parties : une revue de la littérature sur les risques naturels et les instruments de couverture associés, une étude de cas sur les bassins versants français affectés par le risque d'inondation, l'élaboration d'un modèle théorique visant à assurer une couverture optimale, complétée par des tests et des illustrations empiriques.

TITLE ABOUT THE INSURABILITY OF NATURAL CATASTROPHES: MODELIZATION AND APPLICATION TO CROP INSURANCE

ABSTRACT Natural catastrophes are complex hazards which generate major losses, especially in the agricultural sector. As a result, their insurability is limited and the insurance market is incomplete. Facing these limitations, we develop an innovative combination of insurance and financial instruments adapted to the coverage of the different aspects of natural risks. Our application focuses on crop insurance which is being reformed in France. The thesis is organized in four main parts: the first part presents a survey of literature on catastrophic risks and the potential insurance and financial instruments. The second part exposes a case study on flood risk management at the river-basin scale. In a third part, we develop a theoretical model that tends to offer an optimal coverage against catastrophic risk. The fourth part consists in an empirical validation of the model performing regressions and a full set of tests.

DISCIPLINE Sciences de gestion (Section 06)

MOTS-CLÉS Assurance récolte, bootstrap, catastrophes naturelles, contrats participatifs, dérivés climatiques, risque de base

LABORATOIRE D'ACCUEIL INRA-LAMETA
2, place Pierre Viala
34060 Montpellier Cedex 1, France