

Modélisation du Risque Venteux : La Tempête Martin (1999)

Date : 17 février 2026

Module : Enjeux et modélisation des risques climatiques

Auteur : Arthur DANJOU - M2 ISF

Partie 1 : Analyse de l'aléa et des données d'exposition

Question 1.1

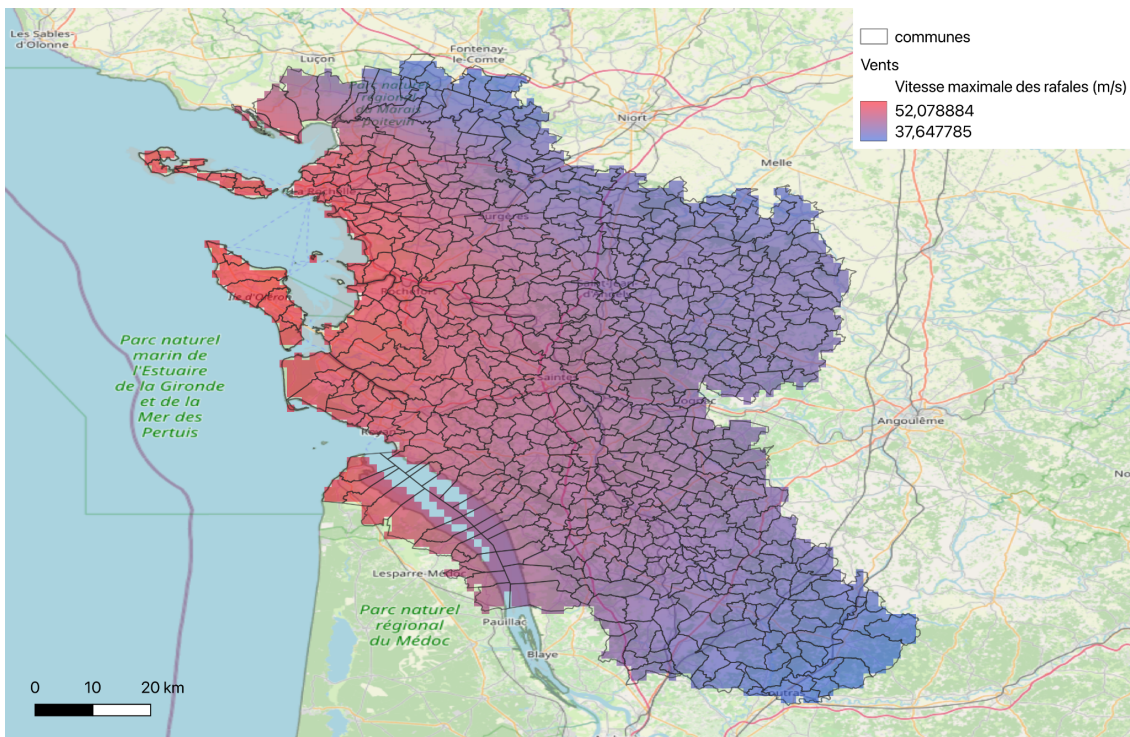
La cohérence des systèmes de coordonnées est primordiale pour l'exactitude des calculs spatiaux. Les couches utilisées présentent les paramètres suivants :

- **CRS Raster (Aléa vent)** : EPSG:4326 (WGS 84)
- **CRS Communes (Vecteur)** : EPSG:2154 (RGF93 / Lambert-93)
- **CRS Bâtiments (Vecteur)** : EPSG:2154 (RGF93 / Lambert-93)

L'échantillon comprend **630 communes**. On observe une forte hétérogénéité démographique (standard deviation de 3 787 habitants).

Indicateur	POPULATION	SUPERF_CAD (ha)	DATE_RCT
Count	630	630	630
Mean	1 348,4	1 616,95	2022-01-01
Std	3 787,1	1 086,95	-
Min	43	120	2022-01-01
Max	79 961	8 940	2022-01-01

Question 1.2



**Répartition spatiale de l'aléa venteux :
Rafales maximales de la Tempête Martin (1999) en Charente-Maritime**

Question 1.3

La carte de l'aléa (1.2) met en évidence un gradient de vent décroissant selon une direction Ouest-Est. Les vitesses maximales atteignent 52,08 m/s sur le littoral et les îles (Ré, Oléron), zones de premier impact de la dépression. À mesure que le phénomène pénètre dans les terres, la rugosité du milieu et la dissipation de l'énergie réduisent les rafales à environ 37,6 m/s dans l'Est du département. Ce gradient est caractéristique des tempêtes extrêmes de type "convective" provenant de l'Atlantique.

Partie 2 : Croisement Aléa-Territoire et Analyse de l'Exposition

Question 2.1

L'exposition est quantifiée par l'intersection spatiale entre l'aléa physique (raster de vent) et les enjeux structurels (couche bâti). Cette étape repose sur une jointure spatiale et l'extraction de statistiques zonales permettant d'associer à chaque entité son niveau de sollicitation climatique.

A. Statistiques descriptives du bâti (Indicateurs structurels) : L'inventaire porte sur un parc hétérogène de plus de 100 000 entités. La présence de valeurs négatives pour le Z_{MIN_SOL} (-3.0) confirme l'implantation de bâtis dans des zones de dépressions ou de marais littoraux.

Indicateur	NB_ETAGES	HAUTEUR (m)	Z_MIN_SOL (m)	Z_MAX_TOIT (m)
Count	45 989	99 954	100 552	87 034
Mean	1,31	4,13	26,88	33,30
Std	0,56	1,83	25,61	26,13
Min	0	0	-3,0	0
Max	14	50,4	158,3	165,9

B. Statistiques des rafales agrégées par commune (Zonal Stats) : Le croisement par commune permet d'observer la distribution de l'aléa au niveau administratif. Le faible écart-type moyen (0,24 m/s) indique une relative homogénéité de la vitesse du vent à l'échelle intra-communale pour la majorité du département.

Indicateur	Vit. Moyenne (m/s)	Vit. Maximale (m/s)	Vit. Minimale (m/s)	Ecart-type
Count	630,00	630,00	630,00	630,00
Mean	44,01	44,43	43,59	0,24
Std	3,11	3,15	3,09	0,20
Min	37,91	38,18	37,51	0,01
Max	51,71	52,24	51,53	2,02

Question 2.2

L'extraction statistique par commune permet d'identifier précisément les zones de sollicitation maximale. Les résultats distinguent les intensités moyennes (exposition chronique durant l'événement) et les intensités maximales (pics de pression).

Top 3 par vitesse de vent maximale (Pics d'intensité) :

1. **Saint-Georges-d'Oléron** : 52,24 m/s
2. **Saint-Pierre-d'Oléron** : 52,08 m/s
3. **Île-d'Aix** : 51,88 m/s

Top 3 par vitesse de vent moyenne (Exposition globale) :

1. **La Brée-les-Bains** : 51,71 m/s
2. **Saint-Georges-d'Oléron** : 51,70 m/s
3. **Saint-Pierre-d'Oléron** : 51,50 m/s

Les communes insulaires (Oléron et Aix) constituent les foyers d'exposition critique. L'absence de relief et de rugosité forestière sur ces territoires explique le maintien de vitesses dépassant les 50 m/s , seuil de dommage structurel majeur.

Question 2.3

L'analyse porte sur un échantillon de 101,370 **bâtiments** disposant d'une valeur de vent valide. Sur la base d'une surface moyenne de 110,04 m² et d'un coût de reconstruction de 1 500 €/m², la valeur totale du portefeuille (Exposition) s'élève à environ 16,73 **milliards d'euros**.

Partie 3 : Estimation des Pertes Économiques

Question 3.1

Conformément aux hypothèses de modélisation, la valeur assurée de chaque bâtiment est estimée sur la base d'un coût de reconstruction à neuf de 1 ,500 €/m² .

- **Valeur totale du portefeuille exposé (MFL) :** 16 755 028 665 €
- **Valeur moyenne par bâtiment :** 165 061,20 €
- **Étendue des valeurs :** De 405 € (dépendances/garages) à plus de 43,4 M€ (complexes industriels ou tertiaires).

Cette évaluation constitue l'assiette de calcul pour l'application des courbes de vulnérabilité.

Question 3.2

L'application de la fonction de dommage à l'échelle de chaque entité permet d'obtenir la distribution statistique des pertes estimées. On observe une sinistralité très marquée, cohérente avec la violence de l'aléa.

Indicateur	Valeur (€)
Count	101 508
Moyenne	116 203,40
Écart-type	289 968,30
Minimum	297,00
25% (Q1)	22 417,50
50% (Médiane)	68 928,75
75% (Q3)	147 942,00

Maximum

28 830 410,00

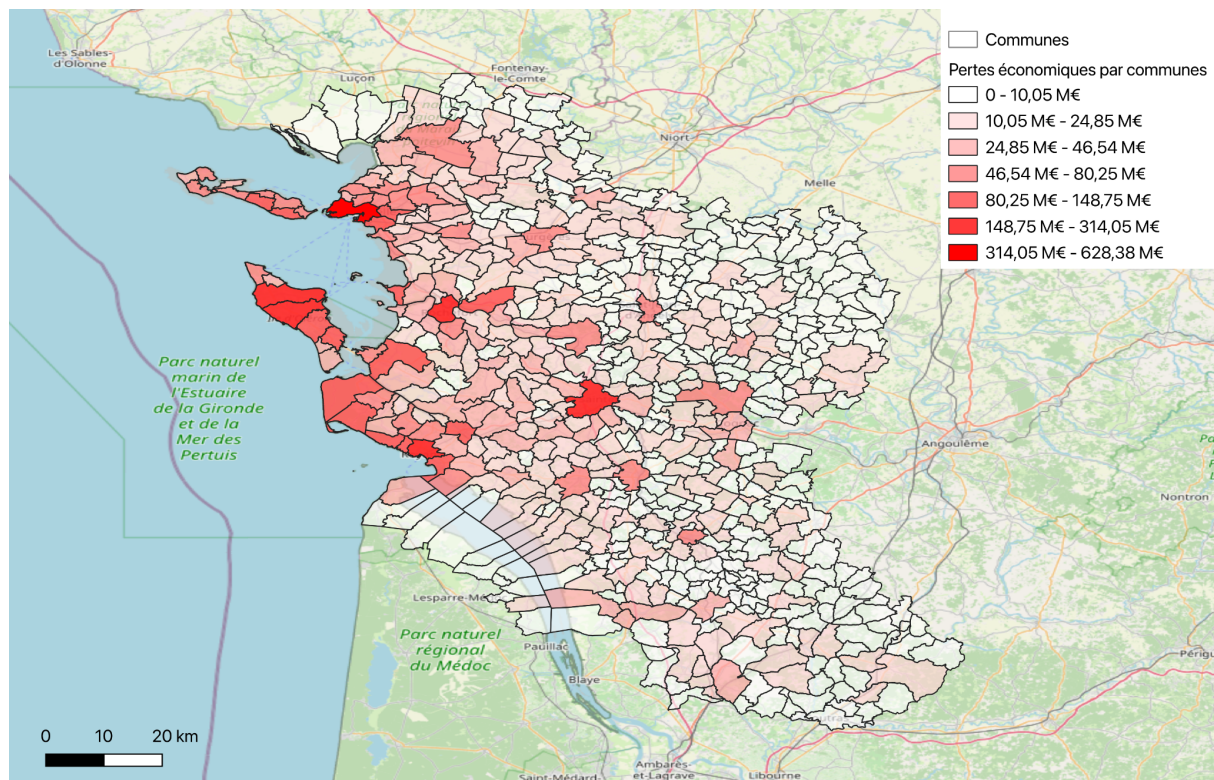
Question 3.3

L'agrégation des résultats à l'échelle départementale permet de quantifier l'impact financier majeur de l'événement sur le parc bâti de la Charente-Maritime.

- **Perte économique totale** : 11 795 577 774,00 €
- **Nombre total de bâtiments endommagés** : 101 508
- **Perte moyenne par bâtiment endommagé** : 116 203,43 €

Ce bilan souligne la sévérité du scénario "Martin" : le coût moyen des dommages représente environ 70,4% de la valeur moyenne assurée des bâtiments, témoignant de ruptures structurelles généralisées (toitures arrachées, effondrements partiels).

Question 3.4



**Répartition spatiale des pertes économiques
par commune lors de la tempête Martin (1999)**

Partie 4 : Analyse Exploratoire et Approfondissement

Piste 1 : Affinement de la fonction de dommage

L'intégration du matériau de toiture (**MAT_TOITS**) affine la courbe de dommage par l'application de coefficients de vulnérabilité.

Code	Matériau (Hypothèse)	Nb Bât.	Perte Initiale (M€)	Perte Affinée (M€)	Variation (M€)
10	Tuiles (V+)	32 159	4 730	5 670	+945,355
01	Béton/Ard. (V-)	4 424	398	318	-79,587
09	Tuile Canal (V+)	567	30,6	33,7	+3,065
12	Tuile Plate (V+)	90	15,1	16,7	+1,518
13	Zinc (V-)	575	89,2	80,2	-8,919
20	Béton (V-)	224	29,7	23,7	-5,936
00	Indifférencié	2 851	281	281	0

L'analyse démontre que la prédominance régionale des tuiles (code 10) aggrave le bilan départemental de près d'un milliard d'euros. À l'inverse, les structures en béton ou ardoise (codes 01, 20, 03) présentent une résilience qui réduit la perte théorique de 20% sur ces segments.

Piste 2 : Analyse de l'impact de la hauteur des bâtiments

L'analyse de la sévérité s'appuie sur des métriques de concentration des pertes, fondamentales pour le calibrage des traités de réassurance et la détermination du Capital de Solvabilité Requis (SCR) :

- **Ratio de perte global (75,56%)** : Ce niveau de sinistralité qualifie l'événement de systémique. Un tel ratio indique que la quasi-totalité des réserves d'un assureur monoline serait consommée, soulignant l'importance de la diversification géographique du risque.
- **Intensité des dommages (62 112 bâtiments)** : Plus de 60% du parc immobilier est considéré en perte quasi-totale ($DR \geq 80\%$). Pour la gestion des sinistres, cela implique une stratégie de reconstruction massive plutôt que de réparation, multipliant les coûts de main-d'œuvre et de matériaux par effet d'inflation post-catastrophe.
- **PML 95% (Probable Maximum Loss)** : 347 898,31 € : Cet indicateur de queue de distribution (équivalent à une Value-at-Risk à 95%) signifie que pour les 5% des bâtiments les plus exposés, la perte individuelle dépasse les 347 k€. Ce seuil permet à l'assureur de fixer sa rétention et d'acheter une capacité de réassurance adéquate pour couvrir les scénarios extrêmes.

Piste 3 : Cartographie avancée et communication

Le "Stress Test" simulant une augmentation de 10% de la vitesse du vent révèle une **élasticité de 1,73** :

- **Résultat** : Une hausse de **10%** de l'aléa provoque une hausse de **17,34%** des pertes financières.
- **Interprétation** : Cette relation démontre la **convexité du risque climatique**. Le passage de seuils de résistance structurelle (rupture des charpentes) entraîne une explosion des coûts non proportionnelle à l'augmentation de la force physique.
- **Implication Data Science** : Ce résultat souligne une forte sensibilité aux erreurs de mesure. Une sous-estimation de seulement 10% du raster de vent par le modèle météorologique conduit à une erreur de prévision financière de près de 20%, illustrant l'importance cruciale de la précision de l'aléa dans le Cat Modeling.

Conclusion Générale

Cette étude a permis de modéliser l'intégralité de la chaîne de valeur du risque climatique, depuis l'intégration de données géospatiales complexes jusqu'à l'extraction d'indicateurs financiers de solvabilité.

L'analyse démontre que l'impact de la tempête Martin en Charente-Maritime n'est pas seulement le résultat de la violence de l'aléa, mais de sa rencontre avec une vulnérabilité structurelle spécifique (prédominance des toitures en tuiles). Avec un ratio de perte global de 75,56% et une élasticité de 1,73, le modèle souligne le caractère systémique et non-linéaire des périmètres naturels extrêmes.

Pour le gestionnaire de risques et le Data Scientist ISF, ces résultats imposent deux conclusions majeures :

1. **La précision de l'aléa est critique** : La forte convexité du risque rend toute erreur de mesure météorologique rédhibitoire pour l'estimation des réserves techniques.
2. **Le besoin de transfert de risque** : La concentration des dommages (PML 95% à 347 k€) et l'intensité des pertes totales (11,8 Mds €) confirment que la mutualisation locale est insuffisante, rendant le recours à la réassurance et aux mécanismes de titrisation (Cat Bonds) indispensable.

Enfin, dans un contexte de changement climatique, la répétition de tels scénarios extrêmes nécessite une mise à jour constante des courbes de vulnérabilité et une intégration plus fine des caractéristiques du bâti pour garantir la résilience financière des assureurs.