

Prise en compte du risque climatique dans le provisionnement agricole

Marie GANON

12 septembre 2024

LE RISQUE CLIMATIQUE EN AGRICULTURE

→ Les agriculteurs font face à de nombreux risques climatiques :



Sécheresse



Grêle



Gel

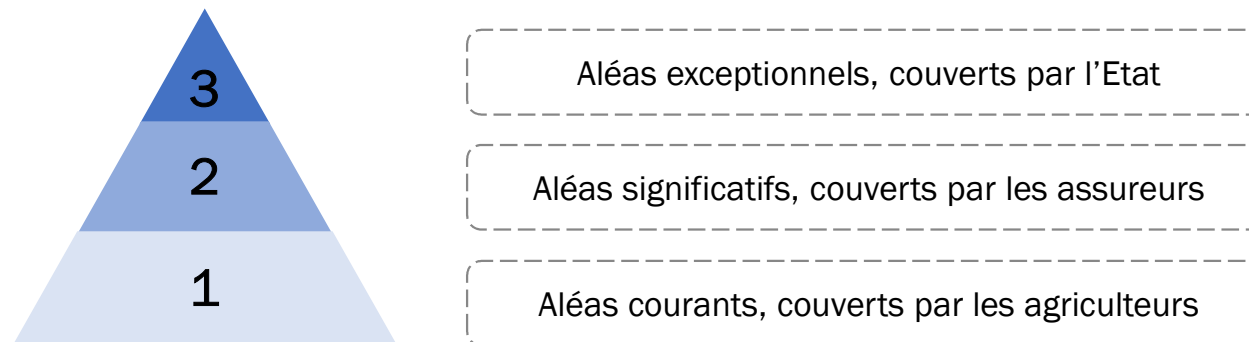


Inondations



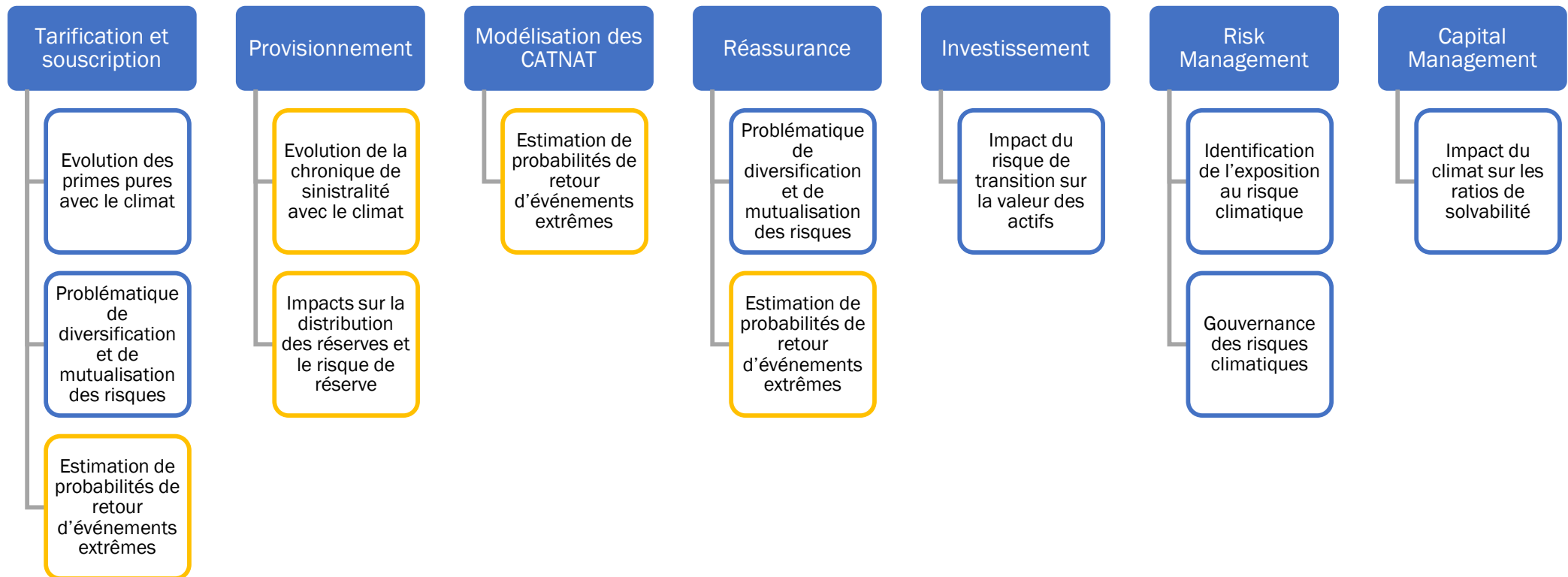
Autres aléas climatiques

→ Ils ont la possibilité de s'en prémunir grâce à l'Assurance Multirisque Climatique des récoltes, réformée au 1^{er} janvier 2023 pour favoriser la souscription en un système à trois niveaux :



→ Or le changement climatique risque d'accroître la fréquence et l'intensité de survenance de ces différents aléas, menaçant alors leur assurabilité.

DOMAINES ACTUARIELS IMPACTÉS PAR LE RISQUE CLIMATIQUE



→ En qualité de boîte à outils, ce mémoire couvre les problématiques de provisionnement ainsi que l'estimation de périodes de retour d'événements extrêmes dans le cadre de l'assurance agricole.

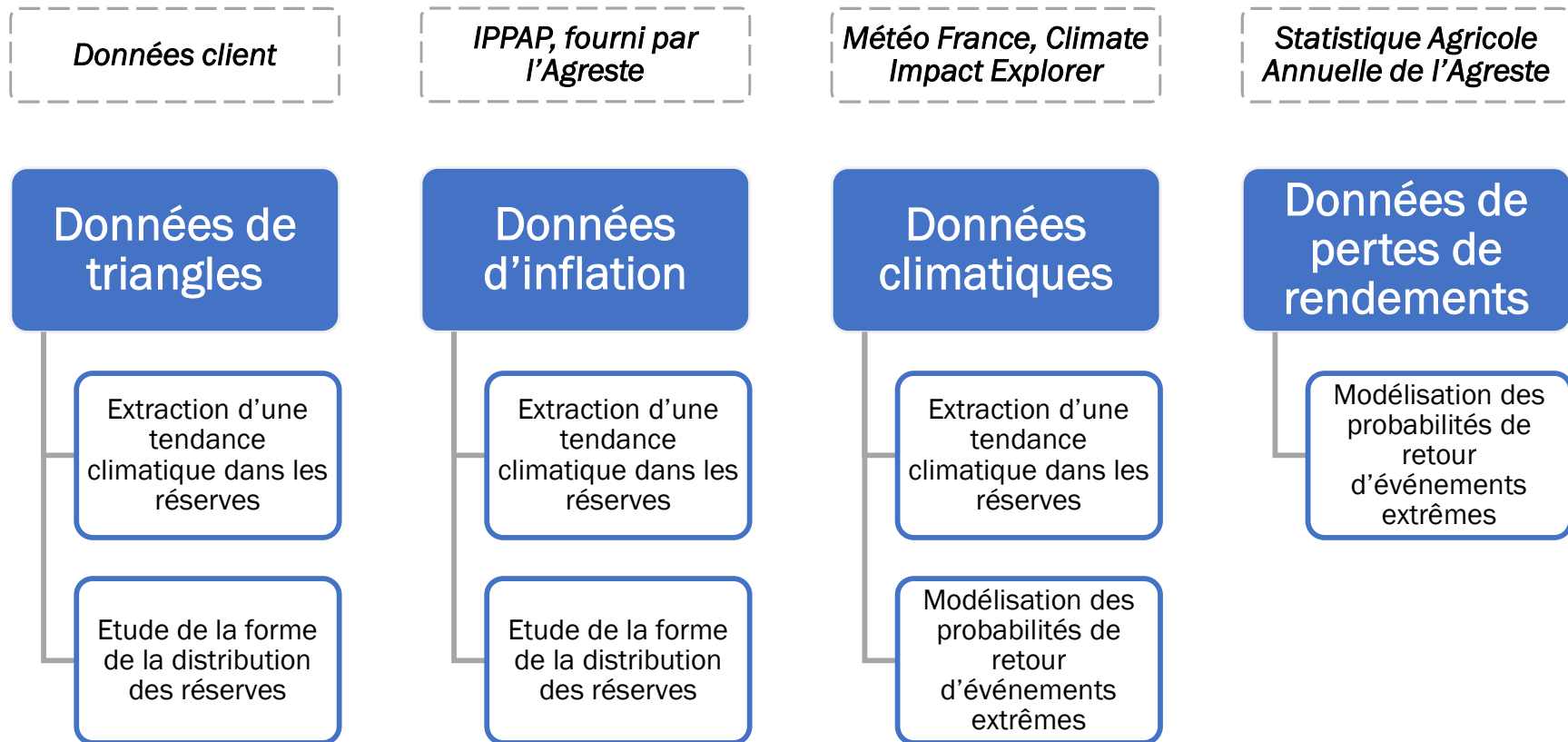
SOMMAIRE

- 1 Contexte
- 2 Données de l'étude
- 3 Extraction d'un facteur de risque climatique
- 4 Etude de la forme de la distribution des réserves
- 5 Modélisation des probabilités de retour d'événements extrêmes
- 6 Conclusion

SOMMAIRE

- 1 Contexte
- 2 Données de l'étude
- 3 Extraction d'un facteur de risque climatique
- 4 Etude de la forme de la distribution des réserves
- 5 Modélisation des probabilités de retour d'événements extrêmes
- 6 Conclusion

PANORAMA DES DONNÉES EXPLOITÉES



ANALYSE DES DONNÉES REÇUES

Données client - Trois sous-branches du secteur agricole

- Aléas climatiques
- Hors aléas climatiques et tempête
- Responsabilité civile

Données reçues *(Bruitées dans un souci de confidentialité)*

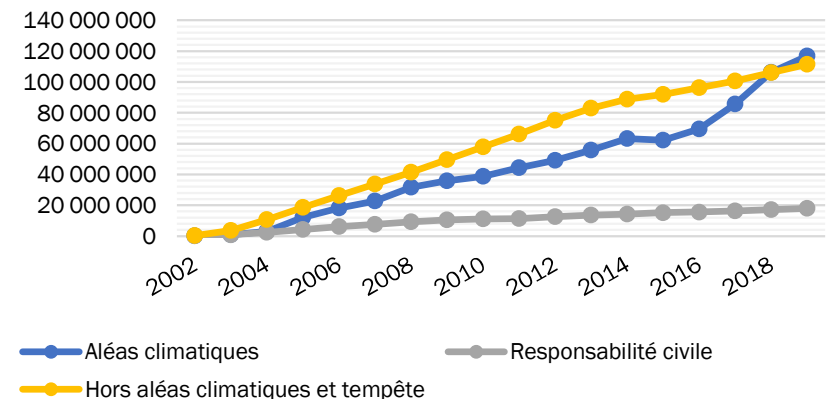
- Primes acquises entre 2002 et 2019
- Triangle de règlements nets pour la période 2002-2019 à vision annuelle

Informations manquantes

- Triangle de nombre de sinistres
- Nombre annuel de contrats dans le portefeuille
- Périmètre géographique du portefeuille
- Types de culture assurés
- Événement naturel source du sinistre (sécheresse, grêle, inondations...)

Pour pallier ce manque d'information et mener à bien l'étude, des hypothèses simplificatrices ont été requises.

Evolution des primes acquises

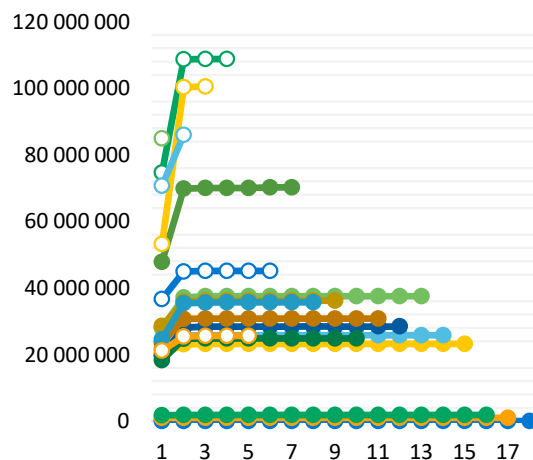


- Augmentation des primes acquises sur les deux branches hors responsabilité civile. Signe d'un grossissement du portefeuille ou d'une plus forte sinistralité ?
- Forte tendance à la hausse depuis 2016 pour la branche aléas climatiques, là où les primes hors aléas climatiques et tempête croissent plus lentement. Signe du dérèglement climatique ?

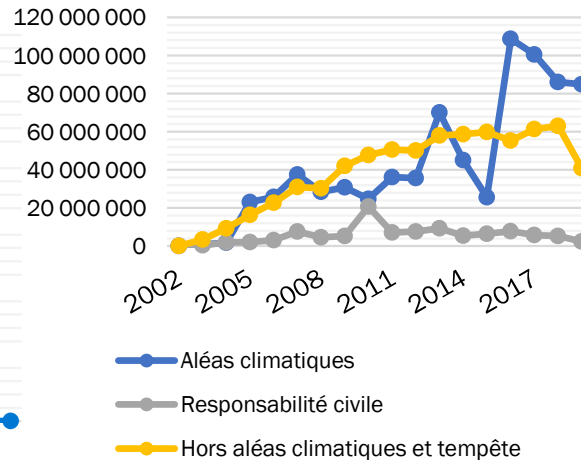
ANALYSE DES DONNÉES REÇUES

Evolution des règlements nets

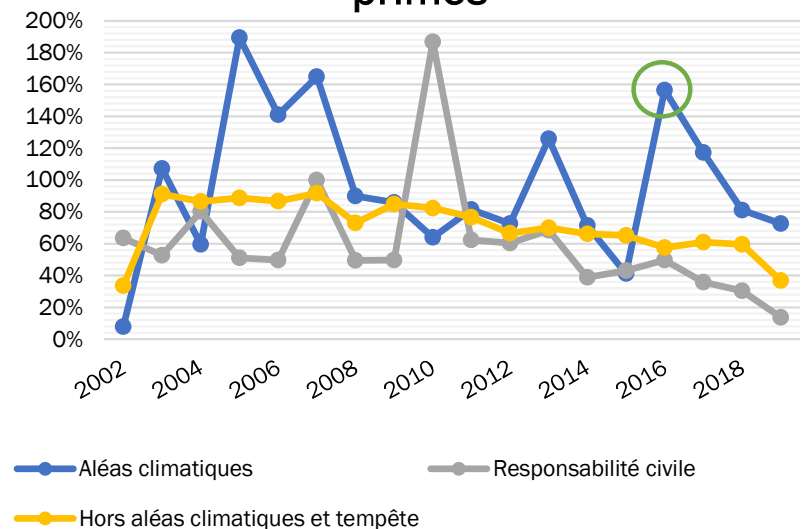
Par année de développement – Branche aléas climatiques



Par année de survenance – Toutes branches



Evolution des ratios sinistres sur primes



- Sous-branche climatique à développement court.
- Augmentation des règlements nets en fonction de l'année de survenance très marquée sur la branche aléas climatiques. Signe du changement climatique ou uniquement d'un accroissement du portefeuille ?

- Dépassements du seuil de 100% plus fréquents sur la sous-branche aléas climatiques.
- 2016, pire récolte de blé depuis 1976.

DIFFICULTÉS RENCONTRÉES DANS LE CHOIX DES VARIABLES

Difficultés liées à la base client



Granularité spatiale inconnue
Echelle de la France métropolitaine



Granularité temporelle faible
Recherche de données annuelles



Manque d'information sinistres
Considération d'un seul événement climatique

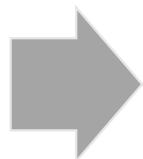
Difficultés liées à la recherche de données climatiques



Accès aux données météorologiques



Existence de scénarios de projection



Une seule variable,
caractérisant l'état
d'humidité des sols

Soil Wetness Index (SWI)

- SWI proche de 1 → état de saturation en eau du sol
- SWI proche de 0 voire négatif → état de stress hydrique

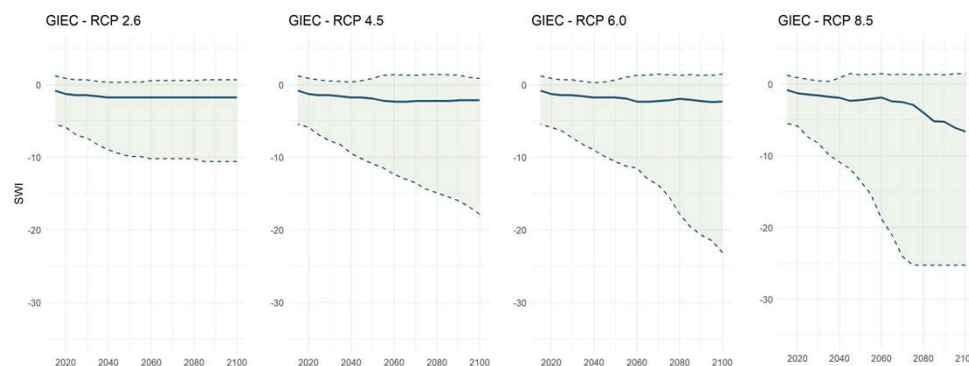
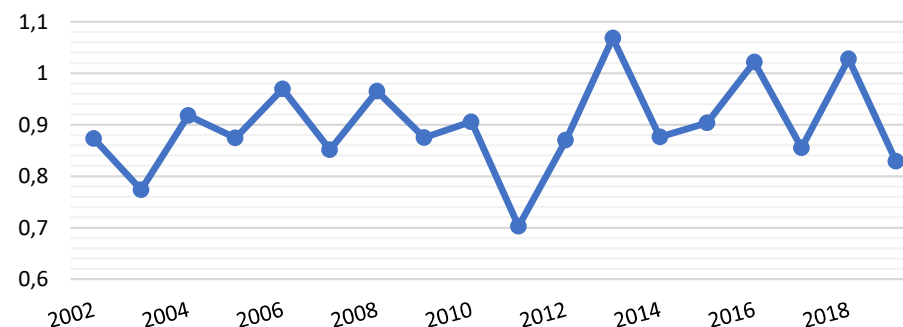
PRÉSENTATION DES DEUX BASES DE DONNÉES

Deux bases de données requises

- Données historiques issues de Météo France
- Données de projection issues du *Climate Impact Explorer*

	Base historique	Base de projection
Granularité temporelle	Mensuelle	Bidécennale
Granularité spatiale	8km x 8km	France entière, régionale
Période couverte	1969-2021	2015-2100
Méthode de calcul	SWI mensuel moyenné avec ceux des 2 mois précédents	Projections annuelles ou trimestrielles
Traitement des données	Moyennage des données de mailles	Aucun
Données sélectionnées	Données relatives au mois de mai	Données relatives aux mois de mars, avril et mai

Evolution du SWI historique et projeté



- 2016, année de la pire récolte de blé
- SWI médians négatifs et décroissants pour tous les scénarios

SOMMAIRE

- 1 Contexte
- 2 Données de l'étude
- 3** Extraction d'un facteur de risque climatique
- 4 Etude de la forme de la distribution des réserves
- 5 Modélisation des probabilités de retour d'événements extrêmes
- 6 Conclusion

- 3 • Extraction d'un facteur de risque climatique

OBJECTIF

Extraire un facteur de risque climatique des réserves afin
de le modéliser et le projeter à partir de variables
climatiques

PRÉSENTATION DU MODÈLE DE SÉPARATION CLIMATIQUE

Hypothèse du modèle de séparation initial

$$E \left[\frac{X_{i,j}}{N_i} \mid N_i \right] = r_j \lambda_{i+j}$$

Coût moyen des sinistres survenus en année i et déclarés en année j

Facteur d'inflation

Proportion de sinistres payés en année j

Nouvelle hypothèse

Les événements climatiques interviennent dans la modélisation du coût moyen à partir d'un facteur dépendant uniquement de l'année de survenance i :

$$E \left[\frac{X_{i,j}}{N_i} \mid N_i \right] = r_j \lambda_i$$

Proportion de sinistres payés en année j

Facteur d'inflation climatique relatif à l'année i

- La démonstration de Verbeek pour le calcul des estimateurs s'adapte à cette nouvelle hypothèse. Les estimateurs peuvent être déterminés de proche en proche, comme dans l'article de Verbeek.
- L'application de cette méthode nécessite de disposer du triangle de nombre de sinistres. Pour le compléter, des méthodes type chain-ladder peuvent être utilisées.

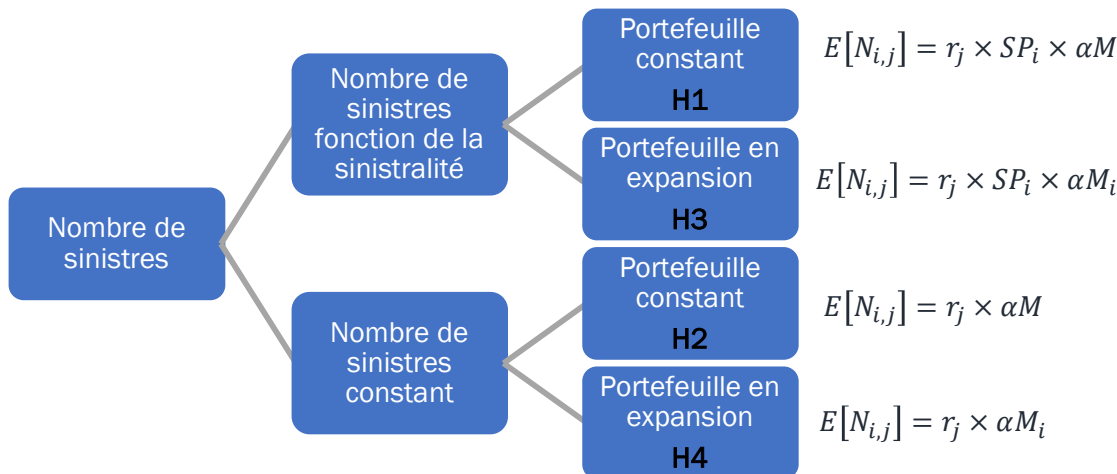
3 • Extraction d'un facteur de risque climatique

EXEMPLE D'APPLICATION SIMULÉ

Hypothèses formulées

Soient αM un nombre de sinistres fixé, avec M nombre de contrats du portefeuille, et r_j une proportion annuelle de sinistres.

→ Simulation du nombre de sinistres selon une loi de Poisson de paramètre $E[N_{i,j}]$

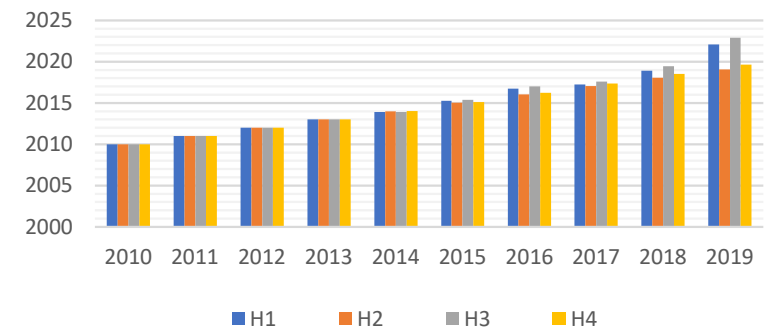


→ Simulation des paiements incrémentaux avec une **tendance climatique** artificielle $X_{i,j} = N_{i,j} \times i$

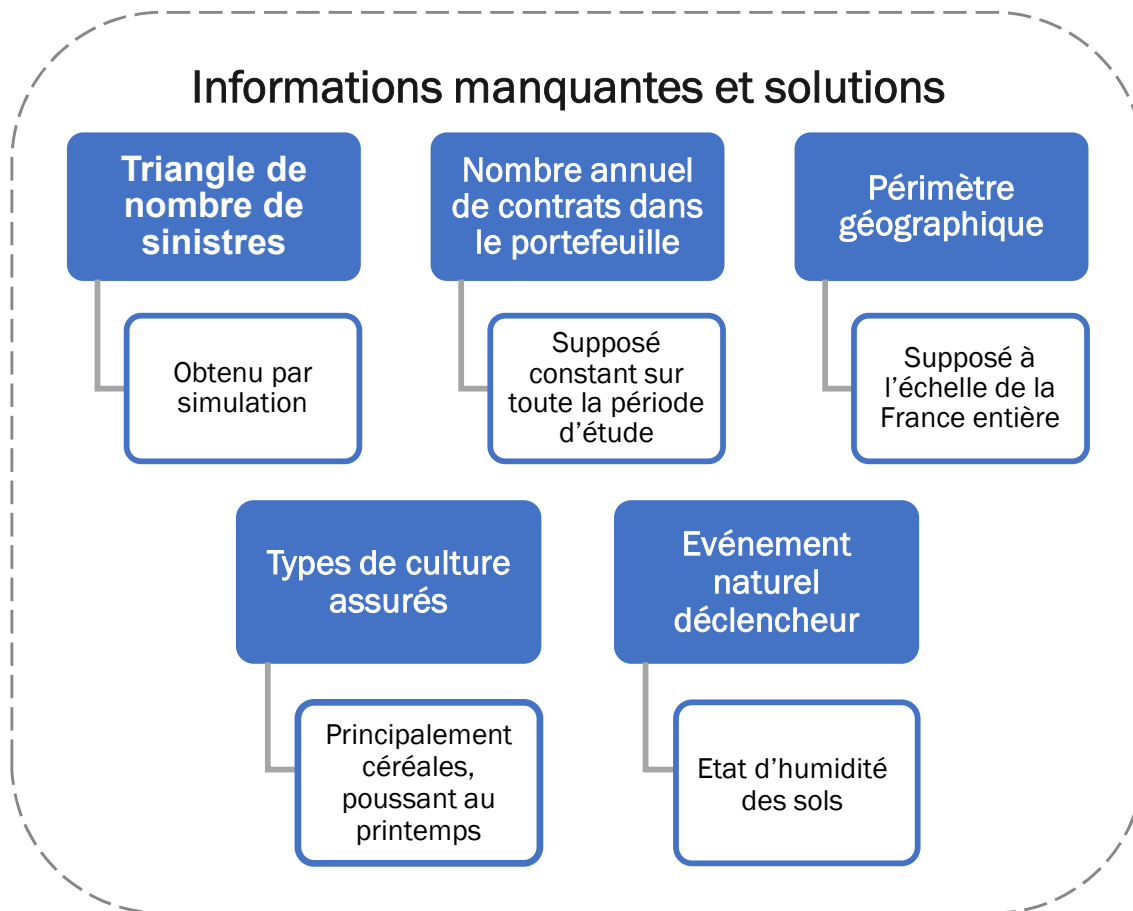
Ecarts de réserves vis-à-vis de *chain-ladder*

Hypothèse	Ecart
H1	+ 0,27%
H2	+ 0,01%
H3	+ 0,38%
H4	+ 0,10%

Evolution de la tendance climatique λ_i extraite



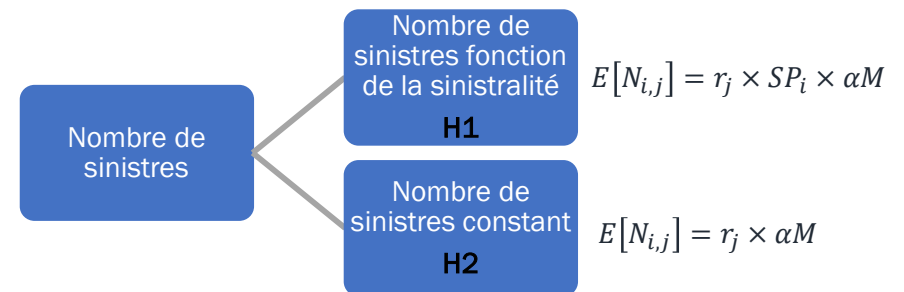
RÉCAPITULATIF DES HYPOTHÈSES SOUS-JACENTES



Méthode de simulation du triangle de nombre de sinistres

Soient αM un nombre de sinistres fixé, avec M nombre de contrats du portefeuille, et r_j une proportion annuelle de sinistres.

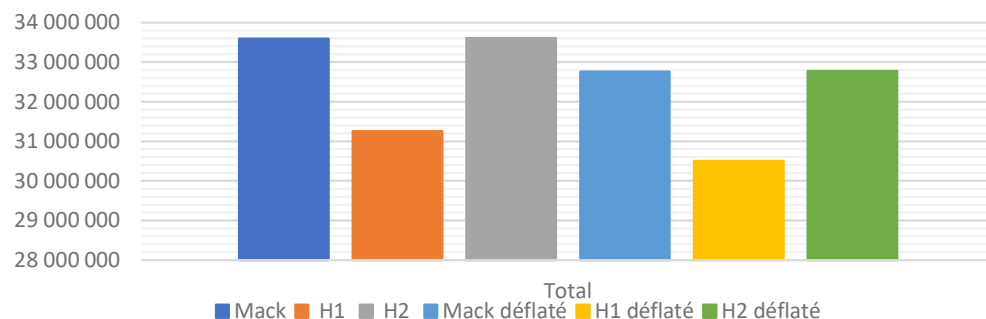
→ Simulation du nombre de sinistres selon une loi de Poisson de paramètre $E[N_{i,j}]$.



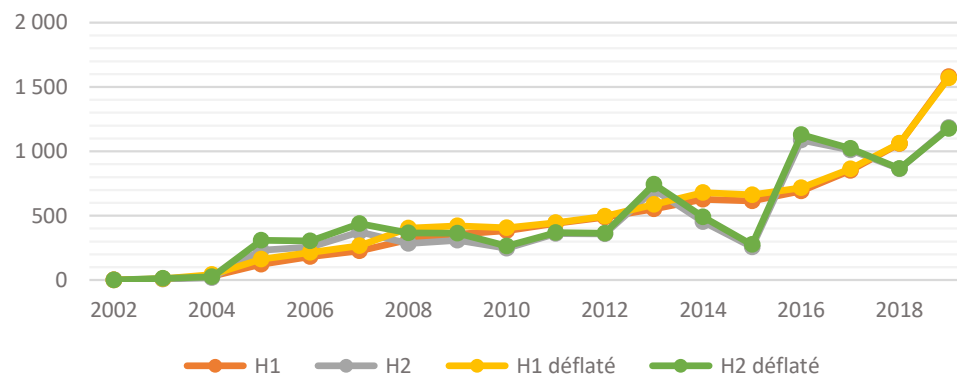
→ r_j est fixé de façon à respecter le développement court de la branche.

RÉSULTATS DU PROVISIONNEMENT ET INTÉRÊT DE LA DÉFLATION

Montant total de réserves estimé



Evolution du facteur d'inflation climatique et corrélation avec l'indicateur d'humidité des sols



- Le choix de l'hypothèse (H2) donne des montants de réserves proches de ceux estimés par Mack.
- La tendance générée par l'hypothèse (H2) suit davantage les variations du ratio sinistres sur primes.
- L'hypothèse (H2) donne de plus grandes corrélations avec l'indicateur climatique.
- La déflation du triangle permet d'améliorer les corrélations avec le SWI.

Hypothèse	Triangle non-déflaté		Triangle déflaté	
	H1	H2	H1	H2
Corrélation SWI_t	0,1290	0,2890	0,1498	0,3149
Corrélation SWI_{t-1}	0,1629	0,1781	0,1623	0,1777
Corrélation SWI_{t-2}	-0,1222	-0,3130	-0,1342	-0,3454

Données d'inflation : IPPAP, fourni par l'Agreste

MODÈLE LINÉAIRE ENTRE FACTEUR D'INFLATION ET VARIABLES CLIMATIQUES

Modèle linéaire retenu

$$\lambda_i = \alpha + \beta \times i + \gamma \times SWI_{i-2}$$

Autres effets climatiques, non captés par le SWI

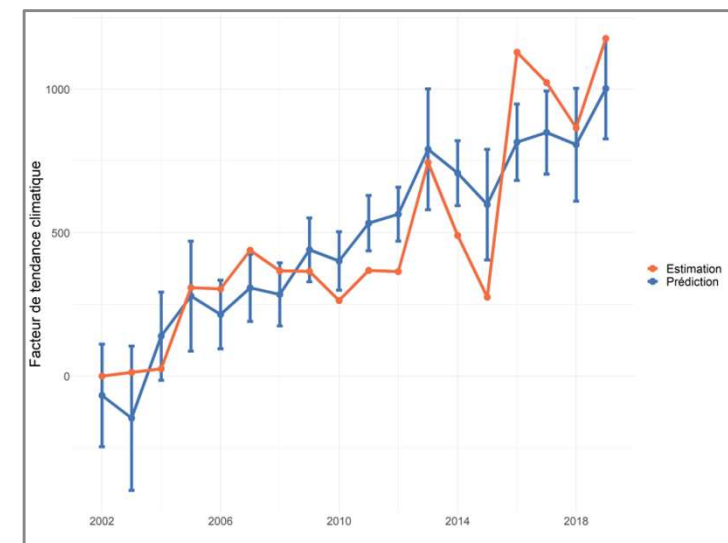
Effet capté par le SWI

Résultats de la régression

	Coefficient	Ecart-type	t-valeur	p-valeur
Constante	-1,125e+05	1,660e+04	-6,776	6,25e-06
Année	56,55	8,227	6,873	5,29e-06
SWI _{i-2}	-836,9	426,4	-1,963	0,0685

R² de la régression: 0,7595

Prédictions du facteur d'inflation climatique

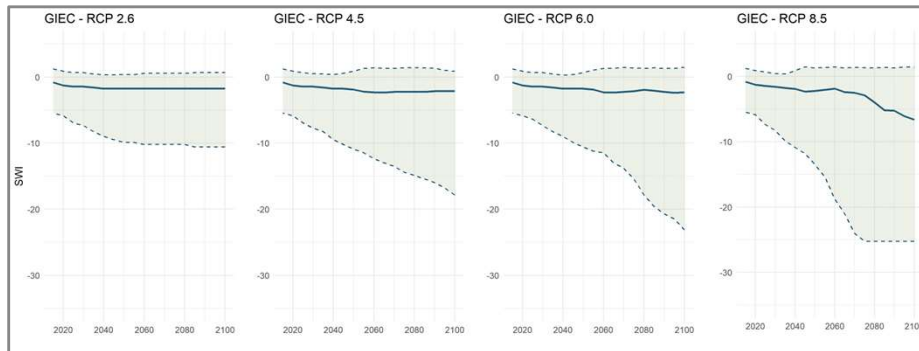


→ Modèle simple doté de peu de sens physique mais de bonne qualité, compte tenu des contraintes liées aux données (absence de triangle de nombres de sinistres et d'informations sur les événements climatiques sources).

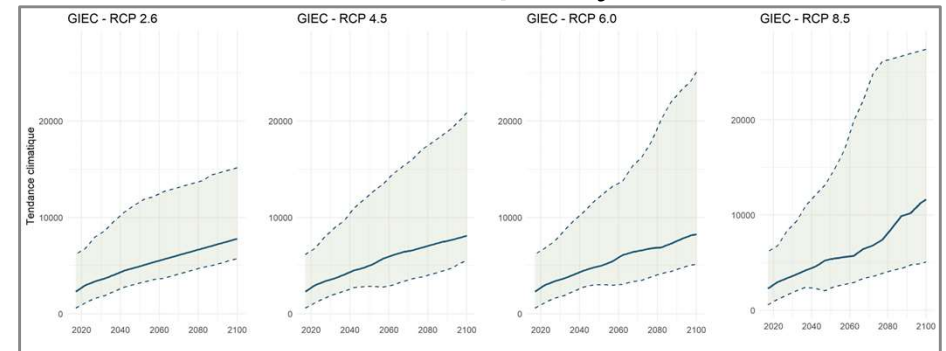
→ Coefficients significatifs au seuil de 10%.

PROJECTION DE LA TENDANCE CLIMATIQUE

Données climatiques de projection



Résultats de projection de la tendance climatique λ_i



- Tous les scénarios conduisent à un accroissement de la tendance climatique au cours du XXI^{ème} siècle.
- Projections très similaires sur le court terme
- Ecart plus marqué sur le long terme entre les divers scénarios.
- Potentiel doublement de la tendance climatique entre 2025 et 2075.

Année	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 6.0	RCP 8.5
2025	3201,0	3201,0	3201,0	3201,0
2050	4928,4	5002,5	4938,6	5365,5
2075	6364,3	6749,6	6709,8	7164,3

SOMMAIRE

- 1 Contexte
- 2 Données de l'étude
- 3 Extraction d'un facteur de risque climatique
- 4 Etude de la forme de la distribution des réserves**
- 5 Modélisation des probabilités de retour d'événements extrêmes
- 6 Conclusion

OBJECTIF

Identifier un éventuel impact du risque climatique sur les paramètres de la distribution des réserves

RAPPELS DES HYPOTHÈSES

Hypothèses de Mack

H1) $\{C_{i,1}, \dots, C_{i,I}\}, \{C_{k,1}, \dots, C_{k,I}\}, i \neq k$ sont indépendants

H2) Il existe $f_j > 0$, tels que, pour $1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq I - 1$

$$E(C_{i,j+1} | C_{i,1}, \dots, C_{i,j}) = f_j C_{i,j}$$

H3) Il existe $\sigma_j^2 > 0$ tels que, pour $1 \leq i \leq I, 1 \leq j \leq I - 1$,

$$Var(C_{i,j+1} | C_{i,1}, \dots, C_{i,j}) = \sigma_j^2 C_{i,j}$$

Hypothèses de Dal Moro

H4) Le skewness du paiement cumulé $C_{i,j+1}$ conditionnel aux paiements passés ne dépend pas de l'année de survenance i mais de l'année de développement j

H5) Il existe $Sk_j > 0$ tels que pour $1 \leq j \leq I - 1$

$$SK(C_{i,j+1} | C_{i,1}, \dots, C_{i,j}) = Sk_j^3 C_{i,j}^{3/2}$$

MÉTHODE DE SIMULATION

Modélisation de $C_{i,j}$ par une loi
 $GPD(\mu_{i,j}, s_{i,j}, \zeta_j)$

Simulation de la distribution des
réserves

→ Obtention des paramètres par méthode des moments

$$E[\widehat{C}_{i,j}] = \mu_{i,j} + \frac{s_{i,j}}{1 - \zeta_j}$$
$$Var(\widehat{C}_{i,j}) = \frac{s_{i,j}^2}{(1 - \zeta_j)^2 (1 - 2\zeta_j)}$$
$$Skew(\widehat{C}_{i,j}) = \frac{2(1 + \zeta_j)\sqrt{1 - 2\zeta_j}}{1 - 3\zeta_j}$$

→ Simulation des paiements cumulés de proche en proche

$$\widehat{C}_{i,j} = \mu_{i,j} + \frac{s_{i,j}}{\zeta_j} (U^{-\zeta_j} - 1)$$

avec $U \sim U([0,1])$

→ Obtention d'une distribution empirique et calculs de ses moments

VÉRIFICATION DES HYPOTHÈSES DE MACK ET DAL MORO

- Pour les triangles responsabilité civile et hors aléas climatiques et tempête, toutes les hypothèses de Mack et Dal Moro sont vérifiées.
- Pour le triangle aléas climatiques, les hypothèses H1, H2, H4 et H5 sont validées graphiquement.
- Pour le triangle aléas climatiques, la validation de l'hypothèse d'indépendance des résidus sous-jacente à l'Hypothèse 3 est délicate graphiquement : on procède à des tests de blancheur (type Box-Pierce) des moyennes des résidus par année de survenance, année calendaire et année de développement.

p-valeur	Avant déflation
Année de survenance	0,0555
Année calendaire	0,0838
Année de développement	0,9203

- Présence d'effets calendaires et par année de survenance car les hypothèses de blancheur des résidus sont rejetées.
- On cherche à ôter ces effets en déflatant le triangle.

Evolution de l'IPPAP



p-valeur	Après déflation
Année de survenance	0,3197
Année calendaire	0,3972
Année de développement	0,162

- Plus de rejet de l'hypothèse de blancheur des résidus : l'Hypothèse 3 est vérifiée.
- Dans la suite de l'étude, on considère le triangle déflaté.

4 • Etude de la forme de la distribution des réserves

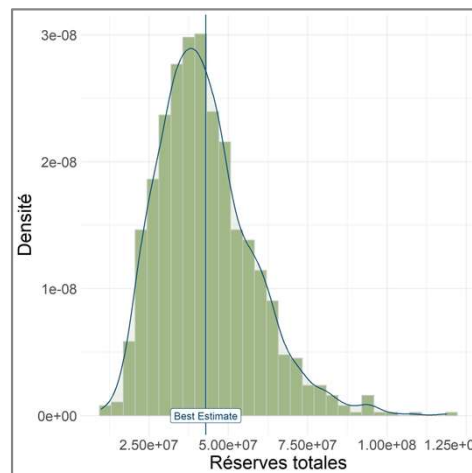
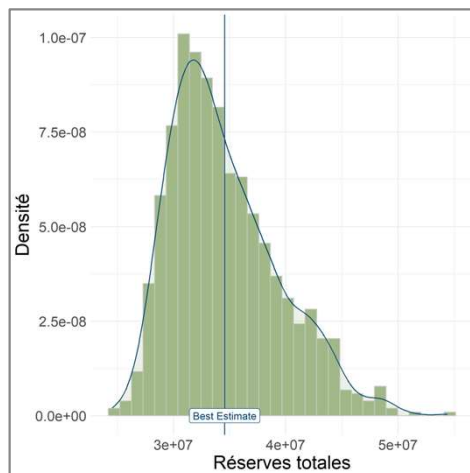
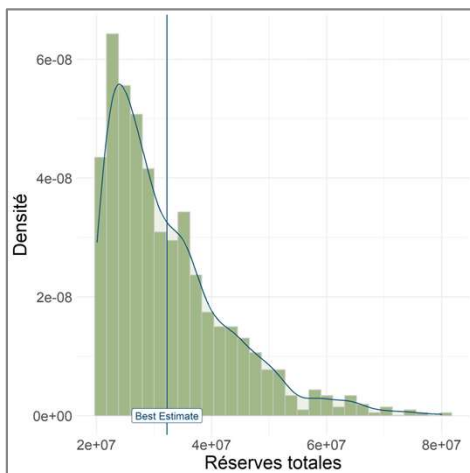
RÉSULTATS DE LA SIMULATION GPD – 1000 SIMULATIONS

Résultats de skewness et de kurtosis et densités empiriques

	Skewness	Kurtosis
Aléas climatiques déflaté	1,36	4,91
Hors aléas climatiques et tempête	0,78	3,29
Responsabilité civile	0,92	4,40

→ Présence d'une asymétrie à gauche (skewness positif) sur tous les triangles.

→ Distribution leptokurtique pour les tous les triangles (kurtosis supérieur à 3), signe de queues épaisses.



→ Skewness et kurtosis plus élevés pour le triangle aléas climatiques. Impact du risque climatique sur le triangle ou coïncidence ?

→ Conjecture à vérifier sur d'autres triangles (étude par type de culture, ou sur d'autres branches, d'autres assureurs).

SOMMAIRE

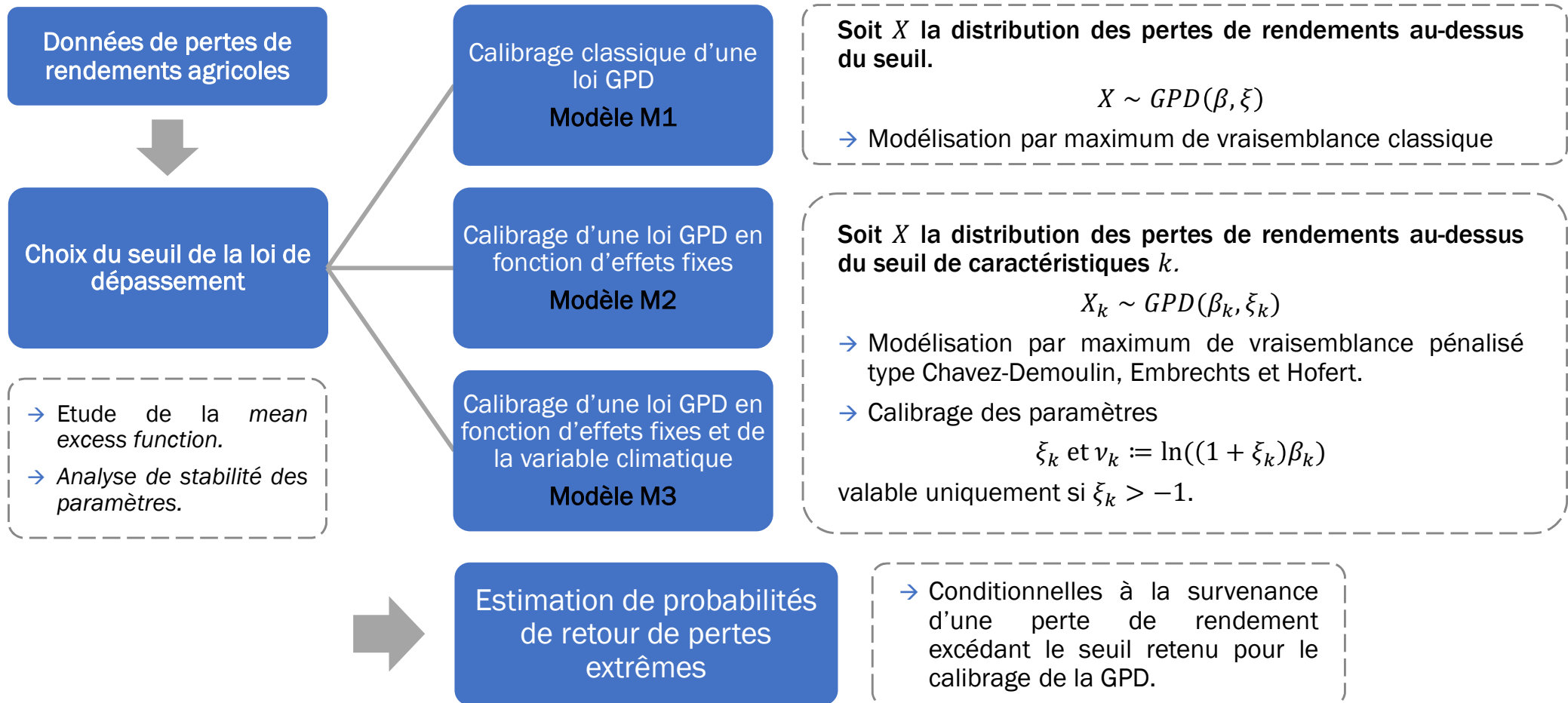
- 1 Contexte
- 2 Données de l'étude
- 3 Extraction d'un facteur de risque climatique
- 4 Etude de la forme de la distribution des réserves
- 5 Modélisation des probabilités de retour d'événements extrêmes**
- 6 Conclusion

- 5 • Modélisation des probabilités de retour d'événements extrêmes

OBJECTIF

Vérifier l'intérêt de l'intégration d'effets fixes ou de variables climatiques pour modéliser la survenance d'événements extrêmes

DÉMARCHE



DONNÉES DE PERTES DE RENDEMENTS

Présentation des données

- Issues de l'organisme Agreste
- Données de production et de rendement à l'échelle régionale pour diverses cultures céréalières et protéagineuses, sur la période 2000-2020

Traitement des données en pertes de rendement

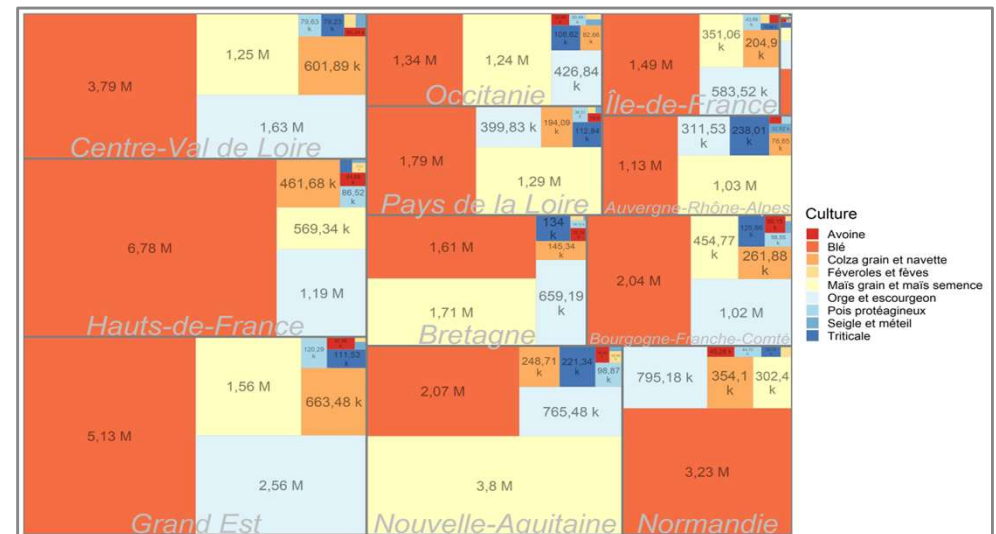
- Construction d'un historique d'évolution de rendements par région i x culture c x année t , via un calcul d'un écart relatif à une moyenne de référence $Rdt\ moyen_{i,c,t}$:

$$\Delta Rdt_{i,c,t} = \frac{Rdt_{i,c,t} - Rdt\ moyen_{i,c,t}}{Rdt\ moyen_{i,c,t}}$$

- Deux manières de calculer la moyenne de référence :

	Méthode historique	Méthode de mise en as if
Idée	Rendement moyen glissant en fonction des années précédentes	Rendement moyen fixe pour toute la période d'étude
Avantages	Simple et intuitive	Référentiel indépendant de l'année considérée Pas de perte d'historique
Inconvénients	Evolution du référentiel Perte d'historique	Dépendance au référentiel
Moyenne de référence	Moyenne des rendements des 5 années précédentes	Moyenne des rendements sur la période 2016-2020

Production agricole (en t) en France en 2020



MODÈLES RETENUS

Récapitulatif des modèles retenus – Spécifications et qualité de prédiction

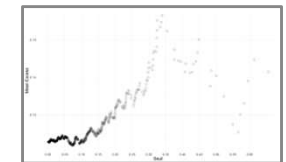
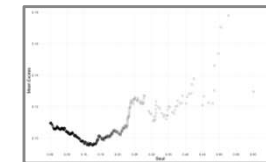
	Données historiques	Données mises en as if	
Seuil retenu	16%	14%	
Modèle M1	ξ (Valeur et écart-type)	0,1216 (0,0848)	0,1883 (0,0830)
	β (Valeur et écart-type)	0,0870 (0,0096)	0,0825 (0,0086)
Modèle M2	Spécification modèle ξ	$f(\text{Culture}, \text{Région}, \text{Année})$	
	R ² modèle ξ	0,973	0,978
	Spécification modèle ν	$f(\text{Région})$	
	R ² modèle ν	0,23	0,208
Modèle M3	Spécification modèle ξ	$f(\text{Culture}, \text{Région}, SWI_{i,t}, SWI_{i,t-2})$	$f(\text{Culture}, \text{Région}, \text{Année}, SWI_{i,t})$
	R ² modèle ξ	0,983	0,979
	Spécification modèle ν	$f(\text{Région})$	
	R ² modèle ν	0,192	0,216

f est un modèle de type régression linéaire.

Mean Excess Plots

Données historiques

Données mises en as if



- Valeur des paramètres de forme des modèles M1 cohérentes avec la monotonie de la *mean excess function*.
- Mêmes spécifications pour les deux modèles M2, mais différentes pour M3.
- Dimension temporelle présente dans les quatre modèles avec effets fixes.

PROBABILITÉS DE PERTE DE RENDEMENTS DE 30% PRÉDITES EN 2025

Modèles avec données historiques

Modèles avec données mises en *as if*

Modèle M1

Probabilité de perte de 30% : **23%**

Modèle M1

Probabilité de perte de 30% : **19%**

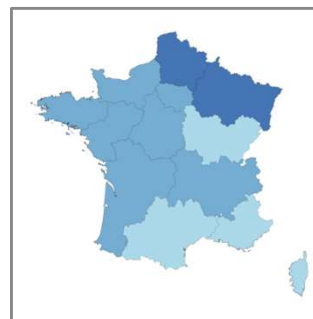
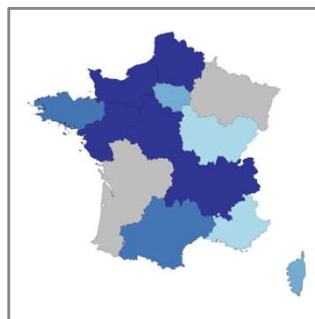
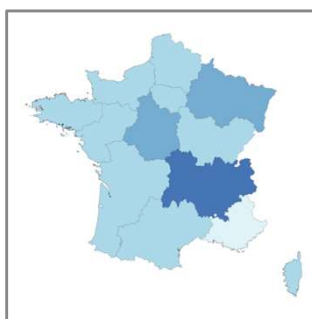
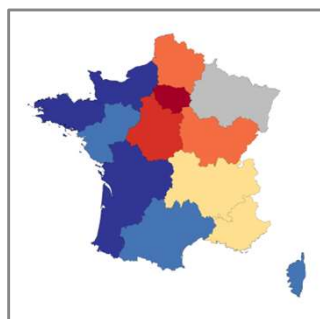
- Probabilités de perte plus élevées avec les données historiques.
- Surestimation des probabilités de retour avec le modèle M2 historique. Sur-apprentissage du modèle ? Qualité de prédiction trop faible ?
- Prévisions des modèles avec données mises en *as if* plus cohérentes avec les estimations du modèle M1.
- Domaine de définition de la GPD, rendant parfois impossible le calcul de probabilité de retour.

Modèle M2

Modèle M3 – RCP 8.5

Modèle M2

Modèle M3 – RCP 8.5

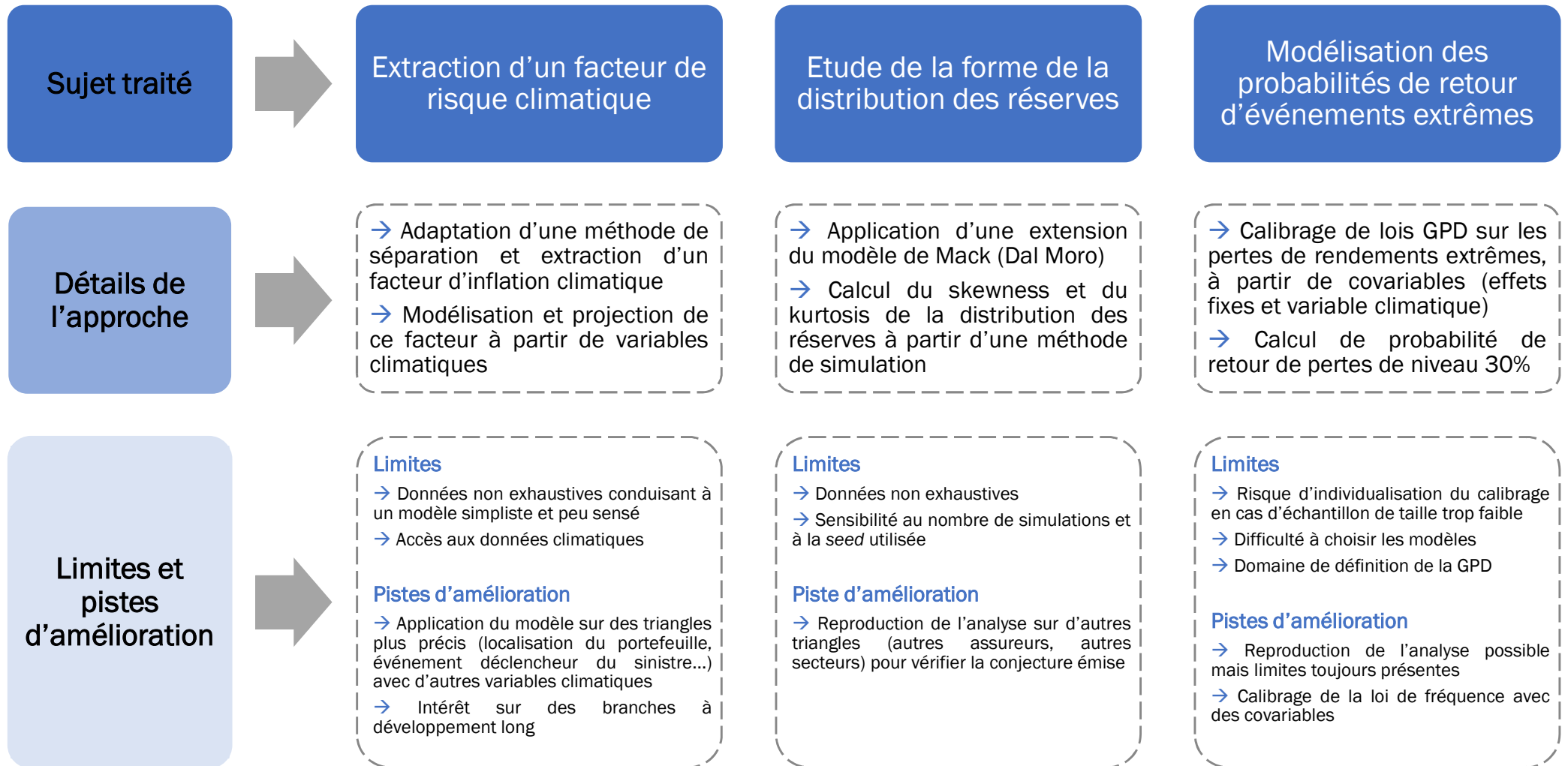


- Modélisations plus plausibles en tenant compte d'un facteur climatique (Modèles M3) et en traitant les données en *as if*.

SOMMAIRE

- 1 Contexte
- 2 Données de l'étude
- 3 Extraction d'un facteur de risque climatique
- 4 Etude de la forme de la distribution des réserves
- 5 Modélisation des probabilités de retour d'événements extrêmes
- 6 Conclusion**

CONCLUSIONS ET OUVERTURES



RÉFÉRENCES

Articles

- <https://agriculture.gouv.fr/la-reforme-de-lassurance-recolte>
- Mark Rothwell et al. « Practical guide to climate change for general insurance practitioners ». In : *Institute and Faculty of Actuaries* (sept. 2019).
- H. G. Verbeek. « An approach to the analysis of claims experience in motor liability excess of loss reinsurance ». In : *ASTIN Bulletin : The Journal of the IAA* 6.3 (1972), p. 195-202. DOI : 10.1017/S0515036100010989.
- Thomas Mack. « Distribution-free Calculation of the Standard Error of Chain Ladder Reserve Estimates ». In : *ASTIN Bulletin* 23.2 (1993), p. 213-225. DOI : 10.2143/AST.23.2.2005092.
- Eric Dal Moro. « Application of Skewness to Non-Life Reserving ». In : *Microeconomics: Decision-Making under Risk & Uncertainty eJournal* (2012).
- Valérie Chavez-Demoulin, Paul Embrechts et Marius Hofert. « An Extreme Value Approach for Modeling Operational Risk Losses Depending on Covariates ». In : *The Journal of Risk and Insurance* 83.3 (2016), p. 735-776

Données

- IPPAP : https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/disaron/D_0037/detail/
- Données climatiques historiques : https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=301&id_rubrique=40
- Données climatiques de projection : <https://climate-impact-explorer.climateanalytics.org/>
- Données de rendement : https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-saiku/?plugin=true&query=query/open/SAANR_DEVELOPPE_2#query/open/SAANR_DEVELOPPE_2

Images

- <https://www.cultivar.fr/cultures/la-france-sachemine-vers-sa-plus-faible-production-de-mais-depuis-trente-ans>
- <https://www.argusdelassurance.com/acteurs/risques-climatiques-la-grele-l-alea-extreme.120031>
- <https://www.francebleu.fr/infos/agriculture-peche/gel-les-parades-des-agriculteurs-de-la-marne-pour-eviter-les-degats-1649088785>
- https://www.francetvinfo.fr/economie/inondations-des-recoltes-catastrophiques-et-des-agriculteurs-sous-le-choc_1721469.html
- <https://www.cultivar.fr/sinformer/pas-de-recolte-de-mais-ni-de-soja-dici-le-printemps-selon-un-producteur-du-nord-dokota>
- https://www.flaticon.com/fr/icone-gratuite/carte-et-localisation_5758454
- <https://uxwing.com/date-and-time-icon/>
- https://www.flaticon.com/fr/icone-gratuite/climat_1116484
- https://www.flaticon.com/free-icon/evolution_1535913
- https://www.flaticon.com/fr/icone-gratuite/recherche-de-donnees-dans-la-base-de-donnees_30659