



Institut des  
**ACTUAIRES**

addactis  
THE RISKTECH FOR INSURANCE

JOURNÉES  
**IARD**  
**2024** BY 

# Enjeux de modélisation sur le péril tempête

Mathilde Rochelle, Bilal Sadou, Médéric Besarabov, Mulah Moriah

## Enjeux de modélisation sur les périls tempête

*Introduction : Péril tempêtes - les enjeux*

- 1. Construction d'un score de risque Tempête au bâtiment**
- 2. Données climatiques projetées**
- 3. Projection du risque**

*Conclusion - Questions*

# Introduction



## Contexte et enjeux des travaux



### Le risque Tempêtes

Sa charge pourrait **augmenter de 46%** en 2050 par rapport à 1989-2019

*France assureur*

Dégâts **non couverts** par le régime des catastrophes naturelles.

Prise en charge par la **garantie TGN**

### Des évènements rares mais destructeurs

**1999** Lothar et Martin – Près de **14 milliards** d'euros

**2009** Klaus & Quinten – **1,9 milliards** d'euros

**2010** Xynthia – **2,5 milliards** d'euros

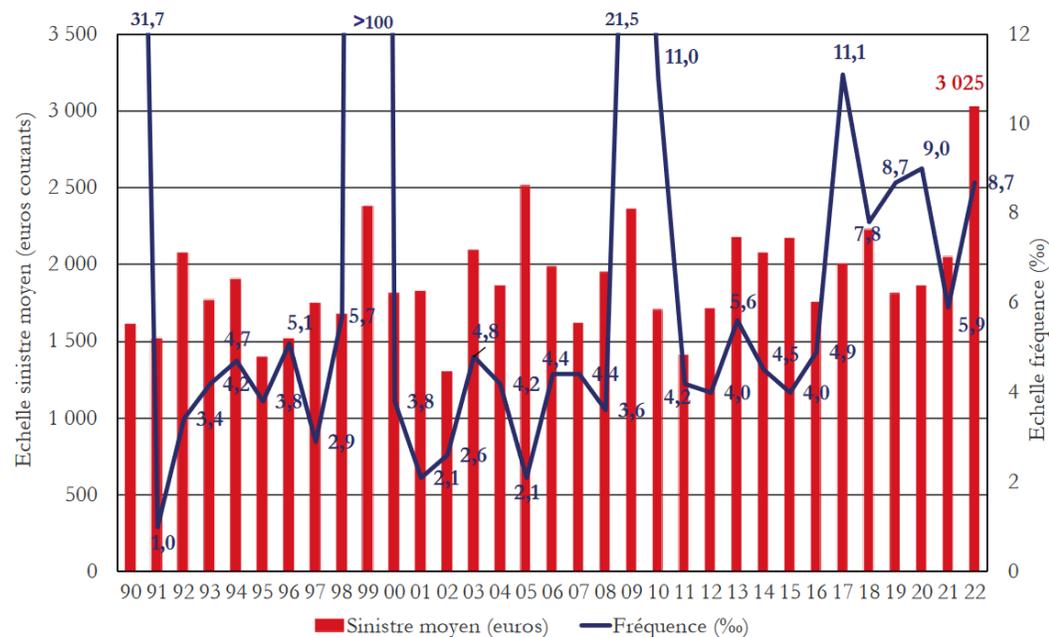
**2023** Ciaran et Domingos – **1,3 milliards** d'euros



### Un sujet d'intérêt pour les assureurs

En cas de tempête, une grande partie du territoire peut être touché

Péril le plus coûteux pour les assureurs sur les 30 dernières années

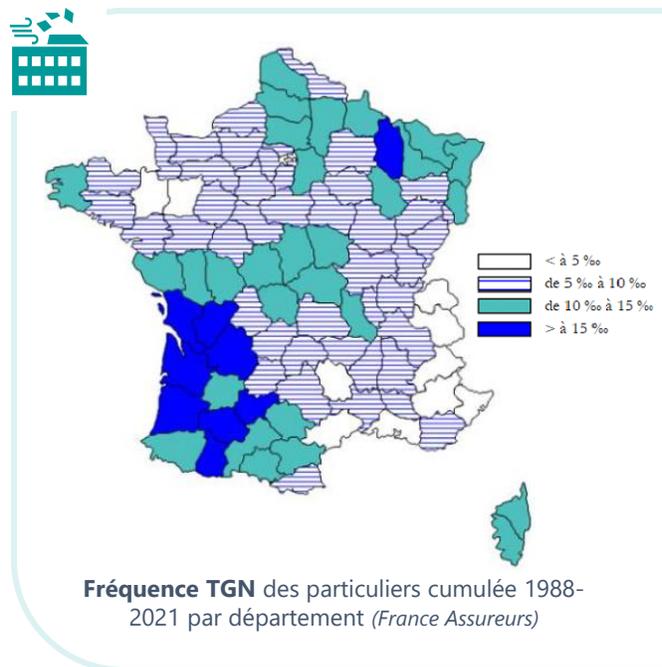
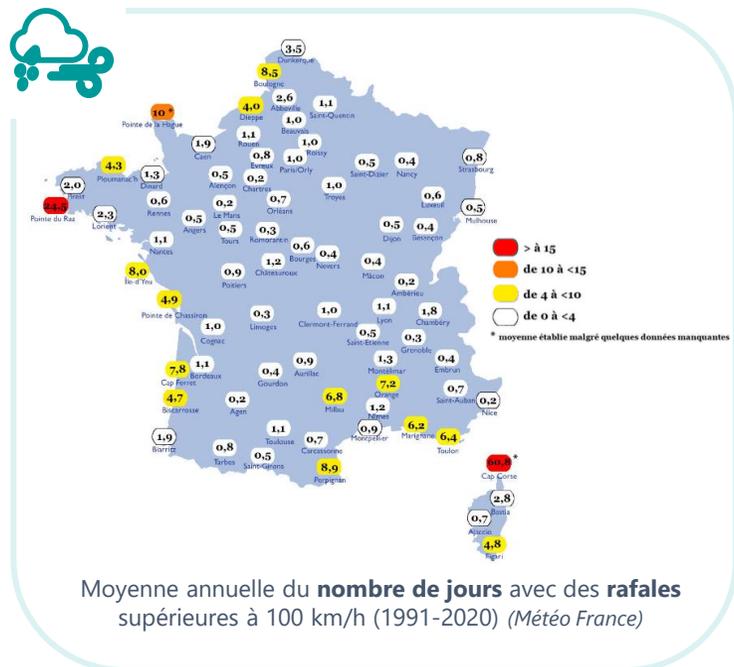


L'assurance des événements naturels en 2022, France Assureurs

# Introduction



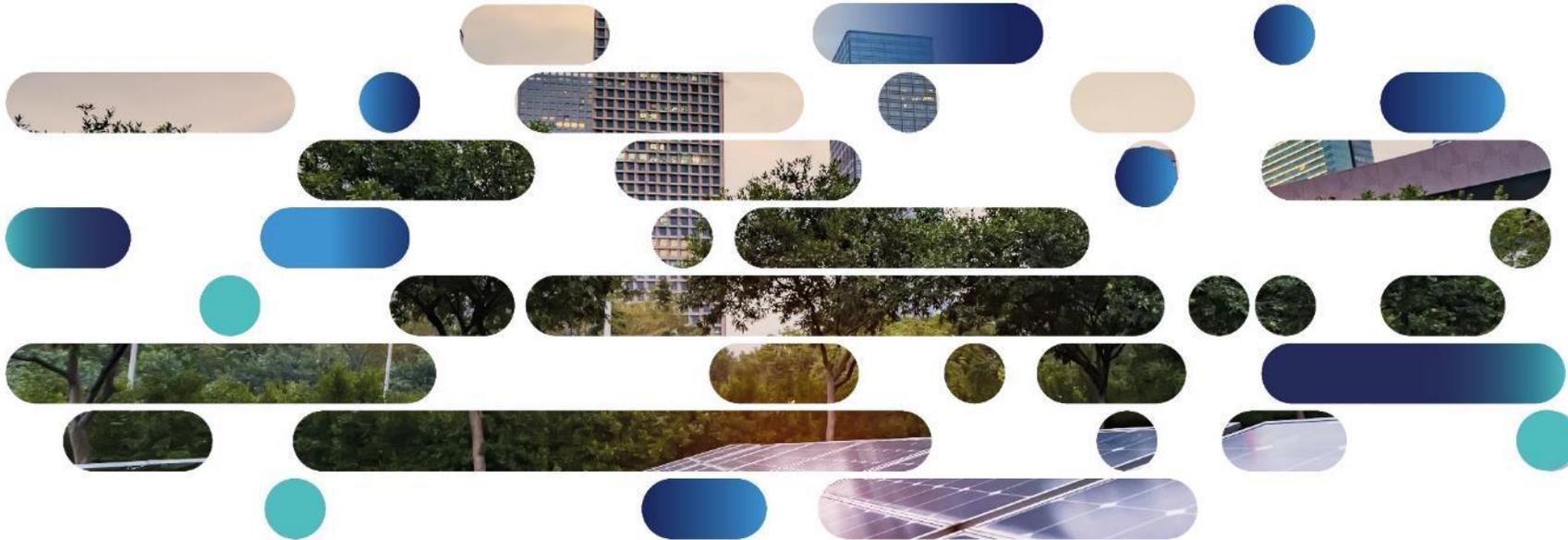
## Un territoire inégalement concerné



Dégâts constatés sur une maison du Finistère après le passage de la tempête Aurore (2021) (Agence France-Presse)

- Pour des **mêmes intensités**, tous les bâtiments ne subissent **pas les mêmes dégâts**
- Des données complémentaires sur le bâtiment peuvent alors permettre d'améliorer la connaissance du risque associé





1

Modélisation

## Construction d'un score de risque au bâtiment

# Modélisation



Éléments à disposition

## Éléments à disposition



Données de sinistralité



Données météorologiques



Données complémentaires  
au bâtiment

Les **logements individuels** représentent  
**90%** des dommages tempêtes

*Livre Blanc Covéa 2023*

Le portefeuille contient des images  
de plusieurs millions de  
contrats de **2013 à 2020**



Portefeuille Garantie **TGN**  
Sous-garantie **Tempêtes**



Périmètre d'étude :  
**Logement individuel**



**Open data** : Données de réanalyse **CERRA**



**Maille** : Points de grille de résolution 5,5 km



**Résolution temporelle** : Données horaires  
disponibles entre 1985 et 2021



**Variables récupérées** : rafales de vent  
(vitesse maximale) et cumul de précipitations



**Géocodage** des adresses  
(solution SHoP)



Attribution des **bâtiments**



Récupération des **attributs**  
pour chacun d'eux

# Modélisation



Éléments à disposition



## Solution digitale « SHoP » Smart Home Pricing®

**Outil digital** qui exploite ces données en permettant à l'assureur de mieux **connaître ses biens immobiliers** et de faciliter le **parcours de souscription**, la **segmentation des risques**, la maîtrise de la sinistralité ou la prévention



## Géocodage des biens assurés

Des données **au bâtiment** à partir de l'adresse, et des **indices de confiance** des données et du rattachement au bien géolocalisé



## Partenariat Addactis x NamR

Exploitation de données au **bâtiment**  
**Création d'attributs** et de **scores de risque**



By addactis & namR



# Modélisation



## Description de l'approche

### Problématique



La **faible profondeur de l'historique** de données de sinistralité ne permet pas *a priori* d'observer des tempêtes à forte intensité qui surviennent relativement rarement

### Calibration d'un modèle

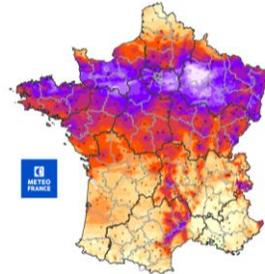
$$\text{Score} = \sum_i \text{freq}(\text{tempêtes}_{\text{intensité}_i}) \times \mathbb{E}(\text{nb}_{\text{sinistres}} | \text{tempêtes}_{\text{intensité}_i}) \times \mathbb{E}(\text{coût}_{\text{sinistres}} | \text{tempêtes}_{\text{intensité}_i})$$

- 1 Modélisation du nombre et du coût moyen de sinistres conditionnels à la survenance d'une tempête d'intensité  $i$**   
*BDD « Météo », BDD « Sinistralité » & BDD « NamR »*
- 2 Définition de seuils d'intensité de tempêtes**  
*BDD « Météo » & BDD « Sinistralité »*
- 3 Calcul d'une fréquence annuelle de tempêtes d'intensité  $i$  en utilisant un historique plus profond**  
*BDD « Météo »*

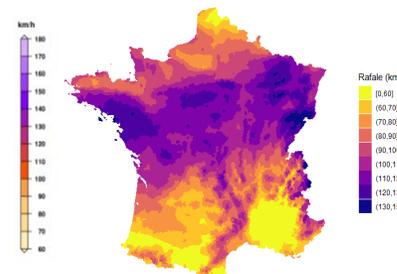
# Construction de la base et modélisation



Démarche suivie



METEO FRANCE



CERRA

Rafales de vent pour la tempête Lothar

## Construction de la base de travail



Constitution d'un **historique de Tempêtes**



**Découpage temporel** de la base de sinistralité en fonction des **dates de survenance** des tempêtes



Observation du **nombre et coût de sinistres** constatés pour chaque tempête identifiée



Récupération de **données météorologiques** caractéristiques des tempêtes

## Modélisation - Nombre de sinistres & Coût moyen



Modèles **GLM**

Exploitation de **3 types de variables explicatives** :

- ✓ Météorologiques (rafale, précipitations)
- ✓ En provenance du formulaire de souscription (« assureur »)
- ✓ Caractéristique du logement assuré et de son environnement (SHoP)

Modèles créés



**Modèle « assureur »**

- Informations de souscription
- Zonier assureur



**Modèle « au bâtiment »**

- Informations de souscription
- Données météorologiques
- Données caractéristiques du bâtiment et de son environnement

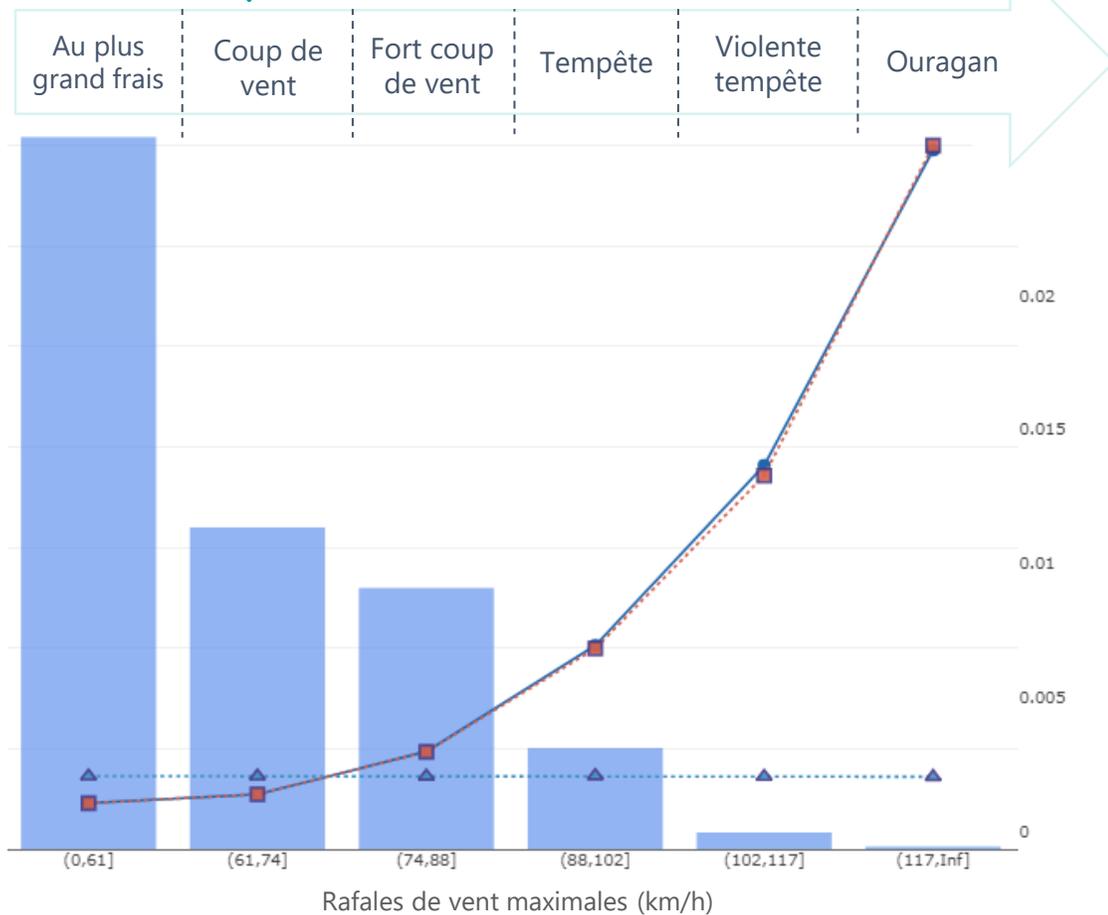
# Modéliser la sinistralité



Nombre de sinistres : variables météorologiques



## Vent - Echelle de Beaufort

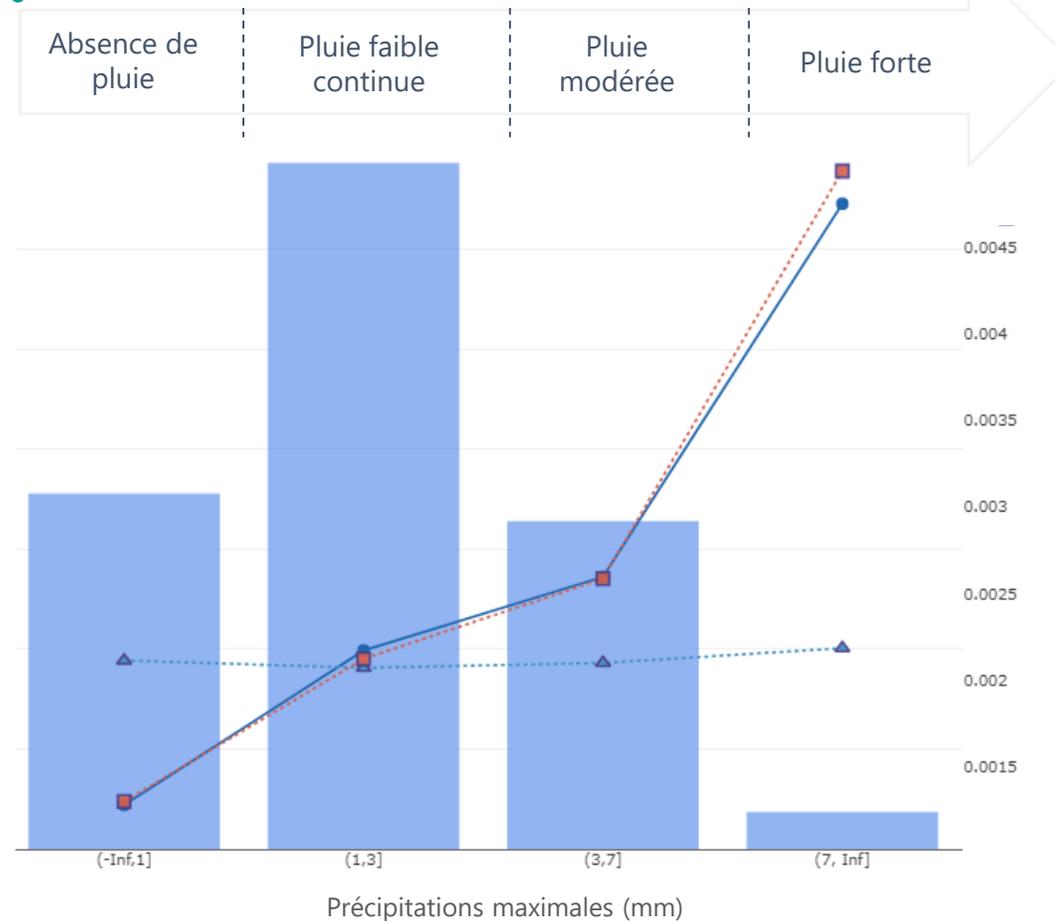


■ Exposition ● Nombre de sinistres observé ▲ Modèle « assureur » ■ Modèle « au bâtiment »

21 mars 2024



## Intensité de précipitations - Equivalences Météo France



■ Exposition ● Nombre de sinistres observé ▲ Modèle « assureur » ■ Modèle « au bâtiment »

S'adapter dans un contexte inflationniste et à risques croissants

10

# Modéliser la sinistralité



Nombre de sinistres : écart relatif à une énergie de vent quasi-ordinaire

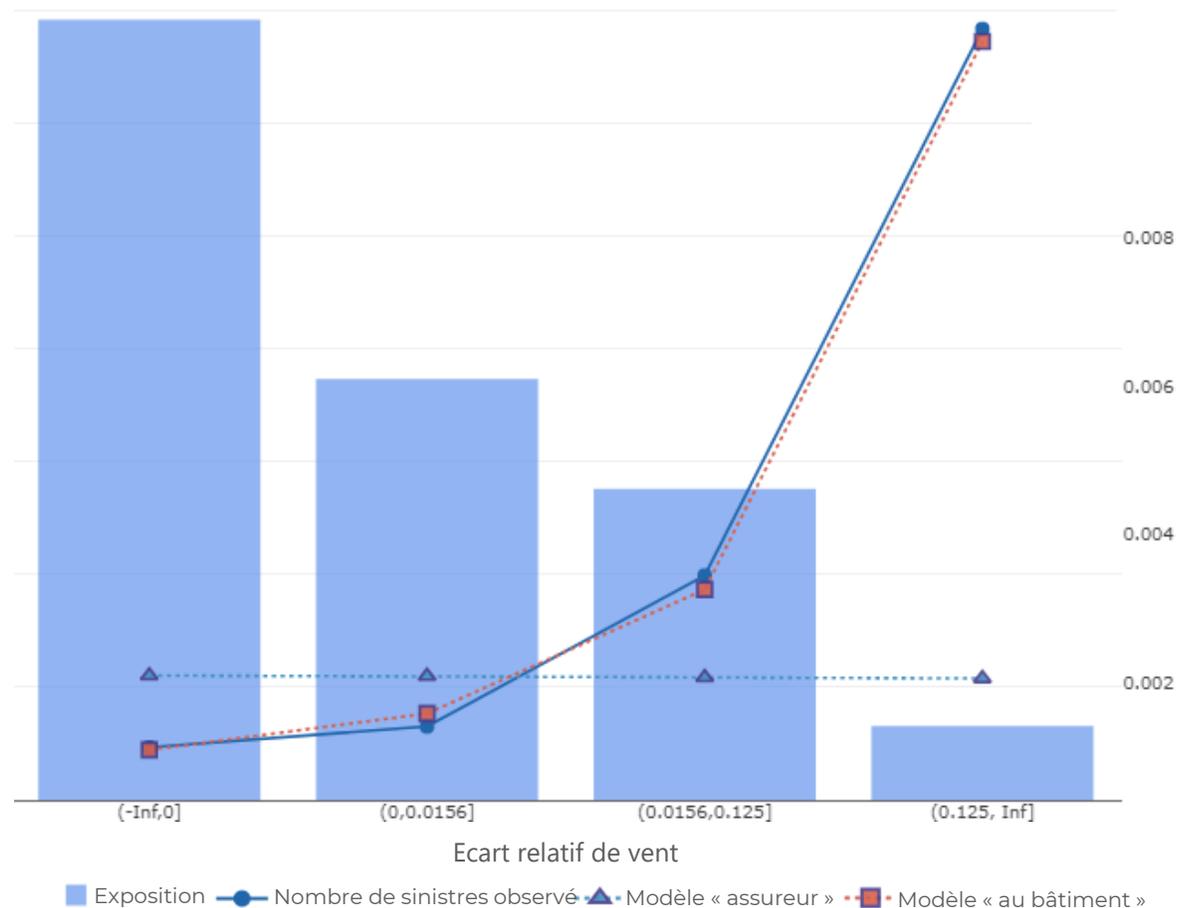
**Vitesse maximale** observée sur la plage associée à la tempête

$$ecart\_vent_i = \left( \frac{rafale_i}{quantile\_99_i} - 1 \right)^3$$

**Quantile historique** des rafales de vent relevées sur la commune ces 36 dernières années (99%)



Permet entre autres de différencier l'effet du vent pour les zones coutumières ou non de **forts épisodes venteux**



# Modéliser la sinistralité



Nombre de sinistres : caractéristiques de la toiture

**Modalités variable *matériau de toit* :**

Matériaux sensibles



Tôle



Tuile



Verre

Matériaux résistants



Béton armé



Ardoise



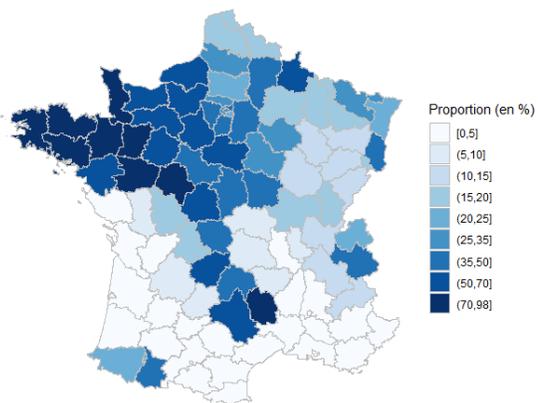
Asphalte



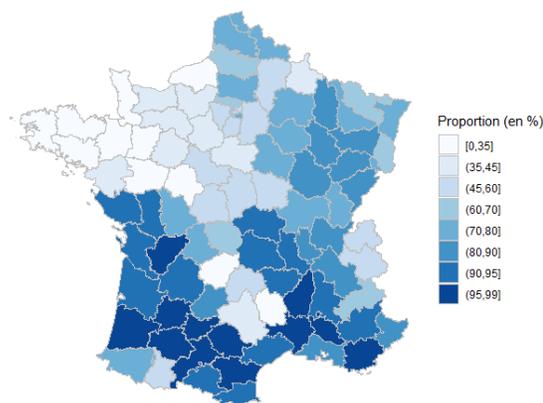
Amiante



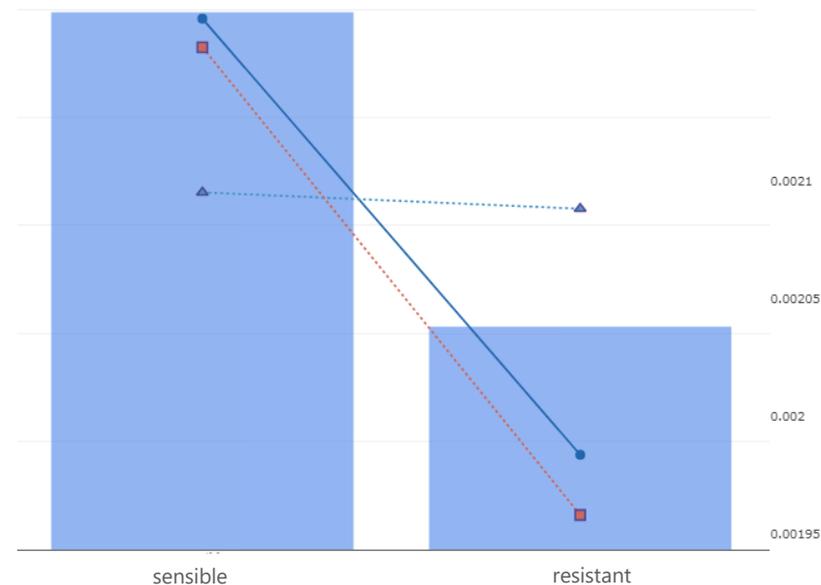
Toit végétalisé



Proportion de toits en ardoise par département



Proportion de toits en tuile par département



Matériau de la toiture

■ Exposition ● Nombre de sinistres observé ▲ Modèle « assureur » ■ Modèle « au bâtiment »

# Modéliser la sinistralité



Nombre de sinistres : rugosité du terrain

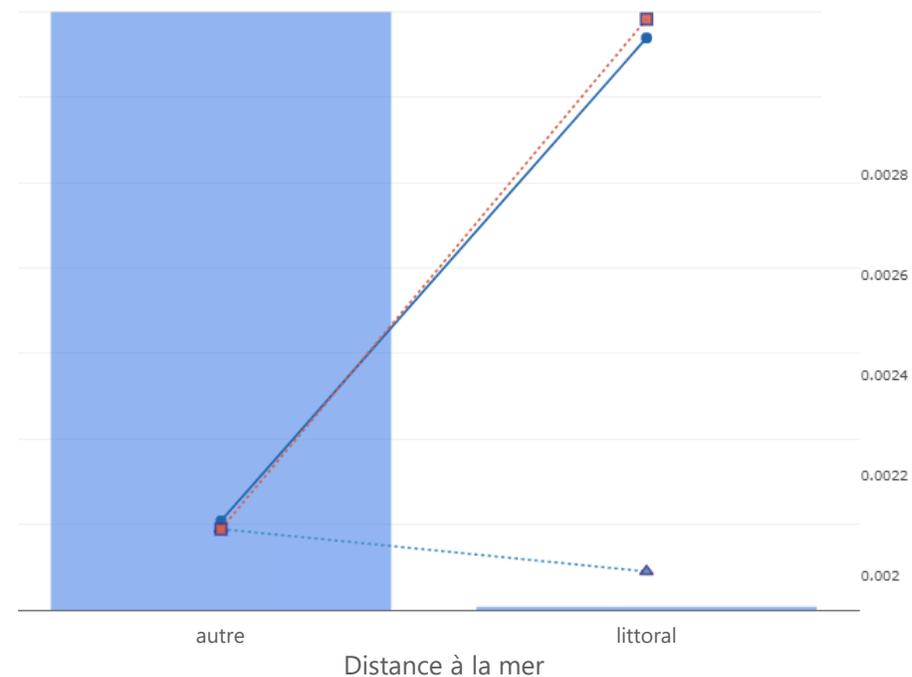
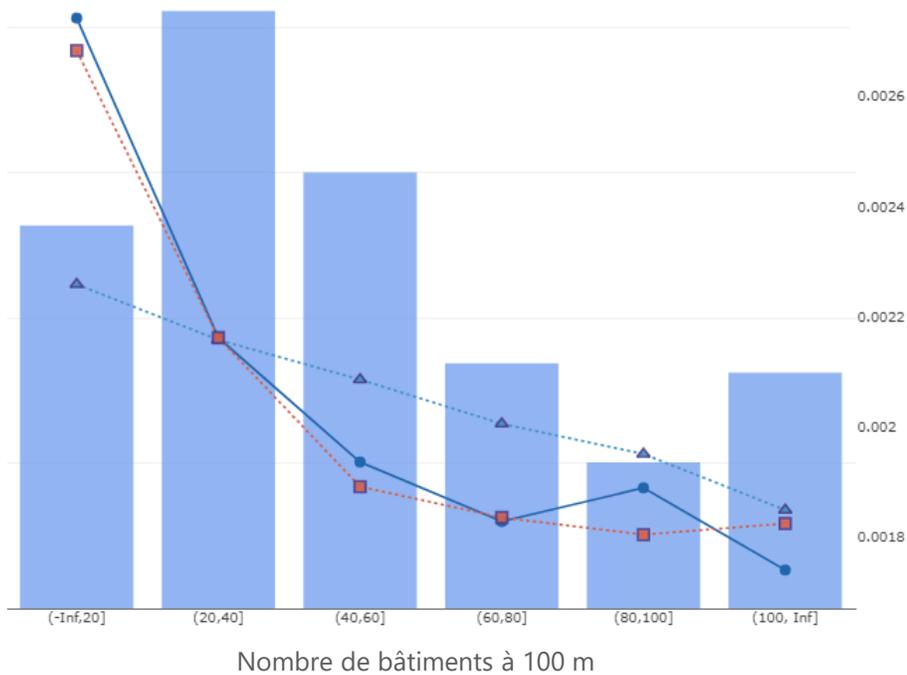


La **présence d'obstacles** perturbe l'écoulement des masses d'air et implique des **vitesse de vent plus faibles**



**Rugosité de terrain faible** en zone côtière et **forte** en zone urbaine

Au sein d'une **même commune**, différencier les bâtiments qui se situent sur le **littoral** des autres



■ Exposition ● Nombre de sinistres observé ▲ Modèle « assureur » ■ Modèle « au bâtiment »

■ Exposition ● Nombre de sinistres observé ▲ Modèle « assureur » ■ Modèle « au bâtiment »

# Modéliser la sinistralité



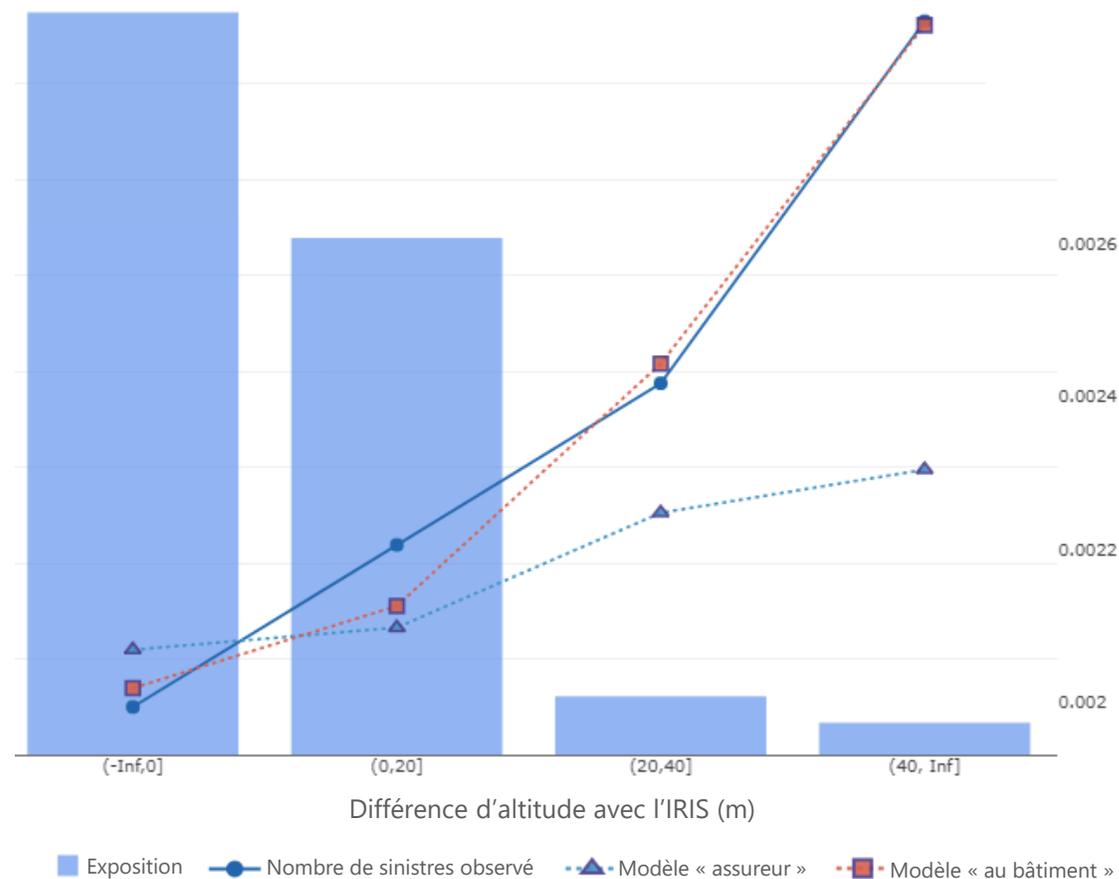
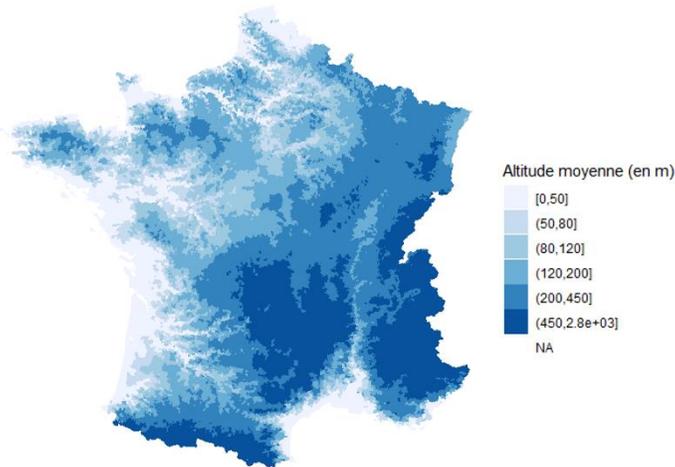
Nombre de sinistres : exploitation de l'altitude du bâtiment



**Différence** entre l'altitude du **bâtiment** et l'altitude moyenne de l'**IRIS**



Sur les **collines** isolées et les escarpements, la vitesse du vent varie en fonction de la pente (*orographie*)



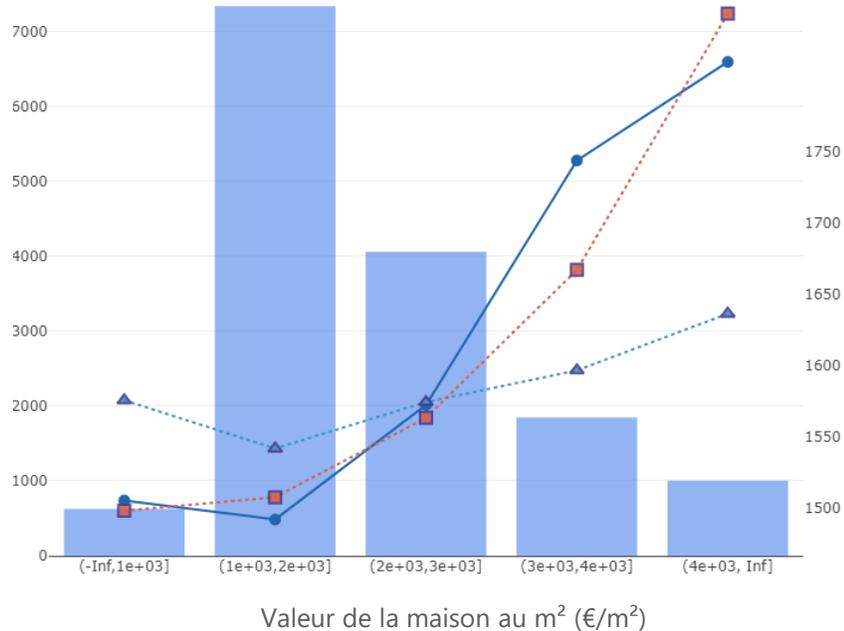
# Modéliser la sinistralité



Coût moyen



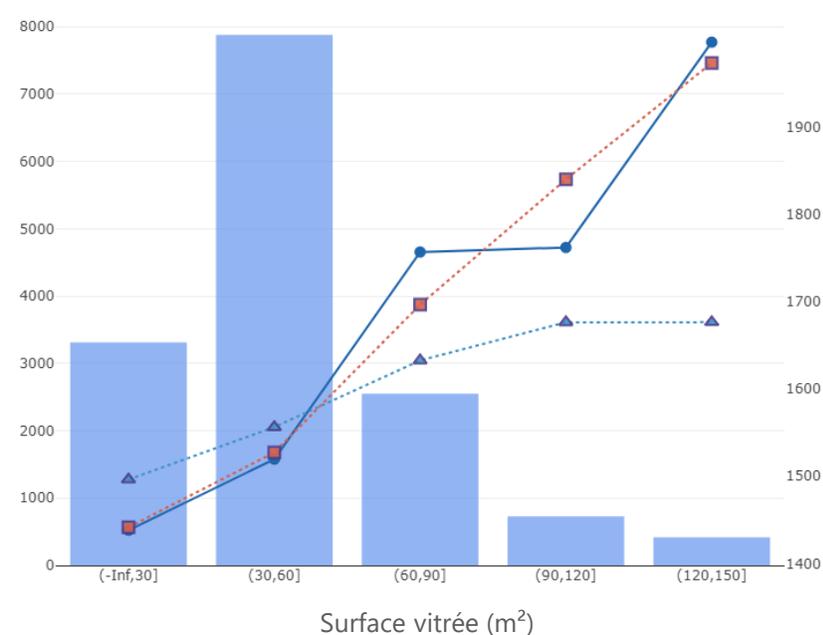
Nous observons des **coûts** de sinistres **plus élevés sur les logements individuels les plus chers** au mètre carré



■ Exposition —●— Coût moyen observé —▲— Modèle « assureur » —■— Modèle « au bâtiment »



Pour des logements de même taille, celui disposant d'une **surface vitrée plus importante** générera **des coûts plus importants**



■ Exposition —●— Coût moyen observé —▲— Modèle « assureur » —■— Modèle « au bâtiment »

# Un modèle prédictif, compatible avec une projection du risque



Fréquence annuelle de tempêtes

$Seuil_{Vent_0}$	$Seuil_{Vent_1}$	$Seuil_{Vent_2}$	$Seuil_{Vent_3}$	$Seuil_{Vent_4}$	$Seuil_{Vent_5}$	$Seuil_{Vent_6}$
0	61	74	88	102	117	$+\infty$

Discrétisation retenue lors de la modélisation

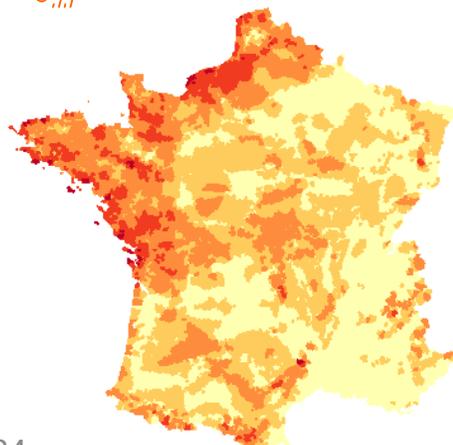
$Seuil_{Précip_0}$	$Seuil_{Précip_1}$	$Seuil_{Précip_2}$	$Seuil_{Précip_3}$	$Seuil_{Précip_4}$
0	1	3	7	$+\infty$

Scénarios résultants :

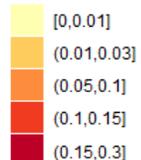
Précip Vent	$]-\infty; 1]$	$]1; 3]$	$]3; 7]$	$]7; +\infty]$
$]-\infty; 61]$	1	2	3	4
$]61; 74]$	5	6	7	8
$]74; 88]$	9	10	11	12
$]88; 102]$	13	14	15	16
$]102; 117]$	17	18	19	20
$]117; +\infty]$	21	22	23	24



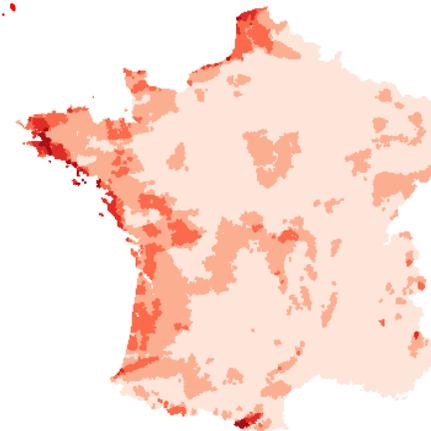
Scénario n°18 - Intensité forte



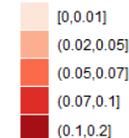
Fréquence annuelle d'aléa



Scénario n°22 - Intensité extrême



Fréquence annuelle d'aléa



# Obtention et validation du score de risque tempêtes



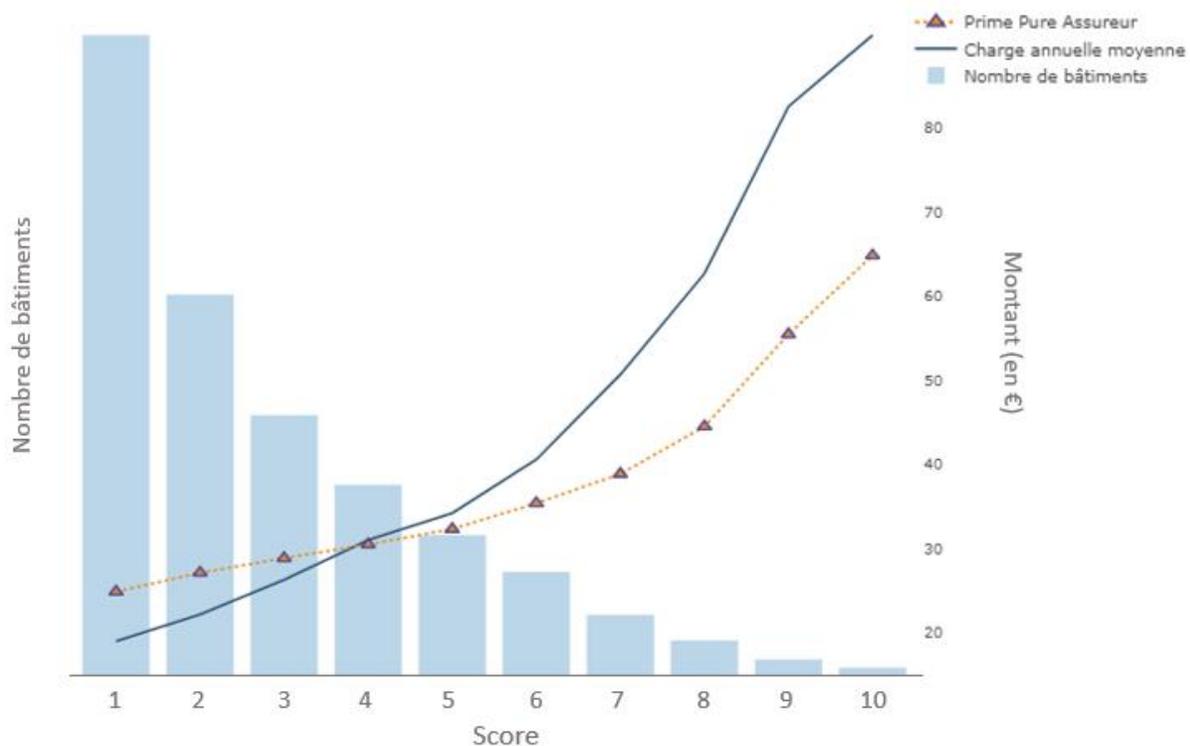
Résultats sur la base utilisée pour la construction du score



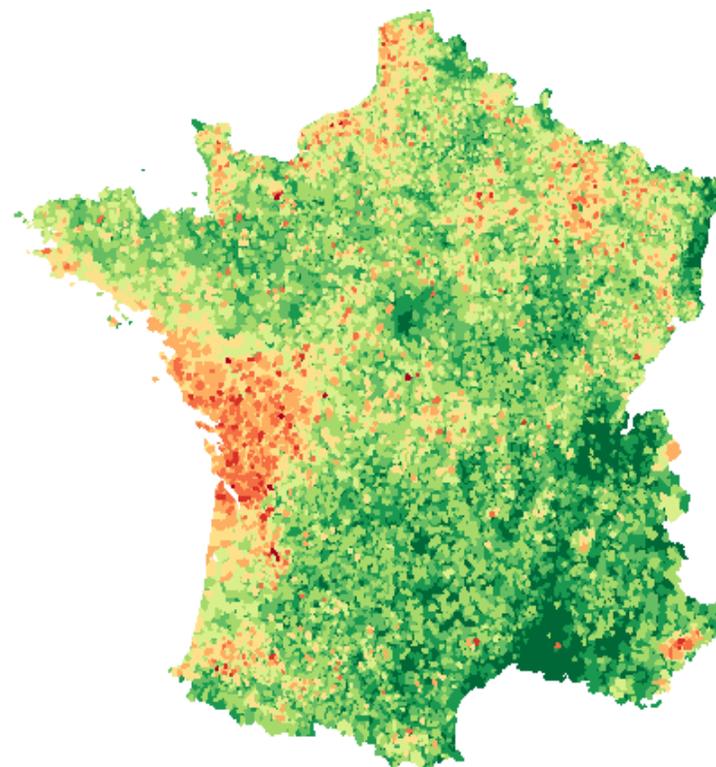
Score discrétisé pour implémentation dans l'interface



Charge annuelle croissante selon la discrétisation définie



Charge annuelle et Prime Pure « Assureur » moyennes selon le score de risque Tempêtes

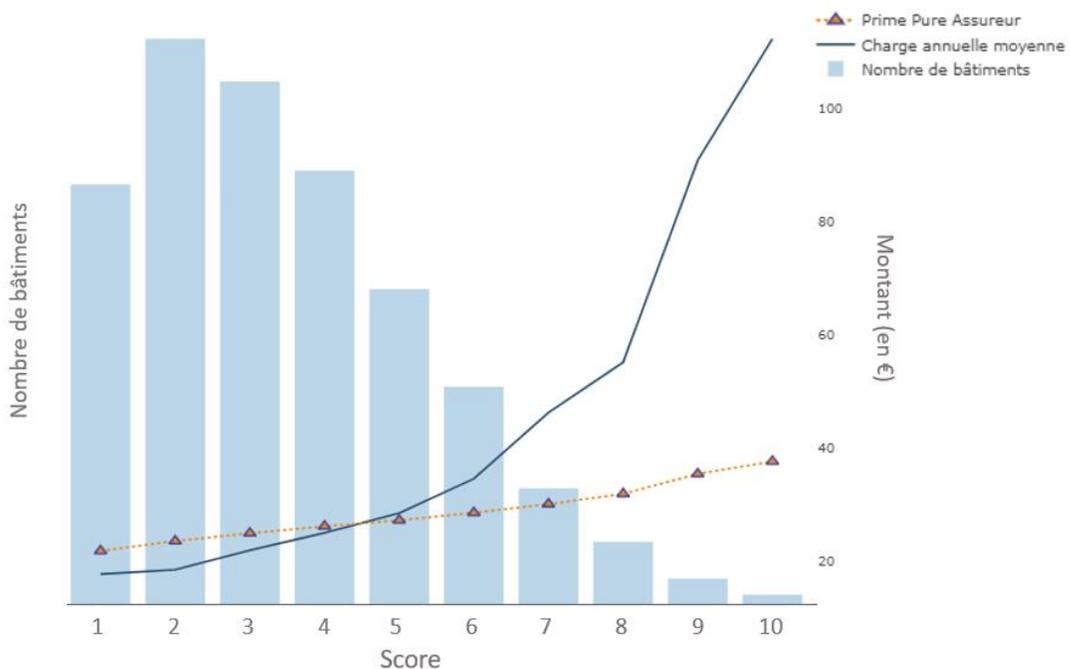


Score moyen des bâtiments par commune

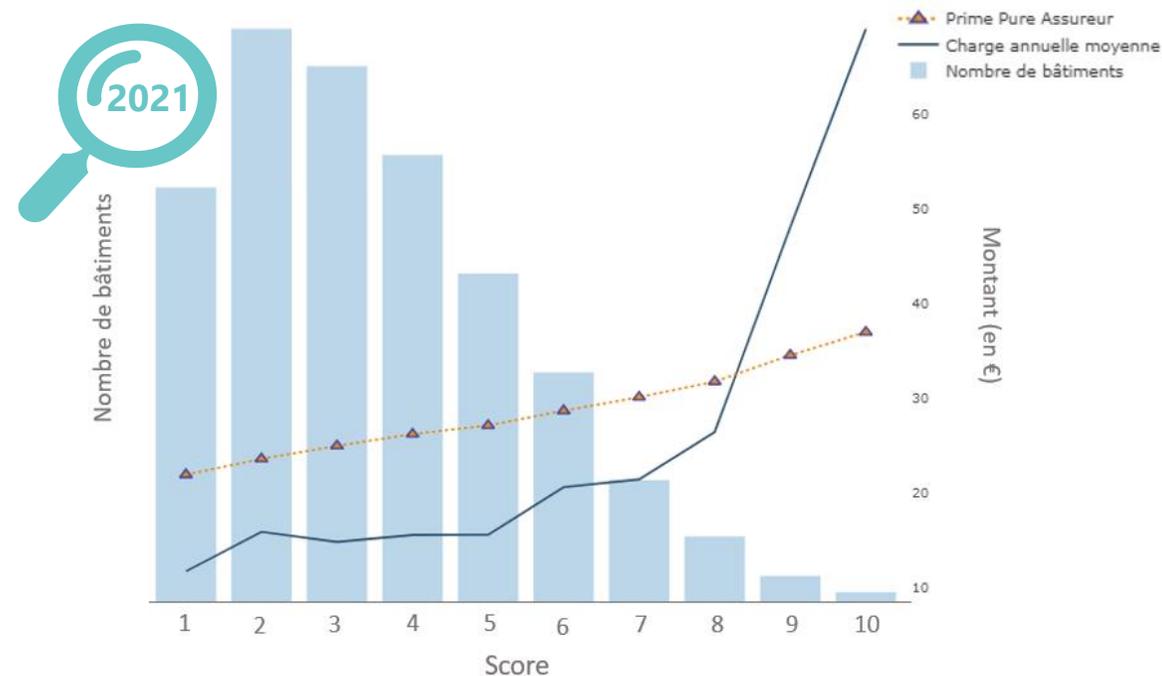
# Obtention et validation du score de risque tempêtes



Observation du score sur une autre base pour validation (2015-2021)



Charge annuelle et Prime Pure « Assureur » moyennes selon le score de risque Tempêtes (base validation 2015-2021)



Charge annuelle et Prime Pure « Assureur » moyennes selon le score de risque Tempêtes (base validation 2021)



**Charge annuelle croissante** selon la discrétisation définie



**Déplacement vers la droite** des valeurs de score



**L'année 2021** n'a été pas utilisée dans les différents modèles



**Tendance croissante** de la charge annuelle moyenne mais...

# Validation, limites et perspectives



## Limites et pistes d'amélioration des travaux

### Données météorologiques

**Utilisation de données de réanalyse** : Certaines observations extrêmes peuvent être corrigées à tort

**Lissage des données à la commune** : Il moyennise encore davantage les données de réanalyse

**Historique des tempêtes** : certains événements isolés pourraient être absents de l'historique constitué

### Données au bâtiment

Limites liées à des potentielles erreurs dans la donnée récupérée (géocodage, bâtiment associé, valeur d'attributs...)

Observation du bâtiment dans le passé impossible : les caractéristiques du bâtiment sont parfois données à un moment ultérieur à la période d'exposition

### Modélisation

Utilisation de **GLM** pour respecter une contrainte liée au calcul des scores tempêtes des bâtiments depuis l'interface

Historique de sinistralité et de validation peu profonds



Développement des **modèles de réanalyse**

Utiliser d'**autres méthodes de régionalisation**

Continuer à **compléter cet historique** des tempêtes



Les **erreurs** restent **marginales**

Les attributs considérés **évoluent** généralement **peu dans le temps**

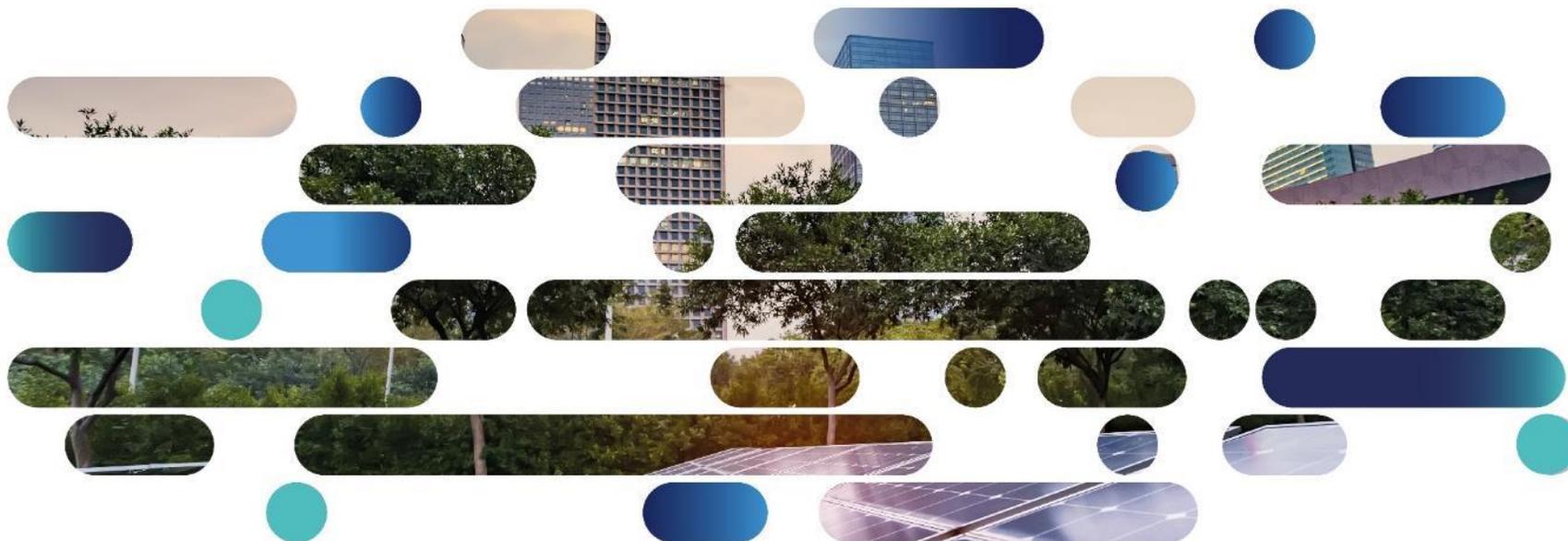
Poursuite de l'**amélioration** et élaboration de **nouvelles variables**



**Évolution de l'interface SHoP**

Les **modèles** pourront être **relancés** à partir d'**autres données**

**Scores de risques projetés**



2

Données  
projetées

## Appréhender l'évolution climatique

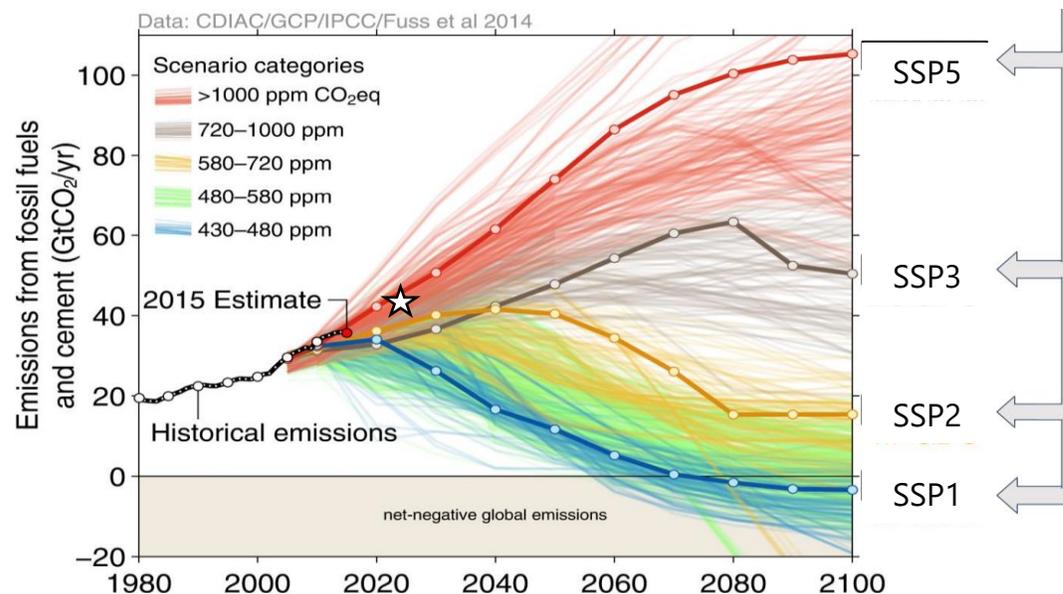
# Données climatiques

## Les projections

### Qu'est-ce que le forçage radiatif ?

Exprimé en  $W/m^2$ , un forçage radiatif est un **changement du bilan radiatif** (différence entre le rayonnement entrant et le rayonnement sortant) **au sommet de la troposphère** (situé entre 10 et 16 km d'altitude), dû à un changement d'un des facteurs d'évolution du climat – comme la concentration des gaz à effet de serre.

- **SSP1**, sustainability, + 2°C.
- **SSP2**, middle of the road, + 2,5°C.
- **SSP3**, regional rivalry, + 4°C.
- **SSP4**, inequality, + 3°C.
- **SSP5**, business as usual, + 5°C.



# Données climatiques

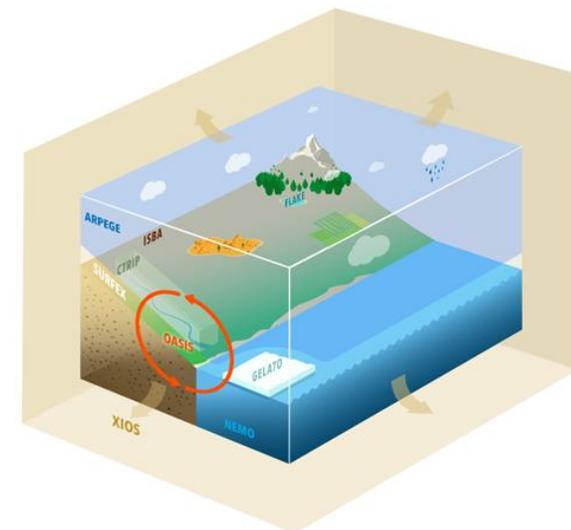
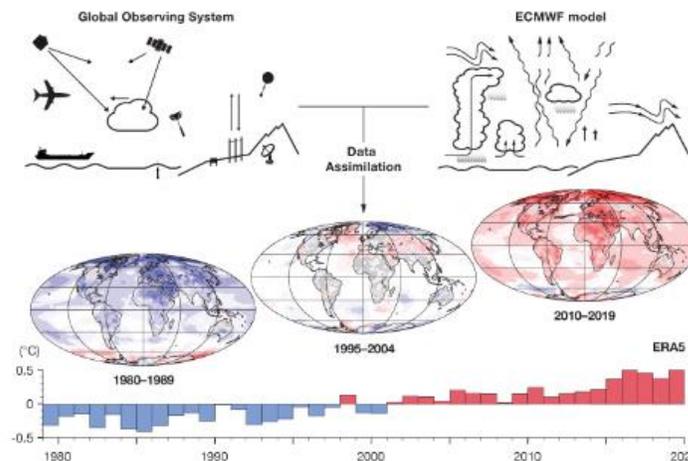
## Les réanalyses météorologiques et climatiques

### Les réanalyses :

- Les **réanalyses** consistent à reprendre l'ensemble des données de **mesures météorologiques** disponibles sur le globe dans le **passé** pour les **interpoler** sur une grille horizontale et verticale à **mailles régulières**.
- Elles permettent d'obtenir une grande quantité de **variables**, souvent à pas de temps **horaire**, sur les 50 dernières années.
- Cette reprise des données passées se fait en **corrigeant** les **biais** des mesures directes (station météorologique) et indirectes (imagerie satellitaire).
- Ces données de réanalyse servent ensuite à être traitées **statistiquement** pour les analyses **climatiques** des **phénomènes passés**.

### Les projections :

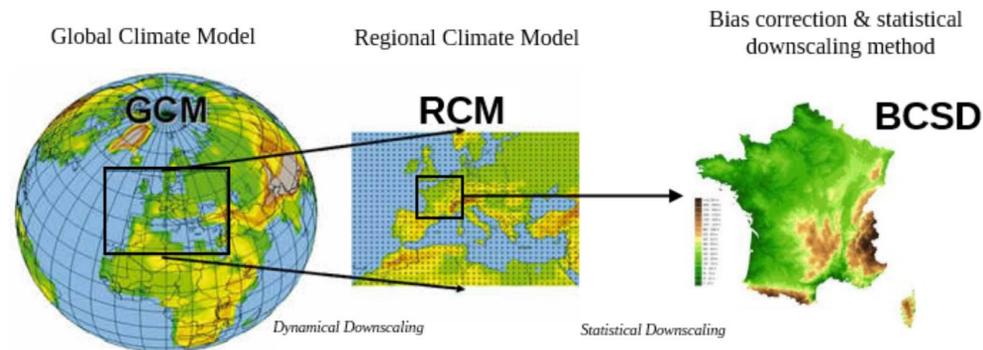
- Les projections climatiques se basent sur des **méta-modèles**. Il s'agit d'un ensemble de **plusieurs sous-modèles** (entre 4 et 9) interagissant entre eux pour permettre d'effectuer des **projections climatiques**.



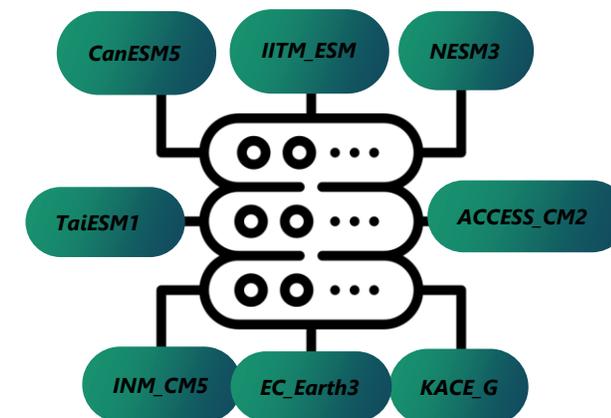
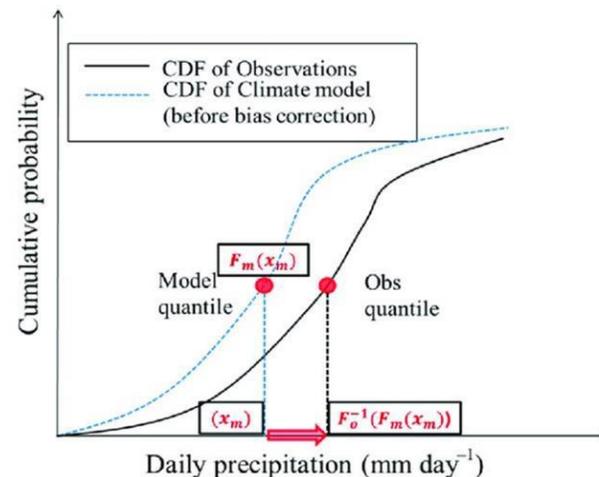
# Données climatiques

## Les réanalyses météorologiques et climatiques

- ✓ **Extraction** des données de réanalyse sur ref : 1985-2014 et futur : 2015-2064
- ✓ **Interpolation** à la résolution 0.25 x 0.25
- ✓ **Vérification** de la cohérence des données
- ✓ **Découpage** des périodes : 2015-2044, 2025-2054 et 2035-2064
- ✓ **Downscaling** et correction de biais
- ✓ **Agrégation** des simulations par modèle
- ✓ **Contrôle** des indicateurs
- ✓ **Agrégation** par scénario et période



Source : Drias, simulations DRIAS-2020



# Les indicateurs projetés : pour la modélisation prospective des risques

Comprendre l'évolution des aléas à une maille fine

Des données météorologiques et climatiques projetées sur 3 horizons jusqu'à 2050, suivant 3 scénarios



## Température

- Température moyenne, min, max
- Nombre de jours et/ou nuits en dessous/dessus de seuils absolus/relatifs



## Ensoleillement

- Nombre d'heure d'ensoleillement
- Irradiation globale moyenne
- Nombre de jour au- delà d'un seuil



## Vent

- Vitesse du vent
- nombre d'heure annuelle par type (tempête, ouragan)
- Nombre de jours avec rafales



## Précipitation

- Quantité et nombre de jours (moyenne, maximale)
- Précipitations intenses, jours secs



## Hydrographie fluviale

- Débit moyen, maximal
- Récurrence des crues, débit et nombre



## Agronomie

- Débit hydrique
- Evapotranspiration
- Indicateur sécheresse SPI, RDI, VDW, SVSW



## Neige

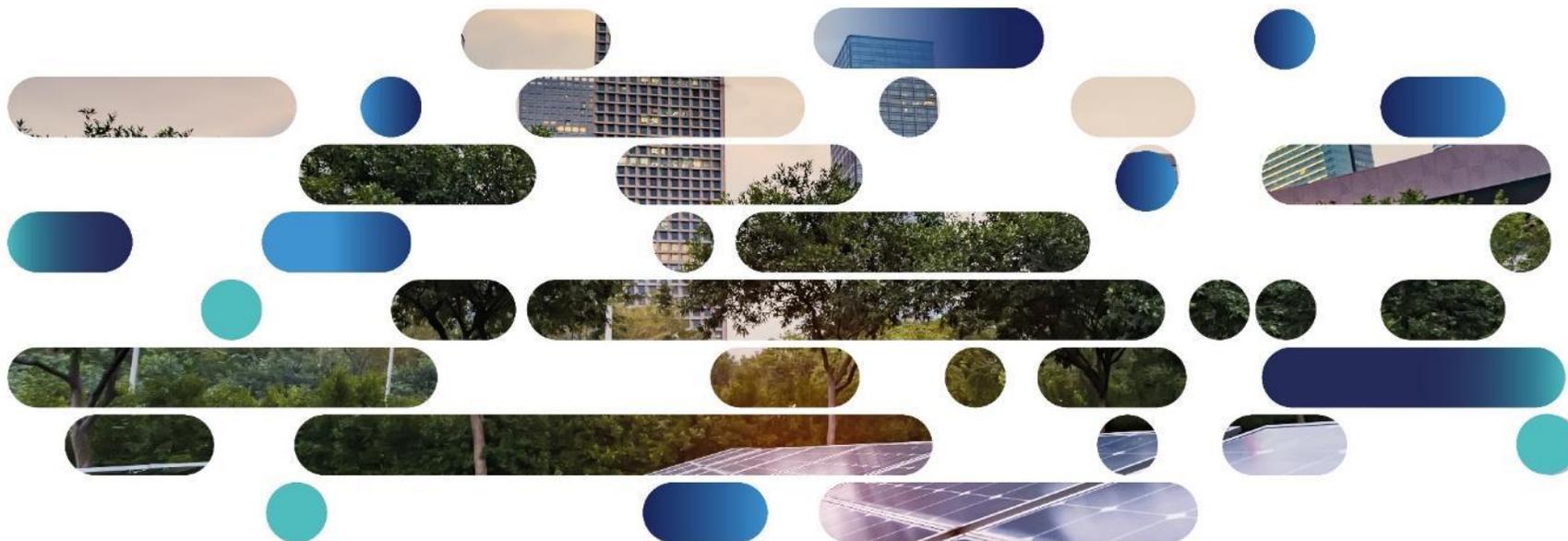
- Nombre de jours de neige
- Nombre de jours de chutes de neige (faible, moyen, fort)



## Dynamique météo-marine

- Niveau moyen de la mer
- Submersion marine

Et bien d'autres encore...  
**Une centaine au total**



# 3

## Projection du risque

### Apports et défis des données projetées

# Tempêtes

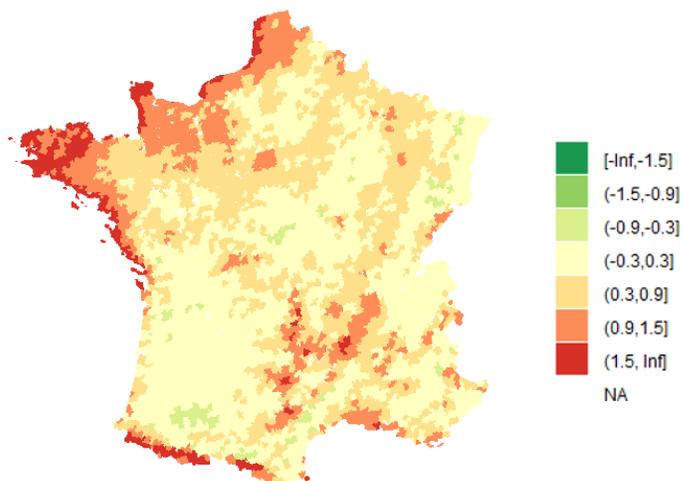
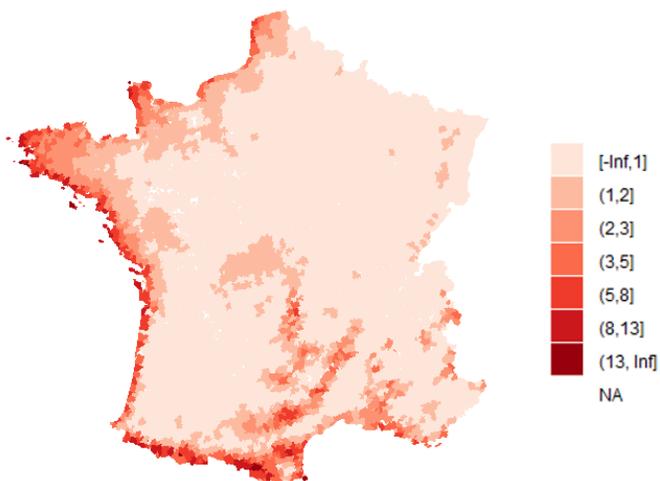


## Données projetées et démarche envisagée

Livre blanc 2022, Covéa  
France assureur

Les modèles climatiques semblent globalement indiquer un potentiel glissement vers le nord des tempêtes hivernales mais on observe de **grandes disparités dans les résultats des simulations climatiques qui impliquent une confiance restreinte en celles-ci**

A date, **pas de tendance significative identifiée dans l'évolution des fréquences et intensités des tempêtes** sur le territoire national



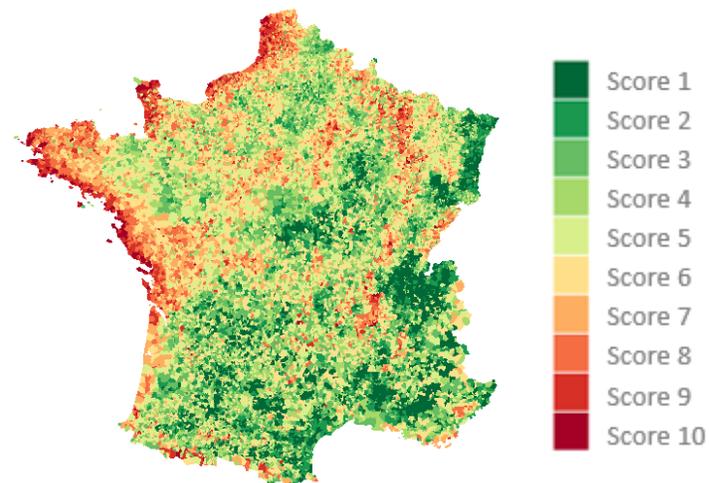
Fréquence annuelle de jour de tempête (au sens de l'échelle de Beaufort) sur la période de référence à gauche et écart en jour à la période de référence à l'horizon 2050 à droite

**Enjeux assurés** : selon le cas d'usage envisagé, il peut être nécessaire de tenir compte de l'évolution des biens et de leur répartition sur le territoire

## Scores projetés

### Démarche proposée :

- Choix du modèle, du scénario, de l'horizon  
**MM RCP 8.5 2050**
- Mise à jour des fréquences associées à chaque scénario
- Agrégation des différents éléments



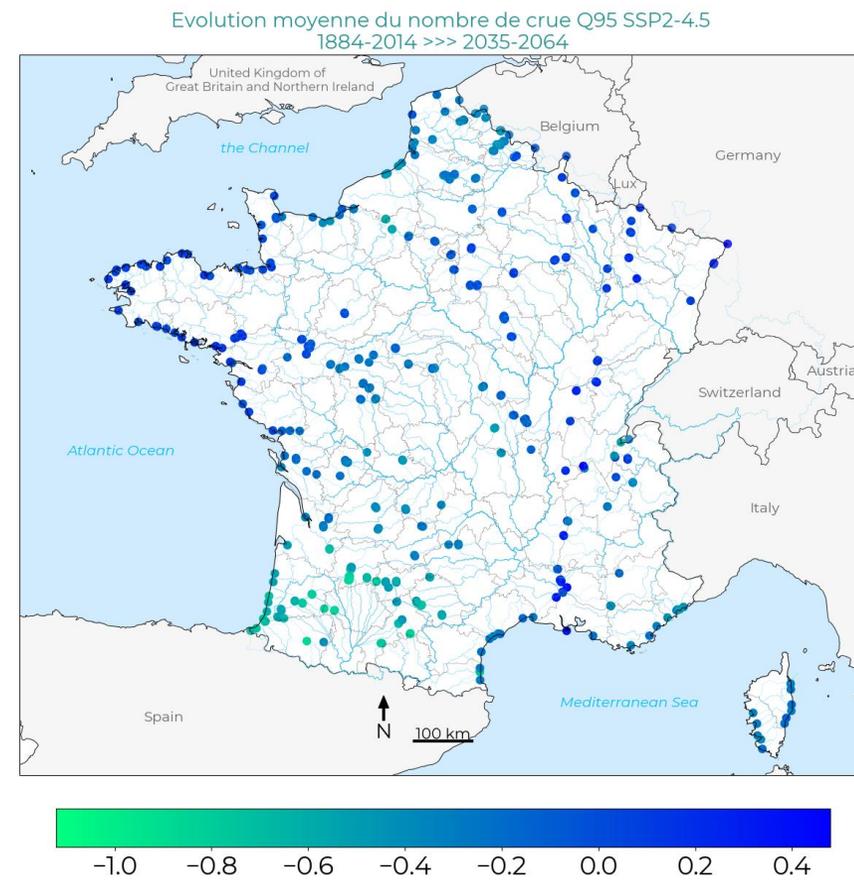
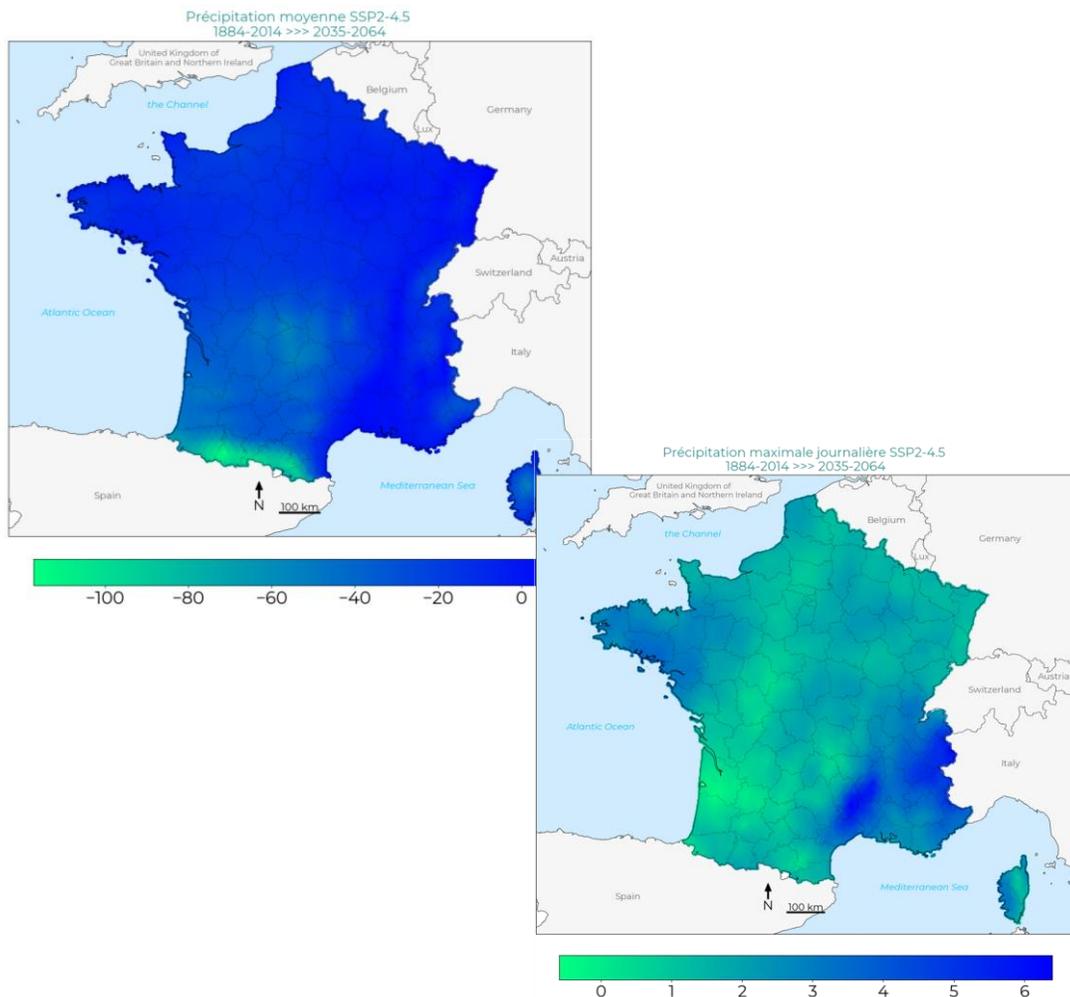
# Comprendre & Anticiper

Capter les tendances de fonds à l'aide de moyenne climatique

*En cohérence avec les observations climatique macro, quantifier les effets régionaux.*

*~ des intervalles de confiance  
~ entre 100 et 500 variantes de variables*

- ✓ *Evaluer les tendances en comparant les projections à une référence*
- ✓ *Moduler probabilités intégrées aléa à l'aide de ces informations*
- ✓ *Que devient la période de retour ?*



# Comprendre & Anticiper

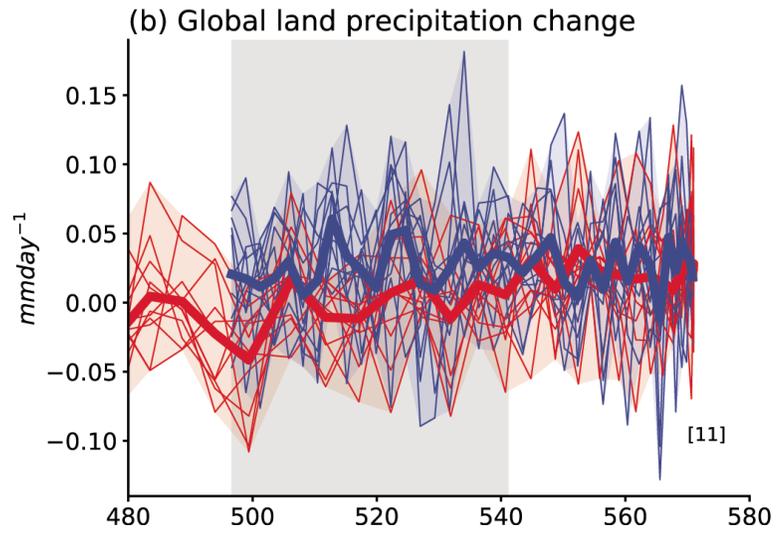
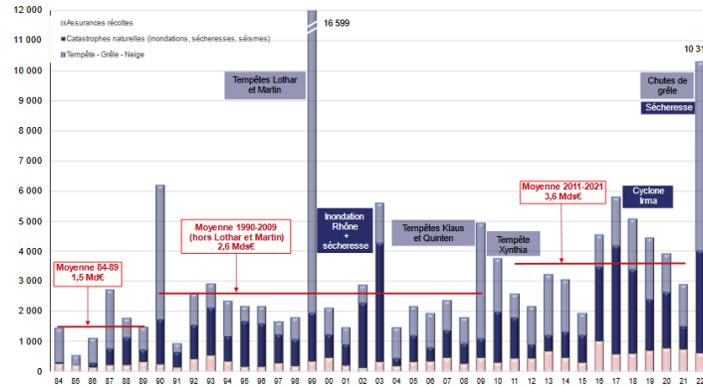
Variabilité du climat, que faire ?



Le changement climatique n'explique pas tous les événements extrêmes que nous observons.

Phénomène aléatoire – Queue lourde

- ✓ Un « concours d'évènements » météorologique / des extrêmes sous-estimés
- ✓ Simulation des évènements pour un état donné du climat
- ✓ Quelle intégration ?  
Quelle suite ?



Riches mais couteuses

Simulation à partir de modèle climatique et d'un état de départ donné, Horizon 2050 – FA 2021

Exploitation des membres des modèles climatiques, Projected impact under climate change – Stalhandske 2022

Ces approches fournissent une vision macro de **qualité qui reste limiter** du fait du cout d'implémentation.

Quelles sont les alternatives et comment prendre en compte cette variabilité au-delà de la quantification macro ?

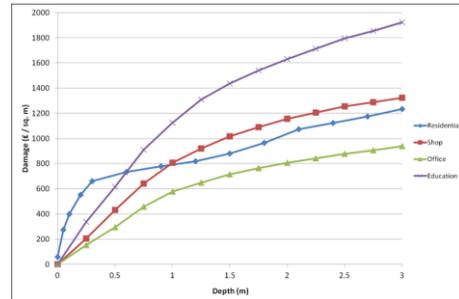
Extrapolation et estimation statistique

# Comprendre & Anticiper

Vulnérabilité dans les extrêmes et statistique

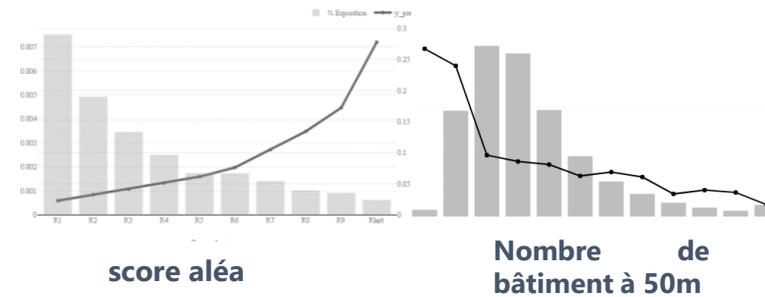
## 00 Fonction de dommage

La fonction de dommage donne une information sur le comportement de l'attribut vis-à-vis de « notre aléa ».



Deux biens exposés au même risque peuvent avoir des expositions variées par période de retour.

## 01 Modèle de vulnérabilité

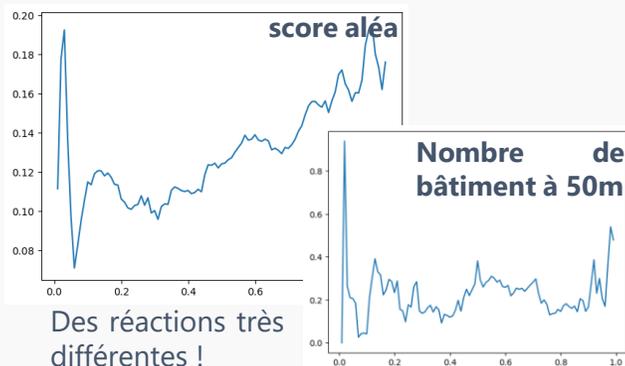


Un historique aléa et une connaissance fine du risque

📍 Environnement autour du bâti  
🏠 Caractéristique du bâti

La statistique des extrêmes un allié pour la prise en compte de cette variabilité !

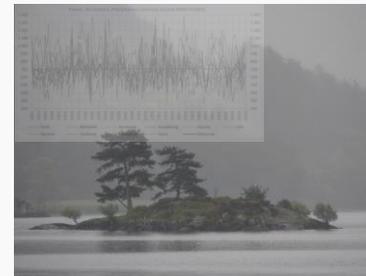
## 02 Sensibilité dans les extrêmes



Prise en compte de la queue de la distribution de risque :

- ✓ Ordonnancement du risque
- ✓ Majoration et marge de sécurité

## 03 Et l'évolution climatique ?



Prise en compte de la queue de la distribution de risque :

- ✓ Extrapoler des extrêmes à l'aide de méthode statistiques
- ✓ **Calibrer ces extrêmes en accord avec les tendances climatiques**

# Conclusion

Ce qu'il faut retenir

## Le risque associé aux tempêtes en France

**1 md€ par an en moyenne**

*Risque fréquent : > 250 000 sinistres par an (particulier)*



**Les données au bâtiment** permettent de **mieux appréhender** le **risque** individuel

L'**approche** proposée permet **d'utiliser un historique plus profond** et de **projeter** le score de risques **sur un** horizon moyen terme.

**Les données projetées** permettent un aperçu de **l'évolution du climat** (tendance et volatilité)

Des **approches de simulation climatiques complémentaires** avec des **résultats divergents** :  
**Vers un consensus** de la communauté scientifique relativement aux phénomènes du vent et des tempêtes ?