

# 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

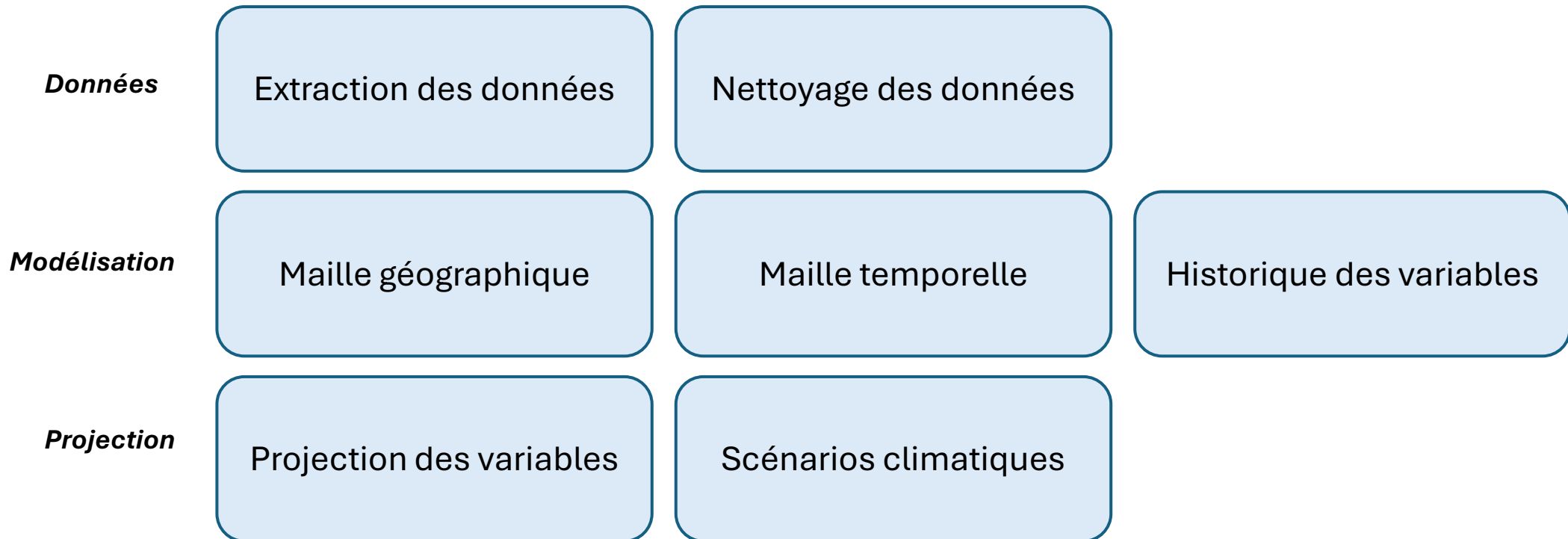
Versements automatiques et assurance paramétrique

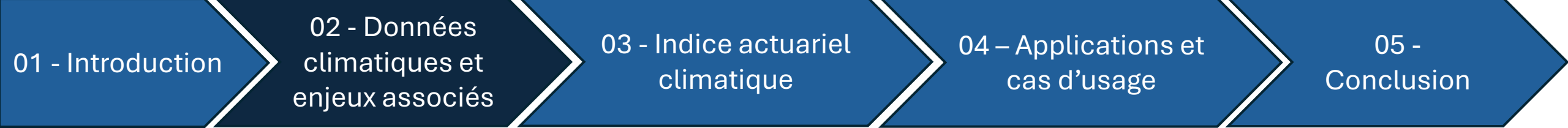
- Modélisation des impacts du changement climatique pour le risque physique sur les biens, la santé et les actifs → données climatiques nécessaires
- Modélisation complexes
- Alternative: Indicateur Climatique Actuariel

# 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



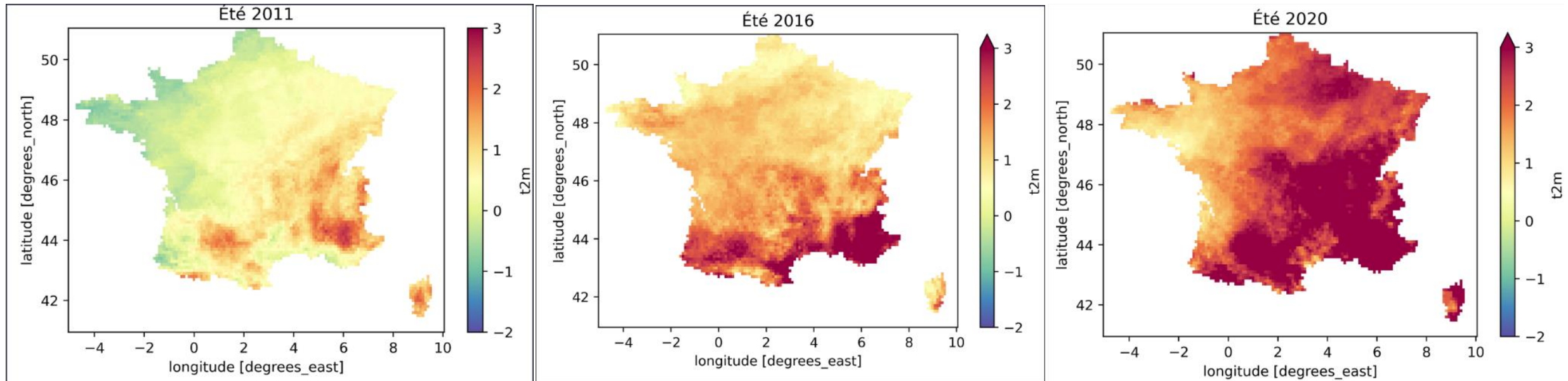
Projections de variables climatiques

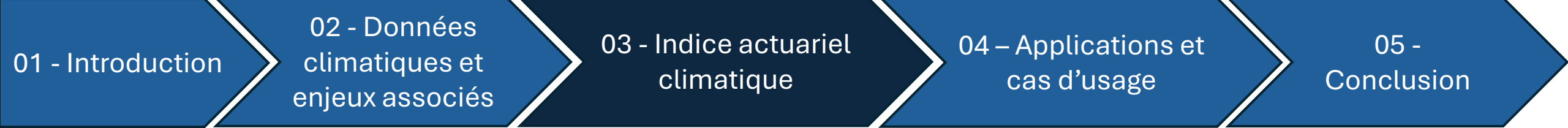


# 03 – Indice actuariel climatique



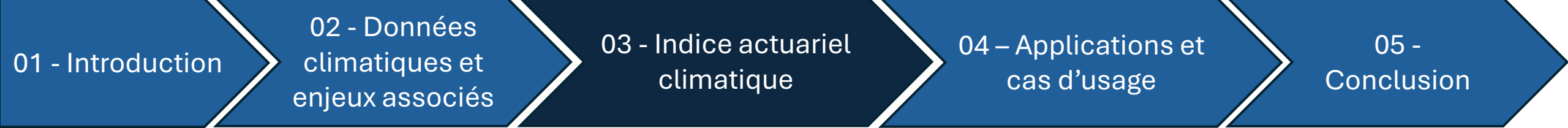
## Indice actuariel climatique : évolutions des fréquences des températures extrêmes (vision T90) par rapport à la période de référence (moyenne historique sur 1961-1990)





## 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).

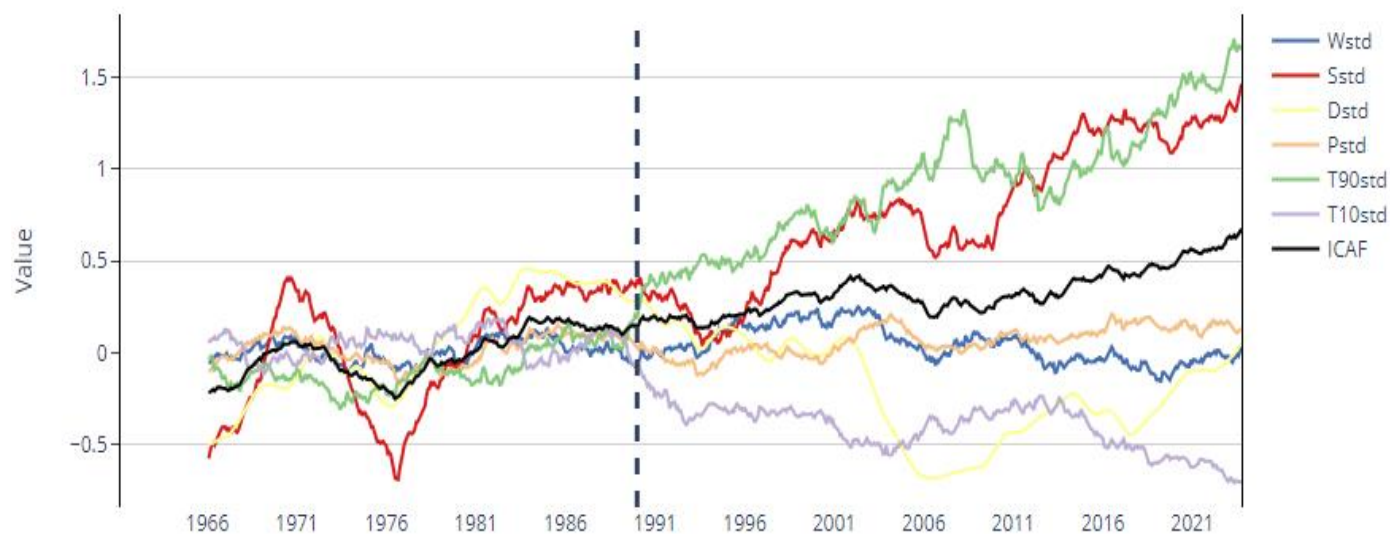
$$ACI = \frac{1}{6} (T90_{std} - T10_{std} + P_{std} + D_{std} + W_{std} + S_{std})$$

| 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

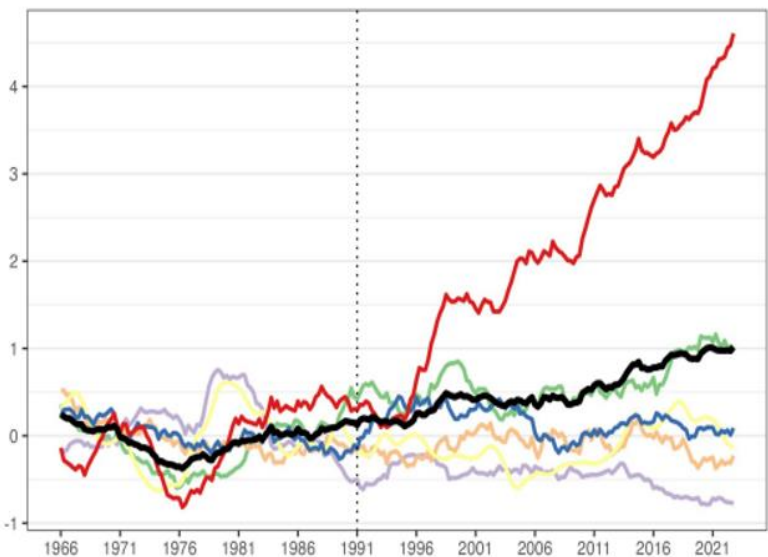
- **ICAF mensuel** calculé à la maille de dimension 0,25° (longitude) par 0,25° (latitude).
  - Source : base de données ERA5-Land reanalysis (Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), 2022).
- **Affinage possible** : zones d'exposition de dimension 0,1° (longitude) par 0,1° (latitude).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

Composantes de l'ICAF

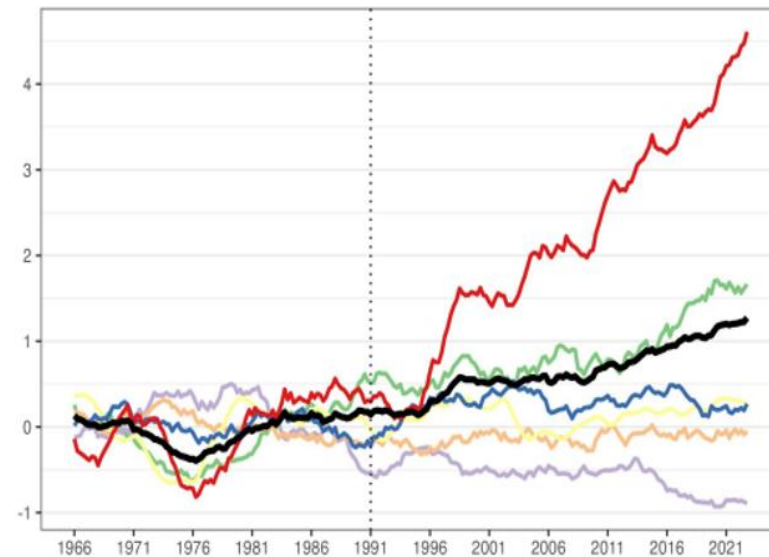


# Evolution de l'Indice Climatique Actuariel : Comparaison entre pays sur le continent européen

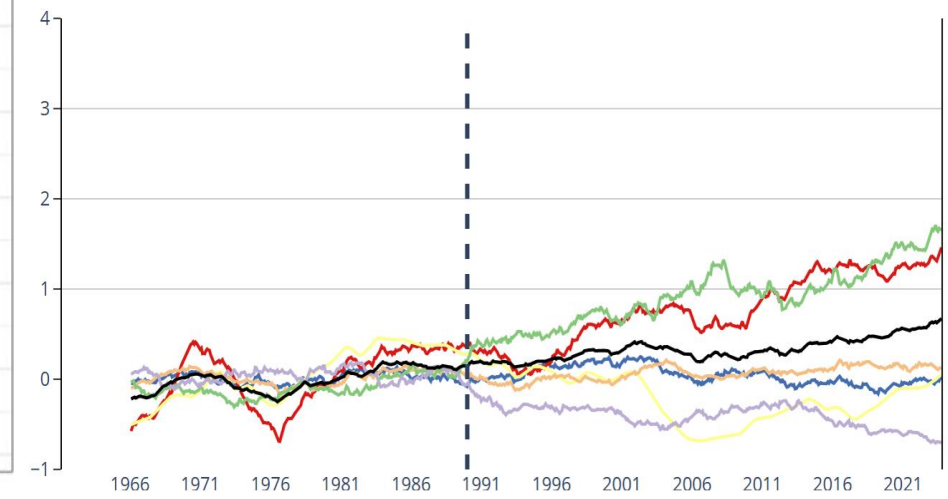
## Portugal



## Espagne



## France



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

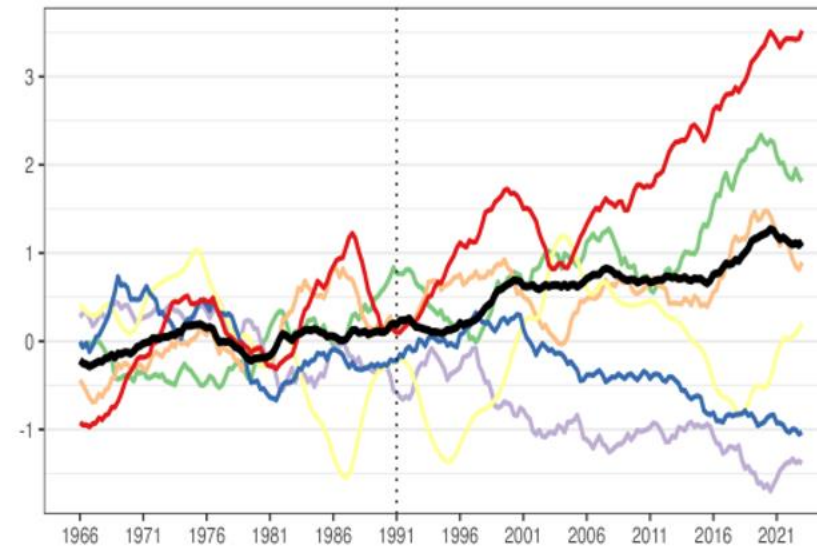


## Evolution de l'Indice Climatique Actuariel : Comparaison entre pays sur le continent américain

### Canada



### Etats-Unis

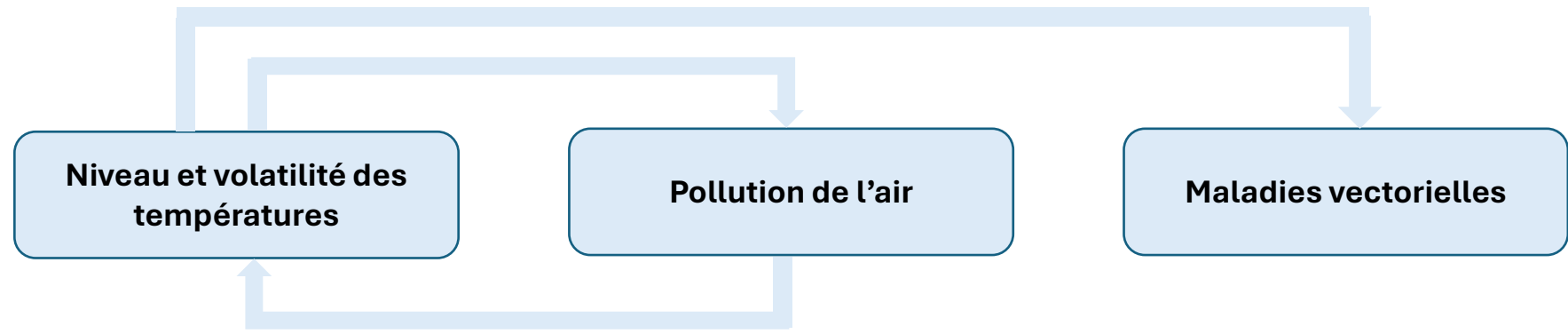


vert :  $T90_{std}$  - violet :  $T10_{std}$  - orange :  $P_{std}$  - jaune :  $D_{std}$  - bleu :  $W_{std}$  - rouge :  $S_{std}$  noir : ACI

# 04 – Applications et cas d'usage

## Application 1 : Impact du climat sur la mortalité

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

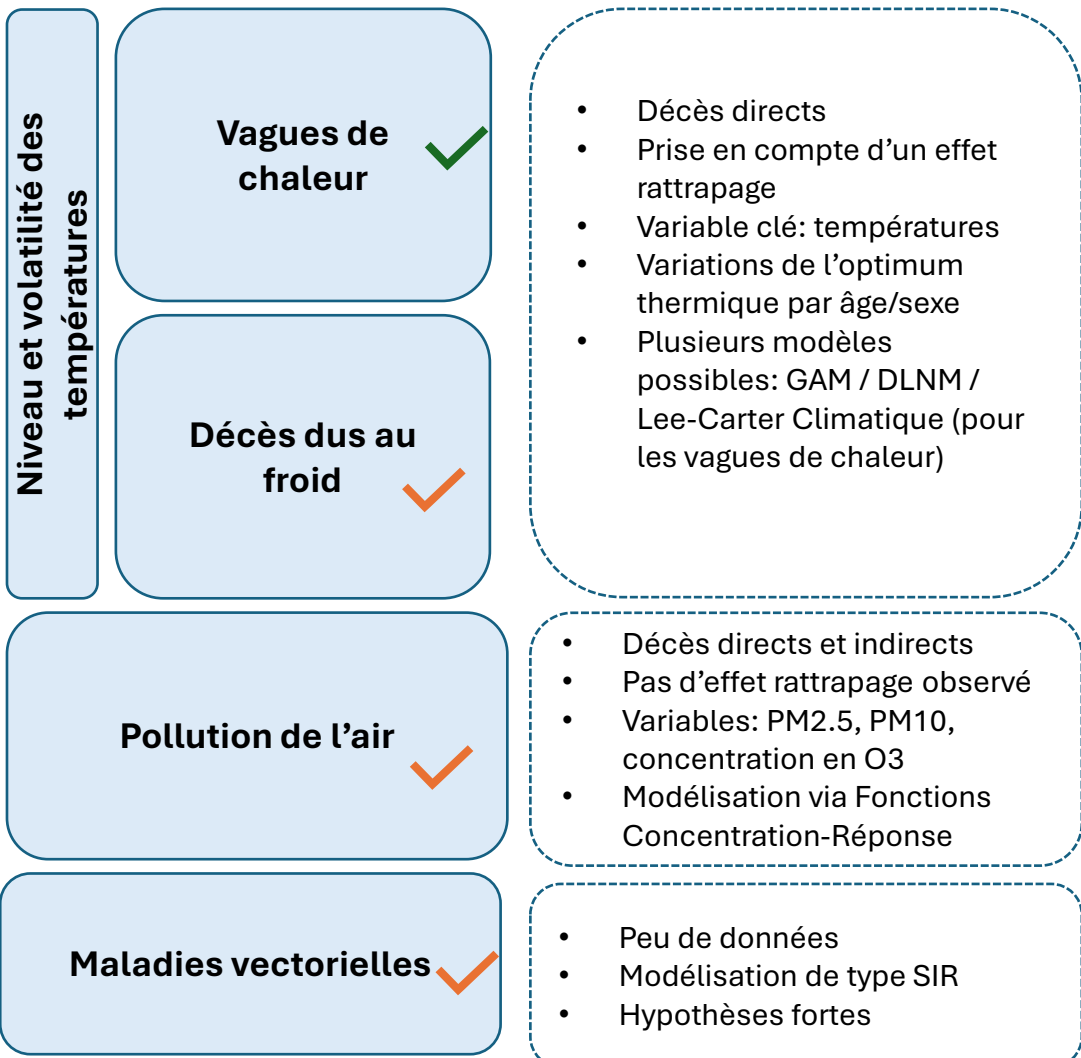


- Chaque facteur climatique a un impact sur la santé et la mortalité bien spécifique (décès directs vs. indirects, horizon de décès)
  - Les impacts climatiques sont souvent modélisés séparément → calculs de chocs de mortalité par facteur climatique
  - Double-comptage des décès
  - Pas de prise en compte 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

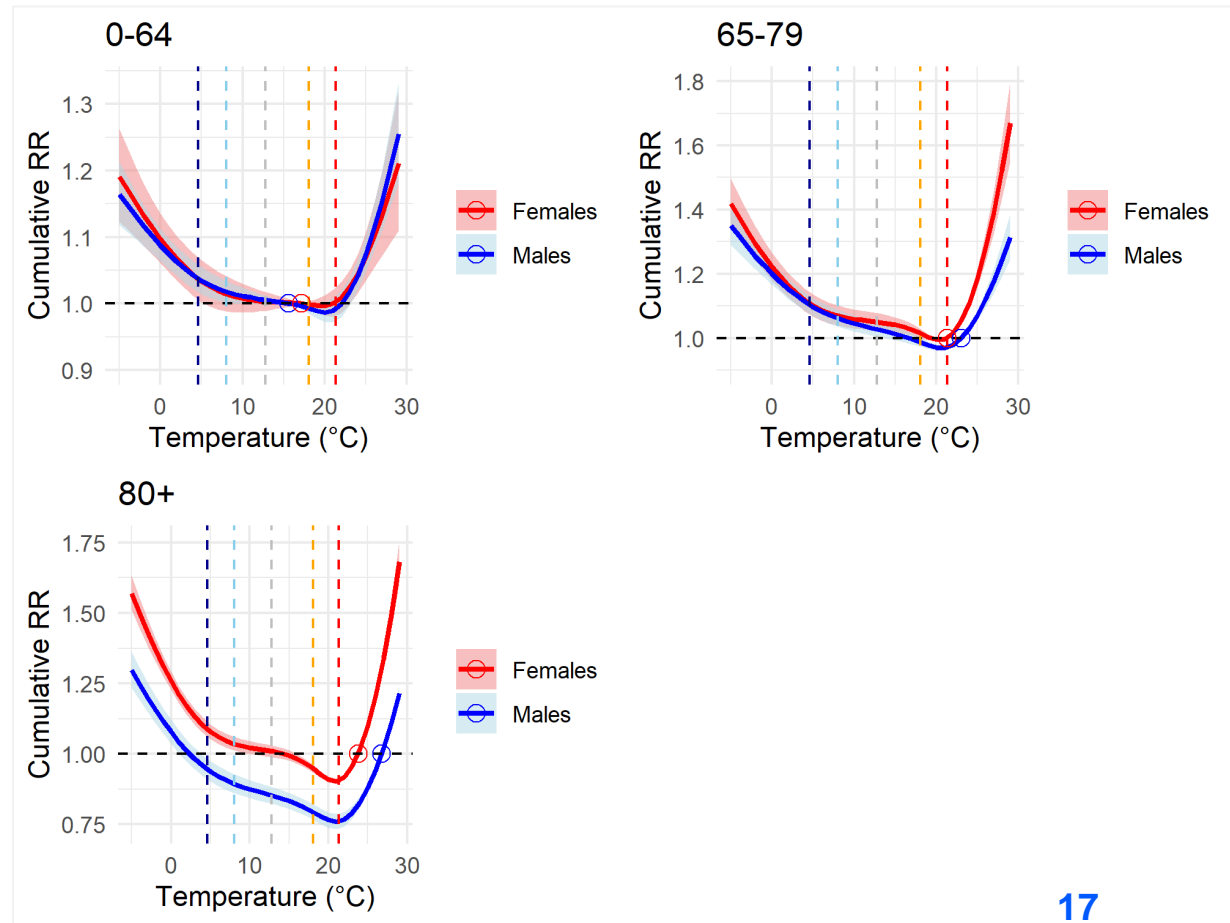
Deux articles à venir - <https://fr.milliman.com/fr-fr/insurance/research-and-development>



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

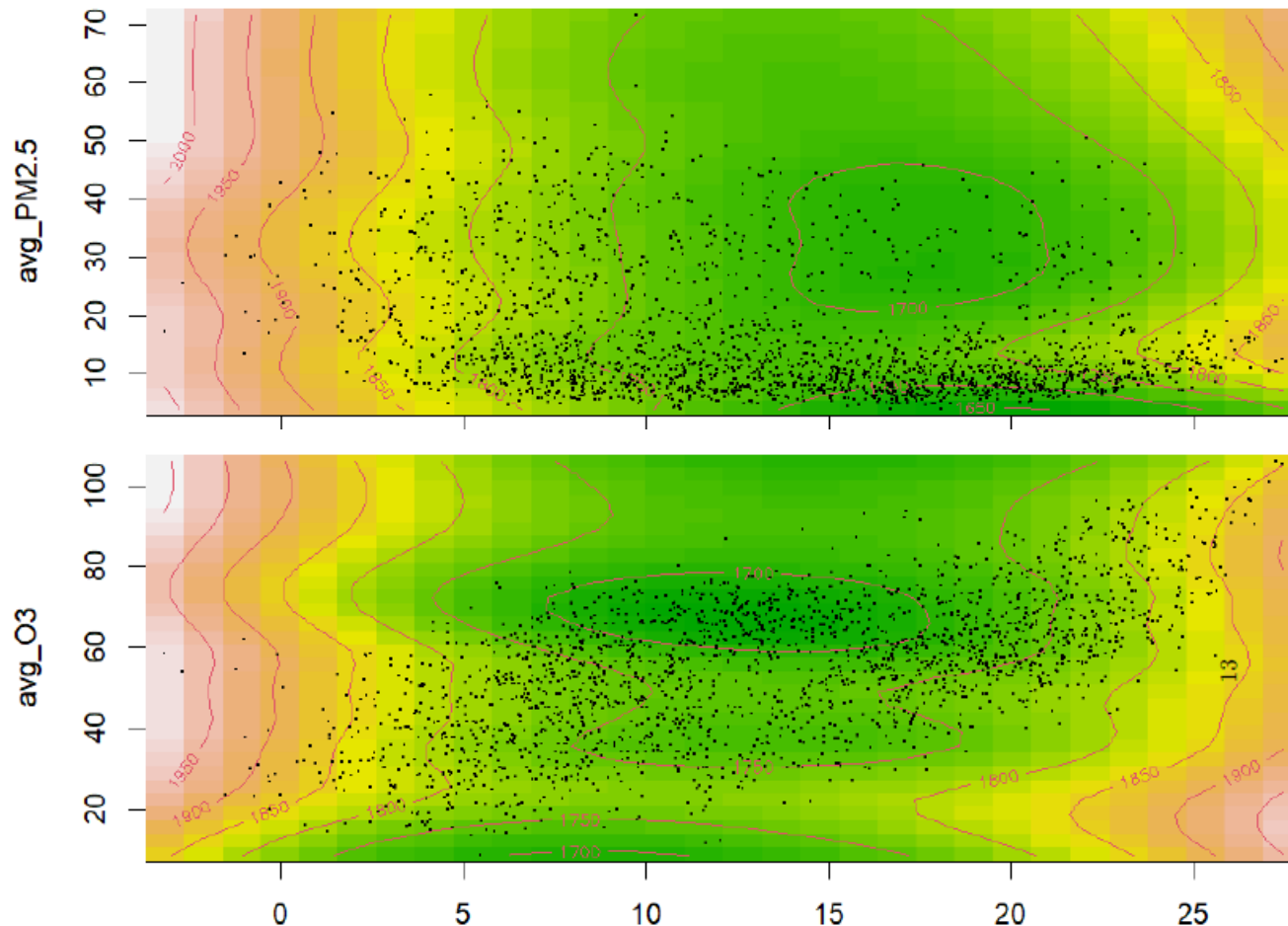


Association température-mortalité cumulée sur 21 jours estimée avec le DLNM



# 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

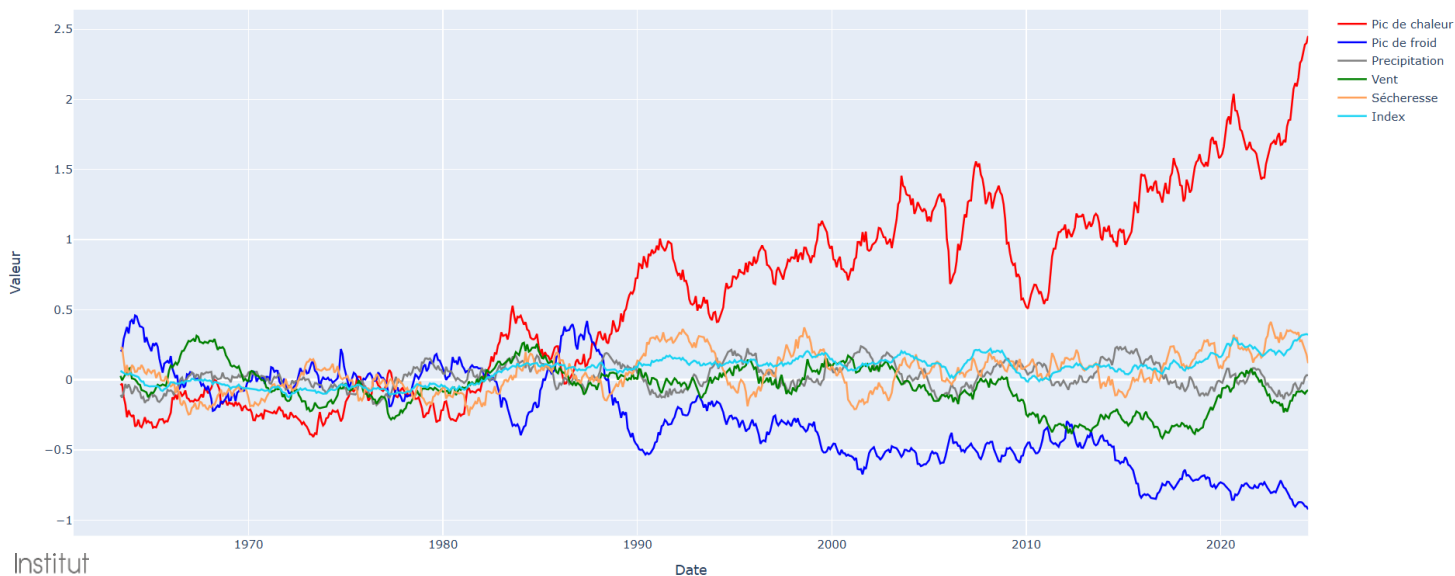
- Possibilité d’utiliser une maille géographique plus fine + nombre de dépassement de seuil réglementaire de pollution
- Projection des décès dus à la combinaison de deux facteurs climatiques  
→ plus réaliste que de double-compter les décès dus aux vagues de chaleur et les décès dus à la pollution

## 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



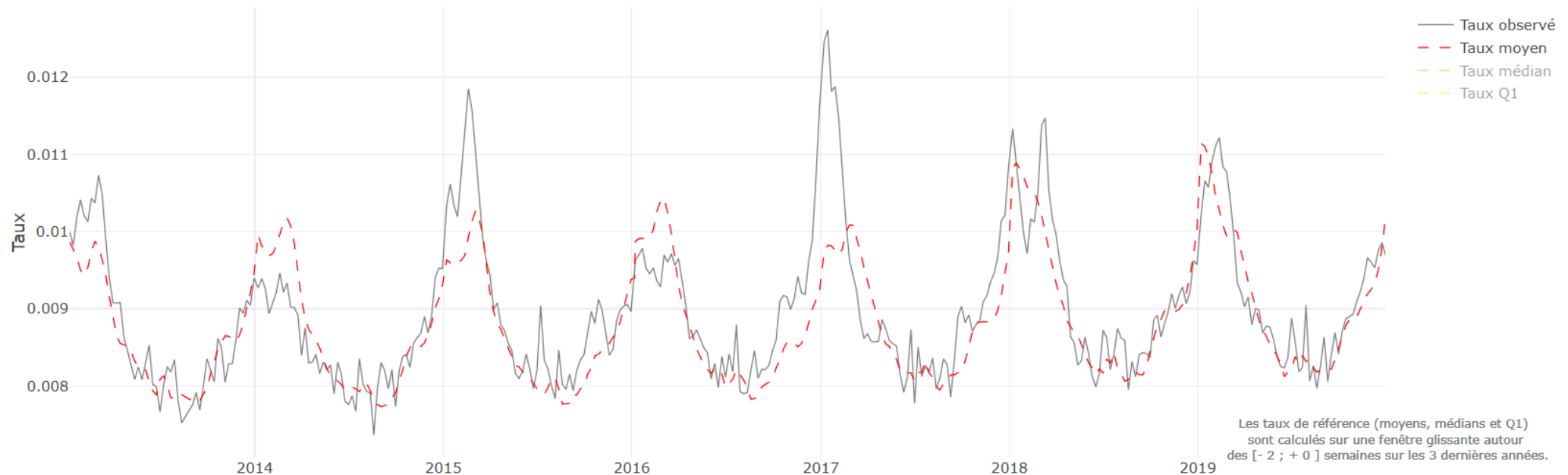
#### Limite de l’ICA:

- 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 :

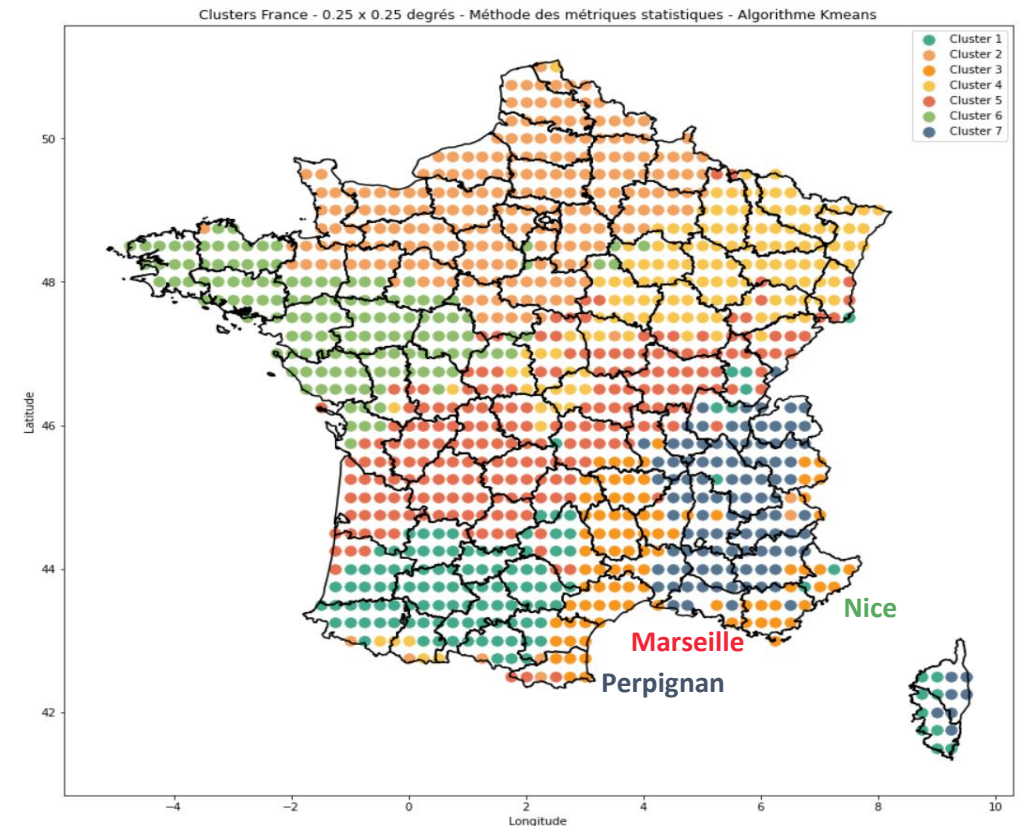
- Données **statistiques** sur les variables composant l'indice ICAF (hors niveau de la mer).
- Utilisation de la méthode du **Kmeans**

### Historique :

- Observations sur la période récente entre 1991 et 2023

### Intérêt :

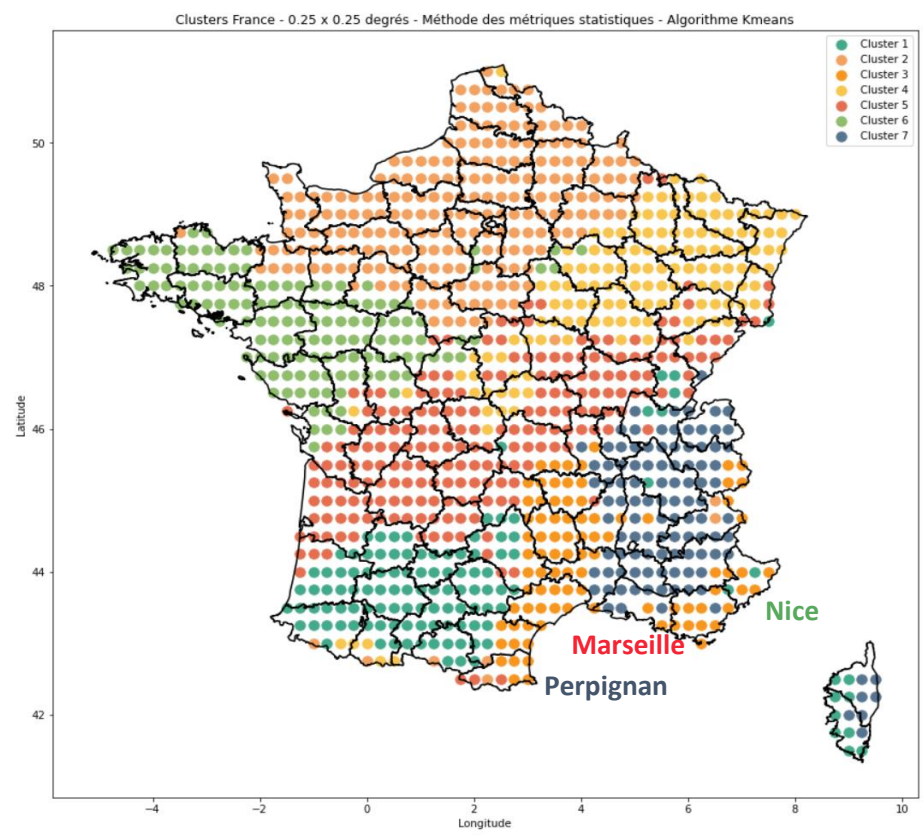
- Faire des analyses de risque et d'exposition
- Construire zones à risques homogènes (tarification, mutualisation, prévention...)



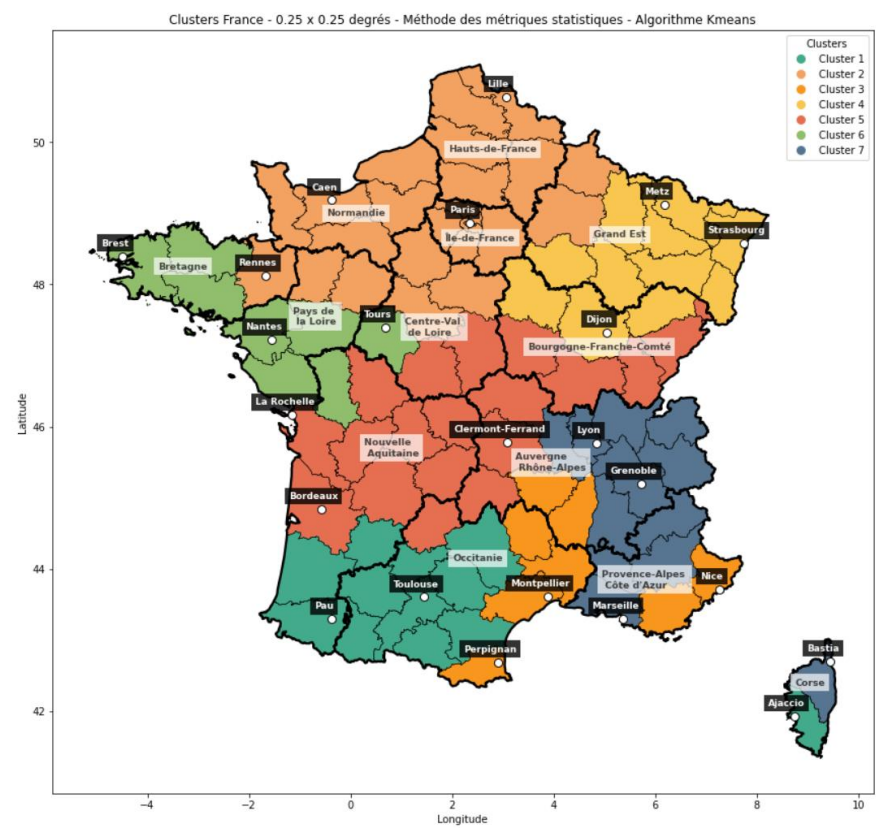


# Application 2 : profilage

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

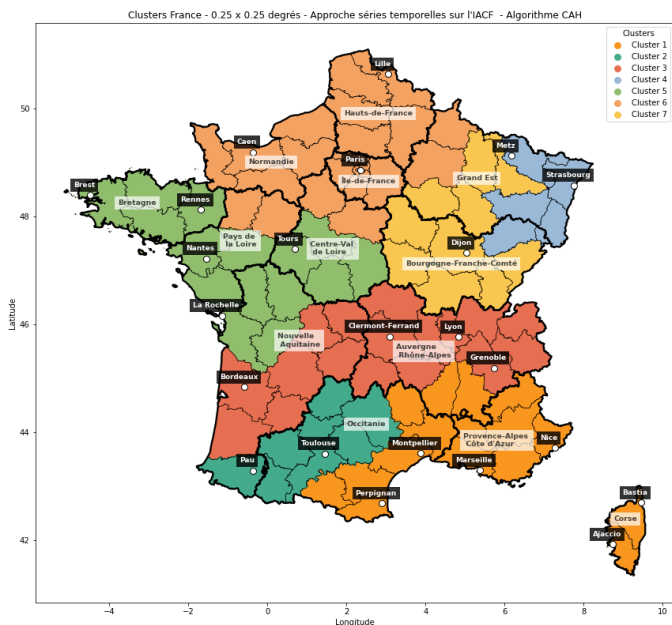


**Vote à la majorité**



# Application 2 : profilage

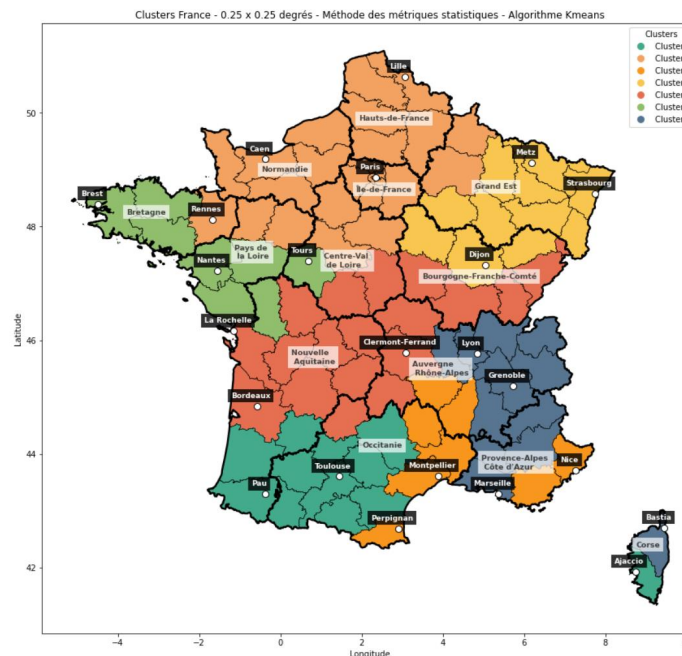
Construction de clusters sur des critères de l'évolution temporelles de l'indice ICAF par département sur la période 1991 et 2023



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

## Sensibilité à la méthode de clustering

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



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

## Applications 3 : assurance paramétrique

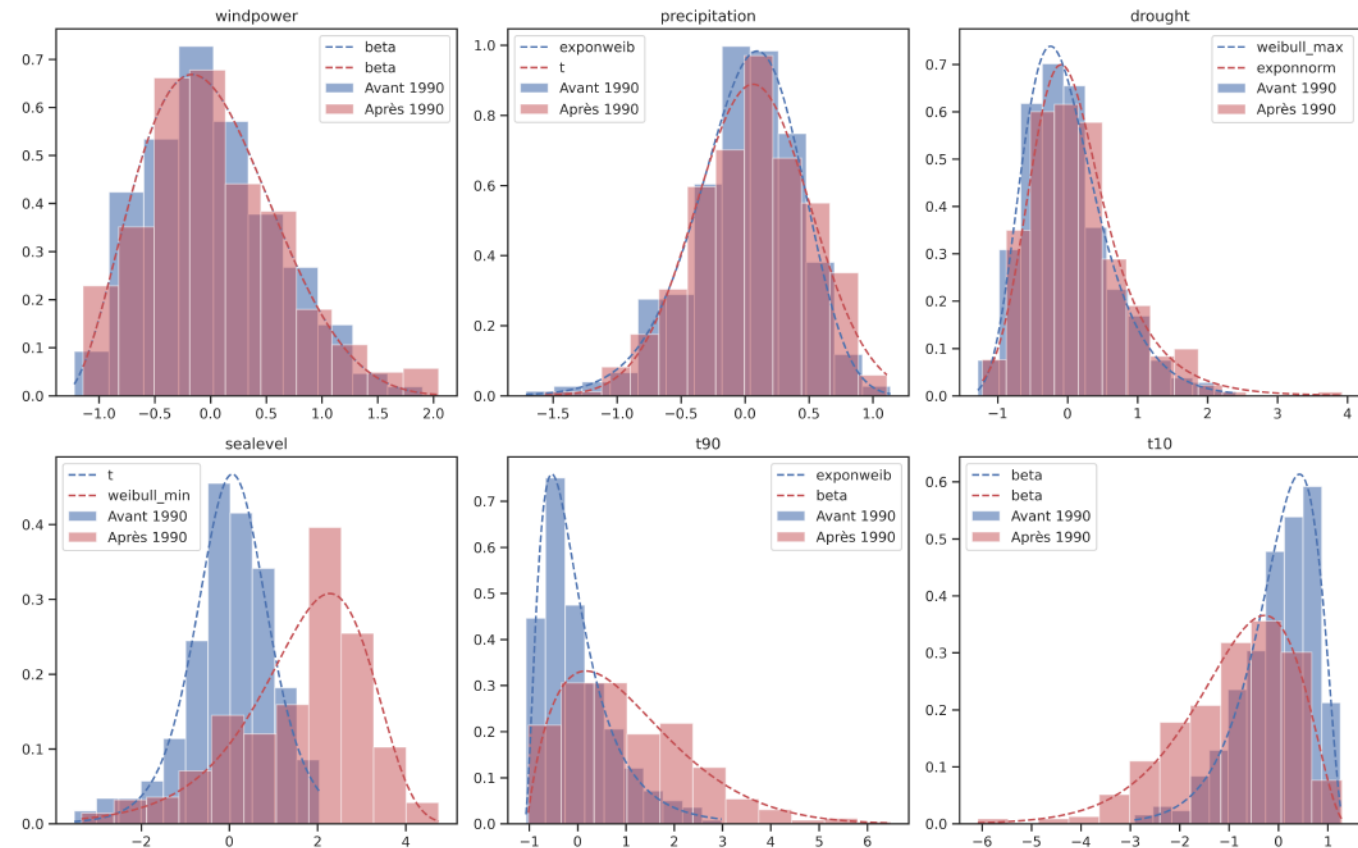
### Distribution des composantes de l'ICAF sur 1961-1990 et 1991-2023

#### Objectifs :

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

#### Observations :

- Tendence au réchauffement climatique
- Changements plus ou moins importants





## Applications 3 : assurance paramétrique

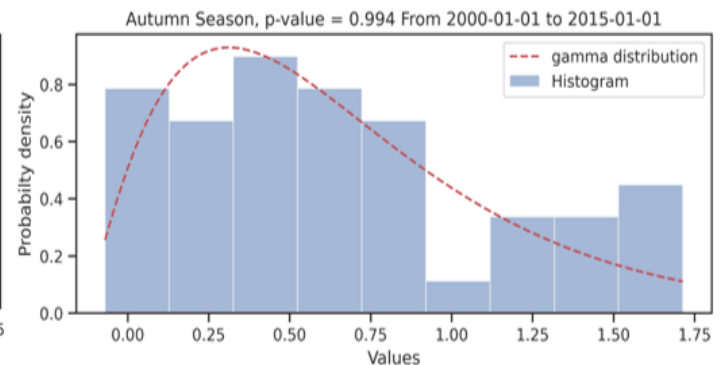
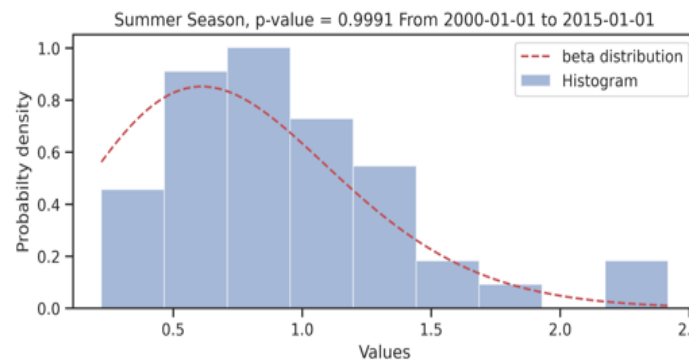
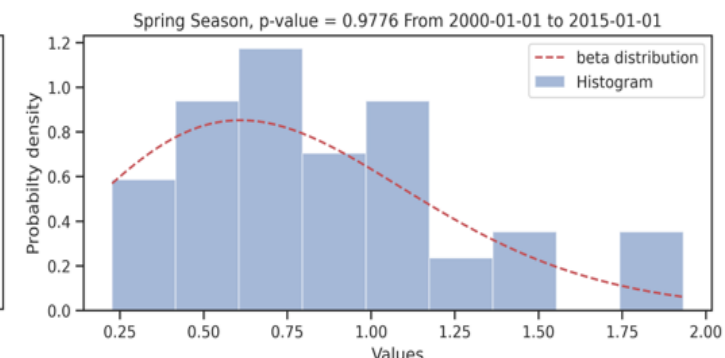
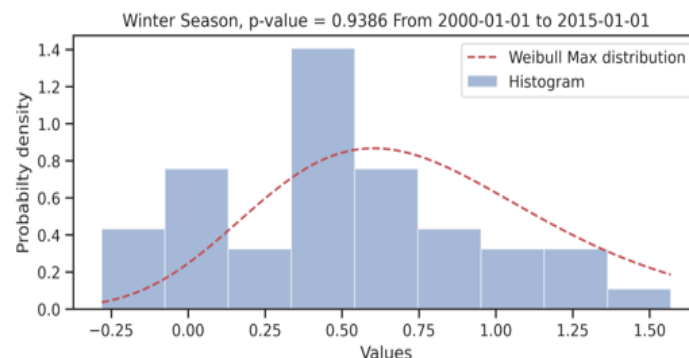
### Distribution de l'ICAF sur la période 2000-2015

#### 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)

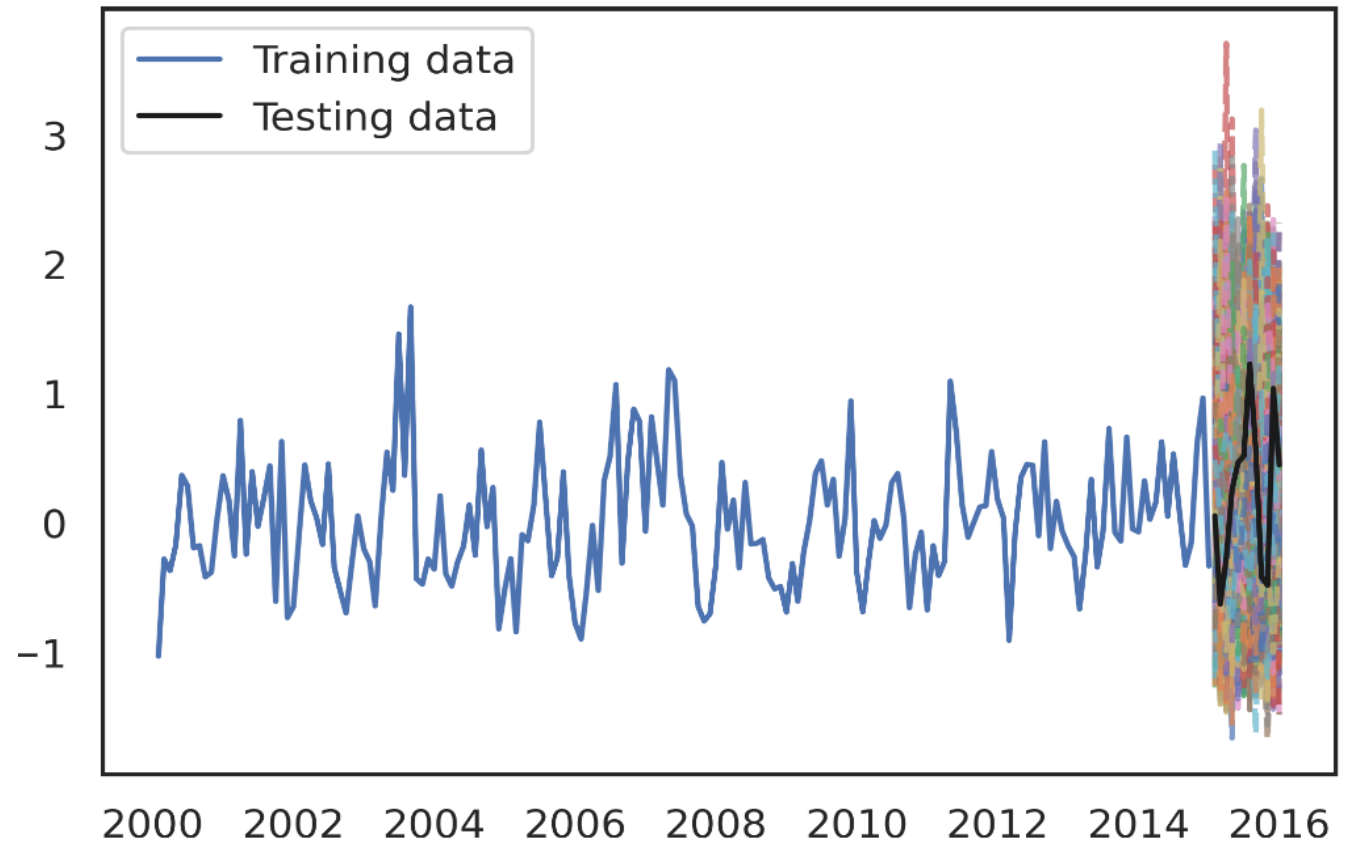


# Applications 3 : assurance paramétrique

## Simulation de l'ICAF sur la période 2000-2015

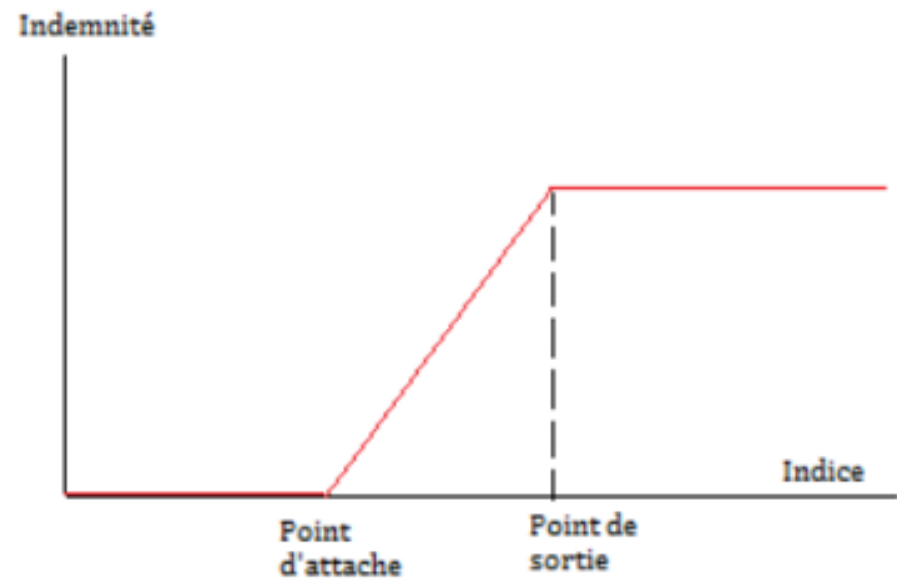
### Méthode de simulation : Monte-Carlo

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



# Applications 3 : assurance paramétrique

## Calculs Primes pures



### Montant de l'indemnités

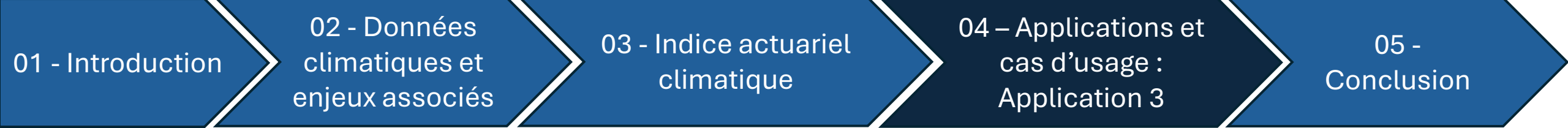
$$P = V \times \mathbb{1}_{I \geq A} \min\{I - A; S - A\}$$

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



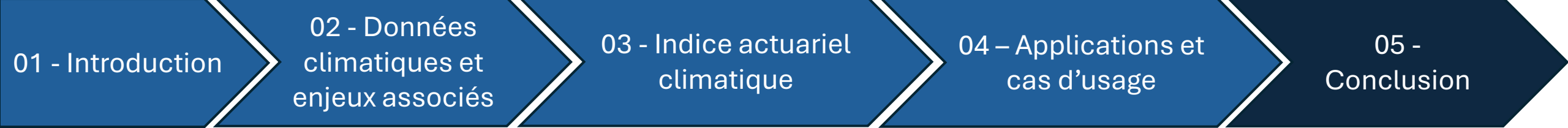
## Applications 3 : assurance paramétrique

### 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      | <b>196,54</b> |
| 1     | 5%     | 0   | 462,64 | 190,82  | 77,05      | <b>200,36</b> |
| 1     | 10%    | 0   | 462,64 | 190,82  | 77,05      | <b>209,90</b> |
| 2     | 3%     | 0   | 462,64 | 190,82  | 77,05      | <b>193,13</b> |
| 2     | 5%     | 0   | 462,64 | 190,82  | 77,05      | <b>194,67</b> |
| 2     | 10%    | 0   | 462,64 | 190,82  | 77,05      | <b>198,53</b> |

# 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](mailto:Eveelisabeth.titon@gmail.com)

**Anani OLYMPIO**

[anani.olympio@cnp.fr](mailto:anani.olympio@cnp.fr)

**José GARIDDO**

[jose.garrido@concordia.ca](mailto:jose.garrido@concordia.ca)