

Indice Actuariel Climatique : adaptations aux données européennes

Eve Elisabeth Titon – Milliman, Paris, France

Anani Olympio, Ph.D – CNP Assurances, Paris, France

José Gariddo, Pr. – Chaire DIALog

Sommaire

01 - Introduction

02 - Données climatiques en enjeux associés

03 - Indice actuariel climatique

04 - Applications et cas d'usage

05 - Conclusion

01 – Introduction

Introduction

- Open data - tous les domaines sont concernés : **Assurance Vie, Non-Vie, Santé et Prévoyance.**



Tarification

Enrichissement des variables tarifaires et des modèles

Etablissement de zoniers



Souscription

Allégement du parcours de souscription et des questionnaires

Aide à la souscription avec des outils transformant une adresse en un KPI de risque



Prévention et suivi des risques

Mise en œuvre d'alertes en cas de météo à risque

Mise à disposition de fiches descriptives des risques et d'actions de prévention



Provisionnement

Estimation de charges ultimes anticipée sur des risques complexes (comme la sécheresse)

Aide au provisionnement individuel



Gestion des sinistres

Détection de fraude via des analyses complémentaires

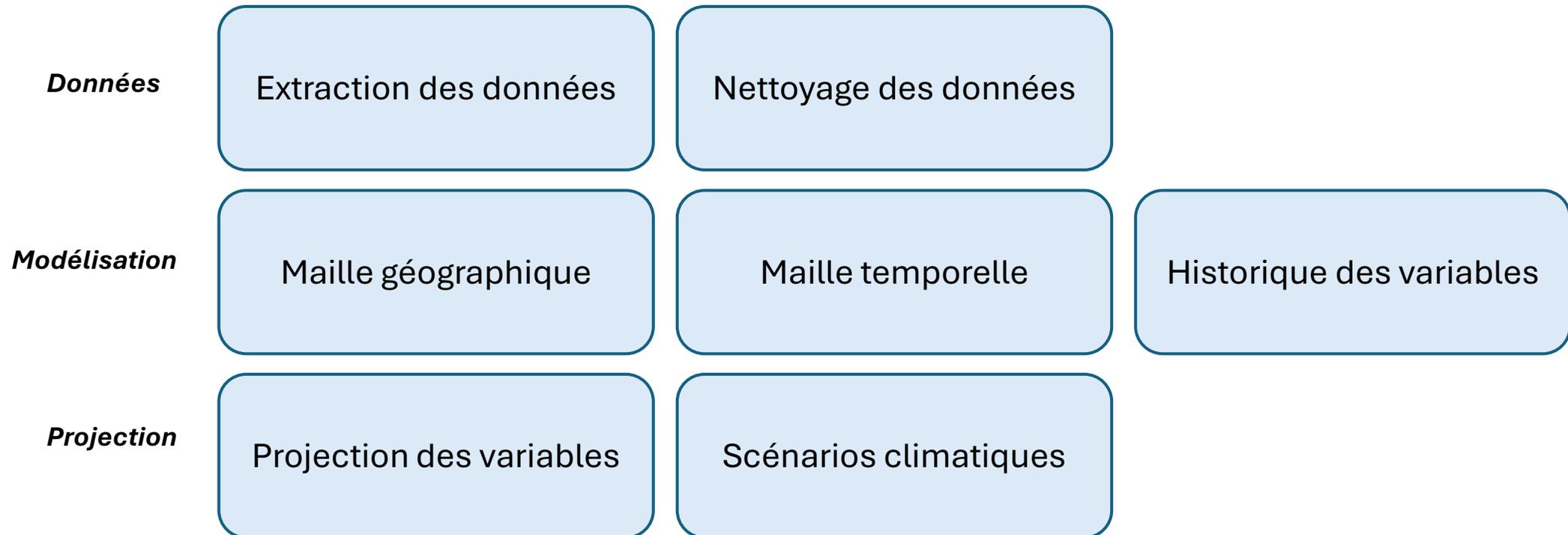
Versements automatiques et assurance paramétrique

- Modélisation des impacts du changement climatique pour le risque physique sur les biens, la santé et les actifs → données climatiques nécessaires
- Modélisation complexes
- Alternative: Indicateur Climatique Actuariel

02 – Données climatiques et enjeux associés

Les challenges des données climatiques

- Données utilisées pour inclure un facteur climatique dans la modélisation de divers risques assurantiels
- Problématiques rencontrées:





Sources de données climatiques – exemples

Données de pollution

INERIS

Données et scénarios climatiques



Températures, précipitations et autres mesures météo



Données hydro temps réel



CLIMADA – données sur les tempêtes

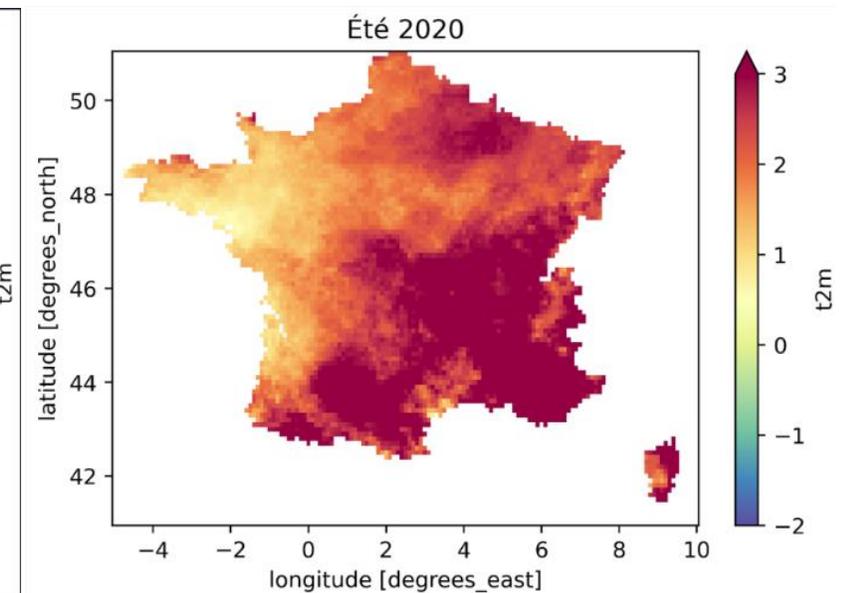
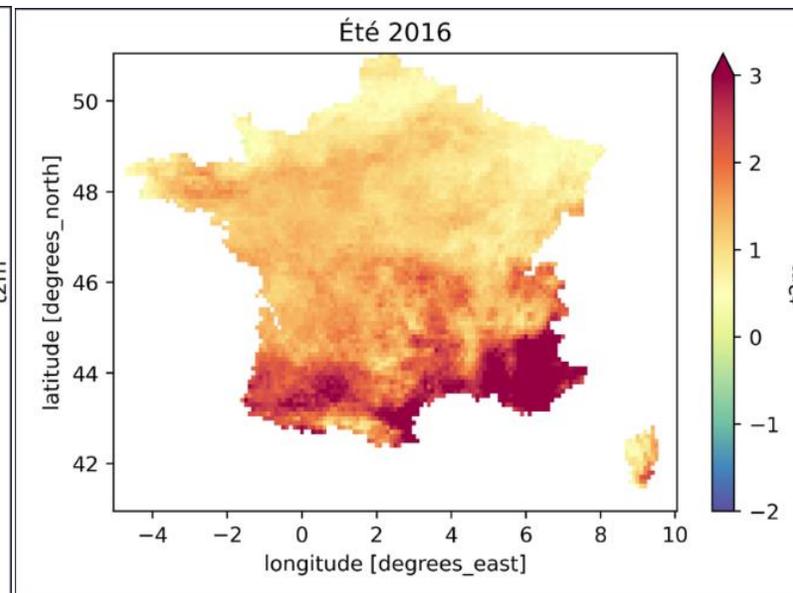
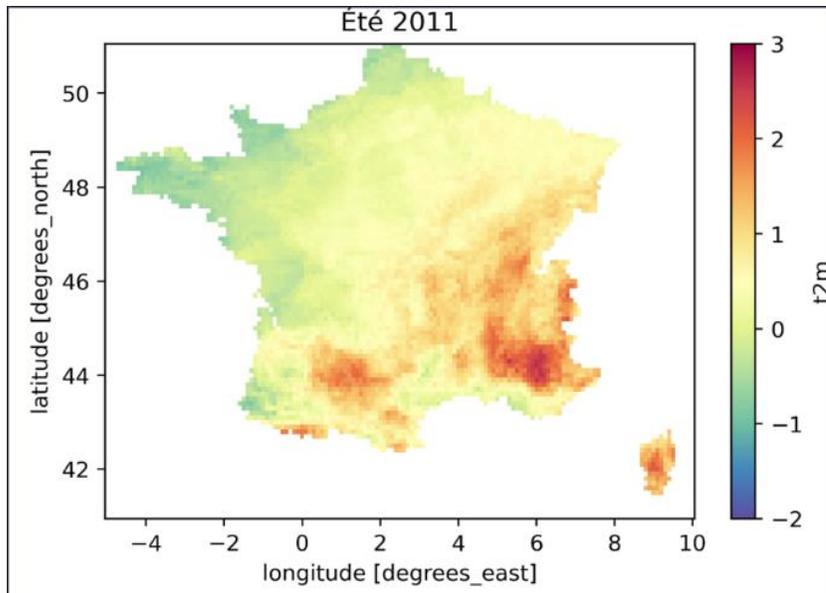


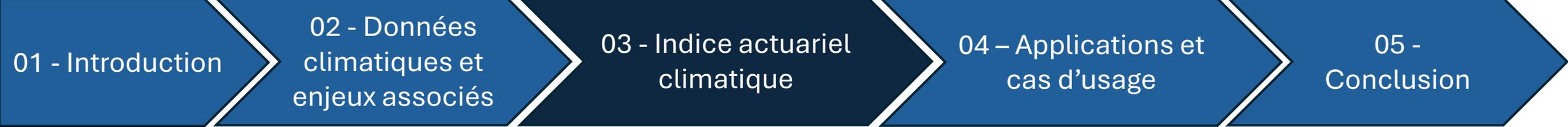
Projections de variables climatiques



03 – Indice actuariel climatique

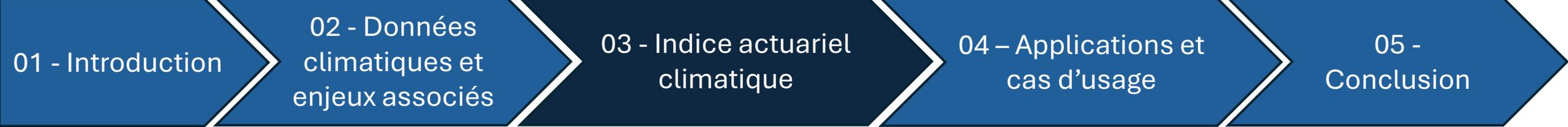
Indice actuariel climatique : évolutions des fréquences des températures extrêmes (vision T90) par rapport à la période de référence (moyenne historique sur 1961-1990)





Indice actuariel climatique : paramètres et sources de données

- **Historique** : données mensuelles entre 1961 et 2022 (période de référence : 1961 à 1990)
- **Source des données** :
 - **Données terrestres** - mises à disposition par Copernicus – base Climate Data Store
 - **Données de niveau de la mer** - mises à disposition par le Permanent Service for Mean Sea Level (variable globale mesurée mensuellement sur 14 stations françaises qui disposent de marégraphe (1)).
- **Rationnel du choix des composantes climatiques** :
 - **Sources potentielles de risque/danger** pour la santé et les biens des personnes.
 - **Données publiques et en libre accès** à une maille spatio-temporel adéquate.
- **Prise en compte des maximums et des extrêmes, sauf pour le niveau des mers/océans (niveau moyen)**



Indice actuariel climatique : 6 variables climatiques d'intérêt

Indice actuariel climatique est une moyenne équipondérée standardisée par rapport à la période de référence (1961-1990) des composantes climatiques (variables d'intérêt).

$$ACI = \frac{1}{6} (T90_{std} - T10_{std} + P_{std} + D_{std} + W_{std} + S_{std})$$

Composante	Notation	Définition
Pic de température	<i>T90</i>	Fréquence des températures supérieures à 90% des températures de la période de référence (1961-1990)
Pic de froid	<i>T10</i>	Fréquence des températures inférieures à 10% des températures de la période de référence (1961-1990)
Précipitation	<i>P</i>	Maximum de précipitation sur 5 jours dans le mois
Sécheresse	<i>D</i>	Maximum du nombre de jour consécutif sans pluie (moins d'1mm)
Vitesse de vent	<i>W</i>	Fréquence de vitesse de vent supérieur à 90% des vitesses de vents de la période de référence (1961-1990)
Niveau de la mer	<i>S</i>	Changement du niveau de la mer

Evolution de l'Indice Climatique Actuariel : ICA France : Période de référence 1961-1990 et estimation 1991-2022

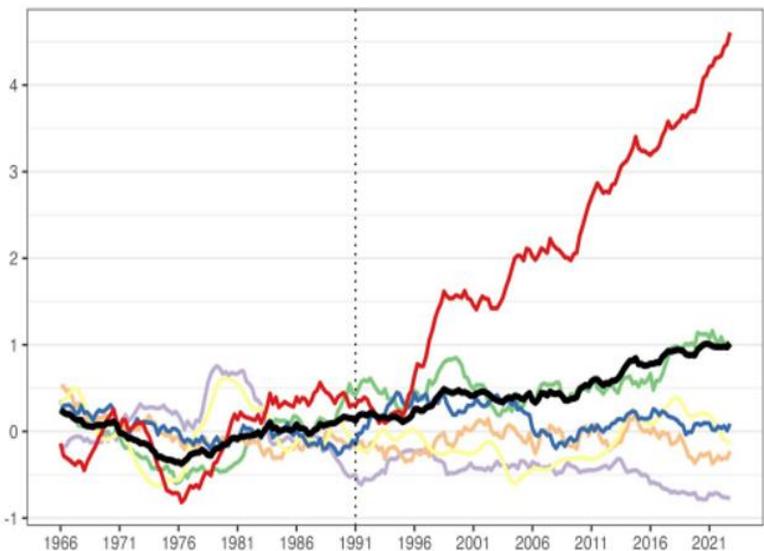
- **ICAF mensuel** calculé à la maille de dimension 0,25° (longitude) par 0,25° (latitude).
 - Source : base de données ERA5-Land reanalysis (Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2022).
- **Affinage possible** : zones d'exposition de dimension 0,1° (longitude) par 0,1° (latitude).
 - Source : Garrido, X. Milhaud, and A. Olympio. On the definition of a French actuarial climate index, 2023.

Composantes de l'ICAF

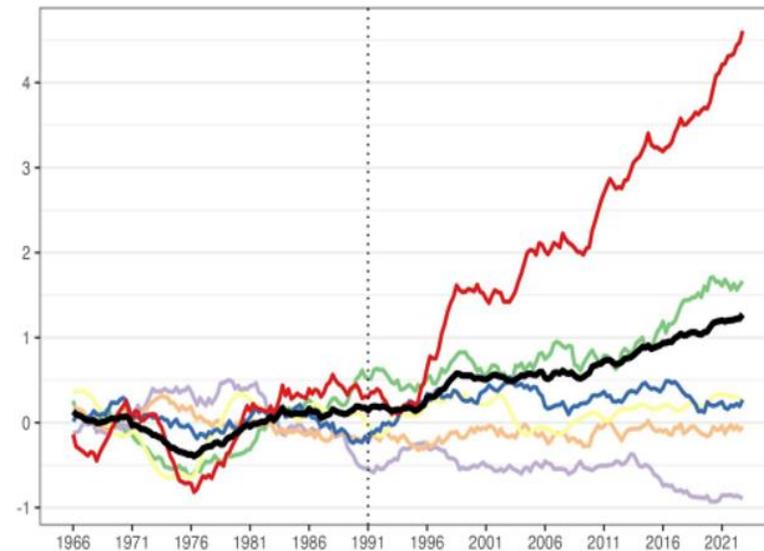


Evolution de l'Indice Climatique Actuariel : Comparaison entre pays sur le continent européen

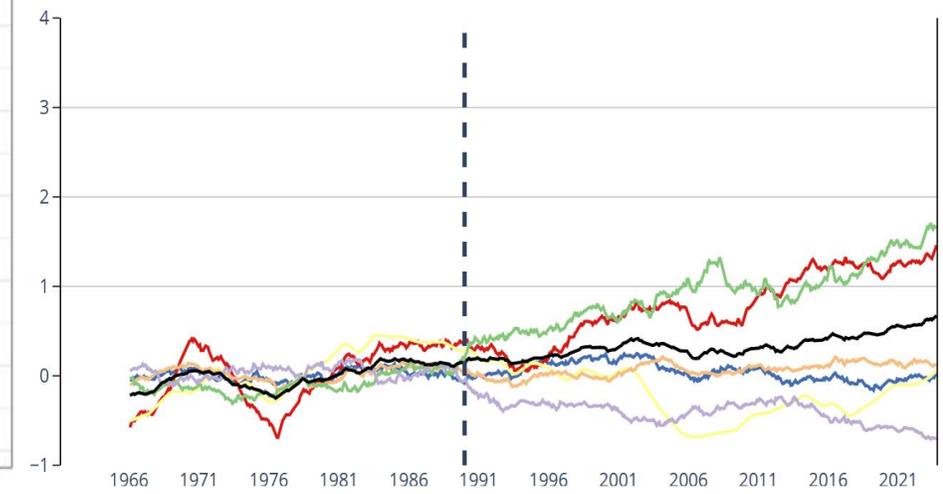
Portugal



Espagne



France



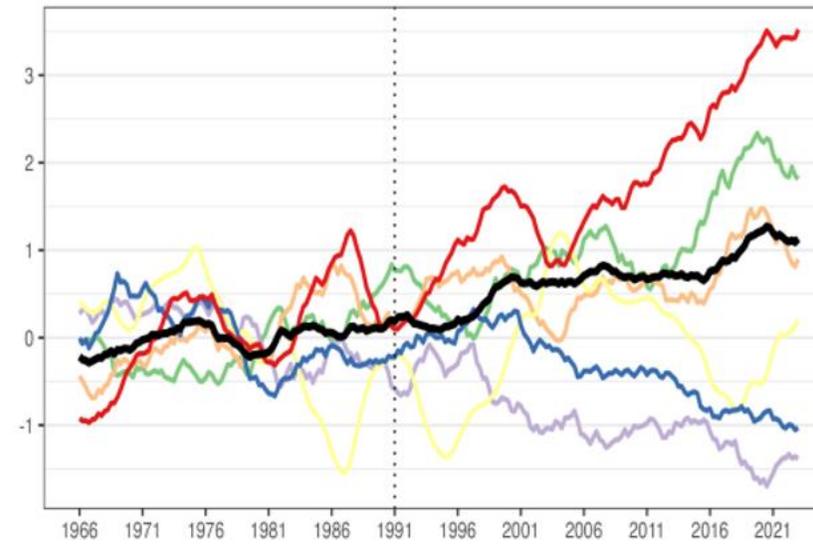
vert : $T90_{std}$ - violet : $T10_{std}$ - orange : P_{std} - jaune : D_{std} - bleu : W_{std} - rouge : S_{std} noir : ACI

Evolution de l'Indice Climatique Actuariel : Comparaison entre pays sur le continent américain

Canada



Etats-Unis

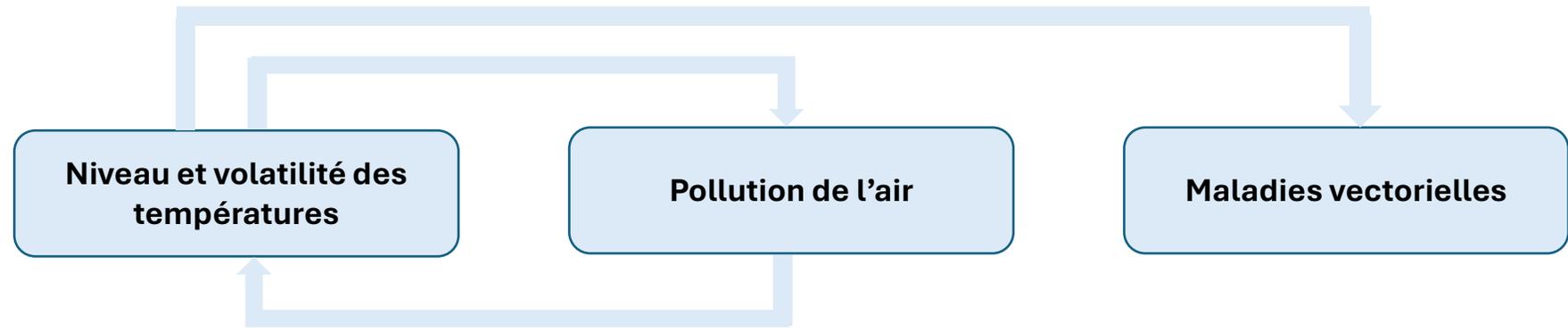


vert : $T90_{std}$ - violet : $T10_{std}$ - orange : P_{std} - jaune : D_{std} - bleu : W_{std} - rouge : S_{std} noir : ACI

04 – Applications et cas d'usage

Application 1 : Impact du climat sur la mortalité

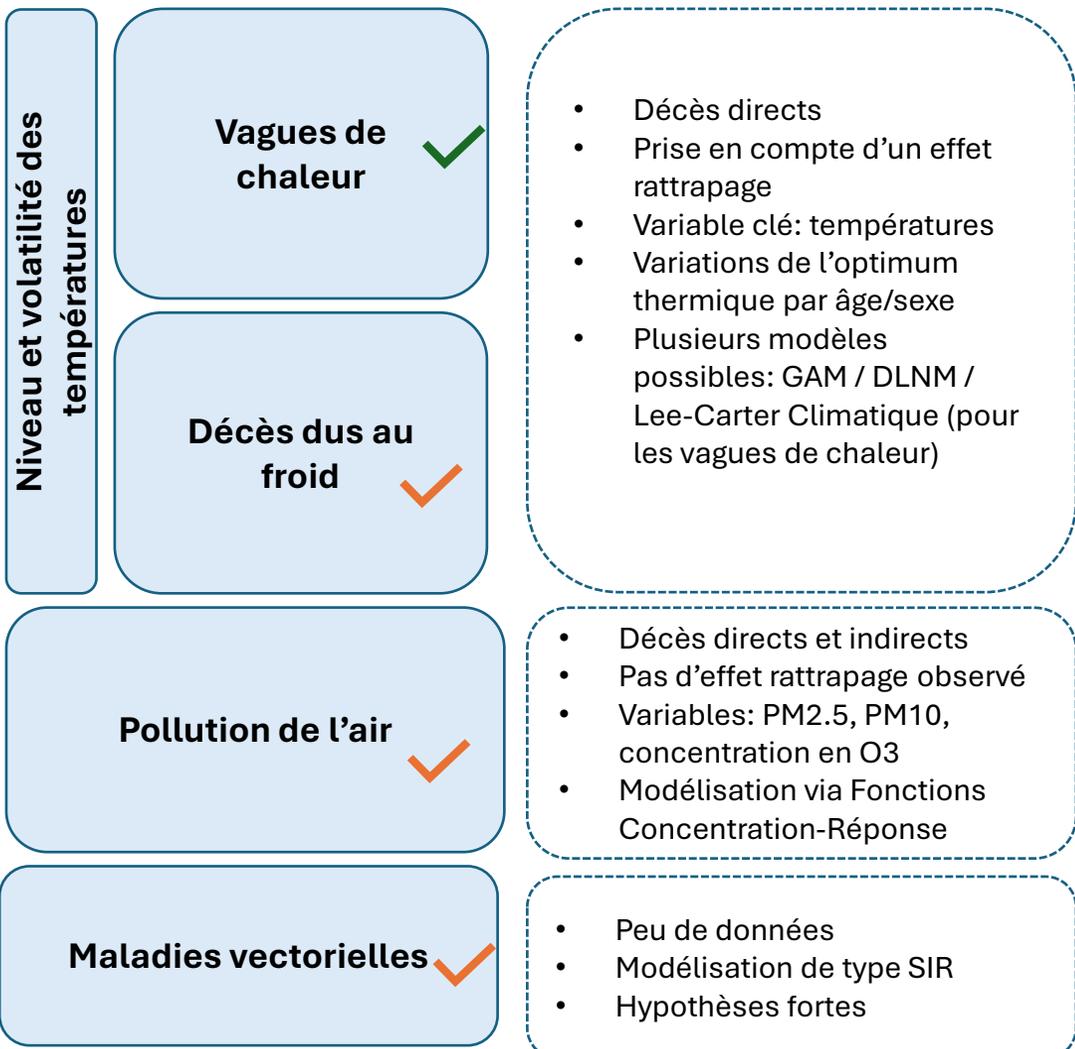
- En France, **trois principaux facteurs climatiques** affectent la mortalité.



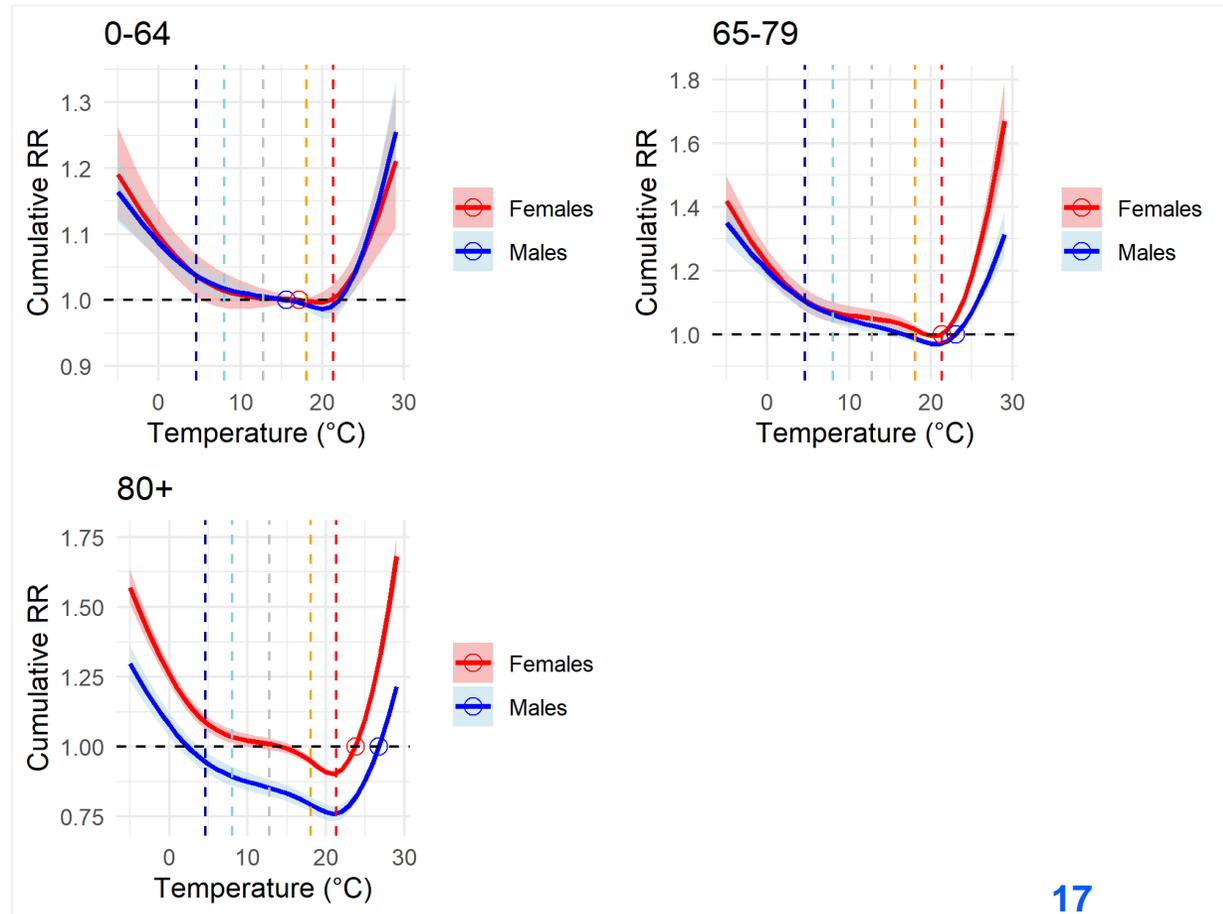
- Chaque facteur climatique a un impact sur la santé et la mortalité bien spécifique (décès directs vs. indirects, horizon de décès)
 - Les impacts climatiques sont souvent modélisés séparément → calculs de chocs de mortalité par facteur climatique
 - Double-comptage des décès
 - Pas de prise en compte d'effets cocktails
- Les facteurs climatiques s'influencent entre eux, parfois avec des **interactions relativement complexes**.
 - Prise en compte des effets combinés de facteurs climatiques
 - Vers une modélisation jointe de l'impact des facteurs climatiques sur la mortalité

Deux articles à venir - <https://fr.milliman.com/fr-fr/insurance/research-and-development>

Modélisation de l'impact du climat sur la mortalité - overview

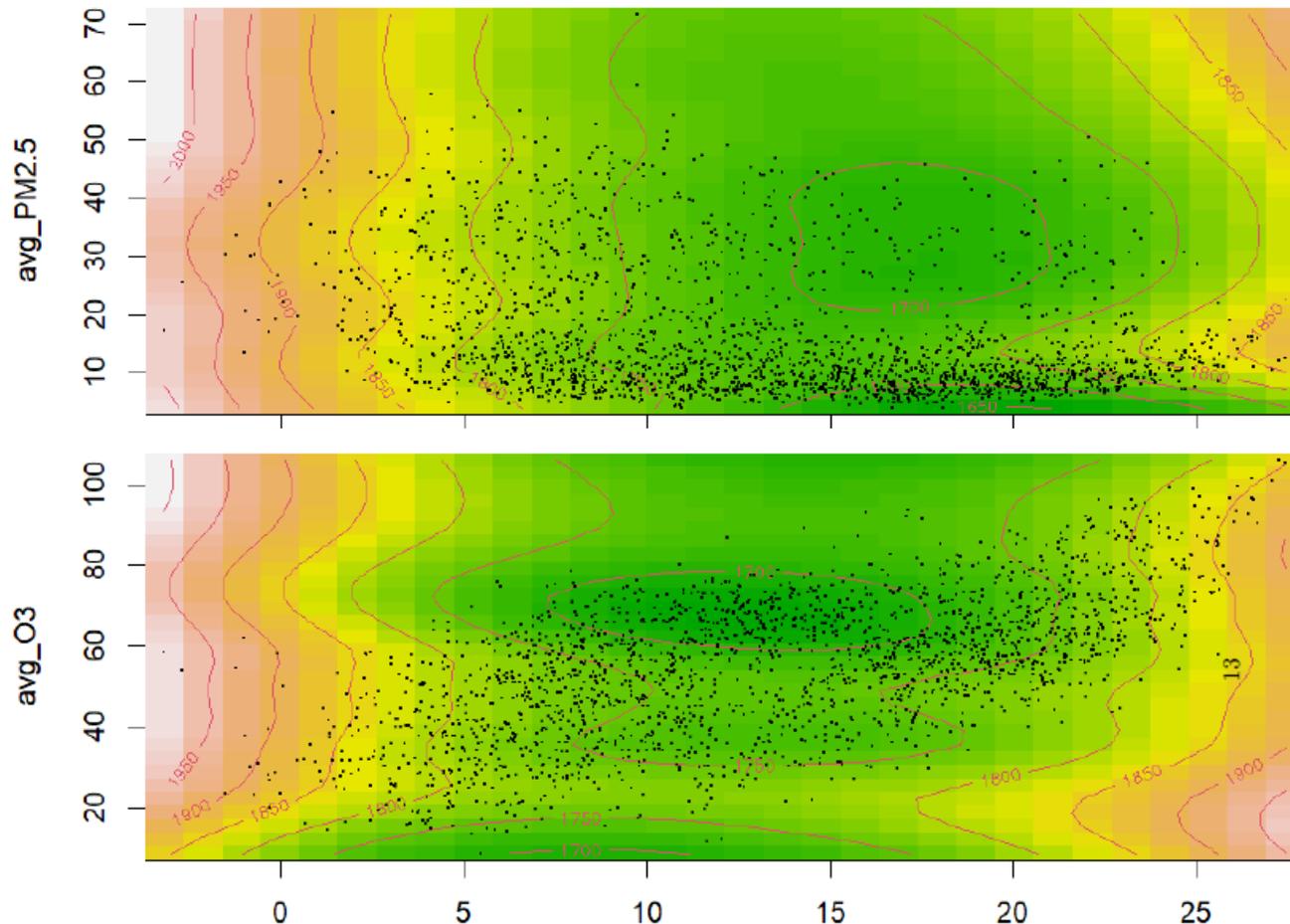


Association température-mortalité cumulée sur 21 jours estimée avec le DLNM



Modélisation jointe – Proposition 1

Modèle GAM



Modèle

- Niveau national – données journalières
- GAM – spline (TM, [O3], [PM2.5])

Résultats

- Le modèle capte un effet cocktail entre températures et polluants sur le court terme
- [PM 2.5] est associée aux températures basses
- [O3] est associée aux températures hautes

Analyse – pistes d’amélioration

- Possibilité d’utiliser une maille géographique plus fine + nombre de dépassement de seuil réglementaire de pollution
- Projection des décès dus à la combinaison de deux facteurs climatiques
→ plus réaliste que de double-compter les décès dus aux vagues de chaleur et les décès dus à la pollution

Modélisation jointe – Proposition 2

Utilisation d’un Indice Climatique Actuariel pour la mortalité

- **Idée générale:** remplacer une modélisation « trop fine » qui peine à capter toutes les interactions, par un indicateur qui appréhenderait l’ensemble des conditions climatiques dans leur globalité
- Variables retenues: pic de chaleur, pic de froid, sécheresse, vent, précipitations – **Données Météo France**

Composantes de l’index climatique actuariel



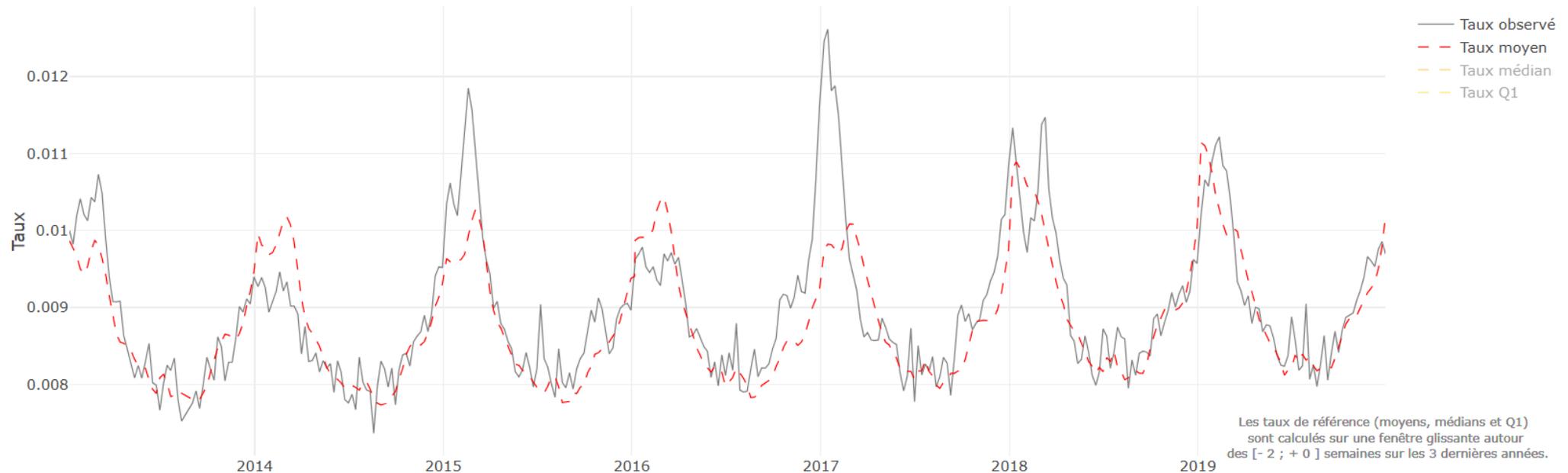
Limite de l’ICA:

- Utilisation d’une **période de référence** pour normaliser les composantes – **disponibilité des données** (données de pollution INERIS depuis 2013 seulement)

Modélisation jointe – Proposition 2

Utilisation d'un Indice Climatique Actuariel pour la mortalité

- Comment traiter les pics de froid?
 - Par construction, faible poids par rapport aux pics de chaleur
 - Un retraitement de la mortalité baseline permet d'isoler la surmortalité hivernale (ex: 2017)
 - Changer les poids en fonction de la saison



Application 2 : profilage

Construction de clusters de profil climatique similaire, en France métropolitaine et la Corse

Critères :

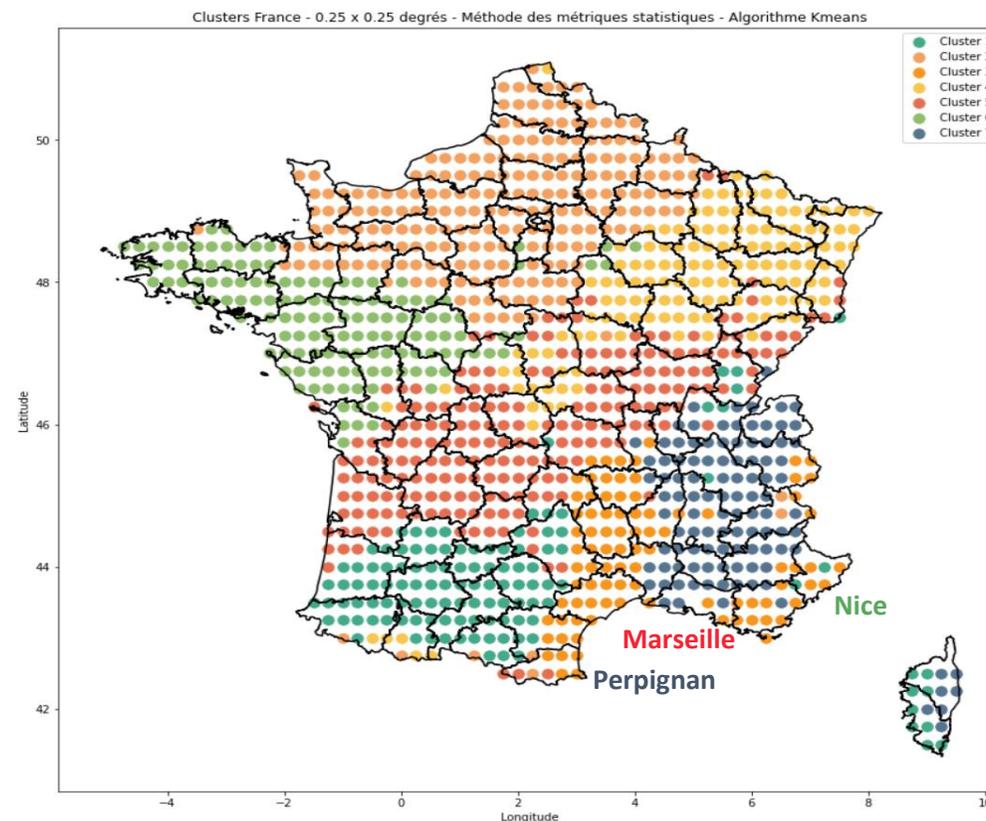
- Données **statistiques** sur les variables composant l'indice ICAF (hors niveau de la mer).
- Utilisation de la méthode du **Kmeans**

Historique :

- Observations sur la période récente entre 1991 et 2023

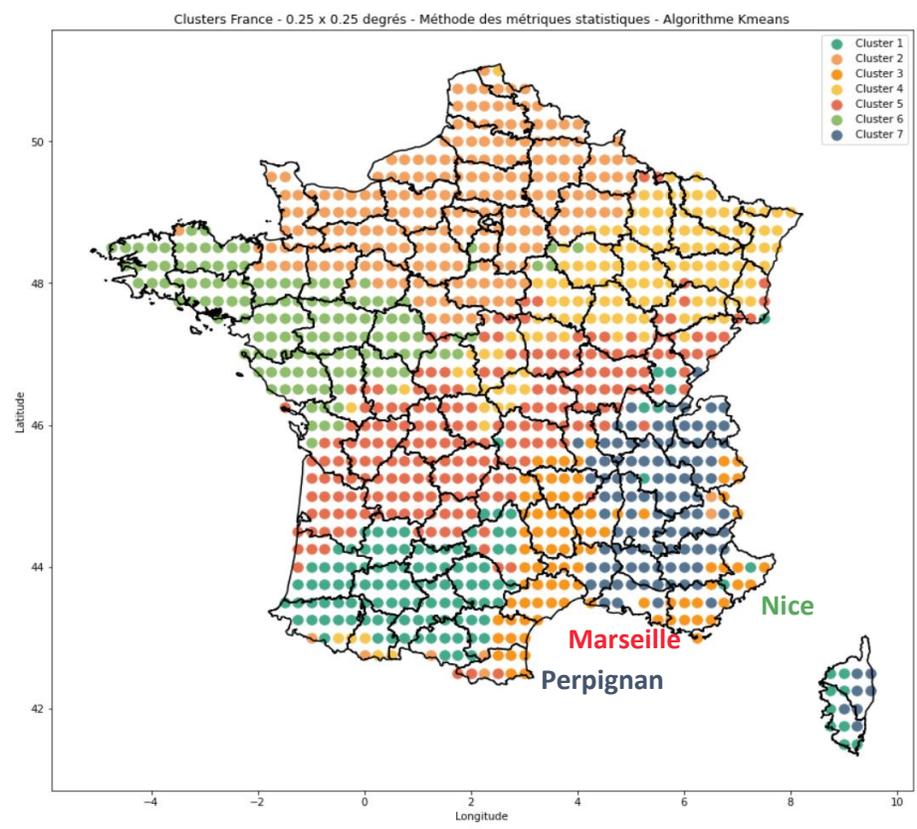
Intérêt :

- Faire des analyses de risque et d'exposition
- Construire zones à risques homogènes (tarification, mutualisation, prévention...)

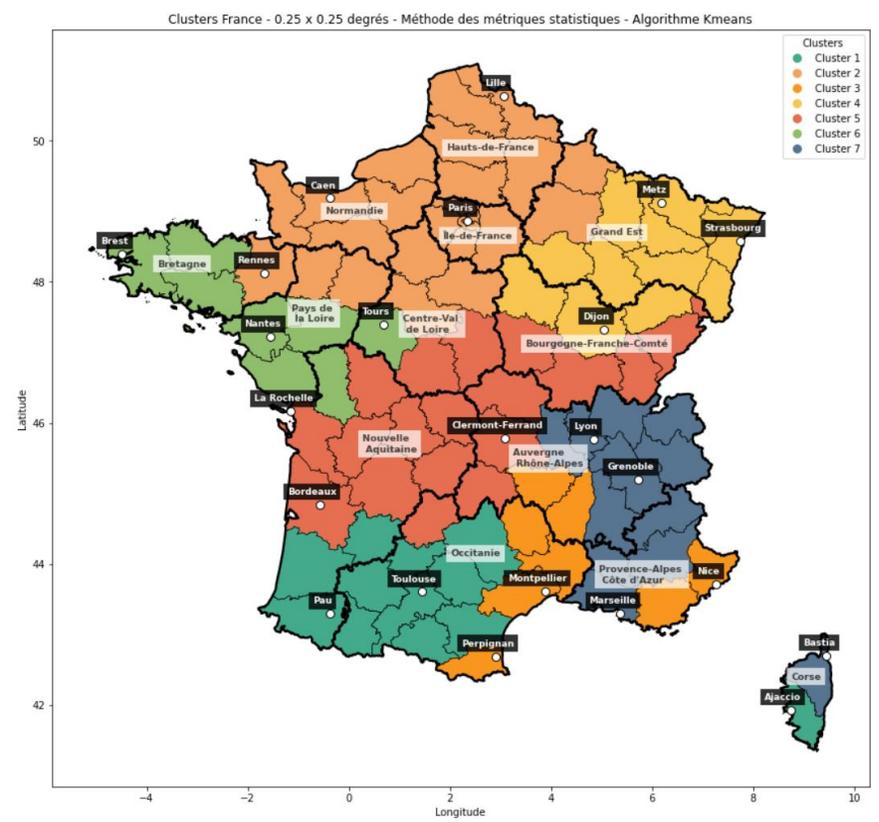


Application 2 : profilage

Premier niveau de mutualisation des risques par des regroupements suivant le principe du vote à la majorité

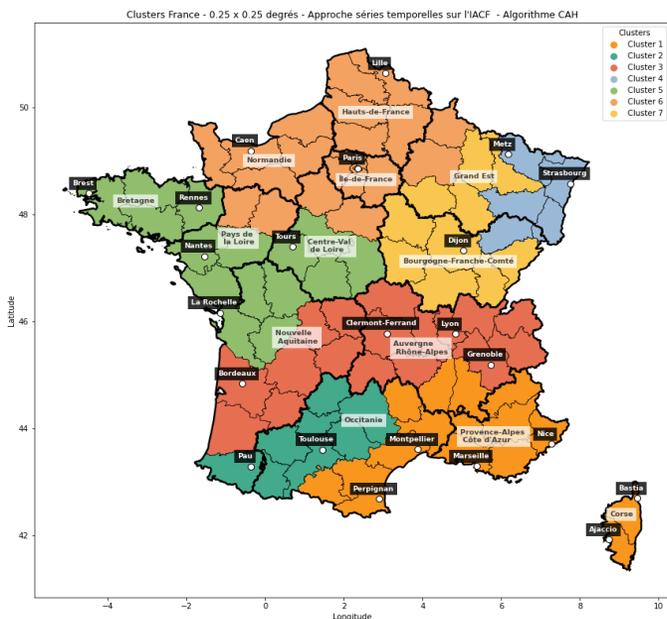


Vote à la majorité



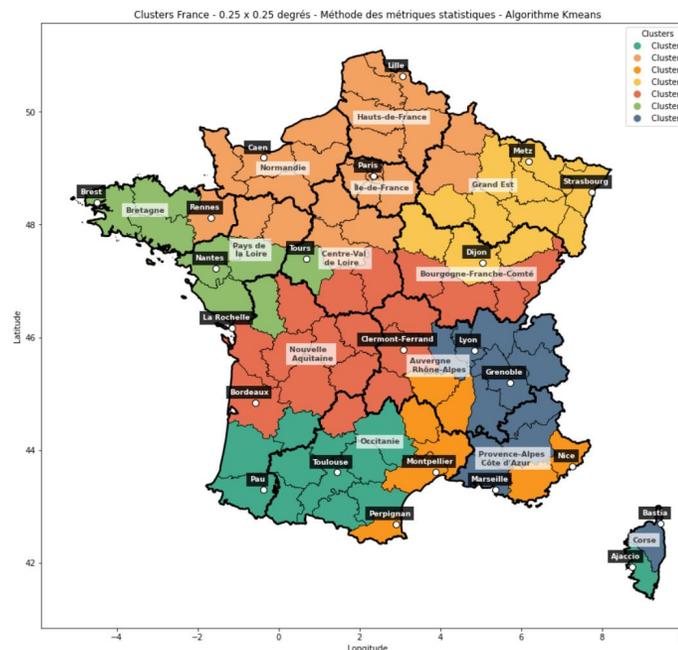
Application 2 : profilage

Construction de clusters sur des critères de l'évolution temporelles de l'indice ICAF par département sur la période 1991 et 2023



Sensibilité à la méthode de clustering

-> mise en évidence de différences de profils climatiques par région



Critère : séries temporelles sur ICAF + distance (Dynamic Time Warping) + CAH + Vote à la majorité

Critère : statistiques (5 variables) + Kmeans + Vote à la majorité

Applications 3 : assurance paramétrique

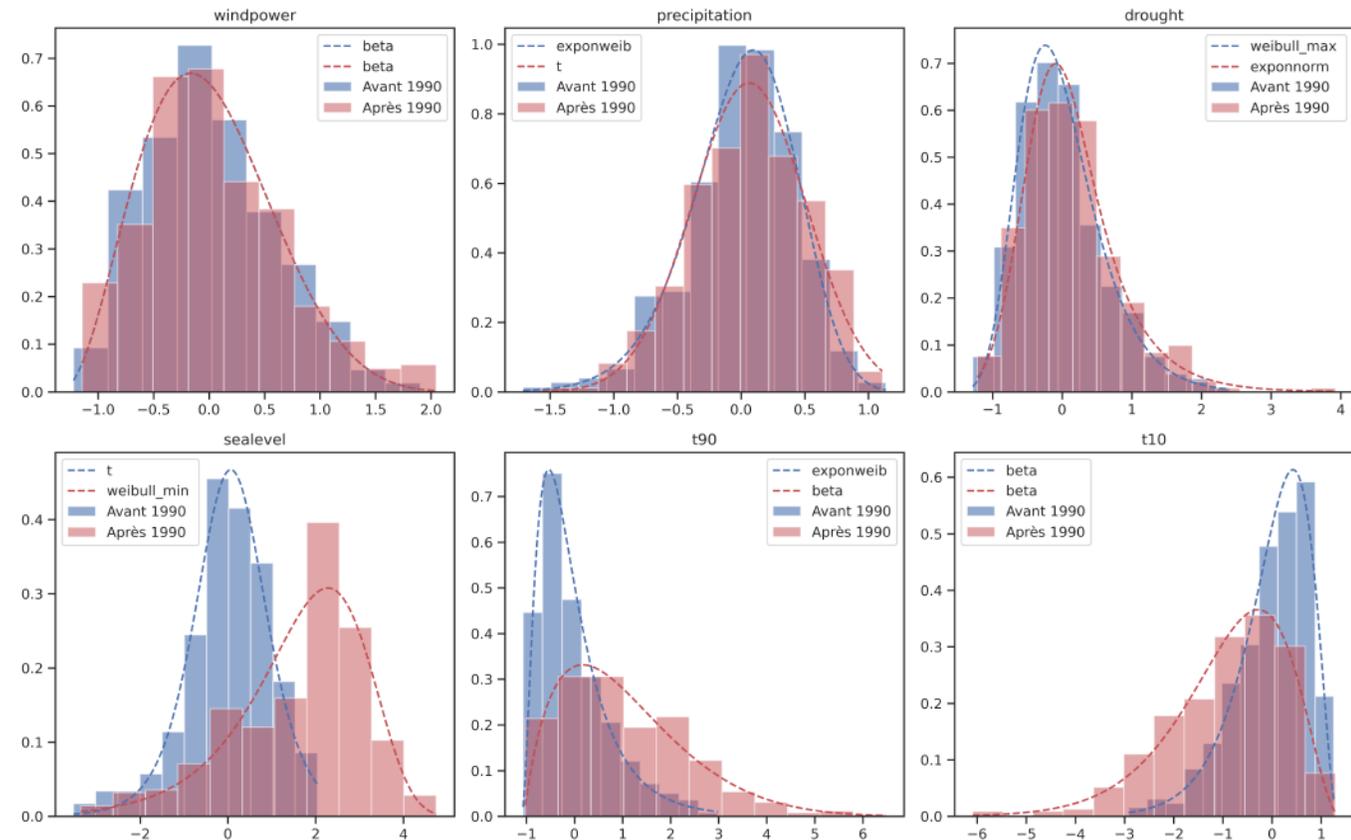
Distribution des composantes de l'ICAF sur 1961-1990 et 1991-2023

Objectifs :

- Comparer des distributions entre les 2 périodes
- Tester l'adéquation des distributions à des lois

Observations :

- Tendance au réchauffement climatique
- Changements plus ou moins importants



Applications 3 : assurance paramétrique

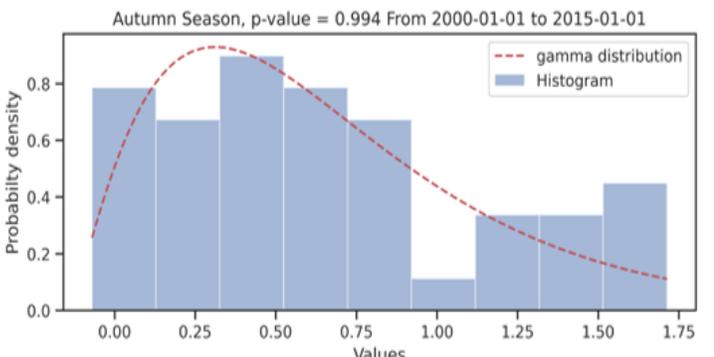
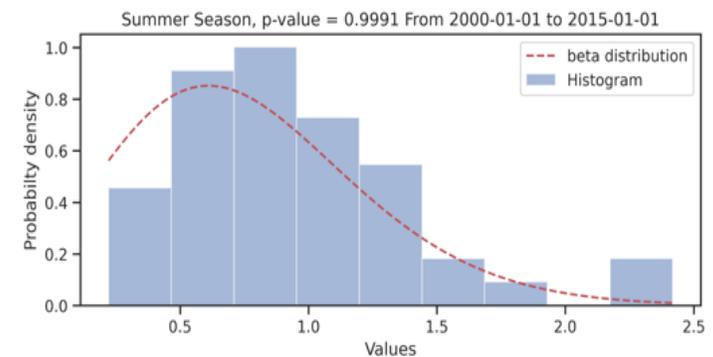
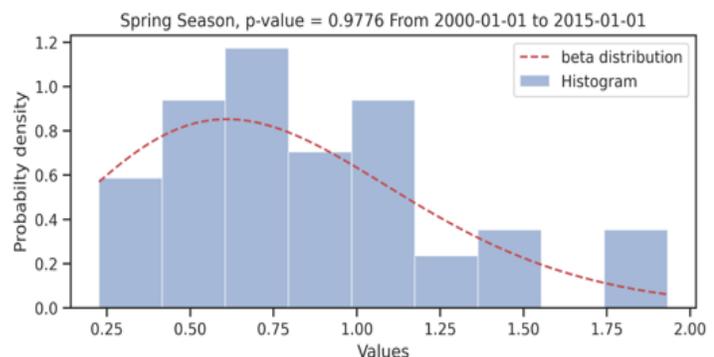
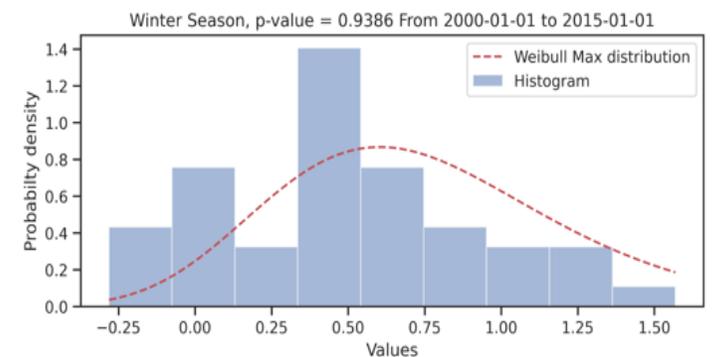
Distribution de l'ICAF sur la période 2000-2015

Objectifs :

- Comparer de l'ICAF entre les 4 saisons
- Tester l'adéquation des distributions à des lois

Observations :

- En hiver -> loi de Weibull (p-value : 0,9386)
- Printemps -> loi Beta (p-value : 0,9776)
- Été -> loi Beta (p-value : 0,9991)
- Automne -> loi Gamma (p-value : 0,994)

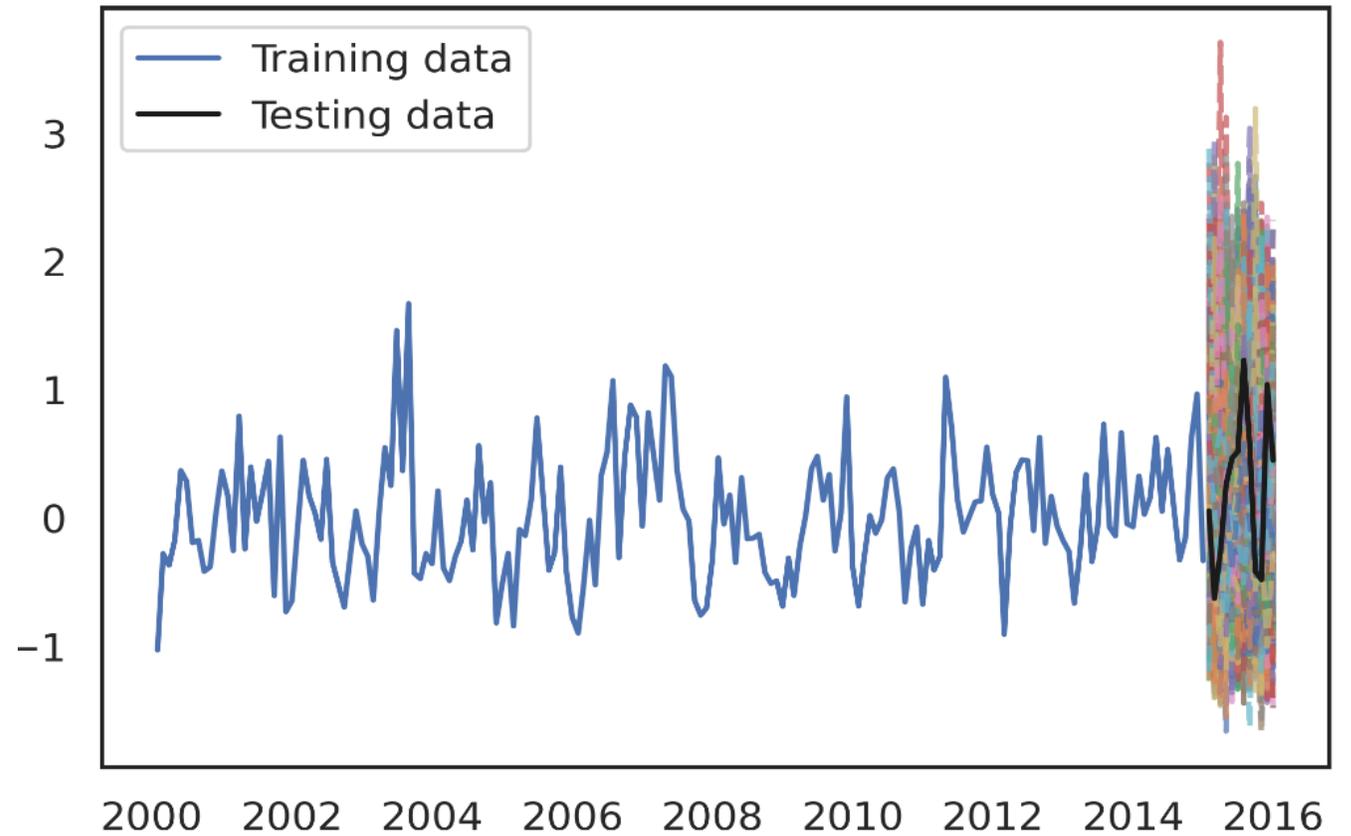


Applications 3 : assurance paramétrique

Simulation de l'ICAF sur la période 2000-2015

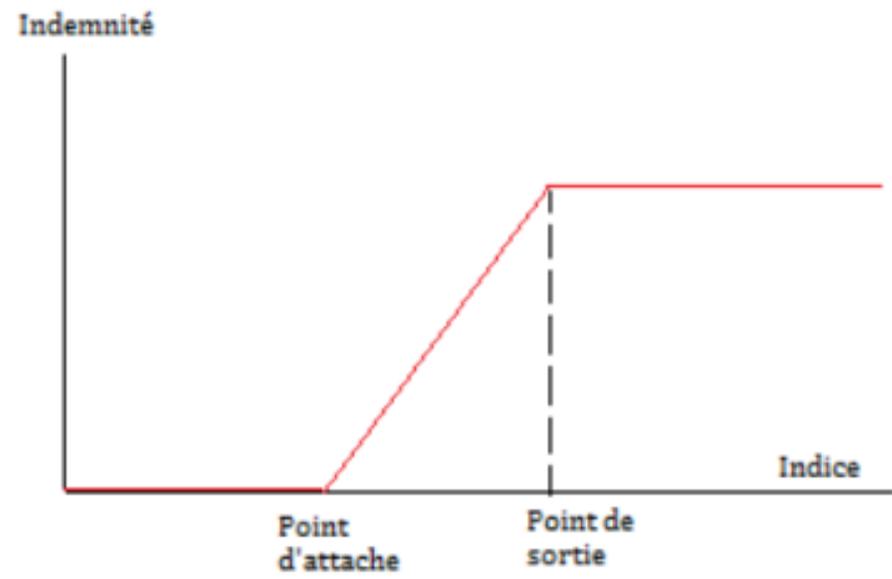
Méthode de simulation : Monte-Carlo

- Période d'observation : 2000 – 2014
- Nombre de simulation : 5000
- Année testée : 2015



Applications 3 : assurance paramétrique

Calculs Primes pures



Montant de l'indemnités

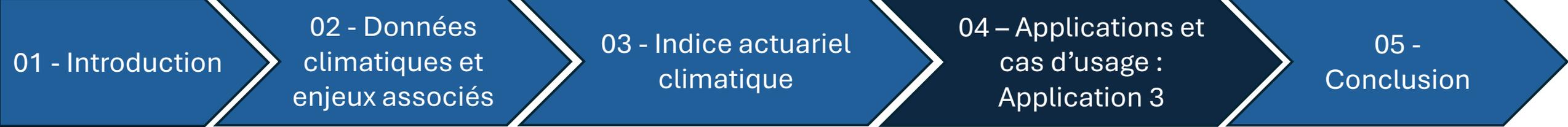
$$P = V \times \mathbb{1}_{I \geq A} \min\{I - A; S - A\}$$

Avec :

- V : valeur d'un point d'indice
- I : valeur de l'indice
- A : point d'attache
- S : point de sortie

Méthode 1 : $\forall L \in \mathcal{L}, \mathcal{P}(L) = (1 + \lambda) \times \mathbb{E}[L], \text{ avec } \lambda > 0.$

Méthode 2 : $\forall L \in \mathcal{L}, \mathcal{P}(L) = \mathbb{E}[L] + \lambda \times \sqrt{\mathbb{V}[L]}, \text{ avec } \lambda > 0.$



Applications 3 : assurance paramétrique

Calculs Primes pures

A value (base 100) 0,963
S value (base 100) 1,601
Simulation 5000

Tarif	Lambda	Min	Max	Moyenne	Ecart-type	Prime pure
1	3%	0	462,64	190,82	77,05	196,54
1	5%	0	462,64	190,82	77,05	200,36
1	10%	0	462,64	190,82	77,05	209,90
2	3%	0	462,64	190,82	77,05	193,13
2	5%	0	462,64	190,82	77,05	194,67
2	10%	0	462,64	190,82	77,05	198,53

05 – Conclusion



Conclusion

- **Que retenir ?**

- L'ICA peut être combiné aux scénarios climatiques pour prédire des valeurs futures.
- Les premières applications sont en assurances non-vie, agricole, en réassurance ou en assurances paramétriques.
- Nous étudions les effets du changement climatique sur la mortalité et la morbidité : [Garrido, Milhaud, Olympio et Popp \(2024, livre vert\)](#).
- Le but est d'utiliser les indices climatiques et leur composantes respectives comme mesures d'impact en assurance vie et assurance santé.

- **Autres applications:**

- L'ACII comme prédicteur des dommages dus à la grêle en assurance agricole en Espagne : [Zhou et coll. \(2024, Risks\)](#).
- Assurances paramétrique basées sur l'ICAF : [Garrido, Mihaud et Olympio \(2023, préprint\)](#).
- Liens entre l'ACI et le prix des dérivées climatiques sur le marché de Chicago : [Yavrum and Selcuk-Keste \(2024, communication\)](#).
- Analyse de dépendance des rendements agricoles et les facteurs météorologiques extrêmes basés sur l'ACI : [Cheung et coll. \(2024, NAAJ\)](#).

Eve TITON

Eveelisabeth.titon@gmail.com

Anani OLYMPIO

anani.olympio@cnp.fr

José GARIDDO

jose.garrido@concordia.ca