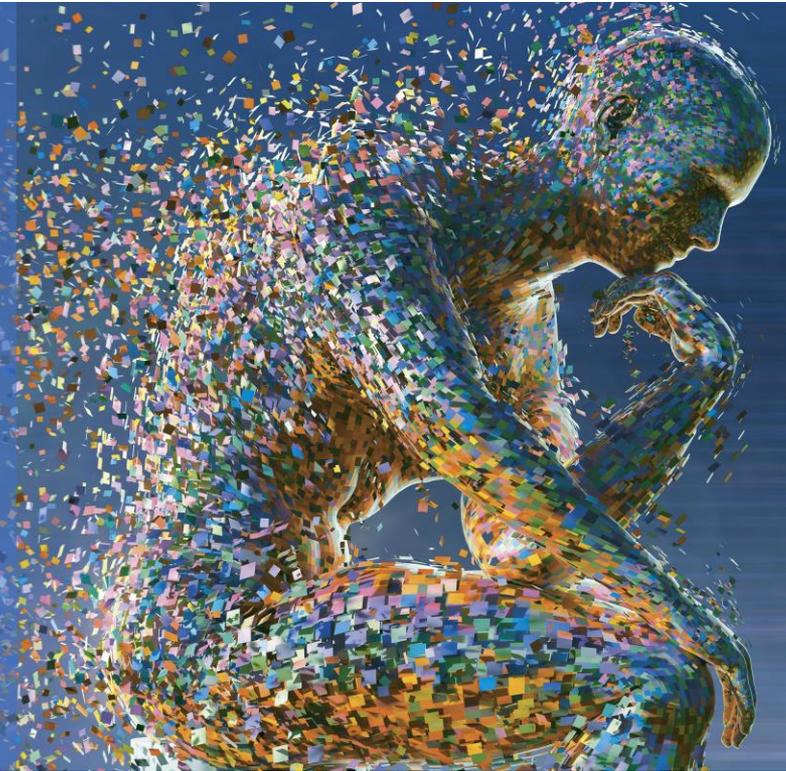


CONTRIBUTIONS
À LA GESTION
DES RISQUES
CLIMATIQUES
EN ASSURANCE

Etienne RAYNAL

Sous la direction de Diana DOROBANTU,
Stéphane LOISEL, Yahia SALHI





Contributions de la thèse

1. « Une analyse ERM des stress tests climatiques basés sur des scénarios en assurance », Raynal and Loisel, Revue Banque (accepté sous réserve de modifications mineures)
2. “*Risk averse asset allocation in a context of climate change with reinforcement learning and hidden markov models*”, Raynal and Loisel, *Annals of Finance* (soumis).
3. “*Mortality modelling for short term climate stress test in France : impact of extreme heat*”, Raynal and Loisel, *Annals of Actuarial Science* (soumis).



Contributions de la thèse

1. « Une analyse ERM des stress tests climatiques basés sur des scénarios en assurance », Raynal and Loisel, Revue Banque (accepté sous réserve de modifications mineures)
2. “*Risk averse asset allocation in a context of climate change with reinforcement learning and hidden markov models*”, Raynal and Loisel, *Annals of Finance* (soumis).
3. “*Mortality modelling for short term climate stress test in France : impact of extreme heat*”, Raynal and Loisel, *Annals of Actuarial Science* (soumis).



Introduction

Stress test climatique 2023 de l'ACPR : choc pour la mortalité, calibré à partir des données de 2022.

Crise climatique : aggravation rapide des risques, nécessité d'une vision prospective.

Objectif de l'étude :

Proposer une méthodologie reproductible, basée sur des données *open-source*, pour construire un choc de mortalité dans le cadre d'un stress test climatique court terme qui intègre le risque canicule.

Périmètre de l'étude :

- France hexagonale
- Janvier 2010 à décembre 2019
- Période temporelle de 5 jours
- Groupes d'âges : 5 ans d'intervalle de 40 à 99 ans



Clusters géographiques



Données démographiques



Données de localisation



Données de pollution de l'air

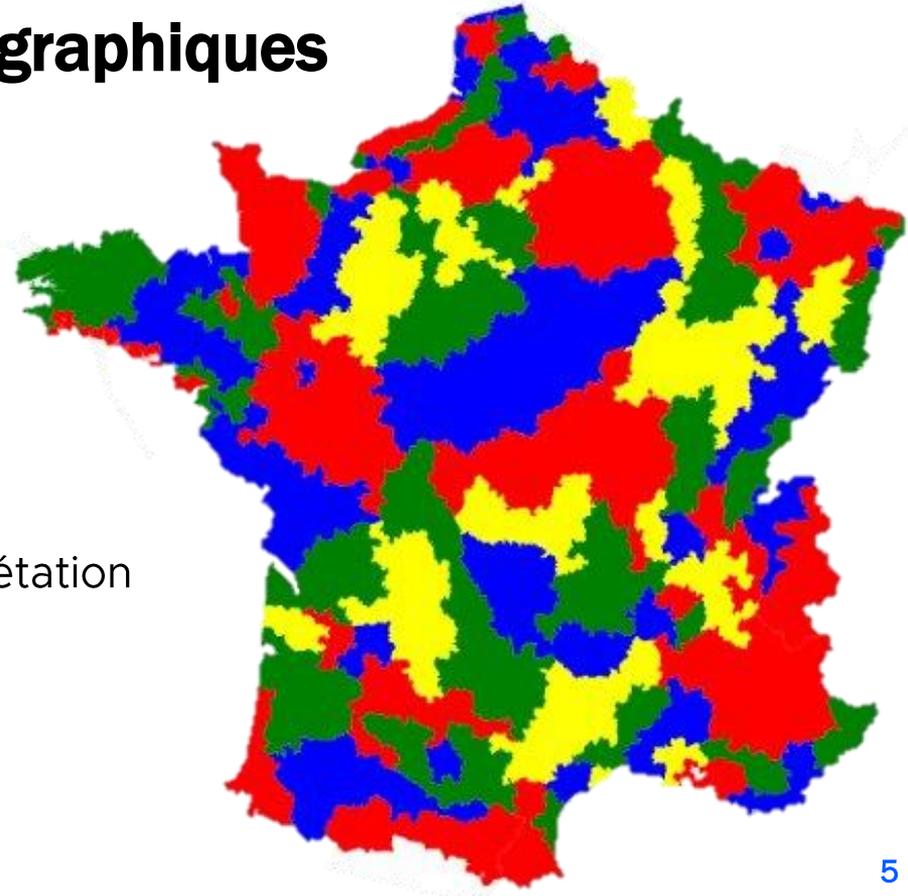


Données sur l'usage des sols et la végétation



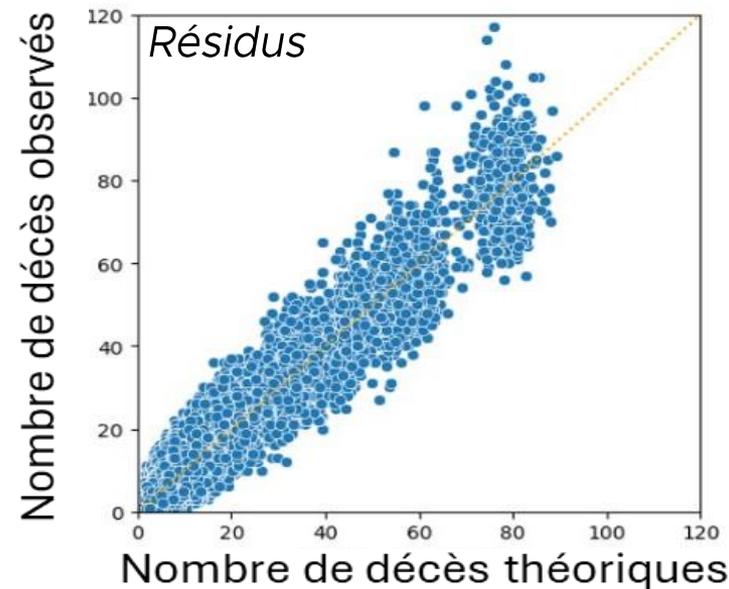
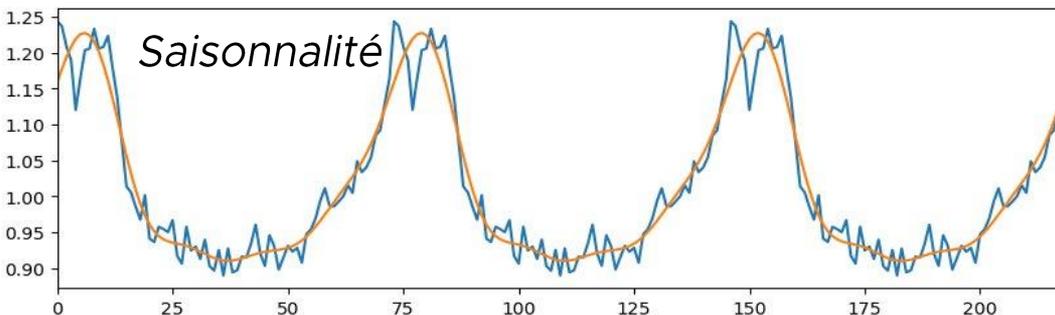
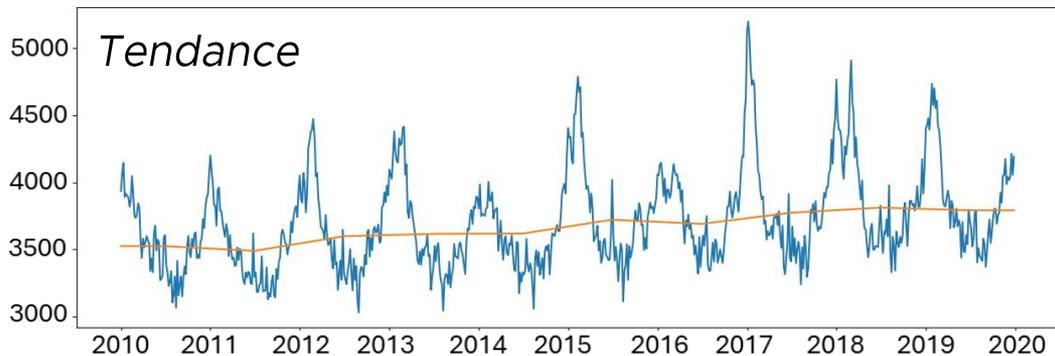
Données sur le type de climat

34 caractéristiques au total





Modélisation mortalité

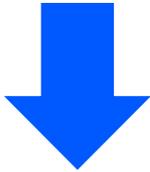


Objectif : modéliser les résidus en fonction des conditions météo



Modélisation du lien « météo – surmortalité »

$$D_{x,t,p}^{(r)} \sim \text{Poisson} \left(\hat{b}_{x,t,p}^{(r)} + f \left(W_{t,p}^{(r)} \right) \right)$$



$$\log(\mu) = X\beta + \log(\text{offset})$$

	Train Set		Test set	
	MSE	PLL	MSE	PLL
Offset	4.243	-563118	4.268	-140715
GLM Poisson	4.169	-561982	4.199	-140442
XGBoost	3.987	-559313	4.152	-140285
CatBoost	3.891	-560324	4.212	-141086



Simulation d'un été extrêmement chaud

Simulation d'un été particulièrement chaud

- Méthode 1 : Sélection d'un été chaud parmi un ensemble de projections climatique
- Méthode 2 : Réévaluation de la température maximale grâce à la théorie des valeurs extrêmes adaptée aux températures extrêmes (canicules plus intenses)
- Méthode 3 : Simulation d'un été chaud (canicules plus fréquentes)

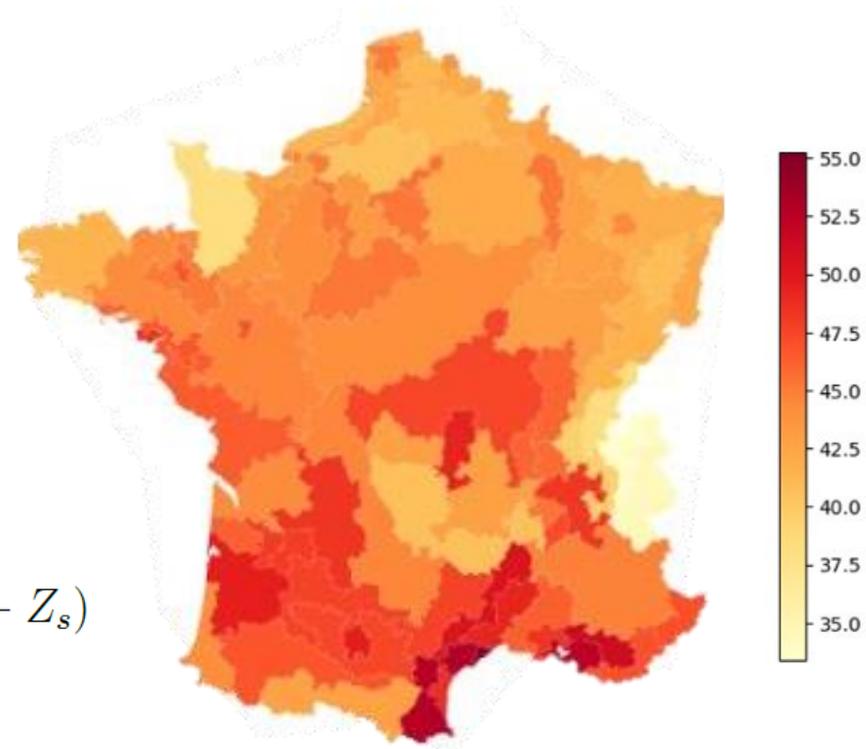


Simulation d'un été extrêmement chaud – Méthode 2

La théorie des valeurs extrêmes n'est pas adaptée pour modéliser les températures maximales.

L'article (Noyelle et al. (2024)) propose d'estimer les paramètres de la GEV à partir de contraintes physiques.

$$T_{s,max} = T_{500} + \frac{L_v}{c_p}(Q_{sat}(T_{500}) - Q_s) + \frac{g}{c_p}(Z_{500} - Z_s)$$



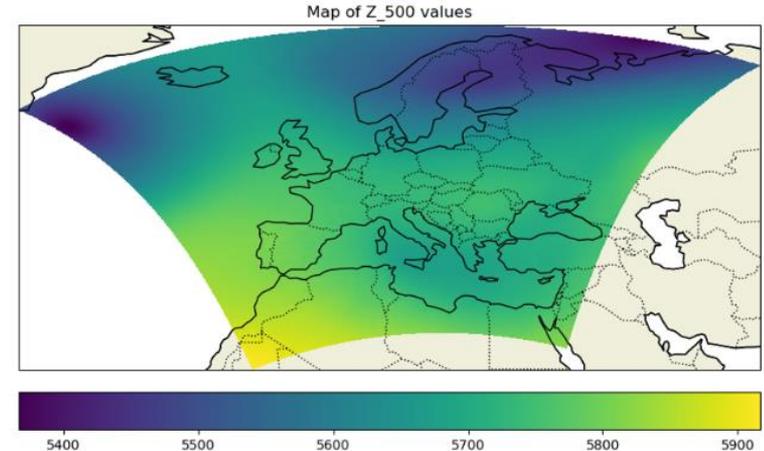


Simulation d'un été extrêmement chaud – Méthode 3

Utilisation d'un générateur de trajectoires climatiques selon la méthode proposée par (Yiou and Jézéquel (2020)).

Chaîne de Markov de la température, avec des états latents de la circulation atmosphérique.

Monte-Carlo particulière : l'échantillonnage préférentiel.



Main Loop:

```
for  $number\_of\_day \leftarrow 1$  in  $T$  do
  Select the analogues : the  $K$  closest  $Z_{500}^{t,m}$  in  $\mathcal{Z}$  based on euclidean distance
  Rank the  $K$  analogs by temperature  $T^{t,m}$  in decreasing order
  Sample the next day using weights
  Save data and update current day
end
```



Simulation d'un été extrêmement chaud - Résultats

Moyenne de T_{mean}
Max de T_{mean}

Données historiques (2018)



Méthode 1



Méthode 2



Méthode 3

Données historiques (2019)



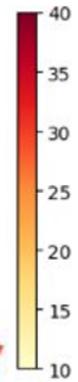
Méthode 1



Méthode 2



Méthode 3





Calcul du choc de mortalité

	Stress Test ACPR	Méthode 1	Méthode 3	Méthode 2 + 3
Choc de mortalité sur le périmètre de l'étude		4,83%	11,27%	11,33%
Choc annualisé sur l'ensemble de la population	0,43%	1,40%	3,26%	3,28%

Le choc que nous calculons est 6 à 7 fois plus forts que le choc de l'ACPR



Merci pour votre écoute !