

## Le risque économique : la difficile agrégation des risques à l'échelle des exploitations et des filières

Phéllippé-Guinvarc'h M.<sup>1</sup> et Cordier J.<sup>2</sup>

1 GAINS, Le Mans Université, Avenue Olivier Messiaen, F-72085 Le Mans Cedex 9

2 SMART-LERECO, Agrocampus Ouest, 65, rue de Saint Briec, F-35042 Rennes

**Correspondance** : martial.phelippe-guinvarch@univ-lemans.fr

### Résumé

L'article expose l'intérêt de la théorie des copules et des valeurs extrêmes dans l'évaluation du risque agricole. Dans une approche classique, les multiples risques sont agrégés selon une diversification des risques, apportant des compensations économiques utiles au sein de l'exploitation ou de la filière. Elle est largement utilisée en gestion de portefeuille et s'appuie sur le théorème central limite (TCL). L'article expose et illustre les cas où le TCL ne s'applique pas à cause de la forme des liens statistiques, de l'évaluation de l'impact économique ou des valeurs extrêmes.

**Mots-clés** : Cumul de risques, Copules, Théorie des valeurs extrêmes, Gestion des risques

### Abstract: Economic risk: The challenging aggregation of risks across the farms and sectors

The article explains the relevance of the copula and the theory of extreme values in the evaluation of agricultural risk. In the classical approach, the multiple risks allow a diversification of the risks, bringing useful financial compensations within the exploitation or the sector. This approach is widely used in portfolio management according to the central limit theorem (CLT). The article outlines and illustrates the cases where the CLT is not applicable because of the form of the statistical links, the loss evaluation or the extreme values.

**Keywords**: Accumulated risk, Copulas, Extreme Value Theory, Risk Management

### Introduction

Un risque concentre les notions de dommages et d'aléa. Les risques agricoles font l'objet d'une vaste littérature scientifique (voir par exemple les revues de littérature de Carter et al. (2017), Marra et al. (2003) ou Tomek et Peterson (2001)). Pris un à un, leur connaissance et leur mesure sont souvent complexes<sup>1</sup>.

Il est clair qu'un entrepreneur agricole ne peut espérer de profit sans prendre des risques. Pour que sa prise de risque globale soit raisonnable, elle doit être ajustée aux objectifs de rentabilité économique. Or les risques sont souvent mesurables à l'échelle de chaque activité ou de chaque production alors que la rentabilité se mesure au niveau de l'exploitation. L'une des principales difficultés est donc de

---

<sup>1</sup> Dans cet article nous nous concentrons sur les conséquences économiques des risques. Par exemple, nous ne considérons pas leurs impacts sur la santé ou la mortalité des agriculteurs, ou encore leurs impacts sociaux ou environnementaux.

faire une synthèse ou une agrégation de ces risques pour répondre à deux questions : la prise de risques est-elle raisonnable ? La gestion des risques est-elle optimale ?

Après un rappel des fondamentaux de la gestion des risques, l'article expose trois difficultés du cumul des risques auxquelles le théorème central limite (TCL) n'offre pas de réponses adaptées : la forme des liens statistiques, la mesure de l'impact économique et les risques extrêmes. Ces difficultés sont illustrées par des exemples.

## 1. Les fondamentaux de la gestion des risques

### 1.1 Une nécessaire cartographie des risques élémentaires

Une cartographie des risques regroupe les informations sur l'ensemble des risques, appelés risques élémentaires. Leur nombre est important en agriculture et il en devient difficile d'être exhaustif. Ils peuvent être climatiques, agronomiques, sanitaires, environnementaux, de marché (prix et base), techniques, issus de la malveillance, administratifs, politiques et financiers.

En plus de les inventorier, une cartographie classe les risques selon leur nature, leur gravité ou leur fréquence perçue ou réelle. Elle caractérise les contrôles ou suivis possibles et liste les outils de gestion de risque éligibles.

Par exemple, considérons la fusariose du blé. La cartographie précisera que cette maladie fongique, de nature sanitaire, apparaît à la floraison et l'épiaison, qu'elle s'aggrave en cas de température supérieure à 20°C et d'une hygrométrie proche de 100%. Elle décrira les symptômes, les conséquences sanitaires et réglementaires (les teneurs maximales selon la fusariotoxine) ; les contrôles à réaliser et les traitements préventifs et curatifs possibles.

### 1.2 Une mesure des risques élémentaires

Chaque risque élémentaire doit être mesuré. Le niveau de sophistication de son évaluation varie. Par exemple, sur les rendements agricoles, la littérature propose de nombreux modèles. Claassen et Just (2011) comparent ainsi un large jeu de distribution paramétrique standard, incluant non seulement la loi normale, lognormale, bêta, gamma, logistique, et Weibull, mais aussi la gamma inversée et la lognormale inversée sur des données de rendement en blé et maïs.

Par contre, Ramirez (2003) propose l'utilisation de la loi *SU* de Johnson, plus sophistiquée, pour estimer le risque de rendement<sup>2</sup>. La Figure 1 illustre cette loi *SU* de Johnson paramétrée sur les données du RICA pour le colza dans ses principales régions agricoles de production (Boucher et al., 2019). On observe que la queue de distribution à gauche est considérablement plus épaisse que celle à droite. Un choix de modèle plus simple qui ne prendrait pas en compte cette asymétrie, par exemple en utilisant la loi normale, conduirait à fortement sous-estimer les probabilités de perte et par suite à sous-estimer le risque sur le rendement.

---

<sup>2</sup> La loi *SU* de Johnson est basée sur la transformation sinus hyperbolique de la loi normale, utilisant quatre paramètres, un paramètre de localisation, un d'échelle et deux de forme.

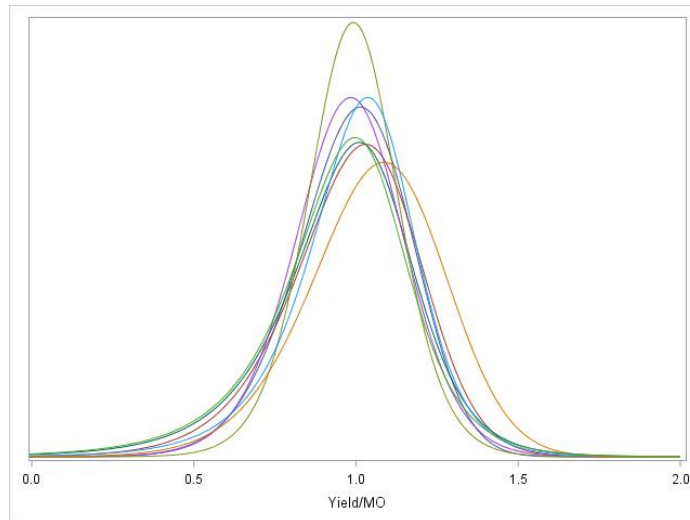


Figure 1 : Exemple de lois *SU* de Johnson (source : auteurs)

A défaut d'un modèle ou de mesures statistiques, une analyse d'expert constitue une évaluation suffisante. Il s'agit de placer le risque dans ce type de tableau :

	Probabilité forte	Probabilité médiane	Probabilité faible
Perte potentielle forte	Risque non pertinent		Risque « sauvage »
Perte potentielle modérée			
Perte potentielle faible	Risque « sage »		Risque non pertinent

Source : Cordier *et al* (2008)

Cela convient par exemple à des risques complexes où le niveau d'information est faible. Prenons l'exemple de la contamination du lait infantile. Ce risque survient extrêmement rarement. Rappelons tout de même le cas du lait frelaté en Chine en 2007-2008 et celui de la salmonelle dans du lait en France en 2017. Les conséquences financières sont énormes ; rien qu'une suspicion de contamination cause déjà des pertes majeures. Dans cet exemple, il est très difficile d'établir une mesure statistique et une évaluation qualitative sera donc utilisée.

### 1.3 Du risque cumulé au risque élémentaire

Un entrepreneur ne peut espérer un profit sans prendre de risques. Mais le plus important pour l'exploitant, c'est le risque au niveau global relativement à son objectif économique. Néanmoins, mesurer et gérer la contribution de chaque risque dans le cumul ou dans les compensations est nécessaire pour atteindre cet objectif.

Le Risk Enterprise Management (ERM) en sciences actuarielles offre un cadre d'analyse intéressant à travers les notions d'appétence et de tolérance aux risques (Chelly et Robert, 2017). Il définit l'**appétence aux risques** comme le niveau de risque cumulé acceptable pour poursuivre l'activité économique. Par exemple, une enquête récente a montré que la perte de chiffre d'affaires annuel ne

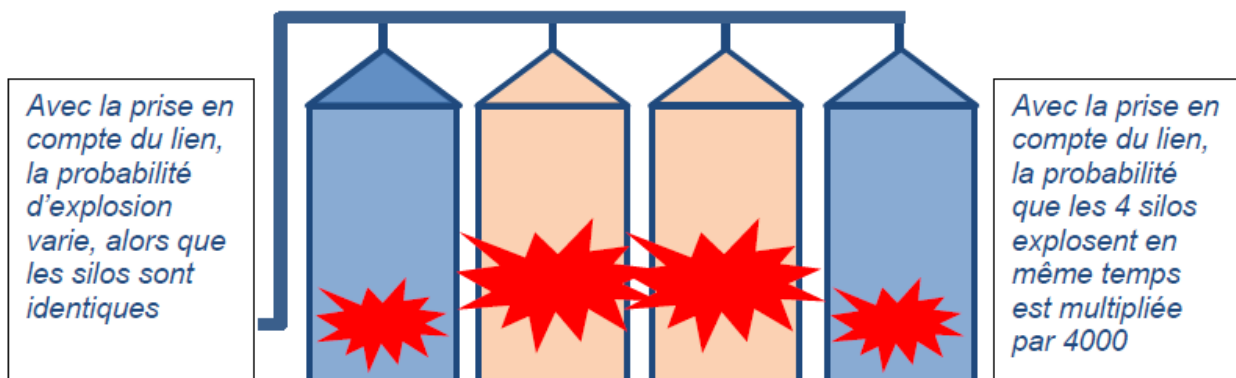
doit pas être supérieure à 29% du chiffre d'affaires espéré<sup>3</sup> avec une probabilité supérieure à 2,5%. L'appétence est ainsi décrite par trois éléments :

1. Une métrique (Chiffre d'affaires, Quantité, Qualité ou valeur du capital...),
2. Un horizon temporel,
3. Un niveau de sécurité.

Puisque ce risque global est le résultat d'un cumul de risque, l'ERM définit les **tolérances** comme les déclinaisons opérationnelles sur chacun de ces risques. Il s'agit pour l'agriculteur de se fixer, pour chaque risque, un niveau maximal pour chacune de ses productions.

Prenons l'exemple du risque d'explosion de silos à grains représenté en Figure 2. Considérons une probabilité d'explosion spontanée à 2%, quel que soit le silo, dans le contexte de l'appétence suivante : la perte de chiffre d'affaires annuel ne doit pas être supérieure à 29% du chiffre d'affaires espéré avec une probabilité supérieure à 2,5%.

Prenons en compte maintenant la dépendance du risque d'explosions. Si un silo explose, la probabilité d'explosion des silos voisins passent à 20% (contagion). Dans ce cas, les silos bleus aux extrémités ont une probabilité d'explosion de 2,496% et ceux du centre en orange de 2,88%. A cause de la contagion, la probabilité d'explosion augmente et n'est plus uniforme, alors que les silos sont identiques. De plus, la probabilité de perte simultanée des 4 silos passe de  $1,6E-07$  à  $6,40E-04$ , soit une multiplication par 4000.



**Figure 2 :** Exemple du risque d'explosion des silos : la prise en compte des liens statistiques modifie les probabilités d'explosion en fonction de la position du silo et la distribution du cumul (sources : auteurs)

Cet exemple a pour objectif d'illustrer qu'une mesure ou qu'une gestion risque par risque élémentaire (approche en silos) ne permet pas d'atteindre l'objectif. Si nous ne prenons pas en compte les liens, le critère d'appétence est atteint quel que soit le remplissage des silos. Mais en prenant en compte les liens, la probabilité d'explosion d'un silo orange dépasse le seuil de 2,5%. Il faut donc fixer une tolérance sur les silos orange, qui limitera soit leur usage (contient moins de 28% de mon chiffre d'affaires espéré), soit leur niveau de risque (nous pouvons renforcer la gestion du risque des silos orange de manière à ce que la probabilité diminue). L'exercice est difficile à trois niveaux:

1. Est-ce la gestion de risque mise en œuvre sur chacun de chaque risque élémentaire permet d'atteindre sa tolérance ?
2. Est-ce que le cumul de ces tolérances permet d'atteindre l'objectif d'appétence ?
3. Est-ce que les tolérances fixées sont optimales ?

<sup>3</sup> Une enquête récente auprès d'agriculteurs montre qu'une baisse de rendement se répercute en moyenne sur le revenu au-delà de 16 % et qu'ils ont besoin d'emprunt au-delà de 29 % de pertes (Boucher et al, 2019)

#### 1.4 Les quatre méthodes fondamentales en gestion des risques

- **L'acceptation** : Relativement au niveau de ce risque, il est coûteux ou chronophage de diminuer l'exposition. Il peut être aussi accepté par ignorance de son existence et/ou de sa gravité.
- **La réduction** : Il s'agit de minimiser le risque de survenance du risque (prévention) ou les conséquences en cas de survenance (protection). Les exemples sont très nombreux. Pour réduire la survenance de la fusariose du blé, l'agriculteur peut choisir une variété peu sensible à ce risque. Dans un verger, un agriculteur peut diminuer les pertes d'une grêle avec des filets anti-grêles. L'entretien des ventilations réduit les risques d'étouffement dans les bâtiments avicoles. Les ROPS (RollOver Protective Structure/Structure de Protection contre le Reversement) sur les tracteurs, obligatoires depuis 2002, protègent le conducteur contre l'écrasement.
- **La diversification** : il s'agit d'organiser un portefeuille de production ou de procédures qui permettent des compensations de pertes et de bénéfices lors du cumul des risques élémentaires. La polyculture-élevage est une diversification des productions. Les contrats à terme permettent également de diversifier les ventes pour les produits saisonniers comme les céréales ou les oléagineux (Cordier et al., 2008). L'article montre les difficultés de mesurer ces compensations.
- **Le transfert** : Le risque est tout ou partie pris en charge par une autre entité en contrepartie d'une rémunération. Par exemple, l'assurance récolte indemnise, dans certaines conditions, une perte de récolte. Les options de vente transfèrent une partie du risque prix aux marchés à terme.

Plus généralement, toute décision aura un impact sur les risques élémentaires et par suite sur le cumul de risques. C'est le cas d'un agriculteur qui renonce à une production, qui échelonne ses ventes au lieu de les vendre en une fois, qui souscrit à une assurance récolte, qui prend des positions sur les marchés à terme, qui change de tracteur, qui loue ou achète des parcelles ou qui change de mode de production, etc. Mais qu'en est-il du risque global et d'une stratégie de gestion réellement efficace ?

## 2. L'agrégation des risques : au-delà du théorème central limite

Comme l'espérance mathématique est un opérateur linéaire, le cumul de risques est parfois perçu comme simple. C'est parfois le cas. La somme de lois normales est une loi normale. De même, le produit de lois log-normales est de loi log-normale.

Le théorème central limite (TCL) est fondamental dans la gestion "classique" des risques. Dans le TCL, la somme d'aléas indépendants et identiquement distribués, de variance finie, tend vers une loi normale quand leur nombre est grand. Mais dans le cadre d'un cumul de risques de l'agriculteur ou de la filière agricole, **les conditions d'application de ce théorème ne sont que rarement réunies.**

Cet article introduit la théorie des copules, l'étude de l'impact économique et les événements extrêmes.

### 2.1 La théorie des copules

William Green (2018) rappelle que l'estimation d'une distribution jointe (ou distribution en  $n$ -dimensions) est bien plus complexe que d'estimer les probabilités sur chaque risque élémentaire. Il montre que les copules fournissent un outil utile pour représenter la loi jointe. Même si les développements fondamentaux statistiques datent de Sklar (1959), les applications en économétrie et en actuariat datent des années 2000 (voir par exemple Trivedi et Zimmer (2007) ou Charpentier (2006)).

Une copule  $C$  est une fonction de répartition de  $n$  –dimensions définie sur  $[0, 1]^n$  dont les lois marginales sont égales à la loi uniforme sur  $[0, 1]$  ( $u \sim U[-1,1]^n$ ).<sup>4</sup> Le théorème de Sklar (1959) montre qu'avec  $F$  une fonction de répartition de  $n$  –dimensions dont les lois marginales sont  $F_1, \dots, F_n$ . Il existe une copule  $C$  de dimension  $n$  telle que  $\forall x \in \mathbb{R}^n$ , nous avons<sup>5</sup> :

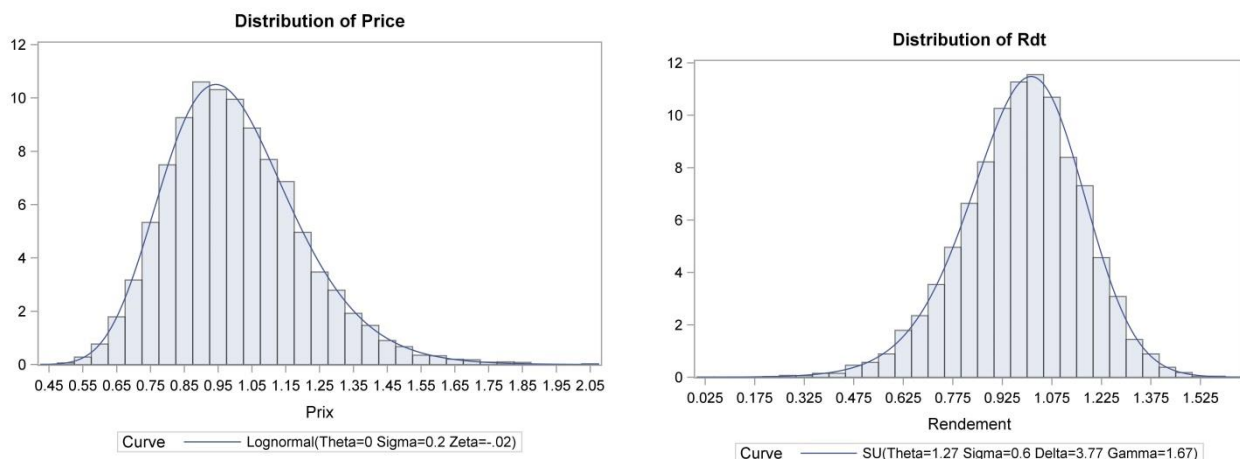
$$F(x_1, \dots, x_n) = C(F(x_1), \dots, F(x_n))$$

Si on note l'ensemble des variables aléatoires par le vecteur  $X$ , alors la loi jointe peut être exprimée par la fonction de densité  $f_X(X)$  et établie à partir des densités marginales  $f_{X_i}(X_i)$  et de la copule  $C_X$ .

Illustrons l'intérêt des copules à travers deux exemples : le lien entre le prix et le rendement et les liens entre les rendements individuels.

### 2.1.1 Le lien entre les prix et les rendements

Dans cette sous-section, nous montrons que les copules peuvent modéliser des liens non linéaires dans le domaine agricole. Prenons le cas d'un exploitant ou d'une filière qui fait face aux risques de prix et de rendement. De nombreux modèles existent pour estimer le comportement local des rendements et des prix<sup>6</sup>. Dans la Figure 3, le prix est modélisé par une lognormale (Samuelson, 1965) et le rendement par une  $SU$  de Johnson (Boucher et al., 2019).



**Figure 3** : Simulation des deux lois marginales, le prix et le rendement (source: auteurs).

Le rendement de l'agriculteur a-t-il un impact sur les prix ? La théorie économique veut qu'une baisse de l'offre affecte positivement les prix sur un marché fermé. Elle exprime également un lien non linéaire entre le prix et la production (Figure 4). Mais peut-on dire qu'ils sont anti-corrélés ?

<sup>4</sup> Elle vérifie les propriétés suivantes :

- $\forall u$  ayant au moins une composante  $u_k$  nulle,  $C(u) = 0$  ;
- $\forall u$  ayant toutes ses composantes égales à 1 sauf éventuellement  $u_k$ , alors  $C(u) = u_k$
- $C$  est  $n$  –croissante.

<sup>5</sup> Si de surcroît, les lois marginales  $F_1, \dots, F_n$  sont continues alors la copule  $C$  est unique et  $\forall u \in [0, 1]^n$ ,  $C(u) = F(F_1^{-1}(u_1), \dots, F_n^{-1}(u_n))$ .

<sup>6</sup> Pour s'en convaincre, on peut considérer par exemple Claassen et Just (2011) qui testent plusieurs distributions paramétriques sur les rendements agricoles ou considérer la revue de littérature de Garcia et Leuthold (2004) sur les modèles d'évolution des prix des matières premières.

La corrélation de Pearson est un outil simple, largement utilisé. Mais il s'agit d'une corrélation linéaire, qui doit satisfaire les mêmes hypothèses qu'une régression linéaire. La corrélation est donc un outil inadapté pour représenter le lien entre les prix et les rendements.

L'intérêt des copules et du théorème de Sklar est illustré en Figure 5. Une copule Gaussienne, comme utilisée présentement par la Risk Management Agency aux États-Unis est simulée séparément des deux lois marginales. Ramsey et al. (2019) prouvent que même si la copule est imposée, la distribution résultante sur le revenu est satisfaisante dans les comtés les plus représentatifs.

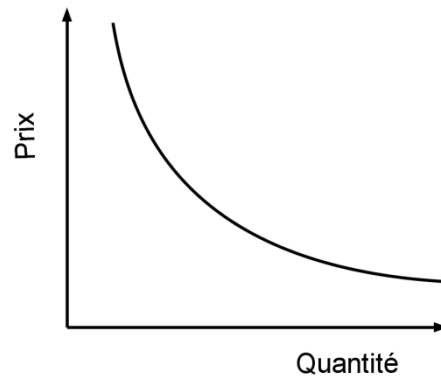


Figure 4 : La relation non linéaire prix/ rendement, source : Bressler et King (1970)

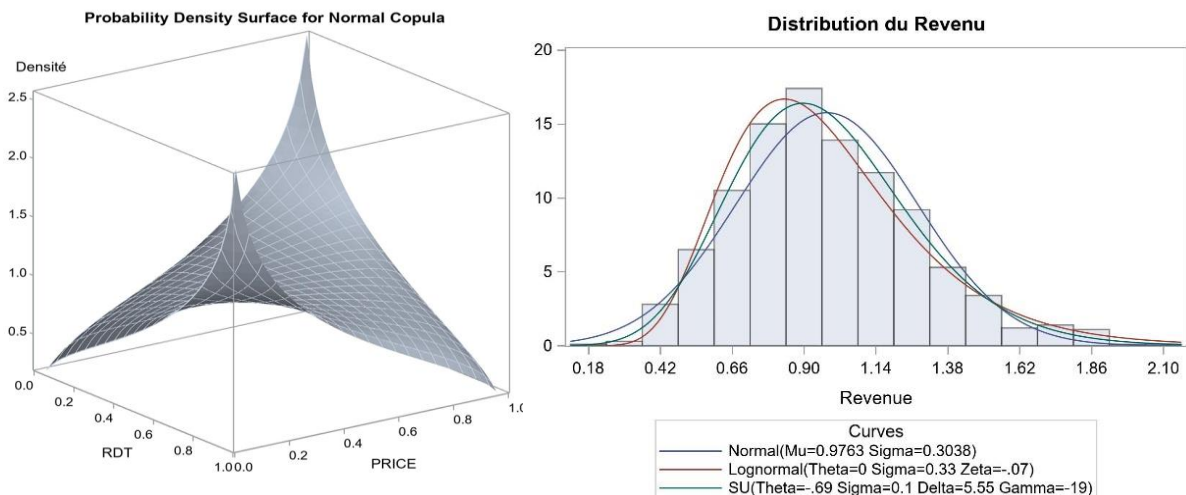


Figure 5 : Par le théorème de Sklar, la copule peut être estimée indépendamment des deux lois marginales. La combinaison permet d'estimer la distribution du revenu de cette production (source: auteurs).

La production d'un exploitant est souvent trop faible au regard de la production régionale ou mondiale pour que l'impact de son rendement soit perceptible sur le prix. Mais si toute une région de production subit une perte de rendement, alors l'impact sur les prix deviendra visible. Le lien prix rendement sera donc différent si l'on considère un exploitant ou une filière. Mais devrait-on conclure qu'il y a indépendance entre les rendements individuels et le prix ?

### 2.1.2 Les liens entre les rendements des exploitations agricoles

Les copules permettent aussi de modéliser des liens complexes et de grandes dimensions (notées  $n$ ). Prenons l'exemple du cumul des rendements des exploitations à l'échelle de la filière.

Dans leurs travaux récents, Goodwin et Hungerford (2015) utilisent des arbres hiérarchiques de copules, pour représenter les liens entre un ensemble de rendements locaux. Ces méthodes (notées *C-Vine*, *D-Vine* ou *R-Vine* dans la littérature) modélisent un ensemble de  $n - 1$  copules de dimension 2, organisé sous la forme d'un arbre de dépendances conditionnelles.

Certaines familles de copules également sont adaptées aux problèmes de grandes dimensions. Par exemples, les copules de Student et de Gauss sont paramétrées par une matrice de covariance. Même s'il est complexe d'inverser de telles matrices de dimensions  $n \times n$ , elles sont pertinentes dans ce contexte. En effet, il devient possible de construire des matrices dont la dépendance dépend des distances entre les deux exploitants. Elles peuvent ainsi exprimer des liens dans l'espace, on parle alors de copules spatiales.

Les copules permettent aussi de modéliser les dépendances de queue<sup>7</sup>. Dans une copule, l'intensité de la dépendance n'est pas constante dans l'espace  $[0,1]^n$ . Ainsi, pour la copule représentée en Figure 5, l'intensité maximale du lien est atteinte pour les points  $[0,1]$  et  $[1,0]$ . Autrement dit, les dépendances les plus fortes sont pour les valeurs les plus faibles et les plus élevées.

Goodwin et Hungerford (2015), déjà cités, observent effectivement des dépendances de queue sur les rendements agricoles. Lors d'événements climatiques extrêmes (gels tardifs, sécheresses majeures,...), l'ensemble des rendements subit de fortes pertes. Ainsi, grâce aux copules, nous pouvons modéliser le cumul de risques de nature systémique. Même quand le nombre est grand, la diversification n'a pas lieu en cas de valeur extrême. Ce résultat sera observable sur les queues de distribution, les probabilités de faibles rendements sont supérieures à ce qu'on observe sur la loi normale.

La réunion de ces deux exemples aide à comprendre pourquoi le rendement individuel et le prix ne sont pas indépendants. A cause du caractère systémique, le rendement individuel est lié, en particulier en cas de valeur extrême, au rendement de la filière qui impacte alors le prix du fait de sa taille.

## 2.2 L'estimation de l'impact économique

**Cette partie traite des cas où le cumul des risques ne correspond pas à la somme algébrique d'événements aléatoires, comme utilisé dans le TCL.<sup>8</sup>**

Dans le cadre d'une gestion de risque, l'impact économique (noté  $g(X)$  dans la suite) correspondra à la métrique de l'appétence, à l'issue de l'horizon temporel fixé. Il peut s'agir de l'excédent brut d'exploitation, de la valeur ajoutée, du revenu ou encore de la valeur d'entreprise. Plus le nombre de risques élémentaires est important, plus l'impact économique est difficile à estimer.

Dans le cas simple du prix et du rendement, le chiffre d'affaires correspond au produit et non à la somme ( $g(\text{Prix}, \text{Rdt}) = \text{Prix} \times \text{Rdt}$ ). Comme les risques de l'exploitation sont de natures diverses, la valeur de  $g(X)$  n'est généralement pas décomposable en  $g_1(X_1) + \dots + g_N(X_N)$ . Par exemple, après une grêle majeure ou un gel à la floraison, la récolte est détruite et tous les autres risques qui surviennent ensuite n'ont plus d'impact. De même, un vent modéré augmente l'évapotranspiration du sol, cela a donc un impact positif en cas d'excès d'eau, et négatif en cas de déficit hydrique.

À cause des liens statistiques, la sous-section précédente montrait la nécessité d'établir une fonction de densité jointe. De même, celle-ci montre qu'il faut modéliser un impact économique "joint" chaque fois que  $g(X)$  ne peut être linéarisée.

<sup>7</sup> Cette dépendance des premiers ou derniers quantiles s'appelle la dépendance de queue. Certains auteurs utilisent l'expression "re-corrélation des extrêmes."

<sup>8</sup> Si, au lieu de la somme, nous prenons le maximum, le résultat converge vers la loi des extrêmes généralisés (Théorème de Fisher-Tippett-Gnedenko).



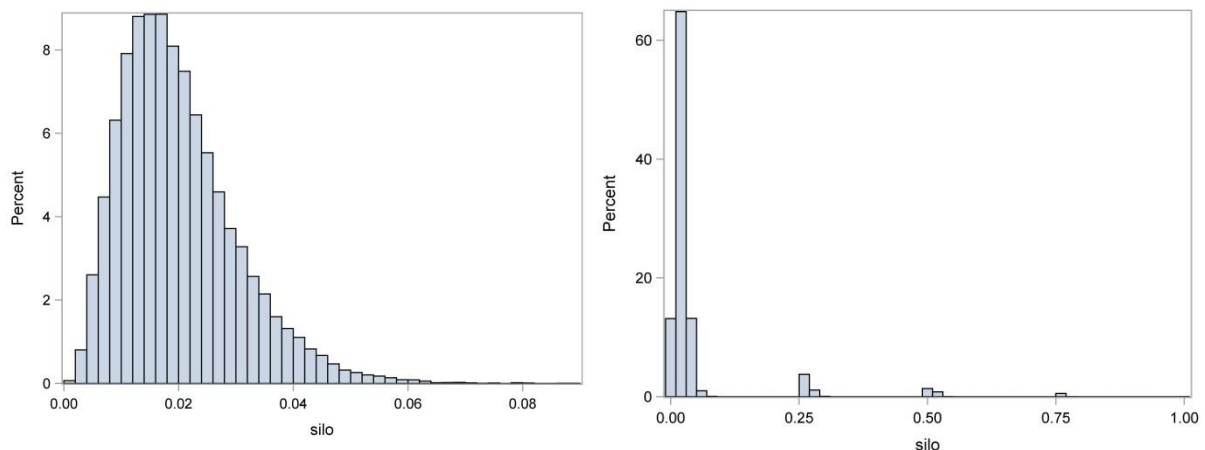
### 2.3 Les risques extrêmes

Plusieurs définitions existent pour caractériser les risques extrêmes. Les valeurs extrêmes sont rares mais possibles. Mathématiquement, elles sont modélisées par des distributions dites à queue épaisse ou lourde ou des distributions dites à queue longue ou encore sous-exponentielle en fonction de la vitesse de convergence des queues de distribution vers 0.<sup>9</sup>

Dans le cas des événements extrêmes, la variance est très grande, voir infinie. De plus, comme ils ne surviennent que rarement, il y a peu de données et cela les rend difficiles à calibrer. **Les risques extrêmes ne remplissent donc pas les conditions sur la variance et sur le grand nombre du TCL.**

A l'échelle d'un agriculteur, des risques de responsabilité comme la responsabilité environnementale sont des risques de nature extrême. Une perte majeure ou totale de récolte est vue aussi comme extrême bien qu'elle ne réponde pas à ces définitions mathématiques.

La somme de risques de natures diverses — certains modérés, d'autres graves ou extrêmes — est difficile à appréhender. Dans l'exemple de la Figure 6, la somme d'un risque modéré (la perte de qualité lié au stockage dans le silo) et d'un risque grave (l'explosion des silos) donne un résultat original. L'abscisse va de 0 à 100% et représente le taux de perte sur les silos. A gauche, le risque modéré de la qualité modélisée par une loi exponentielle est cumulé sur les quatre silos. Le cumul n'a plus la forme d'une loi exponentielle mais a déjà une forme de cloche caractéristique de la loi normale. Le TCL s'appliquerait si le nombre de silos était grand. A droite, le cumul des risques d'explosion et ceux de qualité a une forme originale. Les pointes pour les pertes 25%, 50% et à 75% correspondent à l'explosion simultanée de 1, 2 ou 3 silos.



**Figure 6** : A gauche, le cumul du risque qualité, à droite le cumul Explosion et Qualité (source : auteurs)

<sup>9</sup> Mathématiquement, on a :

1. Si la fonction génératrice des moments ( $M_X = E[e^{tx}]$ ) est infinie quel que soit  $t > 0$  alors la distribution est dite à queue épaisse ou lourde.
2. Une distribution à queue longue a une densité, pour  $x$  grand, tend vers 0 comme une fonction puissance  $x^{-\alpha}$ . Elle est toujours sous-exponentielle.
3. Une distribution sous-exponentielle, pour  $x$  grand, tend vers 0 moins vite qu'une distribution exponentielle. Cela exprime le fait que la distribution des excès décline plus vite qu'une loi exponentielle.

Plusieurs lois connues répondent à ces définitions : Pareto (y compris la loi de Pareto généralisée), Weibull, Fréchet, Log-normale, Burr ou Kappa.

Deux phénomènes peuvent générer des extrêmes lors du cumul. Ce résultat est contre intuitif au regard du TLC.

- Le premier est la nature systémique des risques agricole. La dépendance de queue, déjà mentionnée, 'alourdit' la queue de distribution du cumul, le rapprochant d'un risque extrême.
- Le deuxième concerne les dispositifs de transfert de risques comme les fonds mutuels ou les assurances. Le versement d'une prestation n'a lieu que lorsque la perte est déjà grande. Or les travaux de Pickands (1975) et Balkema et De Haan (1974) montrent qu'en ne considérant que les valeurs de pertes élevées, le cumul des risques peut être assimilé à un cumul de loi des extrêmes (Pareto).

L'assurance récolte et l'assurance revenu subissent ces deux phénomènes. La distribution de l'indemnité cumulée a donc une queue de distribution suffisamment lourde pour que la réassurance privée soit jugée insuffisante et que les acteurs fassent intervenir de la réassurance publique.

## Conclusion

La gestion des risques, que ce soit au sein d'une filière ou d'une exploitation, exige d'appréhender le cumul de risques élémentaires. L'article présente des exemples agricoles où l'usage du théorème central limite est inadapté pour exprimer le rôle de la diversification des risques.

Les risques élémentaires agricoles sont rarement indépendants. De plus, l'impact de plusieurs risques simultanés ne correspond pas à la somme des deux impacts. Enfin, le TCL ne s'applique pas aux aléas extrêmes. Ainsi, si le TCL est abusivement utilisé pour simplifier l'exercice, il change la perception du cumul. Comme dans les exemples présentés, cela tend souvent à sous-estimer les queues de distribution, autrement dit à sous-estimer les extrêmes. Les exploitants pourraient alors négliger la gestion de ces risques et trouver prohibitif les prix des assurances récoltes ou les options de vente.

Les copules et la théorie des extrêmes apportent une réponse théorique certaine dans la définition du risque global de l'exploitation agricole. Elles permettent de modéliser des liens non linéaires, plus réalistes, de prendre en compte les dépendances de queue et de modéliser des lois jointes de grande dimension.

Ainsi la conception d'instruments individuels de gestion du risque peut-elle être améliorée et surtout l'usage combiné d'instruments disponibles peut-il être optimisé afin d'atteindre un maximum économique en avenir incertain. In fine, l'agriculteur pourra choisir simultanément son portefeuille physique de production et son portefeuille d'instruments de gestion du risque (prévention, instruments financiers et assurance).

## Références bibliographiques

- Balkema A.A., De Haan L., 1974. Residual life time at great age. *The Annals of probability*, 792-804.
- Boucher L., Duval L., Phéllippé-Guinvarc'h M.V., Karamé F., Prudon E., 2019. Évaluation du Programme national de gestion des risques et d'assistance technique et en particulier de l'assurance récolte, Rapport d'évaluation, Par DECID & RISK, 25 rue Pétreille, 75009 Paris
- Bressler R.G., King R.A., 1970. *Markets, prices, and interregional trade* (Vol. 8). New York: Wiley.
- Carter D.A., Rogers D.A., Simkins B.J., Treanor S.D., 2017. A review of the literature on commodity risk management, *Journal of Commodity Markets*, 8:1-17.
- Charpentier A., 2006. *Dependence structures and limiting results, with applications in finance and insurance*. Leuven PhD thesis.
- Chelly D., Robert G., 2017. *Gérer les risques sous Solvabilité 2, Les Essentiels*, 125p.

Cordier J., Erhel A., Pindard A., Courleux F., 2008. La gestion des risques en agriculture de la théorie à la mise en oeuvre: éléments de réflexion pour l'action publique. Notes et études économiques, (30), 33-71.

Claassen R., Just R.E., 2011. Heterogeneity and distributional form of farm-level yields. American Journal of Agricultural Economics, 93(1):144–160.

Garcia P., Leuthold R.M., 2004. A selected review of agricultural commodity futures and options markets. European Review of Agricultural Economics, 31(3):235-272.

Greene W.H., 2018. Econometric Analysis, 8th Edition, Stern School of Business, New York University

Goodwin B.K., Hungerford A., 2014. Copula-based models of systemic risk in US agriculture: implications for crop insurance and reinsurance contracts. American Journal of Agricultural Economics, 97(3), 879-896,

Marra M., Pannell D.J., Ghadim A.A., 2003. The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: where are we on the learning curve? Agricultural Systems, 75(2-3):215-234.

Pickands III J., 1975. Statistical inference using extreme order statistics. the Annals of Statistics, 3(1), 119-131.

Ramsey A.F., Goodwin B.K., Ghosh S.K., 2019. How High the Hedge: Relationships between Prices and Yields in the Federal Crop Insurance Program. Journal of Agricultural and Resource Economics, 44(1835-2019-1539), 227-245.

Samuelson P.A., 1965. Rational theory of warrant price, Industrial Management Review 6,13-33.

Sklar A., 1959. Distribution Functions in  $n$  –Dimensions and Their Margins. Statistics Publications, University of Paris 8: 229-231.

Tomek W.G., Peterson H.H., 2001. Risk Management in Agricultural Markets: A Review. Journal of Futures Markets, 21: 953-985.

Trivedi P.K., Zimmer D.M., 2007. Copula modeling: an introduction for practitioners. Foundations and Trends® in Econometrics, 1(1): 1-111.

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



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

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