

# Enrichissement de scénarios CAT-NAT RGA avec des indicateurs de vulnérabilité



Tanguy Aucoin  
Responsable d'étude d'actuariat  
Generali Climate Lab



Nina Guérin  
Consultante senior  
Galea & Associés



Etienne Raynal  
Consultant senior  
Galea & Associés

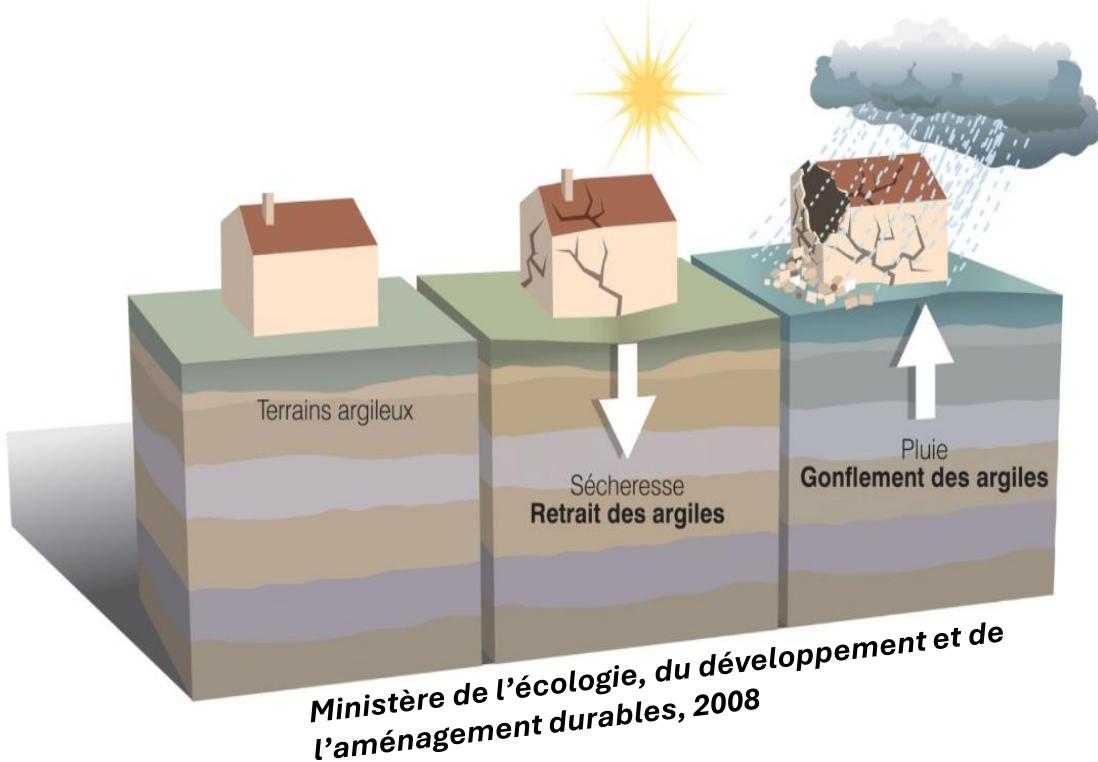


# SOMMAIRE

1. Présentation et contexte du RGA
2. Intégration du risque CatNat dans la révision Solvabilité II
3. Modélisation de l'aléa : du SWI à l'éligibilité au régime CAT-NAT
4. Caractérisation de la vulnérabilité et de la prévention du bâti
5. Conclusion : gouvernance adaptée et nouvelles pratiques actuarielles

# La caractérisation du risque

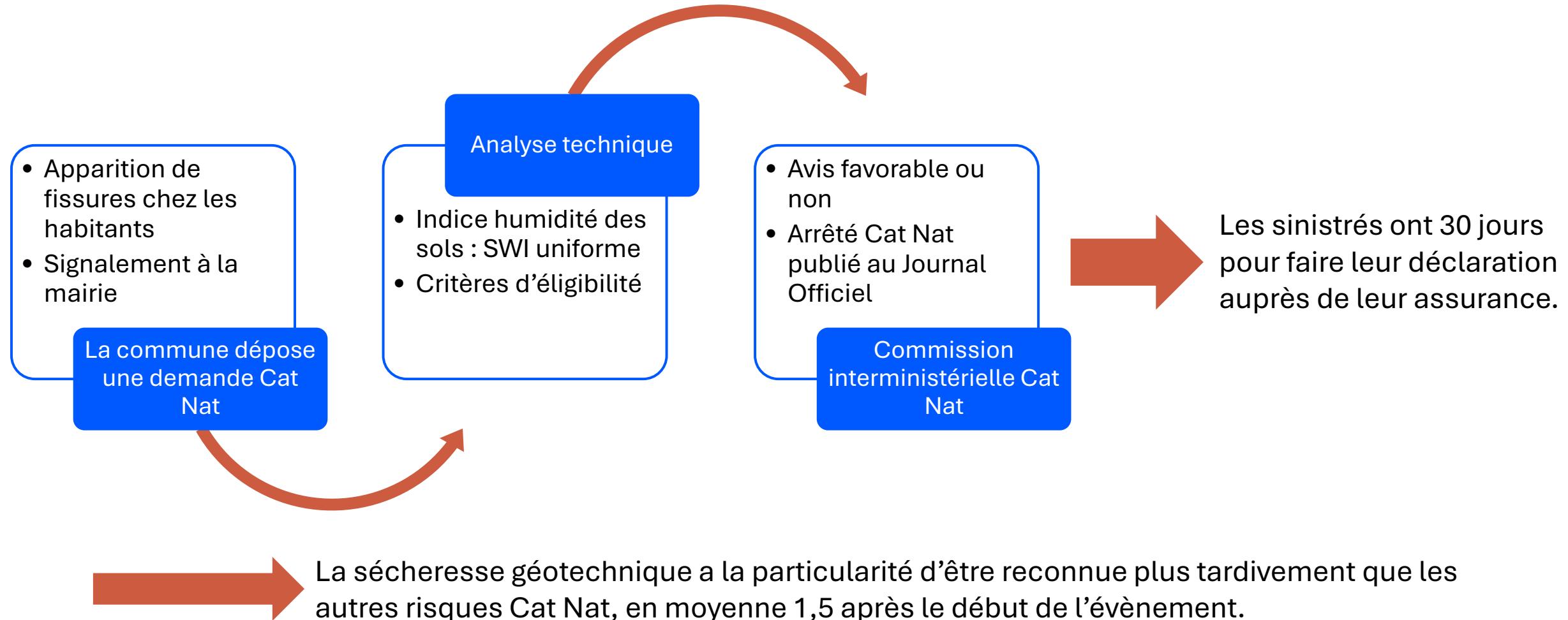
**C'est quoi le retrait-gonflement des argiles (RGA) ?**



**Plusieurs facteurs de fragilité sont responsables de l'apparition de ce phénomène**

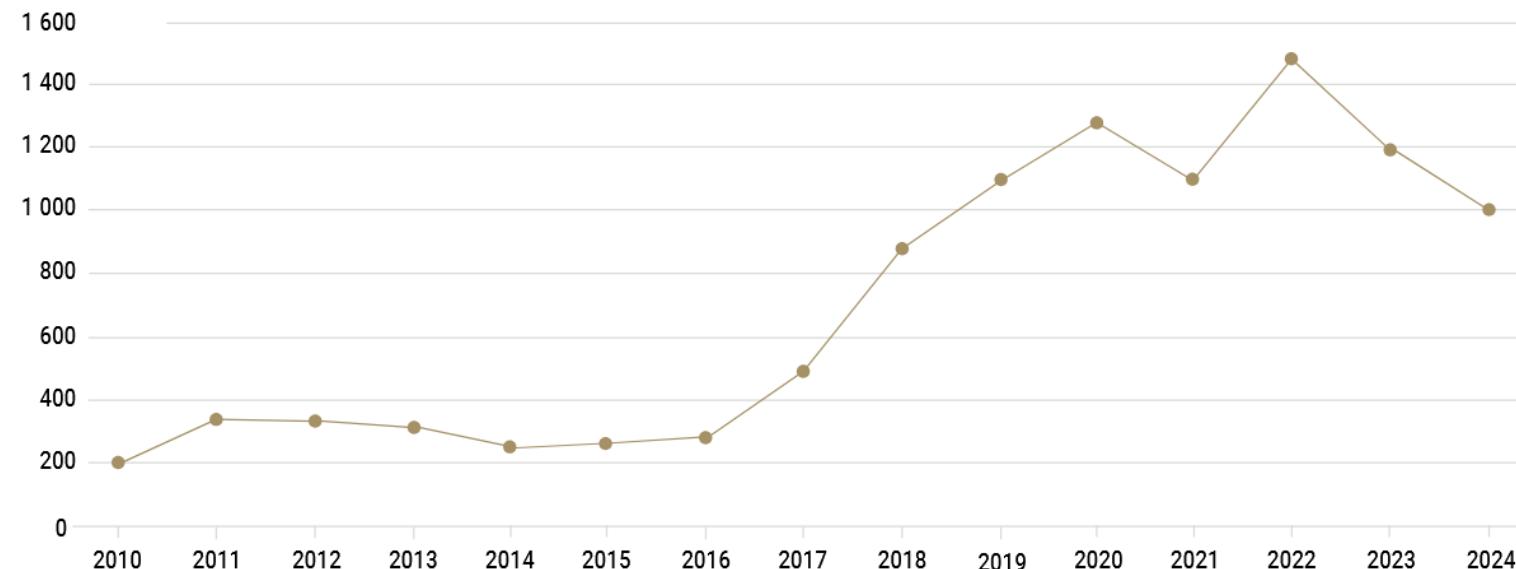
- **Facteur de prédisposition** : La nature du sol.
- **Facteurs déclenchants** : Les éléments liés aux conditions météorologiques : succession de périodes sèches et humides.
- **Facteurs aggravants** : Les actions humaines (les travaux d'aménagement) et les influences environnementales.

# Le régime Cat Nat du RGA

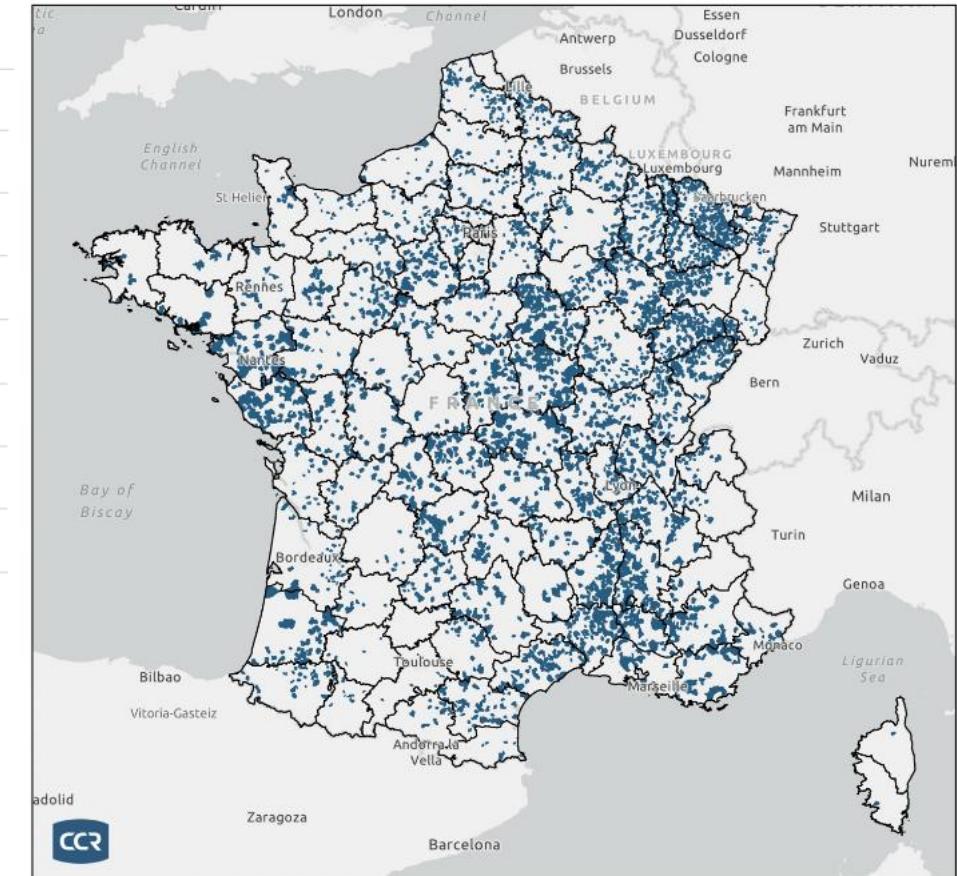


# Une aggravation du risque du risque

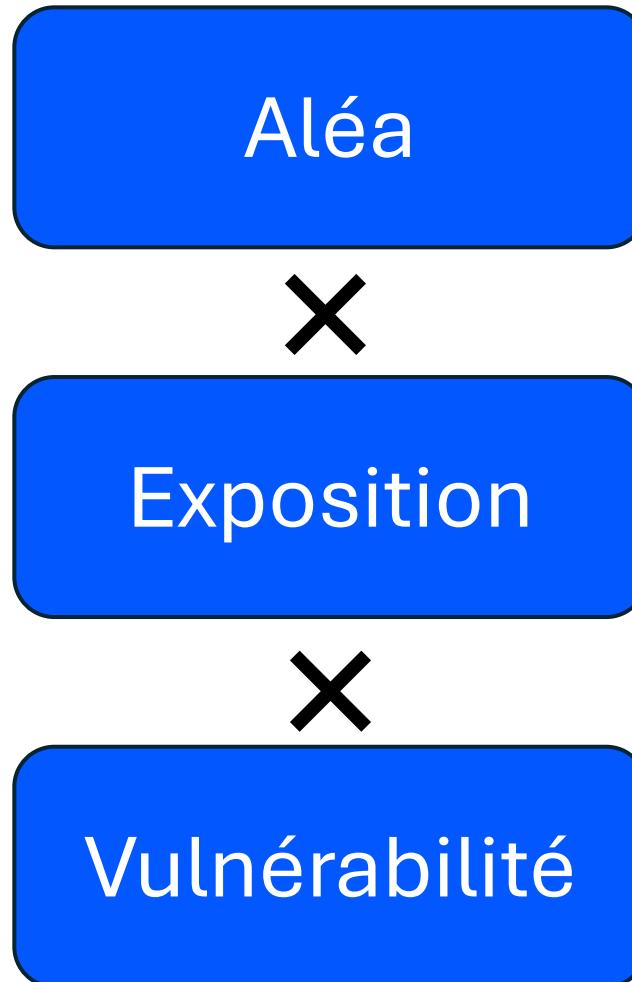
Coût moyen sécheresse sur une période glissante  
de 5 années (en millions d'euros 2024)



carte des communes primo-demandeuses de  
reconnaissance CATNAT RGA entre 2017 et 2022



## Mesure du risque



Indice d'humidité du sol :  
SWI (*Soil Wetness Index*) et SWI uniforme

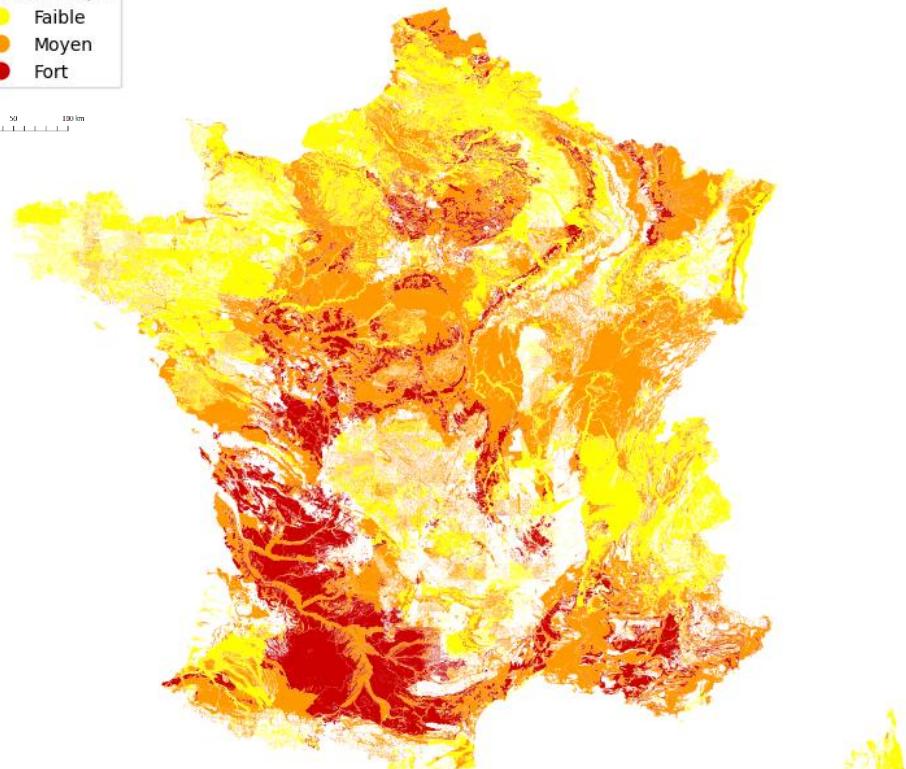
Localisation des polices d'un portefeuille :  
coordonnées et type de sol

De nombreux critères liés au bâti, à la végétation, ...

# L'exposition au risque en France

## Une donnée fondamentale pour la caractérisation du RGA

Niveau de risque  
● Faible  
● Moyen  
● Fort



Source : BRGM, Exposition au phénomène de RGA, 2019

## Le RGA en chiffres (France Hexagonale)

### Exposition :

- 48 % du territoire français est exposé à cet aléa (moyen et fort)
- 10,5 M (54%) de maisons individuelles implantées sur sols argileux de susceptibilité moyenne ou forte

### Coût moyen annuel croissant :

Sur les 20 principales catastrophes naturelles depuis 1989, 12 sont liées à la sécheresse dont 5 des 6 premières.

- 424 M€/an entre 1989 et 2015
- 1,1 Md€/an entre 2016 et 2021
- 3,5 Mds€ pour 2022

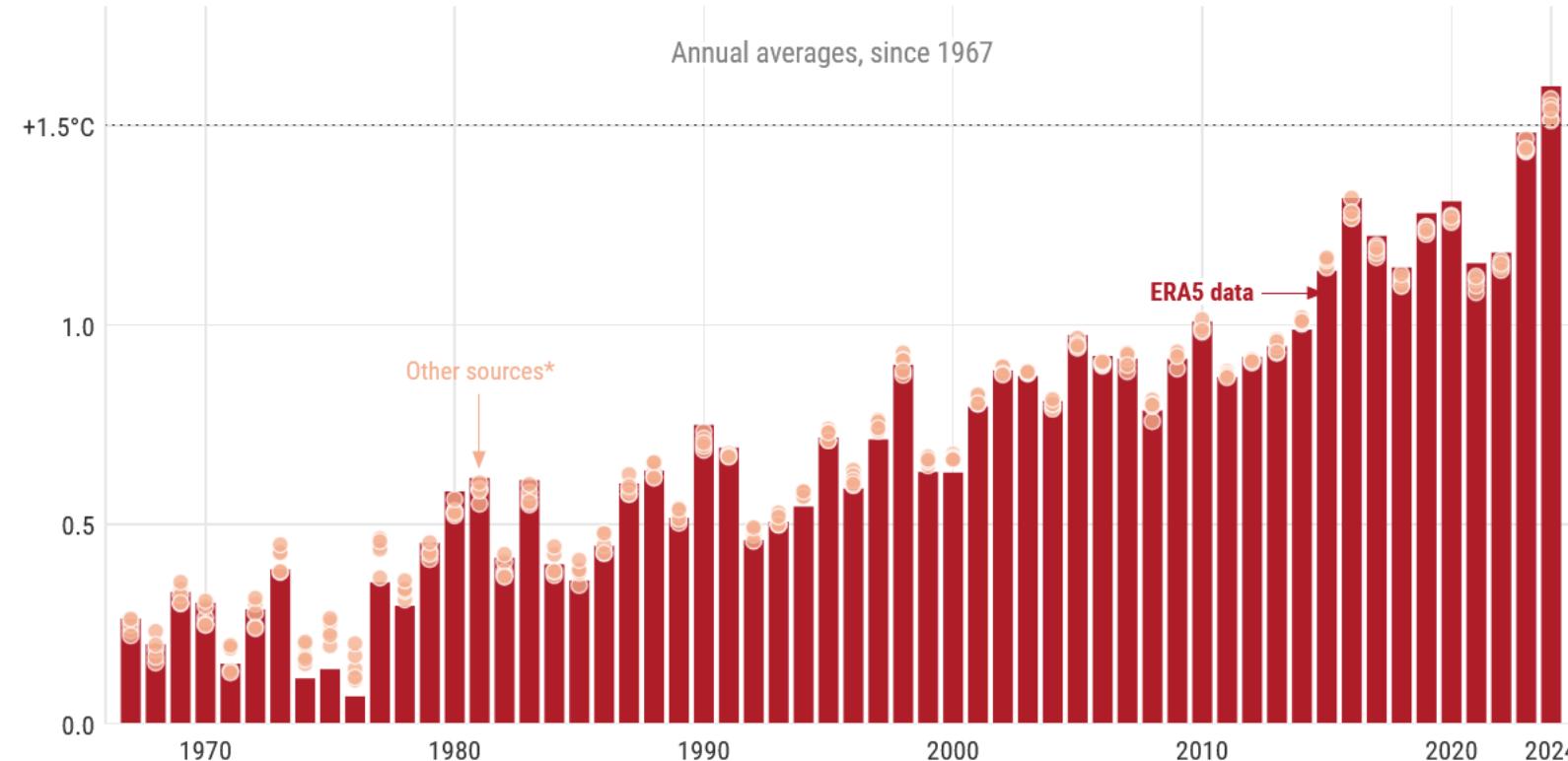
# Gestion du risque en environnement non-stationnaire : un climat qui évolue



## Global surface temperature: increase above pre-industrial

Reference period: pre-industrial (1850–1900) • Credit: C3S/ECMWF

Annual averages, since 1967



# Gestion du risque en environnement non-stationnaire : aspects réglementaires

La Directive (UE) 2025/2 intègre une définition du « risque en matière de durabilité ».

“Risque en matière de durabilité”: un événement ou un état de fait dans le domaine **environnemental, social** ou de la **gouvernance** qui, s'il survenait, pourrait avoir une incidence négative réelle ou potentielle sur la valeur de l'investissement ou de l'engagement.

Principales évolutions du cadre réglementaire (Directive (UE) 2025/2) :

Intégration des risques **climatiques et systémiques** dans l'analyse de solvabilité.

Le « **changement climatique, les pandémies, les autres événements de masse** » doivent être analysés au même titre que le niveau des taux d'intérêt ou l'inflation.

Les entreprises doivent identifier, évaluer **et quantifier l'impact potentiel des facteurs ESG** sur leur **profil de risque**, leur **solvabilité** et leur **stratégie** à long terme.

# Gestion du risque en environnement non-stationnaire : aspects réglementaires

L'ORSA doit désormais prendre en compte les risques **environnementaux, sociaux et de gouvernance**.

Les entreprises doivent analyser **des scénarios de changement climatique à long terme**, mis à jour régulièrement (au minimum tous les trois ans). Ces scénarios incluent au minimum :

-  < 2°C : scénario de transition réussie.
-  > 2°C : scénario de réchauffement élevé.

L'ORSA devient d'autant plus un outil **prospectif et stratégique**, reliant les risques ESG aux besoins en capital et aux décisions de gestion.

Cela doit conduire à une adaptation des **modèles actuariels** pour évaluer l'impact des événements ESG sur les engagements et provisions techniques.

# La chaîne de modélisation



Question de recherche : comment se caractériserait une année particulièrement sèche dans le climat actuel ?

Objectif : Déterminer des **années sèches extrêmes** mais **plausible** du risque RGA en cherchant à déterminer le SWI Uniforme pour chaque maille.

# L'évolution de la sécheresse des sols

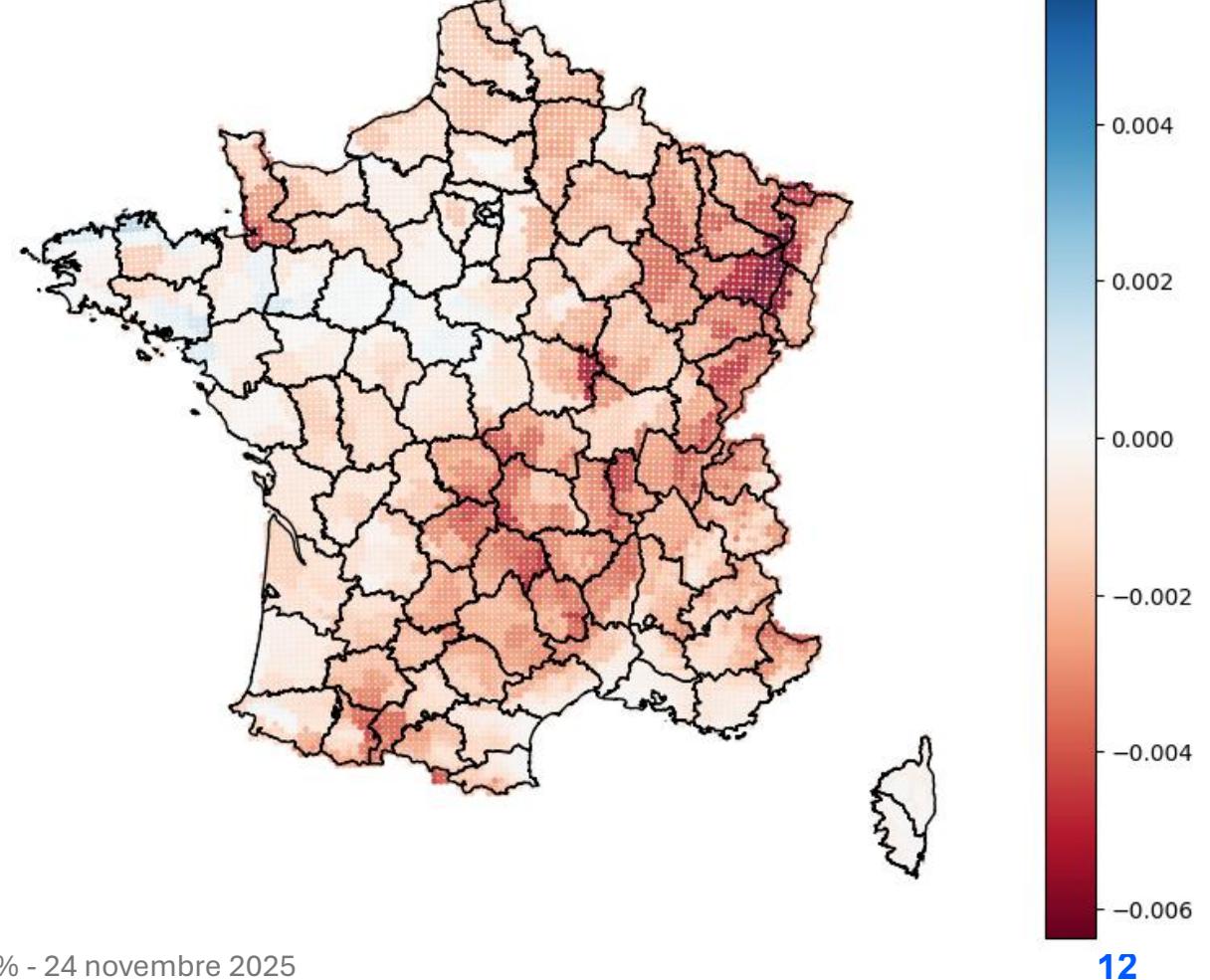
Tendance confirmée avec l'indicateur **SWI (Soil Wetness Index) Uniforme** utilisé pour la reconnaissance Cat Nat.

**Définition** : Indice d'humidité des sols superficiels (SWI) issu du **modèle SIM**, avec **caractéristiques géologiques et végétales uniformes** sur la France.

**Mesure** : **Mensuelle**, à une maille **SAFRAN** de 8 km<sup>2</sup>. La valeur **minimale** de l'année calendaire est utilisée pour représenter la sécheresse annuelle (pic de sécheresse).

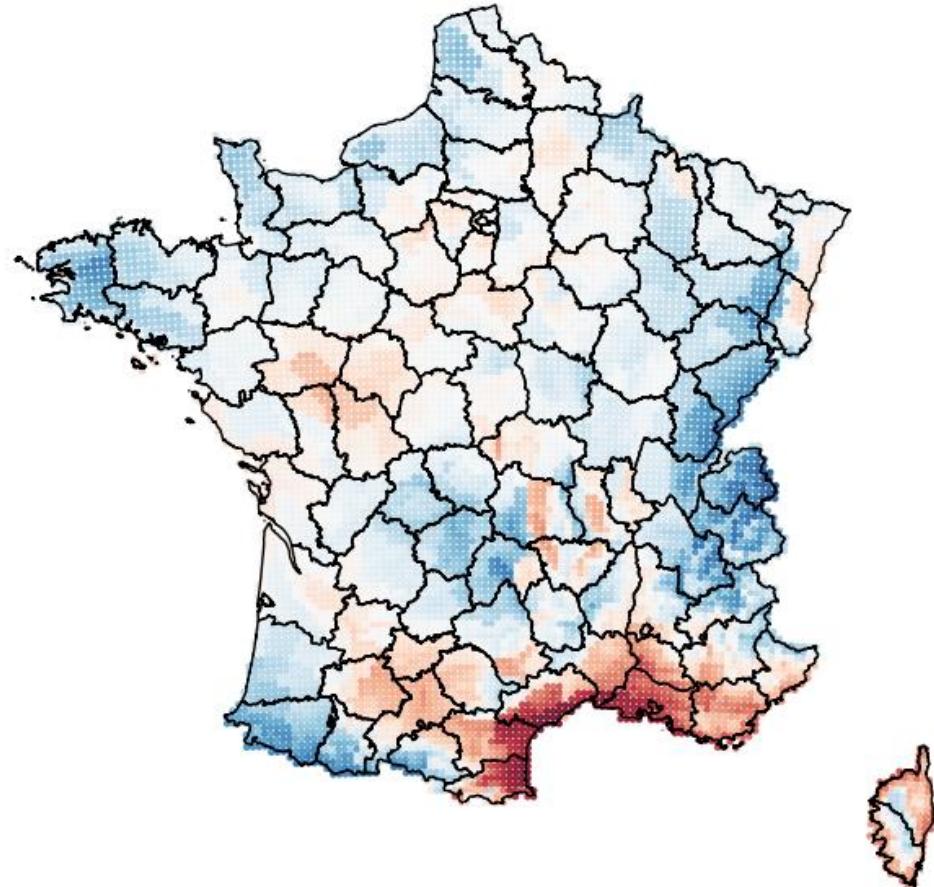
**Observation** : L'indicateur se **dégrade** globalement sur tout le territoire, mais de **manière inégale**.

Tendance de variation annuelle du SWI uniforme (1960 à 2024)

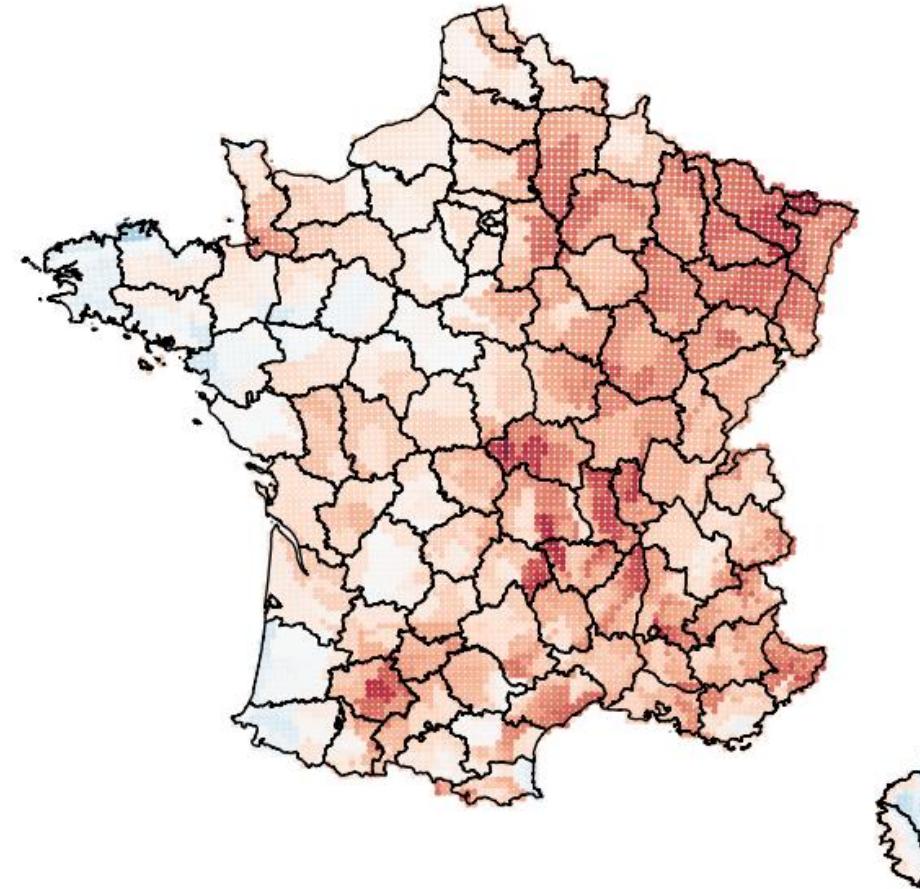


# L'évolution de la sécheresse des sols

Moyenne du SWI uniforme sur les 5 dernières années



Tendance de variation annuelle du SWI uniforme (1960 à 2024)



# Risque Centennale de la CCR

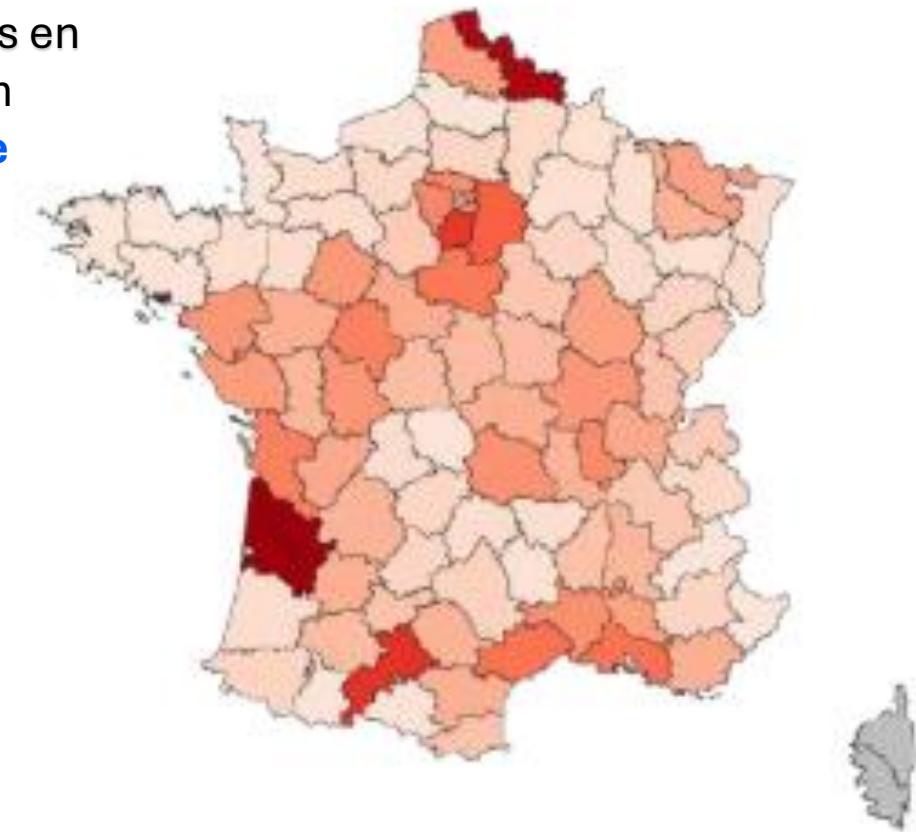
La CCR a réalisé en 2024 un scénario d'estimation des pertes assurées en prenant en compte les nouveaux critères au titre du régime Cat Nat, en **conditions extrêmes**, pour un phénomène **affectant tout le territoire métropolitain**.

**Modélisation probabiliste** réalisée à partir de données **SWI** avec l'utilisation d'un **générateur stochastique** pour obtenir des données réalistes de sécheresse sur chaque maille SAFRAN.

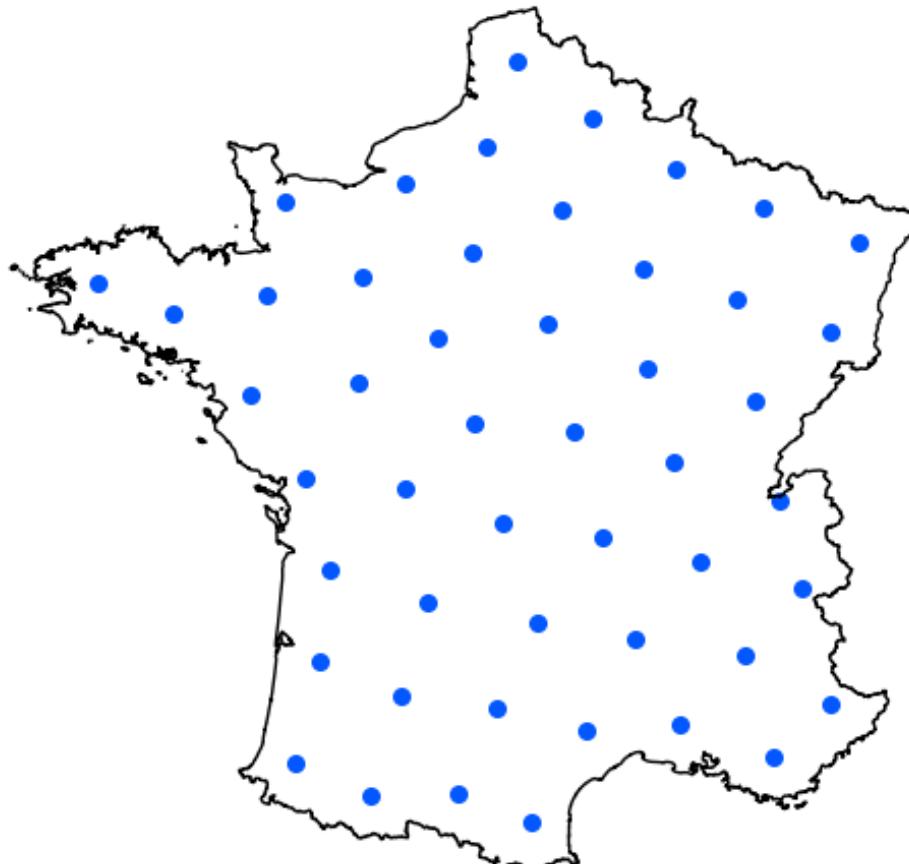
## Résultats de la simulation :

- Nombre de communes **éligibles** Cat Nat : **33 170**
- Nombre de communes **reconnues** (estimées) : **12 902**
- Montant estimé des **dommages** assurés : entre **5,5 et 6 Mds €**

Les départements les plus touchés : Le Nord, l'Essonne, la Gironde et la Haute-Garonne.



# Modélisation du SWI à partir des données DRIAS et d'un générateur de scénarios



Idée de base adaptée de : A spatio-temporal weather generator for the temperature over France (Cognot et al. 2025)

Position  $s$  à la date  $t$

$$SWI(s, t) = S_m(s, t) + \sqrt{S_{\sigma^2}(m, t)} Z(s, t)$$

$Z(s, t)$  est un champ aléatoire gaussien (Cressie et Wikle, 2015) avec une moyenne nulle, stationnaire et isotropique.

$Z(s, t)$  est décrit par la matrice de covariance



Journée 100 % - 24 novembre 2025

# Modélisation du SWI à partir des données DRIAS et d'un générateur de scénarios

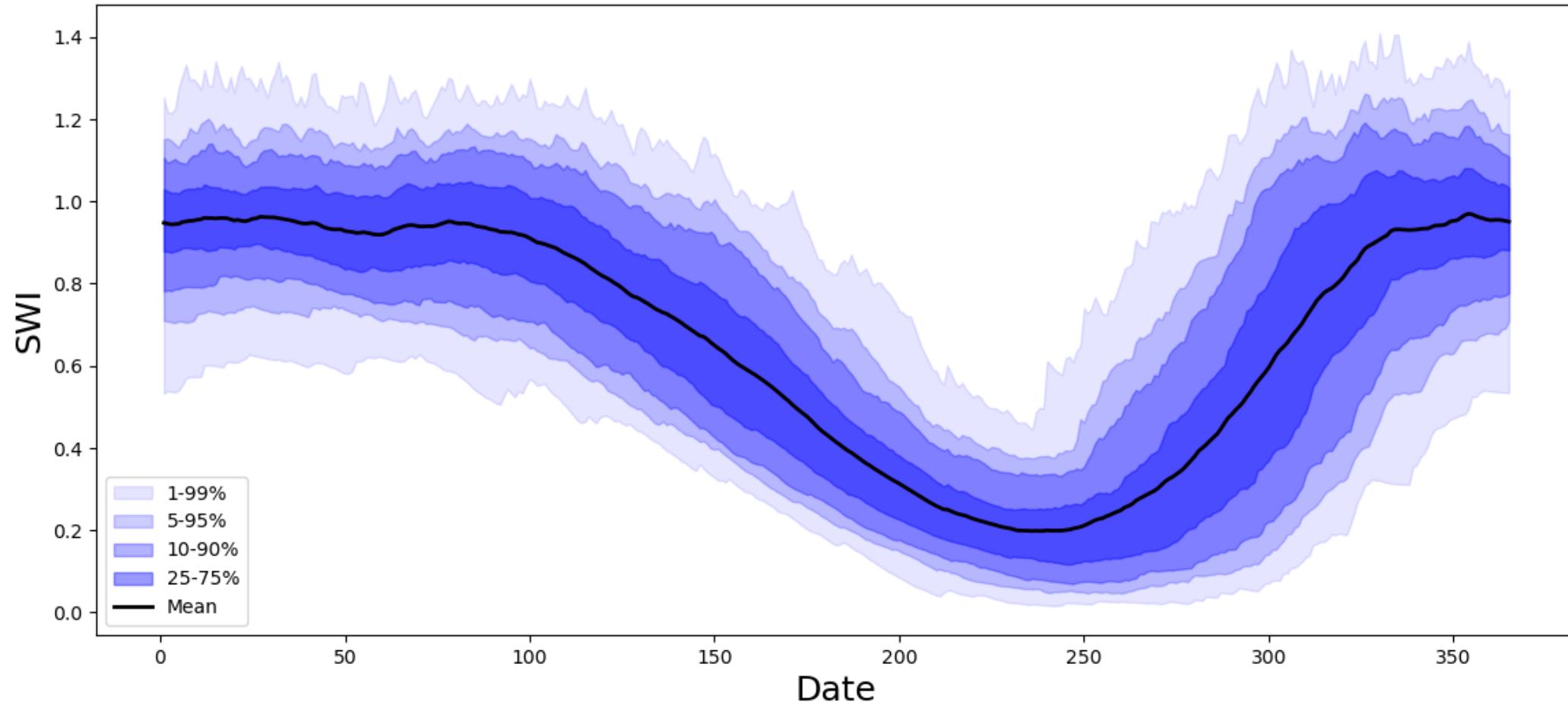


30 années x 17 modélisations = 510 années

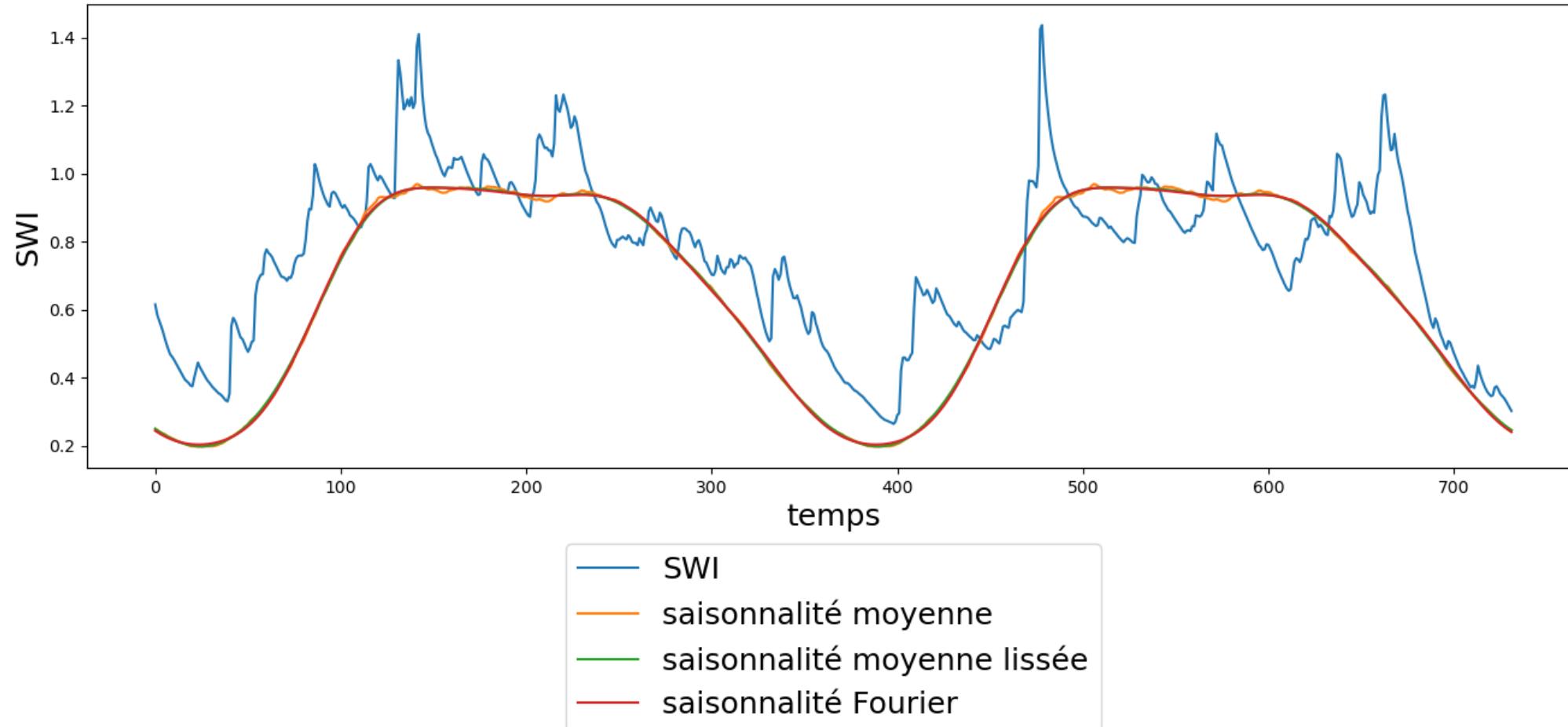
510 années x 365 jours x 50 stations = 9 307 500 de points de données

# Modélisation du SWI à partir des données DRIAS et d'un générateur de scénarios

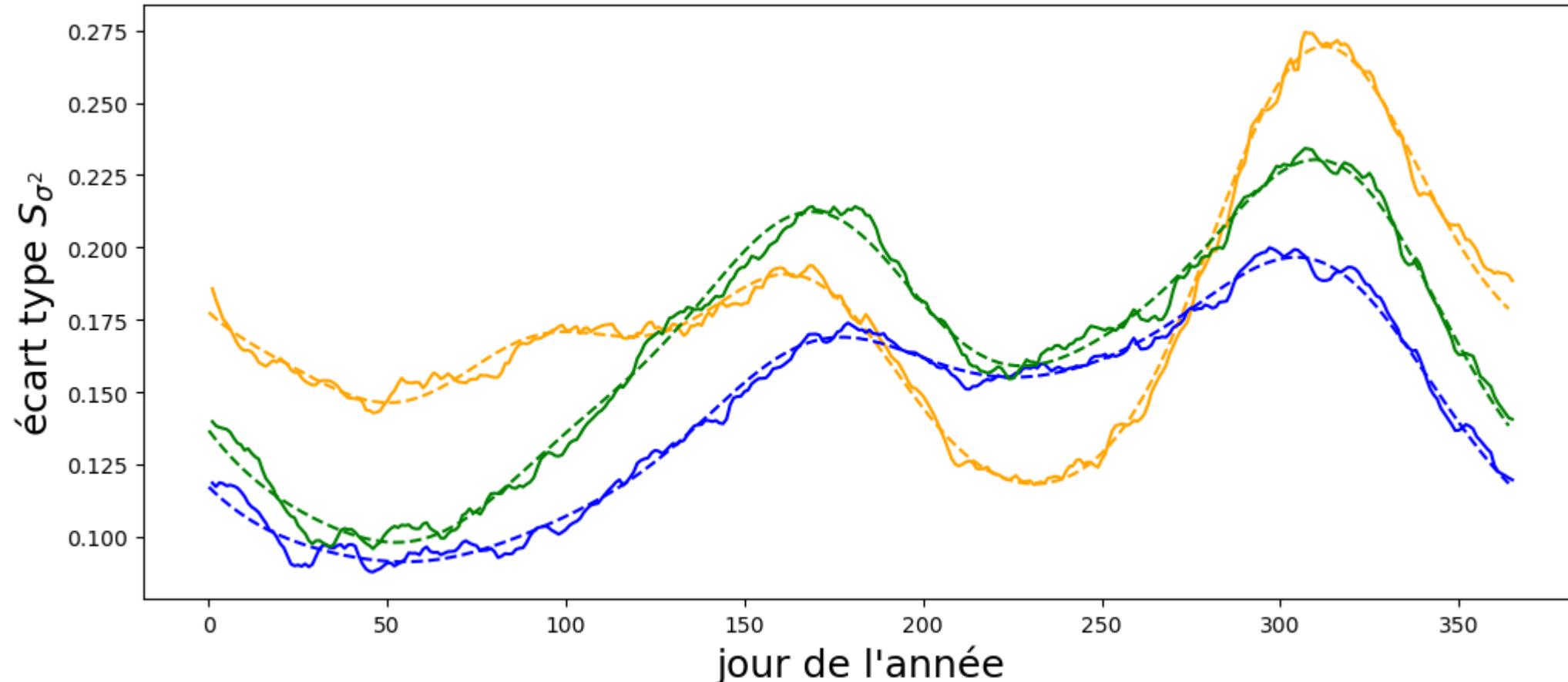
SWI Fan Plot (Quantiles en fonction du jour de l'année)



# Modélisation du SWI à partir des données DRIAS et d'un générateur de scénarios



# Modélisation du SWI à partir des données DRIAS et d'un générateur de scénarios



# Modélisation du SWI à partir des données DRIAS et d'un générateur de scénarios

Le modèle de covariance de Gneiting-Matern (Gneiting (2002, Eq. 16))

$$C(h, u) = \text{Cov}(Z(s + h, t + u), Z(s, t)),$$

$$h \in \mathbb{R}^+, u \in \mathbb{R}^+,$$

$$C_{GM}(h, u) = \frac{\sigma^2(1 - \eta^2)}{\left(\left(\frac{u}{a}\right)^{2\alpha} + 1\right)^\tau} \mathcal{M}\left(\frac{h}{\sqrt{\left(\left(\frac{u}{a}\right)^{2\alpha} + 1\right)^b}}; r; v\right) + \sigma^2\eta^2 1_{h=0, u=0}$$

$a > 0, b \in [0,1], \alpha \in [0,1]$

Contrairement aux modèles séparables (covariance = produit d'une structure spatiale et d'une structure temporelle), le modèle de Gneiting permet une interaction flexible entre la distance spatiale et temporelle.

# Modélisation du SWI à partir des données DRIAS et d'un générateur de scénarios

Paramètre	Rôle	Interprétation
$\sigma^2$	Variance totale	Échelle globale de la variabilité du champ
$\eta^2$	Nugget fractionnel	Proportion de variance non corrélée (bruit microscopique ou erreur de mesure)
$a$	Échelle temporelle	Contrôle à quelle vitesse la corrélation diminue avec le temps
$\alpha$	Lissage temporel	Détermine la forme de la décroissance temporelle : $0 < \alpha \leq 1$
$\tau$	Décroissance spatiale via le temps	Influence la vitesse à laquelle la corrélation spatiale diminue quand $u$ augmente
$b$	Couplage espace-temps	Ajuste comment la distance spatiale effective est dilatée selon la distance temporelle
$r$	Portée spatiale du Matérn	Distance spatiale à laquelle la corrélation diminue fortement pour $u = 0$
$\nu$	Lissage du Matérn	Contrôle la régularité/lissité du champ spatial (plus $\nu$ grand $\rightarrow$ champ plus lisse)

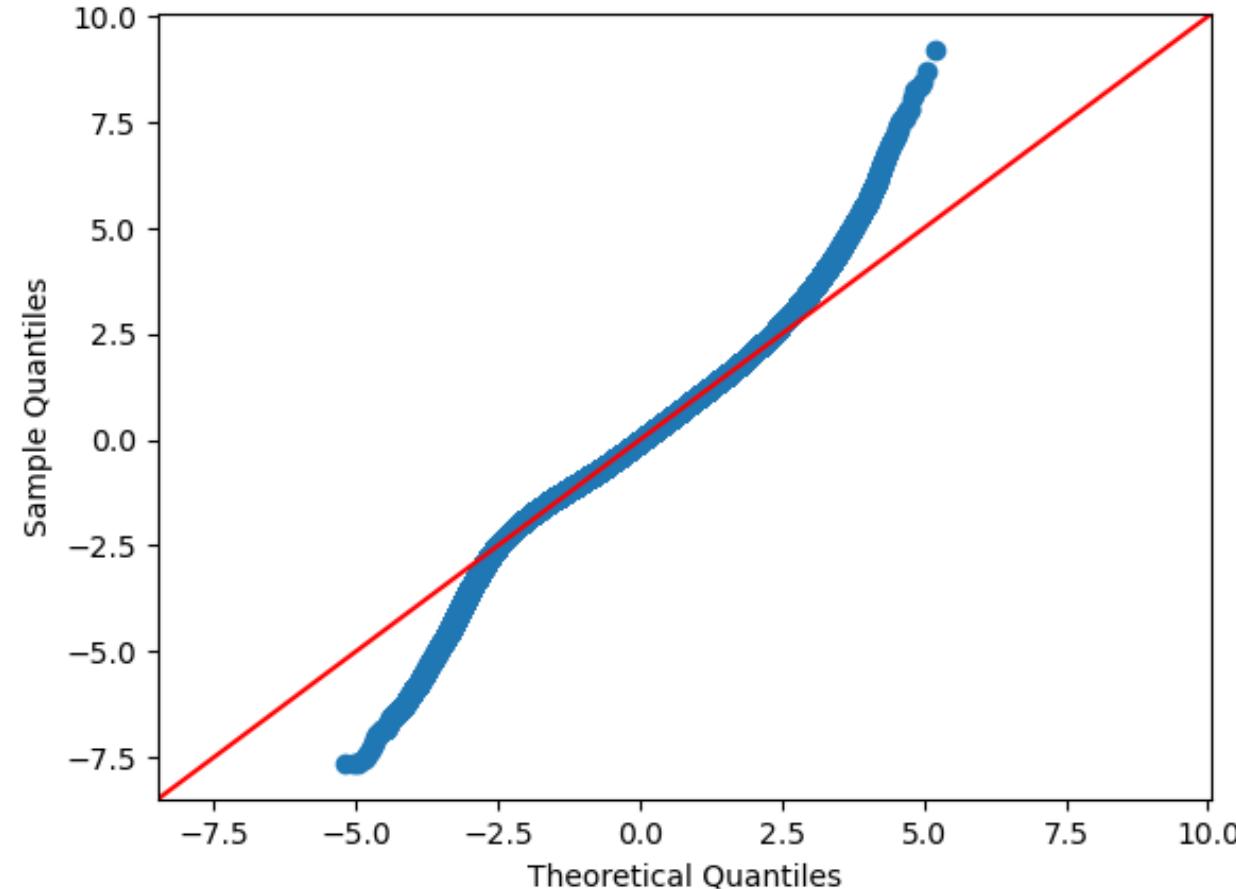
# Modélisation du SWI à partir des données DRIAS et d'un générateur de scénarios

Limites du modèle :

- Un champ gaussien n'est pas la meilleure représentation.
- Modèle très gourmand en calcul : pour l'estimation et pour la génération de scénarios

Perspectives :

- Conditionner le champ de SWI par les champs de température et de précipitations. (Pour les précipitations (Gobet et al, 2025)).
- Utiliser d'autres indices : *A new approach for drought index adjustment to clay-shrinkage-induced subsidence over France: advantages of the interactive leaf area index* (Barthelemy et al. 2024)

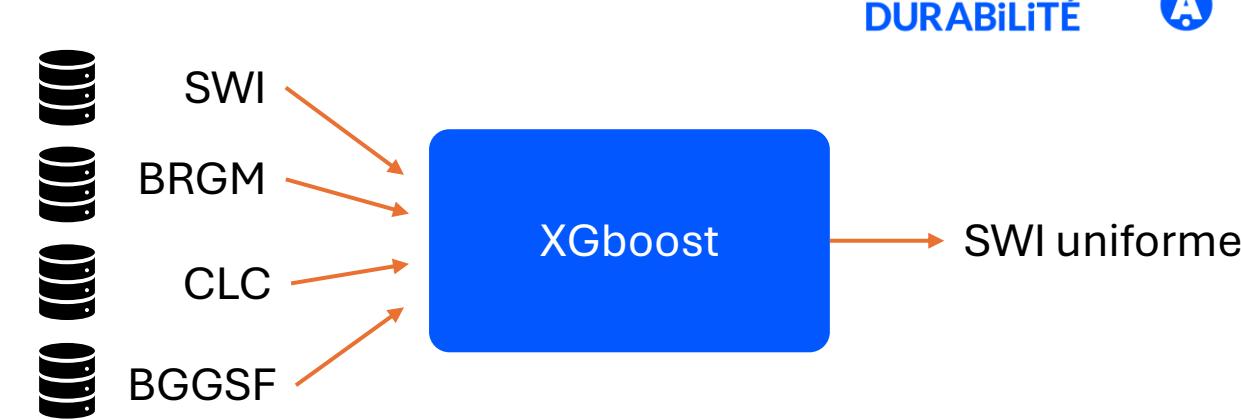


# Passage au SWI Uniforme

**Définition** : Indice d'humidité des sols superficiels (SWI) issu du **modèle SIM**, avec **caractéristiques géologiques et végétales uniformes** sur la France.

## Utilisation de l'Open Data :

- SWI par maille SAFRAN (Modèle SIM)
- Exposition BRGM
- CORINE Land Cover
- Intégration des données topologiques de sol de la BDGSF
- SWI Uniforme mensuels par maille SAFRAN



## Feature engineering :

- Variables lags (cible et SWI physique)

## Jeu de données final :

- Une ligne par maille par mois
- Jeu d'entraînement de 1990 à 2018
- Jeu de test de 2019 à 2024

RSME : 0,001 pour des y dans [-0,2, 0,2]

# Du risque à la reconnaissance Cat Nat

Depuis la circulaire du 29 avril 2024, les **critères d'éligibilité ont été modifiés** à partir de la survenance 2024. Pour chaque commune 2 critères sont identifiés :

- 1. Critère géotechnique** : au moins 3% de la commune exposée au risque RGA (étude BRGM),
- 2. Critère météorologique** basé sur la **période de retour** du minimum annuel du **SWI (Soil Wetness Index) Uniforme**. 3 seuils sont établis et cumulatifs :
  - une période de retour  $\geq 10$  ans pour l'année en cours ;
  - une période de retour  $\geq 5$  ans pour l'année en cours et pour au moins **2 des 4 années antérieures** ;
  - une période de retour  $\geq 5$  ans pour l'année en cours et la **commune est limitrophe** à une commune satisfaisant les critères **Cat Nat**.

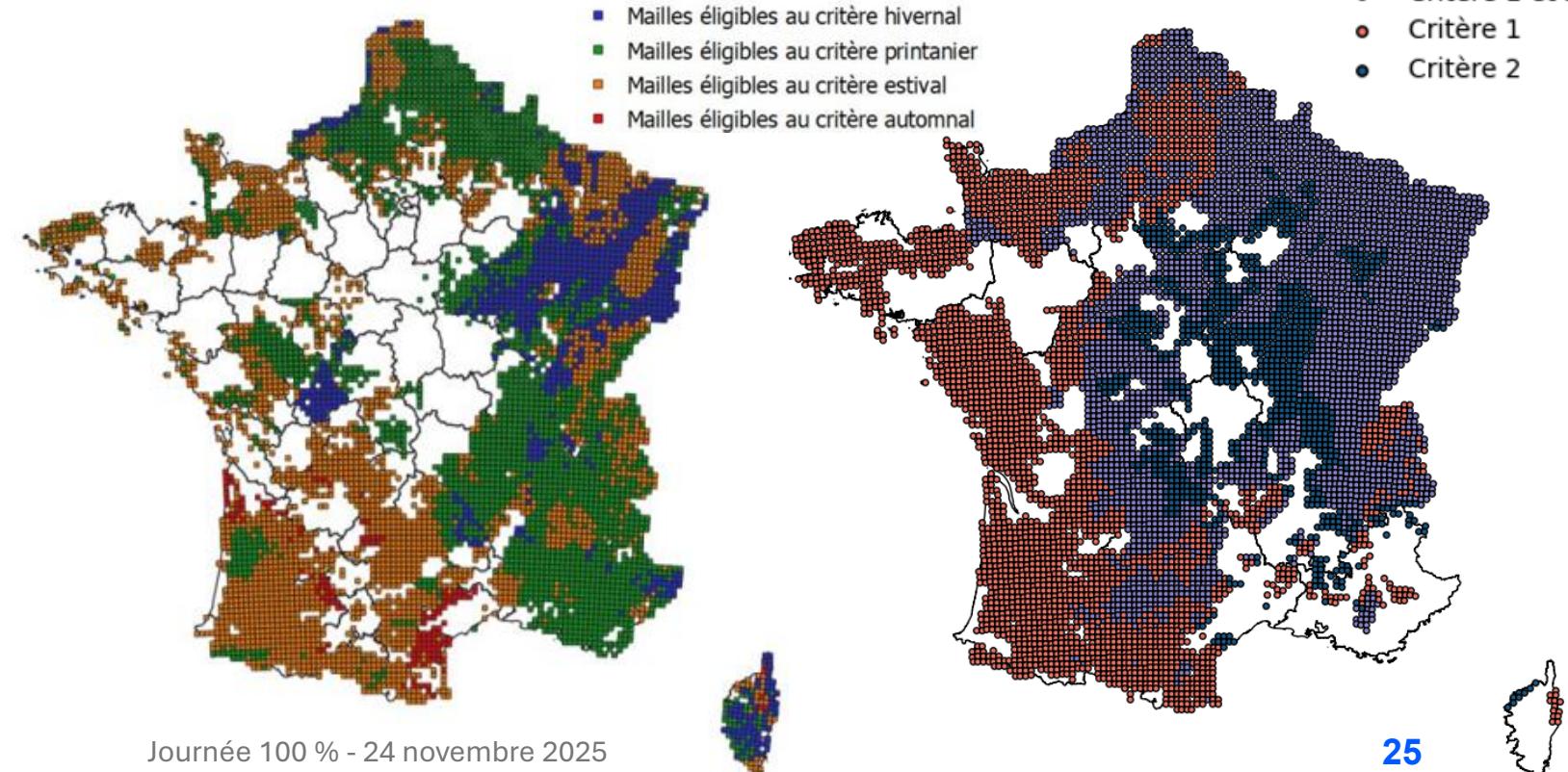
**Chaque commune** de France est **couverte** par **une ou plusieurs mailles** géographiques en fonction de sa superficie. Il **suffit** que le critère météorologique soit rempli pour **une maille** couvrant une partie de la commune pour qu'il soit considéré comme rempli pour toute la commune pour la période concernée.

# Du risque à la reconnaissance Cat Nat

Principaux changements	Avant 2024	Depuis 2024
Indicateur calculé	Moyenne mobile 3 mois des SWI	Moyenne mensuelle des SWI
Période de retour	25 ans	10 ans
Indicateur retenu	Minimum par saison	Minimum annuel

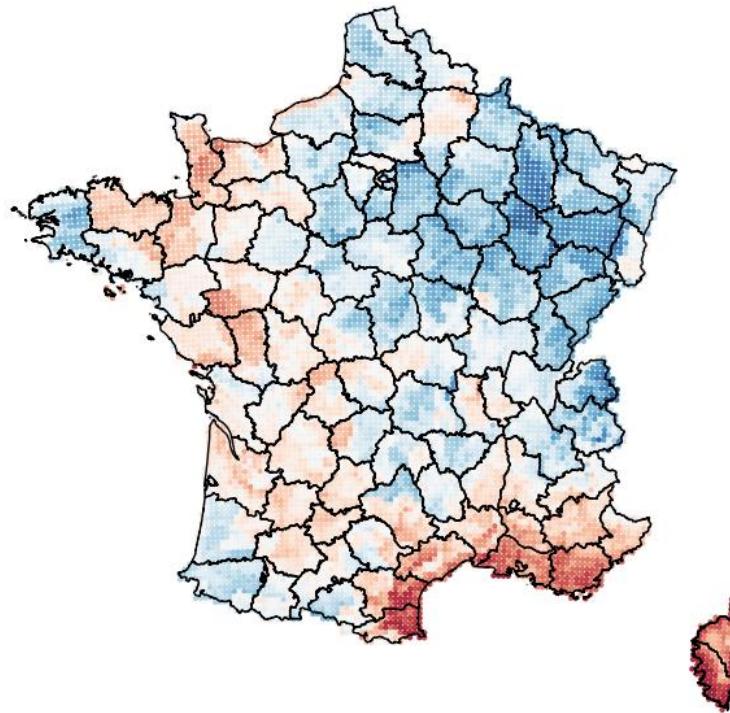
Impacts du changement des critères d'éligibilité – Survenance 2022 :

- Abaissement de la période de retour** → plus de mailles éligibles.
- Prise en compte du minimum annuel** → limite la reconnaissance dans le Sud-Est, où le printemps était très sec mais l'été moins extrême.

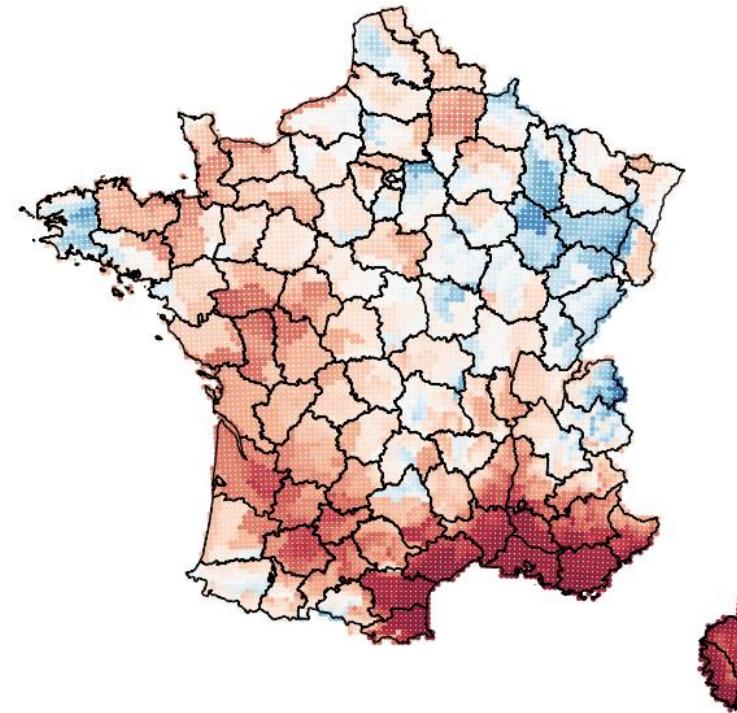


# Passage au SWI Uniforme

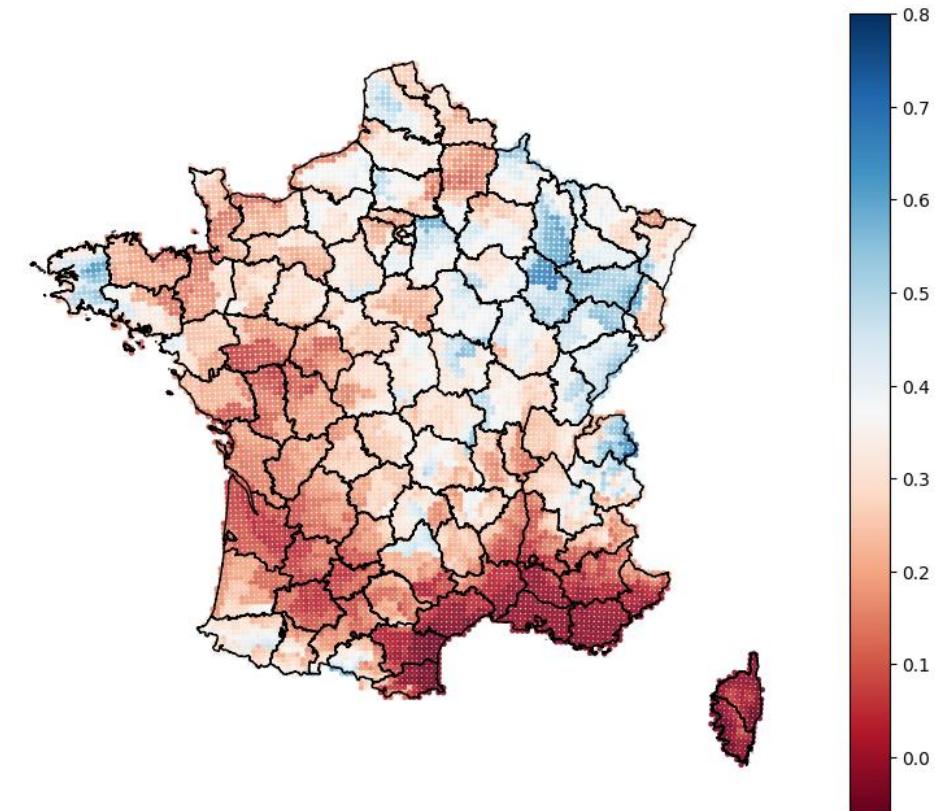
Minimum du SWI Physique 2024



Minimum du SWI Uniforme 2024

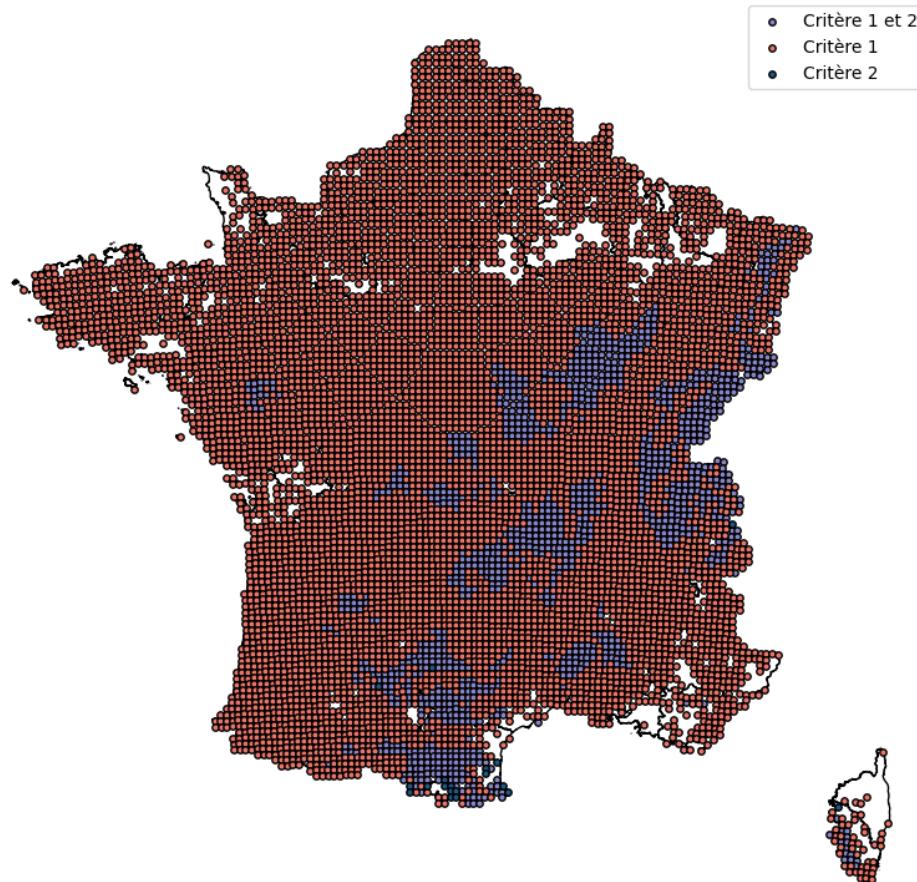


Minimum du SWI Uniforme prédit 2024



# Mesure du quantile du risque en 2026

Mailles éligibles dans un scénario bicentenaire du risque



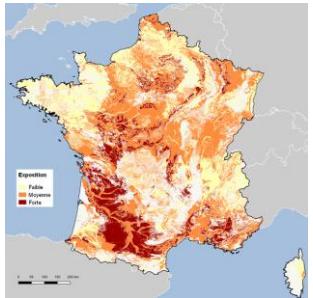
## Une sécheresse globale sur tout le territoire

- Plus de **8000 mailles éligibles** soit près de **90% du territoire**
- Dans un **climat actuel**, la sécheresse de 2022 a une période de retour de **20 ans**.
- Dans un **climat** à horizon **2050**, une sécheresse comme 2022 a une période de retour de **4 ans**.

# Vue d'ensemble des travaux

## Contexte et enjeux

Score d'aléa : 1,2,3



Score Vulnérabilité : ?



👉 3.5 Mds€ de dégâts en 2022

👉 Une expertise sur l'aléa mais aucune sur la **vulnérabilité** des bâti...

## Résultats



## Solution : L'IA au service de la data

10K rapports de sinistre  
(2000-2021)



LLM +  
RAG



Extraction &  
Interprétation du  
texte  
100%

Classification  
80%

100 champs

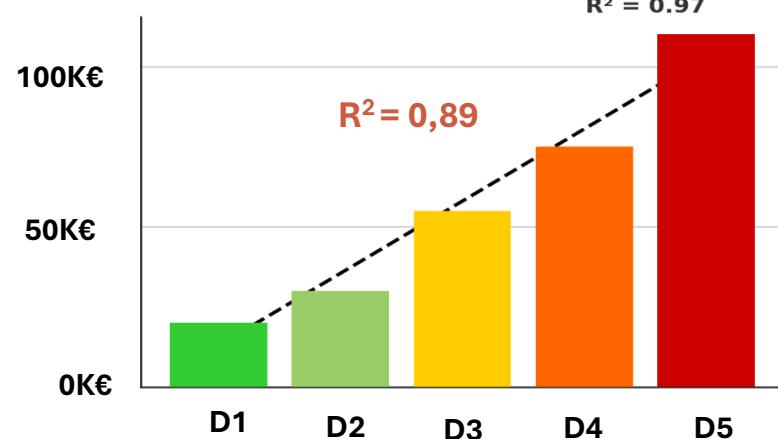


- 👉 Caractéristique du bâti
- 👉 Environnement
- 👉 Dommages

10K lignes

## Échelle de dommage basée sur..

- Largeur de la fissure
- Cinétique de la fissure
- Forme de la fissure
- Position de la fissure



## Modélisation

TANH paramétrique

# La prise en compte de la vulnérabilité



## Question principale :

**Vulnérabilité du bâti à l'aléa RGA : comment la caractériser ?**

- **Q1.** Exploiter les **rapports d'expertise**.
- **Q2.** Créer une **échelle de sévérité** des dommages à partir des **descriptions textuelles**.
- **Q3.** Identifier et **modéliser les facteurs de vulnérabilité** du bâti.
- **Q4.** Quantification des mesures préventives

## Angle de recherche

**Prime de risque = Fréquence × Coût**



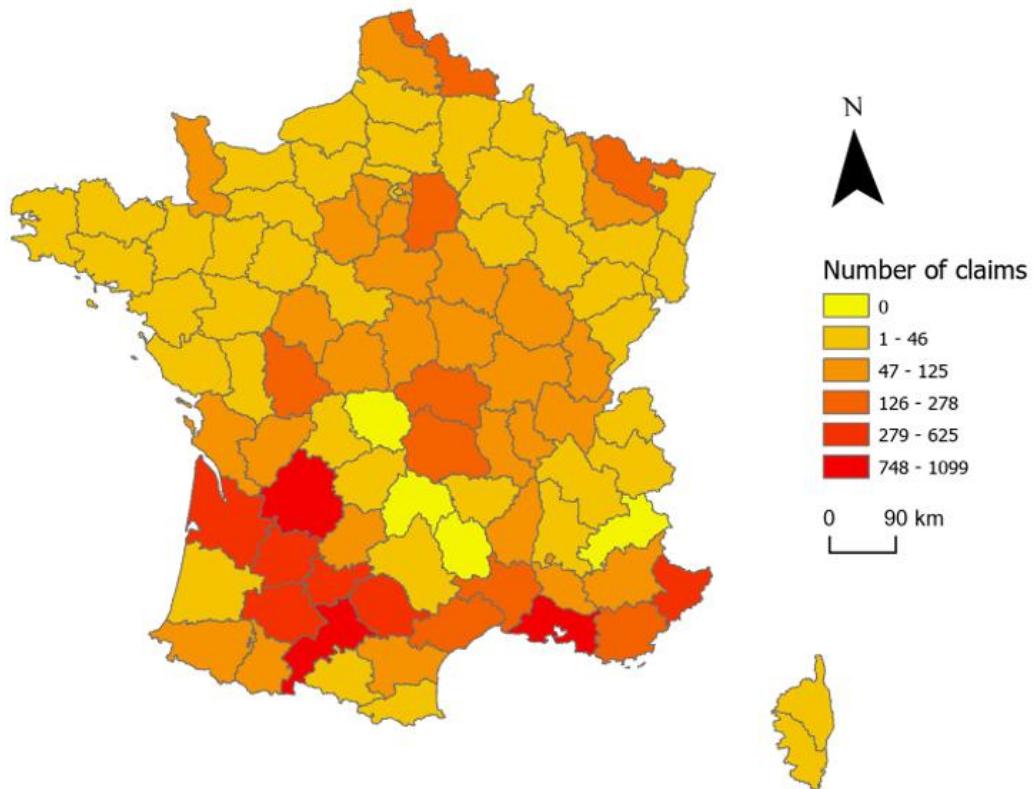
*Le coût ne reflète pas toujours les dommages réels*

**Prime de risque = Fréquence × [dommage physique]**

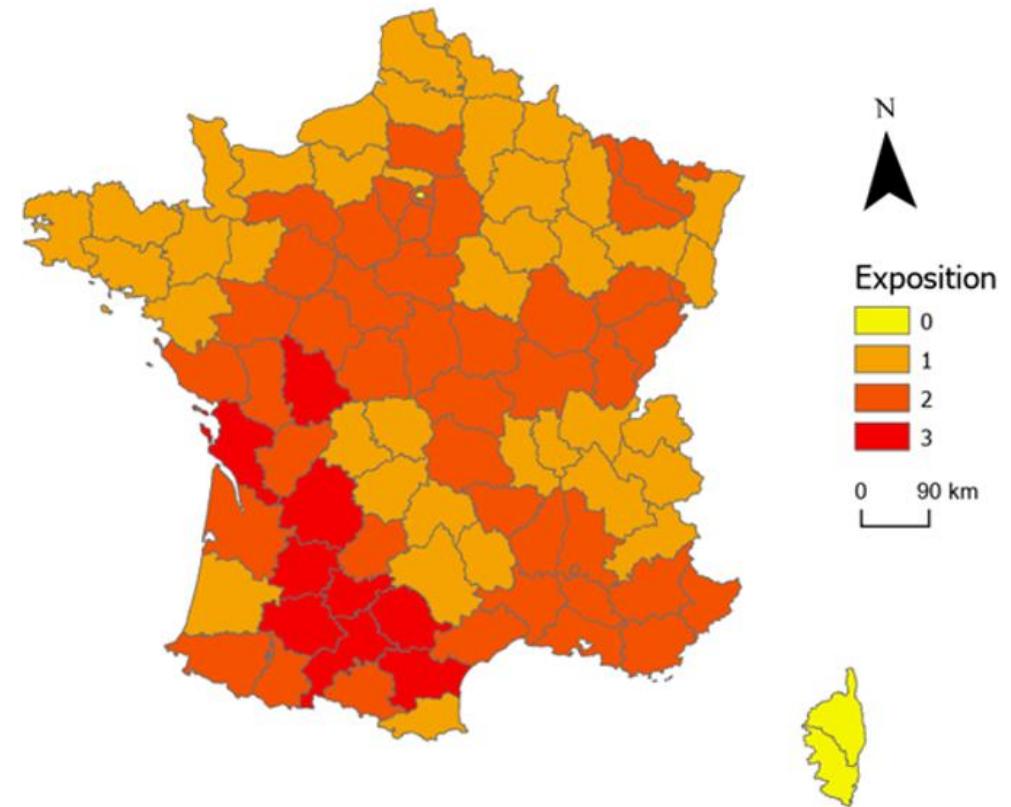
**Hypothèse :**

➔ *La partie « Coût » reflète le dommage physique subi aux bâtiments*

# Les Données disponibles



**Répartition départementale des sinistres RGA extraits des rapports d'expertise (2000–2021)**



**Carte départementale d'exposition au retrait-gonflement des argiles (BRGM, 2019)**

# Définition des classes Aléa / Vulnérabilité

## Aléa

**Objectif :** se concentrer sur la vulnérabilité, sans réévaluer l'aléa.

- **EXPO\_19 (BRGM) et le zonier interne Generali incluent les sinistres** → forts gradients, mais sont liés au cout
- **Solution :** Caractéristiques du sol\* (classification CART) pour reconstruire des classes physiques

**Résultat :** 3 classes physiquement interprétables, monotones et indépendantes des données de coût

## Vulnérabilité

Classe	Typologie simplifiée du bâti	Vulnérabilité
A	Bâtiments avec des fondations profondes, robustes et renforcées.	Faible
B	Bâtiments de faible hauteur sur une fondation profonde unique.	Modérée
C	Bâtiments (plain-pied ou R+1) avec des fondations profondes, mais moins homogène.	Élevée
D	Maisons de plain-pied avec des fondations multiples et peu profondes.	Très Élevée

# Ajout de l'indice de vulnérabilité

Matrice de probabilité de dommage par classe d'aléa et degré de dommage, par vulnérabilité

Hazard classes (I)	Vulnerability class (V)	1	2	3	4	5	Total	Mean Damage degree	Std Damage degree
A	A	125	13	10	3	5	156	1.397436	0.931497
B		312	272	90	44	6	724	1.839779	0.920466
C		108	135	76	34	5	358	2.142458	0.999629
A	B	286	32	44	19	36	417	1.769784	1.30292
B		1007	1232	490	236	45	3010	2.0299	0.971916
C		425	637	281	188	29	1560	2.204487	1.029615
A	C	86	9	10	5	21	131	1.977099	1.525687
B		321	272	153	84	95	925	2.308108	1.305783
C		155	157	106	82	48	548	2.472628	1.280532
A	D	5	3	6	1	9	24	3.25	1.561249
B		29	52	33	32	16	162	2.716049	1.244589
C		15	34	23	28	12	112	2.892857	1.227346
							8127		

# Choix de la fonction aléa-dommage



**Tendance observée** : le dommage moyen augmente régulièrement avec l'intensité de l'aléa.



**Objectif** : calibrer des fonctions continues et lissées afin de formaliser cette relation.



**Méthode** : pondération inverse des écarts-types pour limiter l'effet des incertitudes.



**Souplesse** : test de modèles alternatifs (logistique, spline) pour ajuster la courbe de tendance :

Modèle	Forme	Avantage principal
1. Logistique	$f(I) = \frac{a}{1+e^{-\frac{(I-b)}{c}}}$	Courbe sigmoïde classique, souvent plus lisse que $\tanh$ .
2. Exponentielle saturée	$f(I) = a(1 - e^{-bI}) + c$	Croissance rapide vers un plateau.
3. Puissance	$f(I) = a \cdot I^b + c$	Adaptée aux croissances non saturées.
4. Polynomiale	$f(I) = aI^2 + bI + c$	Simple à ajuster, mais sensible aux oscillations hors domaine.
5. Spline lissée	<i>Interpolation souple (pas de formule fermée)</i>	Suit les données avec flexibilité, idéale pour petits jeux de données.
6. Arctangente	$f(I) = a \cdot \arctan\left(\frac{I-b}{c}\right) + d$	Forme en S plus douce aux extrémités que $\tanh$ .
7. Gompertz (triple exponentielle)	$f(I) = a \cdot e^{-b \cdot e^{-cI}}$	Modèle asymétrique : croissance lente puis saturation rapide.



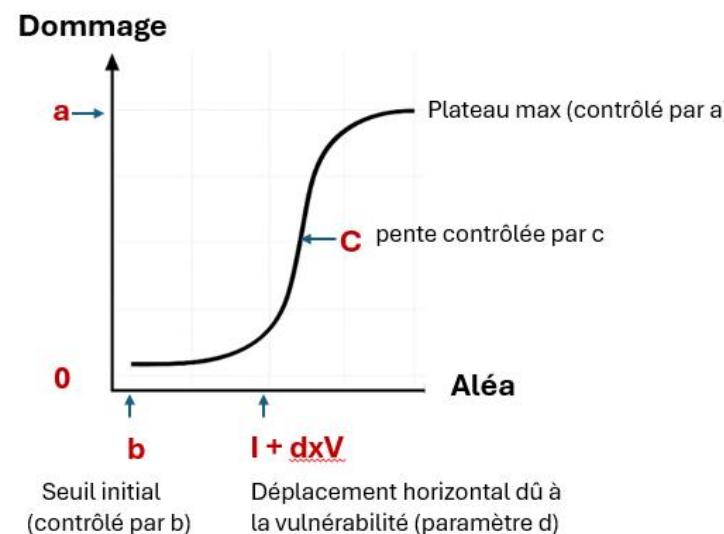
# Calibration du modèle tanh

Le modèle tanh relie l'intensité de l'aléa au degré moyen de dommage

$$y(I, V) = a \times \left( 1 + \tanh \left( \frac{I + d \times V - b}{c} \right) \right)$$

- Pour chaque classe de vulnérabilité (A, B, C, D), un indice de vulnérabilité  $V \in [0, 1]$  est défini.
- Cet indice déplace la courbe horizontalement afin de refléter la sensibilité structurelle.

**Objectif :** obtenir un modèle unique décrivant la **progression du dommage** en fonction de l'**aléa** et de la **vulnérabilité**



Où :

- $I$  : intensité du phénomène, liée aux trois classes d'aléa.
- $a, b, c, d$  : paramètres globaux communs à toutes les classes de vulnérabilité.
- $V$  : indice de vulnérabilité.

Calibration via *Gridsearch*

Minimisation  $\sum(\mu D_{\text{mod}} - \mu D_{\text{obs}})^2$

- Paramètres globaux retenus :
  - $a = 3, b = 8, c = 11, d = 7$
- Indices de vulnérabilité associés aux classes A-D :
  - $V = [0.19, 0.31, 0.46, 0.83]$

# Facteurs aggravants

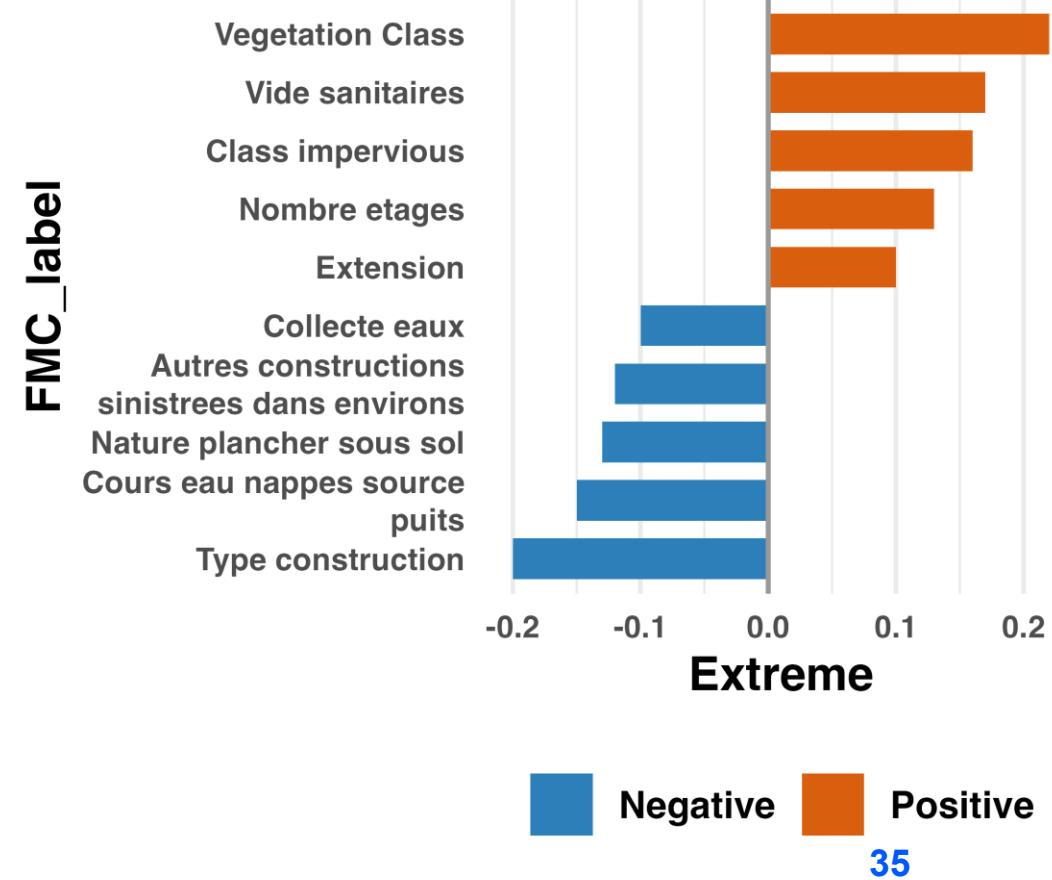
Pour aller plus loin dans la caractérisation de la vulnérabilité, on souhaite explorer de potentiels caractéristiques aggravantes dans les dommages. On teste par *gridsearch* indépendamment. On en tire un facteur d'aggravation sur le degré moyen de dommages.

## Facteurs principaux :

- *Vegetation\_Class* : nombre arbre et ratio distance/hauteur
- *Vide sanitaire oui / non*
- *Class imperviousness* : perméable, semiperméable, ou imperméable
- *Cours\_eau\_nappes\_source\_puits à proximité* : oui / non
- *Type construction (mitoyenneté* : oui / non)

## Facteurs secondaires :

- *Collecte\_eaux* : oui / non
- *Autres\_constructions\_sinistrees\_dans\_environ* : oui / non
- *Bâtiment avec sous-sol (présent ou absent)*
- *Nombre étages* : 0, 1, 2, 3, >3
- *Bâtiment avec extensions (garage, véranda)* : oui / non



Conclusion : gouvernance adaptée et nouvelles pratiques actuarielles

# Risques, Souscription, Prévention : pour une vision intégrée



Un enjeu sociétal devenu prioritaire

- Les pouvoirs publics renforcent leur engagement face à la montée des risques
- Importance d'intégrer ces dynamiques dans la gouvernance assurantielle

## La prévention comme levier de stabilisation

- Les mesures de prévention réduisent la dispersion des scénarios RGA
- Meilleure articulation entre souscription, gestion des risques et pilotage stratégique

## Management actions & résilience du portefeuille

- Initiatives opérationnelles : initiative sécheresse, gestion des expositions, adaptation territoriale
- Mobilisation des dispositifs existants (ex. fonds Barnier)