



MASTER ACTUARIAT

ASSURANCE DES BIENS

Projet : Étude des données sur les inondations

Elèves :

Marie MEYER
Linh CHI

Enseignant :

Dimitri MINASSIAN

Table des matières

Introduction	2
1 Contexte général de l'étude	3
1.1 Le risque inondation et son processus d'indemnisation	3
1.1.1 Définition et mise en contexte	3
1.1.2 Régimes mis en places	4
1.2 Modélisation du risque inondation sous Solvabilité 2	4
1.2.1 Evaluation du risque inondation dans le cadre de la Formule Standard	5
1.2.2 Limites de cette évaluation	6
1.3 Bases de la modélisation des catastrophes naturelles	7
1.3.1 Modélisation du risque en assurance	7
1.3.2 Modèles catastrophes	8
2 Modélisation de l'effet géographique	10
2.1 Présentation des données	10
2.1.1 Données SYNOP	10
2.1.2 Données Fréquence Cat Nat	11
2.1.3 Données fréquence sinistres	12
2.1.4 Données sur les Indemnités Versées	12
2.2 Analyse corrélationnelle et géographique des sinistres et reconnaissances d'inondations	13
2.2.1 Quantité de précipitation	13
2.2.2 Nombre de reconnaissances Cat Nat par commune	14
2.2.3 Fréquence des sinistres par commune liés aux inondations	16
2.2.4 Aperçu de la relation	17
2.2.5 Densité de population	19
2.2.6 Distance au cours d'eau le plus proche	19
2.3 Tendances et prévisions d'indemnisations vers les dommages assurés	21
2.3.1 Analyse statistique descriptive	21
2.3.2 Visualisation des Données sur les Indemnités Versées	21
2.3.3 Modélisation et prévision stochastiques	23
2.3.4 Interprétation des résultats	24
Conclusion	26
Annexes	27

Introduction

Les inondations représentent le phénomène climatique provoquant le plus de dégâts, pouvant avoir un impact considérable tant sur l'homme que sur ses activités ou son environnement. À titre d'exemple, les inondations liées aux tempêtes Ciara et Domingos en 2022 ont engendré plus de 1,3 milliard d'euros de dommages, avec 517 000 sinistres.

Les inondations et les submersions marines sont les risques naturels touchant le plus grand nombre de personnes en France. Phénomène saisonnier résultant de précipitations soutenues et durables, l'inondation peut également provenir de la mer ou des eaux souterraines. Ce risque naturel peut être fortement accentué par les activités humaines et les aménagements.

En assurance habitation, les montants des sinistres survenus suite à des événements climatiques constituent une part significative du bilan des compagnies. Le risque climatique est expliqué par la localisation de l'objet assuré bien plus que par les caractéristiques propres à l'habitation. L'actuaire résume alors l'impact de l'environnement de l'habitation par une variable qualitative appelée zonier, pouvant être établie à plusieurs mailles géographiques plus ou moins fines. À la maille communale, pour un zonier de fréquence, l'objectif est de mettre en valeur les villes les plus touchées en moyenne par un péril donné. Certaines compagnies procédaient en affectant un tarif plus important aux habitations d'une commune dont les assurés ont significativement été plus touchés sur une période donnée par des événements naturels que ceux d'une autre commune.

L'objectif de ce rapport est d'étudier le risque d'inondation.

Nous examinerons donc dans un premier temps le contexte général de l'étude, puis nous analyserons la modélisation de l'effet géographique.

1 Contexte général de l'étude

Dans la première partie, nous présenterons les choix faits pour définir les données utilisées et du zonier inondation construit.

1.1 Le risque inondation et son processus d'indemnisation

1.1.1 Définition et mise en contexte

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors de l'eau, qu'elle qu'en soit l'origine (cf *Georisque /b/*). L'événement climatique est provoqué par différentes origines : montée lente des eaux en région de plaine (remontées de nappes ou sortie de la rivière de son lit moyen ou de son lit majeur) ; crues torrentielles rapides consécutives à des averses violentes (concentration rapide dans le cours d'eau) ; ruissellement en zone urbaine (l'imperméabilisation du sol empêche l'eau de s'infiltrer) ; submersion marine en bord de côte.

Remarque. Ne possédant pas d'information sur le type d'inondation, l'étude comprend tous les types d'événements.

La moitié des catastrophes naturelles mondiales recensées sont des inondations. La France est elle-même un pays exposé du fait de son réseau hydraulique important et de son profil météorologique avec une possibilité d'orages et de fortes pluies.

En tant que risque, l'inondation fait suite à la combinaison d'un aléa (hydrologique ou, dans le cas d'une rupture de barrage, technologique) avec des enjeux, la présence de biens ou de personnes dans une zone inondable.



FIGURE 1 – Représentation de l'aléa, de l'enjeu et du risque inondation
(Source *EauFrance*)

En France, le risque inondation concerne une partie importante de la population. Ainsi en métropole, ce sont 17.1 millions d'habitants et 9 millions d'emplois qui se trouvent dans des zones inondables par débordement de cours d'eau, et 1.4 millions d'habitants et 850 000 emplois qui sont exposés aux submersions marines (cf *Ministère*). En conséquence, les inondations ont un impact considérable d'un point de vue économique, environnemental et humain. D'un point de vue assurantiel, les catastrophes naturelles engendrent d'importants montants de sinistres.

Par exemple en 2009, la tempête Klaus, qui a dévasté les côtes aquitaines, a engendré 5 milliards d'euros de dommages, un montant auquel de nombreux assureurs n'étaient pas préparés (cf *Wikipedia*) . La plupart des assureurs ne disposaient ni de provisions suffisantes ni de la couverture de réassurance adéquate pour faire face à un tel évènement. Ils ont donc eu des difficultés à indemniser leurs assurés et ont connu des difficultés financières. Cet exemple illustre l'importance cruciale pour les assureurs d'évaluer de façon adéquate les risques auxquels ils sont soumis.

Du fait de l'augmentation de la fréquence de ces catastrophes ainsi que du coût d'une inondation, il faut maîtriser et couvrir ce risque.

L'inondation représente donc une **préoccupation significative pour un pays exposé tel que la France**.

1.1.2 Régimes mis en places

En réponse à ces enjeux, le gouvernement met en place des plans de prévention pour les personnes se trouvant en zones reconnues inondables.

L'État français a en effet reconnu des TRI (Territoires à Risques d'Inondation)¹. L'une des actions majeures pour faire face aux catastrophes naturelles, est la mise en place par la loi du 13 juillet 1982 du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles pour les compagnies d'assurance (nommé **régime Cat-Nat**). Les contrats d'assurance CAT-NAT sont conçus pour couvrir les dommages causés par des catastrophes naturelles, notamment les inondations. Ces types de contrats sont souvent spécifiques aux régions géographiques exposées à des risques élevés de catastrophes naturelles. Ceci implique que tout assuré bénéficiant d'un contrat assurance dommages est automatiquement couvert contre les dégâts dus aux catastrophes naturelles.

Depuis 2012, il existe la garantie inondation dans les contrats **MRH**² pour compléter le régime légal des Cat-Nat. Elle prend en charge l'indemnisation des assurés, victimes d'une inondation qui sont dans l'impossibilité de faire fonctionner la garantie Cat-Nat car la commune n'a pas bénéficié d'un arrêté publié au Journal officiel (pour plus d'informations sur ce sujet voir *Georisque [a]*). Cette garantie assure les dommages aux biens mais aussi les frais de relogement, si l'assuré ne l'est pas gratuitement.

Dans le cadre de son contrat MRH, l'indemnisation d'un sinistre inondation peut s'effectuer soit au titre du régime Cat-Nat soit au titre de la garantie inondation.

1.2 Modélisation du risque inondation sous Solvabilité 2

Nous étudierons dans cette partie l'approche utilisée sous Solvabilité 2 pour modéliser le risque inondation. Cette approche permet d'estimer le besoin de capital requis en fonds propres pour chaque assureur afin de faire face aux évènements d'inondations pouvant survenir dans l'année.

1. Les TRI sont des parties du territoire ayant des prédispositions à subir des inondations (cf *Wikipedia [b]*)

2. Le contrat d'assurance multirisques habitation (MRH) est un contrat multi garanties qui permet de protéger le patrimoine familial (habitation et mobilier) lorsque l'on est responsable ou victime d'un sinistre. (cf *Gouvernement [a]*)

Définissons tout d'abord la Solvabilité 2. Depuis le 1er janvier 2016, les organismes d'assurance sont soumis à la directive **Solvabilité 2**. C'est une réforme réglementaire européenne dont l'objectif est de mieux adapter les fonds propres exigés des compagnies d'assurance et de réassurance aux risques que celles-ci encourrent dans leur activité. (cf *Wikipedia [a]*). Ce régime prudentiel impose aux organismes d'assurances des exigences quantitatives et qualitatives pour la maîtrise de leur besoin en fonds propres. La directive est axée autour de trois piliers et vise à garantir la solvabilité des sociétés d'assurance en adaptant le niveau des capitaux propres requis aux risques réels auxquels ces sociétés sont exposées. Dans le pilier 1, le principal indicateur est le SCR³. Le SCR doit permettre de faire face à un niveau de perte qui surviendrait une fois tous les 200 ans et donc de limiter la probabilité de ruine.

Le capital de solvabilité requis est calculé soit à l'aide de la formule standard soit à l'aide d'un modèle interne. Dans la formule standard de Solvabilité 2, le calcul du SCR se fait par niveau de risque avant d'être agrégé via une matrice de corrélation à chaque étape. Parmi les risques couverts par la formule standard on retrouve le risque inondation qui intervient dans le risque de catastrophes du module de risque non-vie (voir Figure 2 ci-dessous)

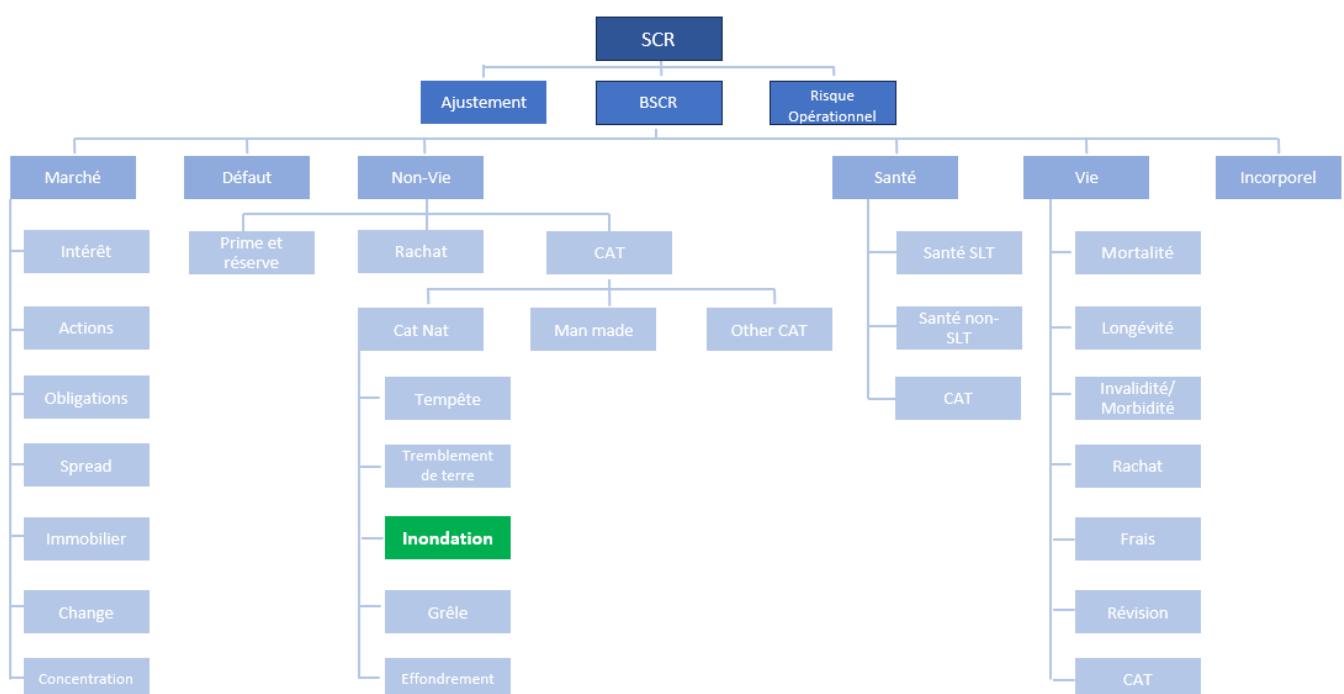


FIGURE 2 – Répartition des risques couverts par la formule standard pour le calcul du SCR
(Source : *Bedi [2018]*)

1.2.1 Evaluation du risque inondation dans le cadre de la Formule Standard

Dans la formule standard, la méthodologie suivie pour évaluer chacun des risques de catastrophe naturelle est similaire. En effet, le coût d'un événement bicentenaire en France Métropolitaine (L_R) pour chaque risque R est calculé comme suit :

3. Le SCR (Solvency Capital Requirement ou Capital de Solvabilité Requis) est le capital nécessaire pour que la compagnie puisse faire face aux engagements envers ses assurés dans 99,5 % des cas à un horizon d'un an (cf *InstitutDesActuaires*)

$$L_R = Q_R \times \sqrt{\sum_{i,j} Corr_{R,i,j} \times WSI_{R,i} \times WSI_{R,j}} \quad (1)$$

Avec :

- Q_R le facteur de risque R associé à la France Métropolitaine ;
- $Corr_{R,i,j}$ le coefficient de corrélation (pour le risque R) entre les départements français i et j ;
- $WSI_{R,i}$ le produit entre le facteur Cresta⁴ relatif au département i et le total des sommes assurées sur le département i, avec un contrat qui couvre le risque R .

Le calcul de la charge de sinistre résultant du risque inondation se fait en étudiant deux scénarios⁵ avec l'hypothèse de deux événements inondations dans l'année. Dans le scénario A, nous évaluons la charge de deux événements inondations d'intensité moyenne et dans le scénario B, on évalue la charge d'une grosse inondation suivie d'une plus petite. Nous calculons la charge engendrée pour chaque scénario, brute de réassurance puis on applique le programme de réassurance pour déduire le capital requis net pour le risque de tempête.

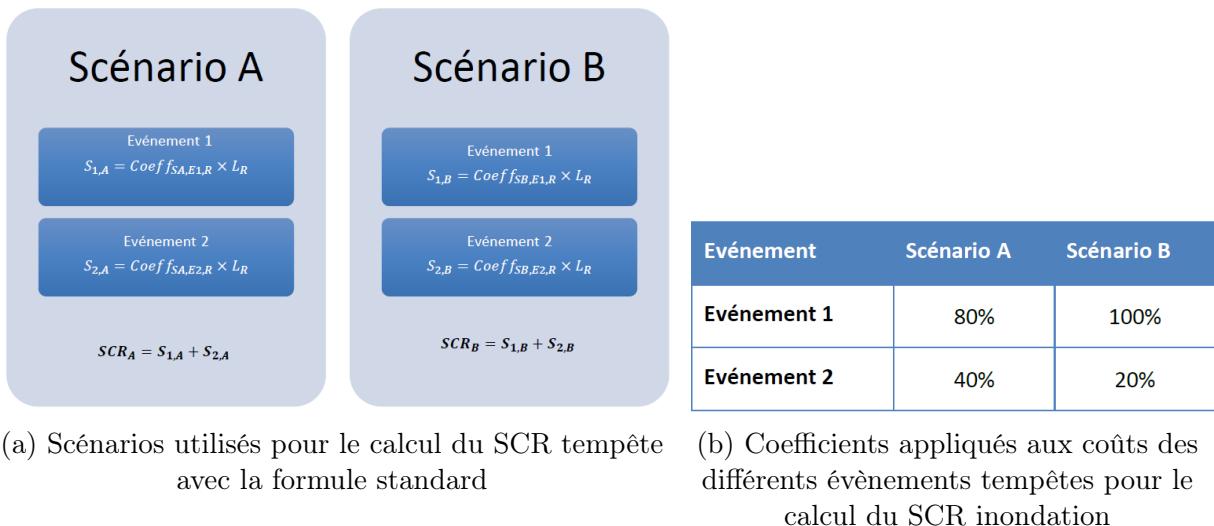


FIGURE 3 – Source : Bedi [2018]

1.2.2 Limites de cette évaluation

La formule standard permet à tous les acteurs d'estimer de manière simple le besoin en capital associé au risque de tempête, cependant elle s'éloigne de la réalité en ne tenant pas compte des spécificités des portefeuilles. En effet, elle est basée sur l'hypothèse de deux scénarios de tempête sur l'année avec des événements dont l'intensité est définie à l'avance. En plus de cette hypothèse très simplificatrice, cette formule ne tient pas compte de la distinction des catégories

4. Une CRESTA est une zone géographique homogène en termes d'expositions CAT selon le découpage standard de l'agence CRESTA (Catastrophe Risk Evaluation Standardizing Target Accumulations)

5. Un scénario est une série d'événements fictifs mais probables

de biens assurés : les dommages sur les portefeuilles résidentiel, agricole, commercial ou industriel sont modélisés de la même manière.

C'est la raison pour laquelle il peut sembler utile de mettre en place un modèle inondation permettant de mieux prendre en compte les caractéristiques du portefeuille et son historique de la sinistralité.

1.3 Bases de la modélisation des catastrophes naturelles

1.3.1 Modélisation du risque en assurance

Nous verrons dans cette partie comment ce risque peut être évalué avec une approche stochastique.

Dans un contrat d'assurance, « *l'assureur, s'engage à verser à l'assuré une somme d'argent (l'indemnité) réparant le préjudice subi en cas de survenance d'un sinistre, défini en échange du paiement d'une somme versée (la prime) (cf Gouvernement [2017])*

. En souscrivant un contrat d'assurance, les assurés transfèrent le risque aux assureurs. Le risque assuré est un événement aléatoire et les cotisations sont encaissées avant le versement des éventuelles prestations : c'est l'inversion de cycle de production en assurance. Il est donc nécessaire pour l'assureur de bien tarifer la prime du contrat et de bien estimer les provisions techniques qui serviront à financer les prestations versées aux assurés.

Dans le cas des catastrophes naturelles, l'évaluation des sinistres est assez difficile. L'évaluation d'un risque s'effectue en fonction de trois variables :

- **La fréquence d'occurrence** de l'évènement : pour la plupart des sinistres, la probabilité d'occurrence d'un évènement est évaluée à l'aide d'outils statistiques en se basant sur les sinistres des années antérieures. Cependant ces méthodes ne sont pas applicables dans le cadre des catastrophes naturelles car il s'agit d'événements rares qui surviennent de façon irrégulière, les données dont on dispose sont insuffisantes et donc inadaptées aux méthodes statistiques fréquemment utilisées.
- **L'ampleur de l'événement** : contrairement à la plupart des sinistres, la charge de sinistre liée aux catastrophes naturelles varie énormément d'une année à l'autre. De plus, les catastrophes naturelles ont pour particularité d'affecter des zones étendues et donc de toucher simultanément un nombre important de biens assurés. L'ampleur des dommages peut atteindre un montant considérable et impacter énormément le résultat d'un organisme d'assurance.
- **La dépendance géographique** : si la localisation géographique ne joue pas un rôle significatif pour la plupart des risques, l'exposition d'un portefeuille d'assurance aux catastrophes naturelles dépend fortement de la répartition géographique des sommes assurées. En effet, certaines régions sont plus susceptibles d'être touchées par certaines catégories de catastrophes naturelles. Par exemple en France le risque d'inondation est particulièrement élevé dans les régions du sud et dans les zones limitrophes des principaux fleuves.

Remarque. Les évènements catastrophiques ont une périodicité très longue et les sinistres observés sont rarement représentatifs du risque réel.

Par exemple, la période de retour des tempêtes Lothar et Martin a été estimée de l'ordre

de 400 / 500 ans. On ne dispose pas de suffisamment d'observations pour estimer ce type de risque. Pour modéliser les risques liés aux catastrophes naturelles, la plupart des assureurs font donc recours à des modèles scientifiques pour anticiper leur impact financier.

1.3.2 Modèles catastrophes

Généralement, les historiques de sinistres liés aux phénomènes CAT sont souvent très faible pour être réellement représentatifs. Le risque de certaines régions est alors sous-estimé. Il faut donc « compléter » cette vision historique par des scénarios (vu précédemment) permettant ainsi d'élargir la connaissance du risque.

Le modèle CAT va permettre d'obtenir la forme « complète » de la distribution des pertes liée au portefeuille étudié comme ci-dessous :

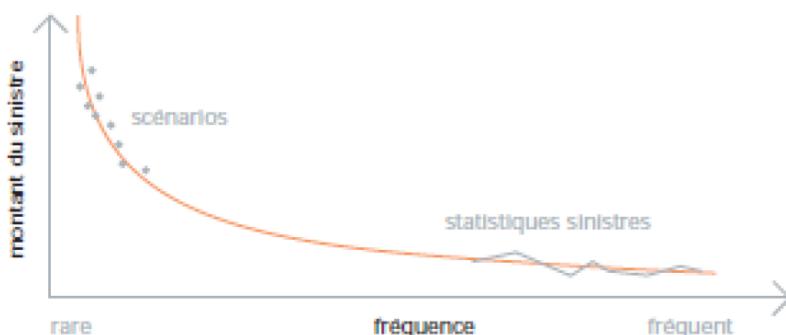


FIGURE 4 – Schéma : Principe d'un modèle CAT
(Source Hassani [2017])

Un modèle catastrophe permet de simuler les sinistres causés par les catastrophes naturelles. Pour modéliser ce modèle, il faut définir des zones de risque homogène, modéliser la fréquence de survenance des évènements ainsi que leur sévérité et estimer les pertes financières probables. Ainsi, nous essayons à partir d'un modèle CAT de simuler dans un monde "virtuel", les sinistres causés par des catastrophes naturelles dans la réalité.

Généralement un modèle CAT est divisé en quatre modules :

- **Le Module Exposition :** Le premier module consiste à apporter des informations sur la localisation géographique des objets assurés, leur nature et leur valeur. Nous pouvons retrouver dans le portefeuille les caractéristiques concernant le nombre d'étages, le type de risque assuré, la localisation...
- **Le Module Aléa :** Il consiste à modéliser la fréquence de survenance des sinistres ainsi que leur sévérité (si vous voulez plus d'informations sur la sévérité je vous invite à aller lire votre cours). Ce module permet de simuler par exemple la hauteur d'eau pour une inondation. Ce module permet, par des considérations le plus souvent physiques et statistiques, de créer des évènements fictifs probables qui peuvent toucher le portefeuille.
- **Le Module Vulnérabilité :** Ce module consiste à quantifier la sinistralité de chaque évènement. Des courbes de vulnérabilité sont établies selon les différentes catégories de risque (par exemple selon la nature du bien assuré : Résidentiel, commercial, industriel ou agricole). L'objectif est d'établir la répartition du taux de destruction des biens assurés.

- Le **Module Financier** : Dans ce module, nous calculons les pertes de l'assureur en tenant compte de la franchise du contrat d'assurance et en appliquant le programme de réassurance.

2 Modélisation de l'effet géographique

2.1 Présentation des données

Pour constituer notre étude, nous nous limitons à la France métropolitaine (Corse incluse). Les DROM-COM sont exclus car nous possédons moins d'informations et le profil climatique dans ces territoires n'est pas le même que celui de la métropole.

2.1.1 Données SYNOP

Pour modéliser le risque de tempête en France métropolitaine, nous allons nous baser dans un premier temps sur des données provenant de stations météorologiques de Météo France. Il s'agit de données d'observations issues des messages internationaux d'observation en surface (SYNOP). Les données observées sont des paramètres atmosphériques mesurés (température, humidité, direction et force du vent, pression atmosphérique, hauteur de précipitations) ou observés (temps sensible, description des nuages, visibilité) depuis la surface terrestre, qui sont relevées toutes les 3 heures. Les données sont archivées par fichiers mensuels depuis 1958 par stations. Il y a 42 stations en France métropolitaine :

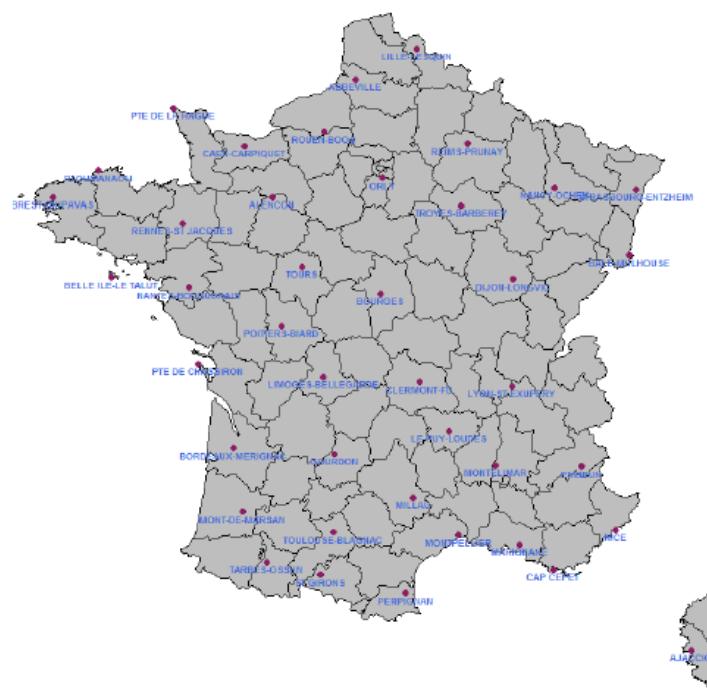


FIGURE 5 – Carte : Répartition des stations météorologiques sur le territoire

Avec ces données a été mis en place sur le site du Gouvernement un tableau regroupant les records de pluies. Les données récupérées sur le site de Météo France fournissent des informations des pluies extrêmes sur ces 42 stations en France métropolitaine depuis 1958 (cf *Gouvernement /b/*).

Les données ne sont malheureusement pas sous format Excel, nous avons du dans un premier temps tout retranscrire pour créer une base de données (que nous nommons SYNOP.xlsx).

Ce fichier (**SYNOP.xlsx**) comprend les informations suivantes :

- **Région**
- **Département**
- **Mois**
- **Record annuel** : Date précise du record
- **Valeurs maximales de pluies (mm)**

2.1.2 Données Fréquence Cat Nat

Dans le cadre de l'assurance des catastrophes naturelles, la France possède une particularité qui la distingue des autres pays européens puisque dans le cas où de nombreux sinistres liés à un événement *CAT* se produisent, le maire d'une commune peut proposer de constater l'état de catastrophe naturelle de tout ou une partie de sa commune à travers une série de dispositifs (vu précédemment).

Il est alors possible de récupérer une base de données publique recensant la totalité des arrêtés CAT NAT en France depuis la création du régime et d'agréger cette information au niveau de chaque commune. Ainsi, une commune ayant été très fortement touchée dans le passé par des événements CAT aura un nombre d'arrêtés élevé.

Ce fichier (**ONRN_FreqMoyenne_Inon_9519.xlsx**) présente le nombre de reconnaissances officielles de l'état de catastrophe naturelle pour les inondations par commune. Les informations sont les suivantes :

- **Code INSEE** : Identifiant unique pour chaque commune en France.
- **Commune** : Nom de la commune.
- **Nombre de reconnaissances Cat Nat inondation (tous types)** : Le nombre de reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle pour les inondations, incluant tous les types d'inondations comme les coulées de boue, les remontées de nappe, et les submersions marines.

Les premières lignes montrent le nombre de reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle variant de 1 à 3 pour chaque commune listée.

Cet indicateur représente le nombre de reconnaissances de l'état de catastrophes naturelles publiées au Journal Officiel pour chaque commune française, suite à des événements d'inondation sous différentes formes (inondation, coulée de boue, remontée de nappe, submersion marine). L'indicateur est pertinent à l'échelle nationale et se concentre sur la France métropolitaine.

Les données proviennent de la base de CCR, mise à jour mensuellement, et concernent les communes existantes au 31/12/2019, excluant celles disparues ou fusionnées après cette date. Les limites de cet indicateur incluent l'exclusion des reconnaissances postérieures au 25/01/2023 et le fait qu'il peut inclure des communes reconnues suite à des événements de grande ampleur sans avoir subi de dommages. Cet indicateur, qui ne permet pas de hiérarchiser les communes en fonction de leur exposition aux inondations, reflète uniquement l'historique depuis 1982, ne couvrant pas nécessairement l'exposition actuelle aux risques d'inondation.

2.1.3 Données fréquence sinistres

Ce fichier (`ONRN_nbRecos_Inon_8222.xlsx`) contient des données sur la fréquence moyenne des sinistres liés aux inondations pour différentes communes. Il comprend les informations suivantes :

- **Code INSEE** : Identifiant unique pour chaque commune en France.
- **Commune** : Nom de la commune.
- **Fréquence moyenne de sinistres inondation (tous types)** : La fréquence moyenne des sinistres d'assurance liés aux inondations (incluant tous les types d'inondations).

Dans les premières lignes des données, chaque commune est indiquée comme "Pas de sinistre ou de risque répertoriés à CCR", signifiant qu'il n'y a pas eu de sinistre d'assurance ou de risque d'inondation enregistré chez CCR pour cette commune.

Cet indicateur analyse la fréquence des sinistres indemnisés par les assureurs en France métropolitaine pour les inondations. La fréquence est calculée comme le rapport entre le nombre de sinistres et le nombre de risques assurés dans chaque commune. Les données sont collectées et traitées par CCR, puis ajustées pour représenter l'ensemble du marché via une extrapolation basée sur les sinistres rattachés à des arrêtés de catastrophes naturelles. L'indicateur, pertinent au niveau national, est basé sur les données de 1995 à 2019, mais présente des limites et ne couvre pas les Outre-Mer.

2.1.4 Données sur les Indemnités Versées

Ce fichier (`cleaned_data.xlsx`) présente une analyse des indemnités versées pour les dommages assurés résultant d'inondations et de submersions marines en France, de l'année 1995 à 2019. Les données reflètent les coûts indemnisés par les assureurs dans le cadre du régime des catastrophes naturelles, couvrant divers phénomènes tels que les inondations généralisées, les coulées de boue, les inondations dues à la remontée des nappes phréatiques et les submersions marines. Il est à noter que ces coûts, exprimés en millions d'euros de 2022 pour tenir compte de l'inflation, sont nets de toute franchise et ne concernent pas les dommages aux véhicules terrestres à moteur.

Le champ d'application de ces données couvre le territoire français, à l'exception de Mayotte, mais inclut les collectivités d'outre-mer de Saint-Barthélemy et de Saint-Martin. L'analyse des indemnités versées offre un aperçu de l'impact financier des catastrophes naturelles sur le secteur des assurances et peut servir de base pour l'évaluation des risques futurs et la planification des stratégies de couverture.

Sur la période étudiée, le total des indemnités versées s'élève à 14 422 millions d'euros, avec une moyenne annuelle de 577 millions d'euros. Cette analyse est particulièrement pertinente pour comprendre la variabilité et la tendance des sinistres au fil du temps, permettant aux assureurs de mieux prévoir les provisions nécessaires et aux autorités de renforcer les mesures de prévention des risques naturels (Source : Ministère).

2.2 Analyse corrélationnelle et géographique des sinistres et reconnaissances d'inondations

Avant le travail de modélisation, nous nous proposons dans ce qui suit d'enrichir notre analyse en récoltant à partir de données publiques des informations géographiques.

2.2.1 Quantité de précipitation

La quantité de pluie tombée dans une zone donnée est une information capitale lorsque l'on étudie le phénomène d'inondation. Cette information est d'autant plus importante que les empreintes historiques générées par le module Aléa n'intègre pas les conditions de précipitations. Nous disposons de données de précipitations exprimées en millimètres de façon journalière avec un historique de près de 66 ans (*SYNOP.xlsx*, voir 2.3.4).

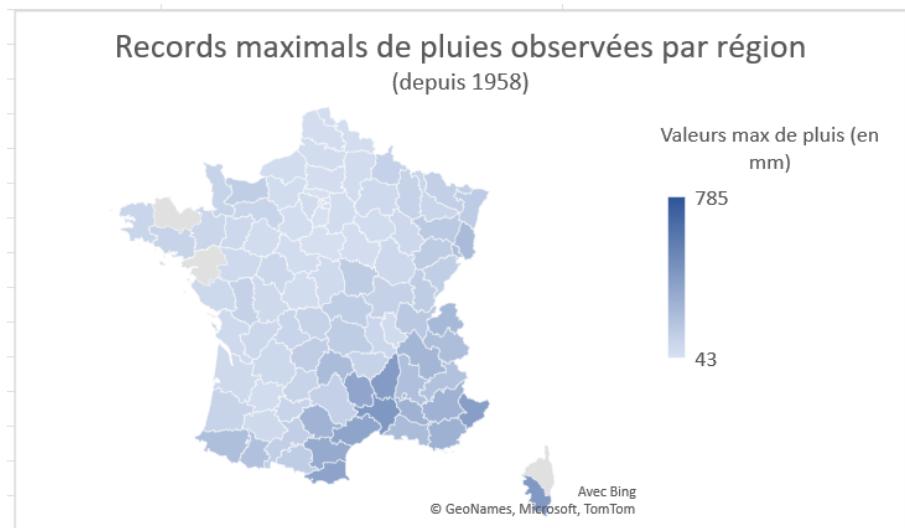


FIGURE 6 – Carte : Records maximaux de pluies observées par région

Nous remarquons que les régions de France les plus exposées à des pluies diluviales pouvant apporter plus de 200 mm en une journée (voire dans certaines situations beaucoup plus !) se situent principalement en bordure de la Méditerranée, même si le phénomène a déjà été observé sur d'autres départements de la moitié sud de la France.

Une telle quantité d'eau est en effet prodigieuse : c'est environ le tiers de ce qui tombe en moyenne à Paris en 1 an. Lorsqu'elle tombe sur une grande surface, le volume d'eau précipité est énorme.

Le maximum de pluie enregistré est de 785 mm, le 2 novembre 2011 en Ardèche. Ces pluies diluviales ont causé d'importants dégâts, comme le montre la photo ci-dessous :



FIGURE 7 – Crue de l’Ardèche à Saint Martin d’Ardèche (Source : Merck)

A partir de ces données, nous pouvons alors découper le territoire Français en trois grandes zones :

- < 50mm : Zones de faible précipitation.
- [50 ; 300mm[: Zones de précipitation modérée.
- > 300mm : Zones de forte précipitation principalement localisées dans le contour méditerranéen .

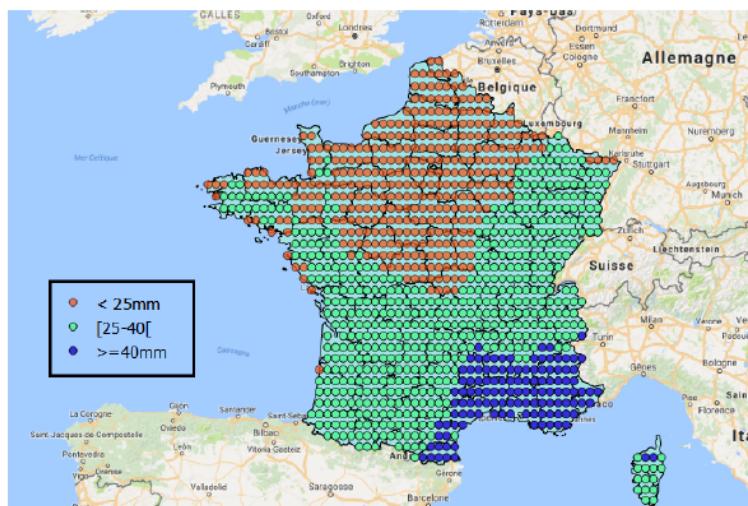


FIGURE 8 – Carte : Représentation des quantiles de pluie sur le territoire française

2.2.2 Nombre de reconnaissances Cat Nat par commune

Ci-dessous, nous pouvons représenter le nombre d’arrêtés CAT NAT en France métropolitaine.

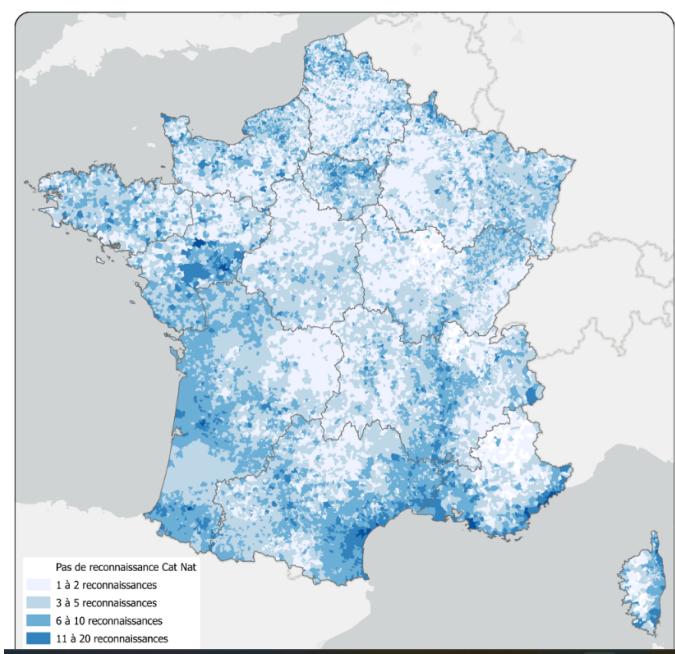


FIGURE 9 – Carte : Nombre de reconnaissances Cat Nat par commune au titre des inondations

La carte montrent un nombre important de communes avec 1 à 2 reconnaissances, et un nombre plus important avec 3 à 5 reconnaissances situé notamment vers le Sud. Le Sud est en effet une région qui historiquement est fortement sinistrée à cause d'une quantité de précipitation bien supérieure à la moyenne ; la teinte plus foncée indiquant une plus forte concentration d'arrêtés. Cela indique un niveau important de sensibilisation aux inondations, ce qui peut refléter le fait qu'une inondation s'est produite ou qu'elle a un risque potentiel élevé.

Les communes n'ayant **pas de reconnaissance** Cat Nat suggère qu'elles ont peut-être été moins touchées par de graves inondations ou n'ont jamais été suffisamment touchées pour nécessiter une identification.

À mesure que le **nombre de reconnaissances augmente**, cela indique une augmentation de la reconnaissance et éventuellement de la gravité des catastrophes naturelles.

Les communes avec un nombre élevé de reconnaissances indiquent qu'elles ont été plus touchées par les inondations et pourraient être confrontées à des risques plus élevés à l'avenir.

Nous avons par la suite construit un diagramme circulaire du nombre de reconnaissances Cat Nat par commune avec les pourcentages correspondants.

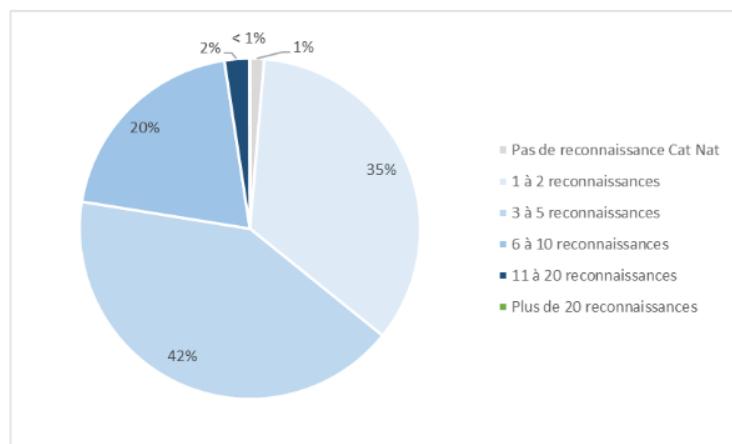


FIGURE 10 – Nombre de reconnaissances Cat Nat par commune au titre des inondations

Sur les 34 839 communes de France métropolitaine existantes au 31/12/2019 nous observons que :

- 469 communes n'ont pas d'identification Cat Nat.
- 12 005 communes ont entre 1 et 2 reconnaissances.
- 14 542 communes ont entre 3 et 5 reconnaissances.
- 6 983 communes ont entre 6 et 10 reconnaissances.
- 821 communes ont entre 11 et 20 reconnaissances.
- 19 communes ont plus de 20 identificatins.

2.2.3 Fréquence des sinistres par commune liés aux inondations

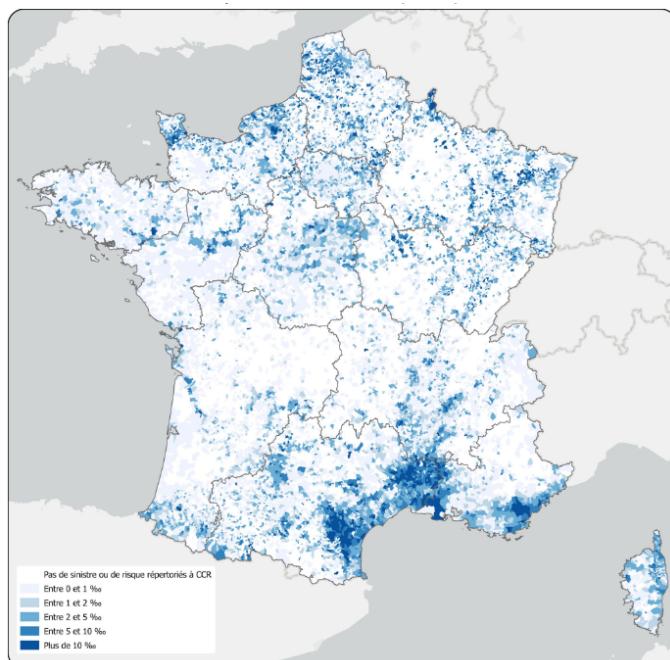


FIGURE 11 – Carte : Fréquence des sinistres par commune liés aux inondations

La carte ci-dessus représente la classification des communes en fonction du pourcentage de sinistres liés aux inondations enregistrés entre 1995 et 2019.

Une majorité de communes n'ont rapporté **aucun sinistre ou de risque répertorié à la CCR** lié aux inondations. Cela ne signifie pas forcément qu'il n'existe aucun risque d'inondation dans ces zones ; il se peut que les incidents n'aient pas été rapportés ou que les stratégies de prévention des risques aient été efficacement mises en place.

Les communes avec des taux de sinistre **faible (entre 0 et 1% et entre 1 et 2%)** peuvent bénéficier de conditions géographiques favorables ou de mesures de gestion des risques efficaces.

Enfin les communes avec un taux de sinistre **élevé (entre 2 et 5%, entre 5 et 10% et plus de 10%)** indiquent une probabilité accrue d'impact sévère des inondations. Ces situations peuvent être dues à la proximité avec de grands cours d'eau (voir 2.2.6), à des infrastructures insuffisamment robustes pour faire face aux catastrophes naturelles, ou à l'augmentation de la sévérité et de la fréquence des précipitations extrêmes due au changement climatique.

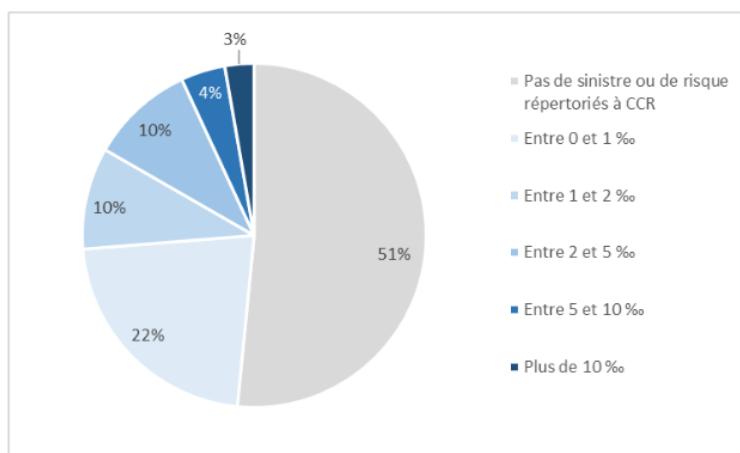


FIGURE 12 – Nombre de reconnaissances Cat Nat par commune au titre des inondations

Sur les 34 839 communes de France métropolitaine existantes au 31/12/2019 nous observons que :

- 17 964 communes n'ont pas de sinistre ou de risque répertoriés à CCR.
- 7 721 communes ont entre 0 et 1%.
- 3 335 communes ont entre 1 et 2%.
- 3 410 communes ont entre 2 et 5%.
- 1 454 communes ont entre 5 et 10%.
- 955 communes ont plus de 10%.

2.2.4 Aperçu de la relation

Maintenant que nous avons étudier les différentes cartes, nous pouvons analyser la relation éventuel entre celles-ci.

Corrélation entre sinistres élevés et Cat Nat

Tout d'abord, nous pouvons faire une corrélation entre sinistres élevés et Cat Nat. Les communes ayant le ratio « Plus de 10% » sur la Figure 12 représente les zones les plus vulnérables. Si ces communes ont également un nombre élevé d'identifications Cat Nat, cela pourrait indiquer que non seulement les inondations sont fréquentes, mais aussi que la gravité de ces événements est plus élevée. Cela nécessite une attention particulière dans la planification urbaine et la gestion des risques de catastrophe, ainsi que dans la mise en œuvre de mesures de soutien communautaire post-événement.

Analyse spatio-géographique

En comparant les cartes des Figures 9 et 11, nous pouvons identifier des zones spécifiques sur la carte française ci-dessous qui représente le chevauchement entre le sinistre et l'identification Cat Nat :

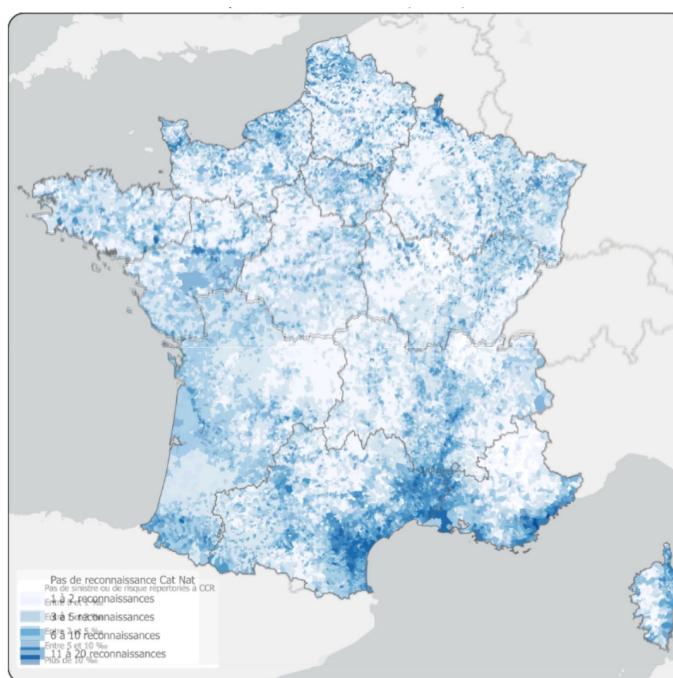


FIGURE 13 – Carte : Superposition des cartes 6 et 8

Cela peut inclure l'identification des principaux bassins versants des rivières, des plaines inondables de basse altitude ou des zones urbaines à forte densité situées à proximité des cours d'eau. Les zones bénéficiant d'une couverture commune élevée suggèrent qu'il s'agit de « points chauds » de risque de catastrophe et qu'il convient d'y accorder une priorité élevée dans l'allocation des ressources pour la prévention et le relèvement.

Conclusion et recommandations

Pour conclure, une relation peut être observée entre la fréquence et la gravité des inondations. Cela reflète non seulement le besoin d'informations et de données précises pour soutenir les décisions de gestion des risques, mais démontre également la nécessité d'investir à la fois dans la prévention et dans la préparation aux futures catastrophes naturelles.

2.2.5 Densité de population

Dans cette sous-partie, nous allons étudier la densité de la population. Elle peut être un facteur explicatif puisque les zones fortement urbanisées (et donc densément peuplée) présentent des résistances artificielles à l'inondation liées à la construction des nombreux bâtiments ou même à la construction de défenses (barrage par exemple) pour protéger les habitants plus efficacement contre le risque de débordements des fleuves.

De plus, les habitants des grandes agglomérations bénéficient de politiques de prévention mises en place par l'administration publiques permettant de prévenir les habitants en cas de fortes crues.

Au contraire, les zones rurales sont a priori plus vulnérables.

Ainsi, cela suppose qu'un bien assuré en dehors d'une agglomération a plus de chance d'être inondé qu'un bien situé en pleine agglomération.

L'INSEE met à disposition une base publique permettant d'obtenir la densité de population en nombre d'habitants par km^2 à l'échelle de chaque commune :

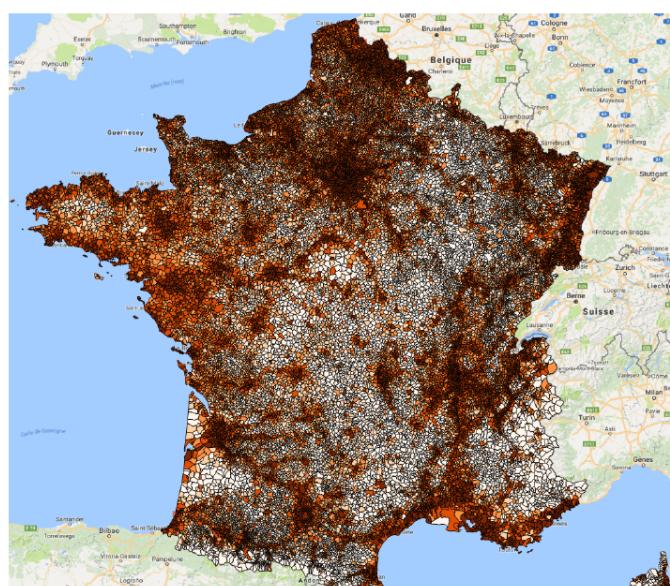


FIGURE 14 – Carte : Densité en nombre d'habitants par km^2

2.2.6 Distance au cours d'eau le plus proche

Pour finir l'analyse de la modélisation de l'effet géographique, nous pouvons voir qu'un bien assuré proche d'un cours d'eau aura tendance à être plus facilement inondé en cas de débordement, comme le montre le réseau de rivière ci-dessous :



FIGURE 15 – Carte : Réseau de rivières

Les zones proches des cours d'eau, comme les rivières, les fleuves ou les lacs, sont considérées comme des zones à risque élevé d'inondation. Cela est dû au fait que ces zones sont plus susceptibles de subir des débordements en cas de fortes pluies, de fonte des neiges ou d'autres événements météorologiques.

Les assureurs tiennent ainsi compte de ces risques lors de l'évaluation des primes d'assurance pour les propriétés situées dans ces zones inondables.

2.3 Tendances et prévisions d'indemnisations vers les dommages assurés

Dans cette section, nous nous pencherons sur les tendances et prévisions relatives aux indemnisations versées pour des dommages assurés, en nous appuyant sur une analyse approfondie de la base de données *Données sur les Indemnités Versées (cleaned_data)*. Après l'avoir nettoyé et préparé, cette base de donnée offre une perspective détaillée sur les montants d'indemnisation versés, nous permettant ainsi de dégager des insights significatifs sur les pratiques d'indemnisation actuelles et de projeter des tendances futures. Notre analyse statistique descriptive englobera la moyenne, la médiane, la variance, l'écart-type des indemnitations versées ainsi que la fréquence des indemnités supérieures à la moyenne, offrant un panorama exhaustif du paysage des indemnitations dans le secteur des assurances.

2.3.1 Analyse statistique descriptive

Moyenne des Indemnités Versées : La valeur moyenne des indemnitations versées est de 576.89 euros, ce qui traduit le niveau moyen des indemnitations perçues par les individus ou les organisations.

Médiane des Indemnités Versées : La valeur médiane est de 474.45 euros, ce qui suggère qu'il existe des compensations très élevées qui peuvent avoir tiré la moyenne au-dessus de ce qui est « normal » ou le plus courant.

Variance des Indemnités Versées : La variance est de 194061.51, ce qui est élevé et indique qu'il existe une grande dispersion dans les montants d'indemnisation, c'est-à-dire une grande différence entre les différentes valeurs d'indemnisation.

Écart-type des Indemnités Versées : L'écart type est de 440.52, ce qui conforte également l'observation de la grande dispersion des données d'indemnisation.

Fréquence des Indemnités Versées au-dessus de la moyenne : Il existe 9 compensations supérieures à la moyenne, ce qui peut être utile pour identifier les années avec des événements inhabituels conduisant à une indemnisation plus élevée.

2.3.2 Visualisation des Données sur les Indemnités Versées

Histogramme des Indemnités Versées :

Après avoir exécuté le code en R, nous avons obtenu le graphique suivant. Ce dernier met en évidence la distribution des fréquences des montants d'indemnités versées, révélant des pics pour certaines années où les montants étaient nettement supérieurs à la moyenne. La diversité de la hauteur des barres dans l'histogramme souligne la grande variabilité des montants d'indemnisation d'une année sur l'autre, indiquant l'absence d'une tendance de distribution régulière, telle qu'une distribution normale. Cette visualisation confirme la nature imprévisible et non uniforme des événements menant à des indemnitations.

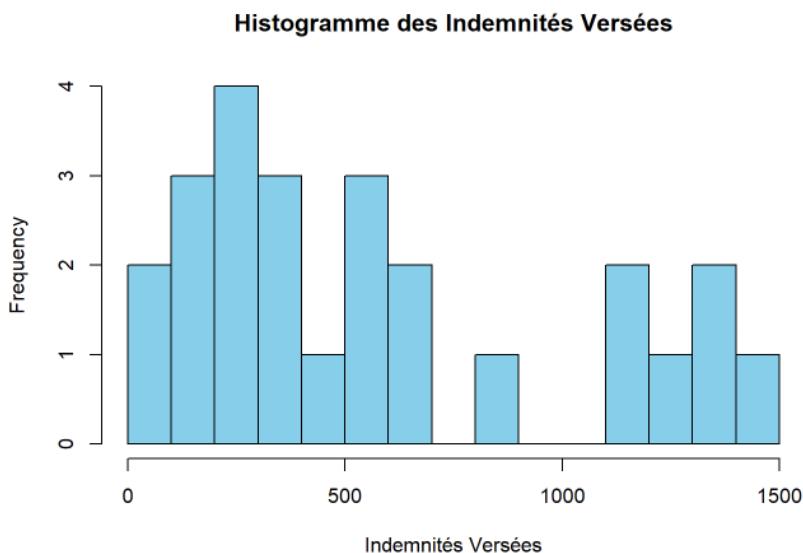


FIGURE 16 – Histogramme des Indemnités Versées

Graphique des Tendances Annuelles des Indemnités Versées :

Suite à notre analyse et à l'exécution du code en R, nous avons généré un graphique temporel qui révèle des fluctuations considérables dans les montants des indemnisations d'année en année. Nous observons des pics et des creux prononcés, indiquant clairement les années marquées par un nombre accru d'événements naturels dommageables. En reliant les points de données avec des lignes (type="o"), nous avons facilité l'identification des tendances générales, rendant l'interprétation des évolutions au fil du temps plus aisée que si nous avions analysé les points de données de manière isolée.

Ainsi, nous constatons un cycle irrégulier dans les montants d'indemnisations, avec des années de montants particulièrement élevés, telles que la fin des années 1990 et le début des années 2000. Cette approche nous permet de mettre en lumière les périodes d'activité significative qui se détachent dans le temps, illustrant l'impact variable des événements naturels sur les indemnisations année après année.

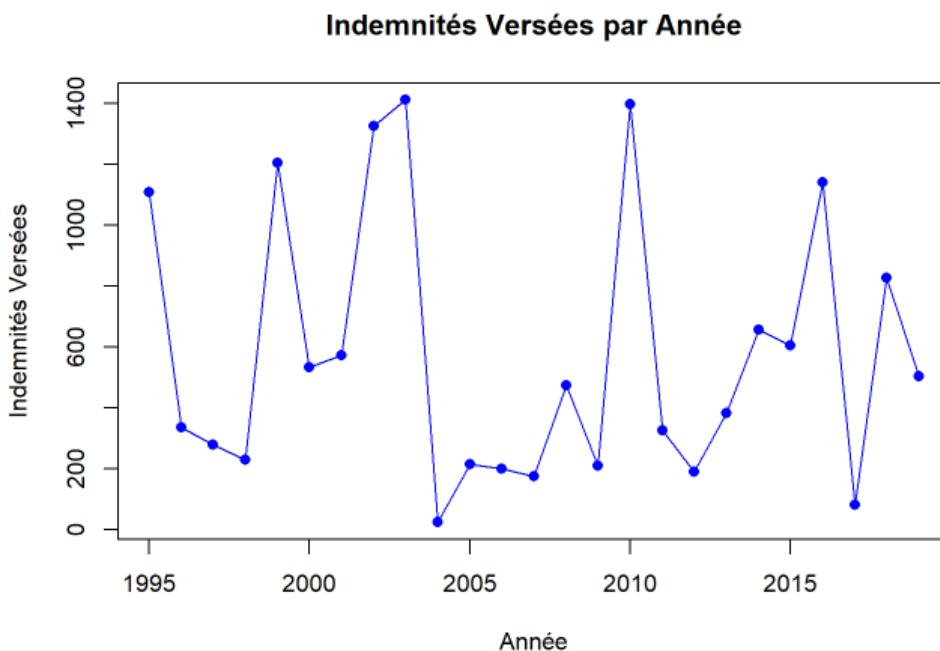


FIGURE 17 – Graphique des Tendances Annuelles des Indemnités Versées

2.3.3 Modélisation et prévision stochastiques

Suite à notre analyse et après avoir appliqué le modèle ARIMA(0,0,0) avec une moyenne non nulle, nous avons conclu que c'était le modèle le plus adéquat pour nos données. Ce modèle, agissant comme un modèle de moyenne, projette que les prévisions futures correspondent à la moyenne historique des données, signalant une absence de tendances ou de saisonnalités significatives dans l'historique des indemnités versées. Cette sélection du modèle moyen suggère que les montants des indemnités versées restent stables au fil du temps, potentiellement influencés par des facteurs aléatoires et imprévisibles, tels que des événements climatiques extrêmes, qui dépassent la capacité prédictive des modèles temporels plus complexes. De plus, la persistance de cette moyenne à travers le temps pourrait indiquer que, malgré les fluctuations annuelles observées, le risque global lié aux événements déclencheurs d'indemnités reste relativement constant d'année en année dans notre corpus de données historiques.

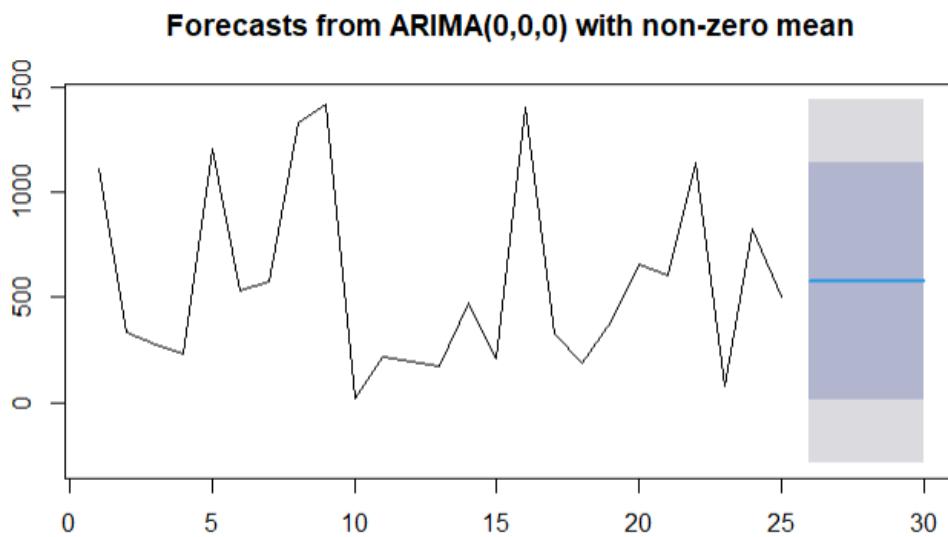


FIGURE 18 – Résultats du Modèle

2.3.4 Interprétation des résultats

À travers notre analyse statistique et l'exploration visuelle des données relatives aux indemnités versées, nous avons dégagé des insights sur l'impact financier des catastrophes naturelles sur le secteur des assurances en France. Voici notre interprétation des données et des graphiques, contextualisée par notre compréhension approfondie du domaine :

Sur la base de l'histogramme des indemnités versées :

En se basant sur l'histogramme des indemnités versées, nous constatons que, pour la majorité des années observées, les montants d'indemnisation demeurent dans une plage inférieure, exception faite de certaines années marquées par des montants exceptionnellement élevés. Nous interprétons ces anomalies comme le résultat potentiel d'événements climatiques extrêmes ou de catastrophes naturelles majeures qui ont occasionné des dégâts significatifs, entraînant ainsi des coûts accrus pour les assureurs.

Concernant le graphique des tendances annuelles des indemnités versées :

Concernant l'analyse des tendances annuelles des indemnités versées, nous remarquons des variations importantes d'une année à l'autre. Ces fluctuations soulignent l'incertitude inhérente aux événements naturels, mais reflètent également l'évolution possible des politiques d'assurance, des stratégies de gestion des risques, et des initiatives de prévention adoptées au fil du temps. Par exemple, une augmentation notable des montants indemnisés pourrait résulter d'une couverture d'assurance plus étendue ou d'une année particulièrement marquée par des événements naturels dévastateurs.

Sur les prévisions des indemnités versées :

Quant à nos prévisions basées sur le modèle ARIMA sélectionné (0,0,0) avec une constante non nulle, cela indique une préférence pour une approche simplifiée, s'appuyant sur la moyenne his-

torique des indemnisations. Cette observation suggère que les modèles plus complexes peinent à identifier une tendance claire au sein des données temporelles des indemnisations, probablement à cause de la nature chaotique et non linéaire des événements climatiques et météorologiques affectant ces dernières.

Implications pratiques :

Ces découvertes sont d'une grande utilité pour les compagnies d'assurance, leur permettant d'affiner leurs estimations pour les provisions de risques futurs et d'évaluer le besoin potentiel de revoir les primes d'assurance ou les modalités de couverture. De plus, ces analyses peuvent éclairer les décideurs politiques sur l'efficacité des réglementations actuelles et sur la planification nécessaire pour améliorer la prévention et la gestion des catastrophes naturelles.

Conclusion

Au terme de notre projet d'étude sur les données d'inondation, nous avons abordé une vaste gamme de sujets, allant de la compréhension générale du risque d'inondation et de son processus d'indemnisation, à des analyses plus spécifiques sur la modélisation de l'effet géographique et l'évaluation des tendances et prévisions concernant les indemnités versées pour les dommages assurés.

À travers l'analyse des données SYNOP, de la fréquence des catastrophes naturelles, des sinistres, et des indemnités versées, nous avons mis en évidence des corrélations géographiques et temporelles importantes, soulignant l'influence de facteurs tels que la quantité de précipitations, la densité de population, la proximité des cours d'eau sur la fréquence et la gravité des sinistres liés aux inondations. Ces analyses nous ont permis de mieux comprendre les dynamiques à l'œuvre et de proposer des modèles prédictifs pour anticiper les tendances futures.

Notre travail a également mis en avant l'importance des régimes d'indemnisation mis en place, ainsi que les limites des évaluations actuelles sous le cadre de Solvabilité 2, nous incitant à réfléchir sur des approches modélisatoires plus robustes et adaptées à la complexité du risque inondation.

En particulier, l'application du modèle ARIMA dans nos prévisions a illustré les défis de capturer la variabilité et l'incertitude inhérentes aux données sur les indemnisations, conduisant à une réflexion sur la nécessité d'approches plus flexibles et informées par les données historiques et contextuelles.

En conclusion, ce projet a renforcé notre compréhension des interactions entre les événements naturels et le secteur des assurances face aux inondations. Il est clair que face à la complexité et à l'évolution des risques naturels, une approche évolutive est cruciale pour gérer efficacement les conséquences financières des catastrophes naturelles sur les assurances en France.

Annexes

Annexe 1 : Données sur les Indemnités Versées

```

1 # Charger la bibliothèque
2 library(readr)
3 # Lire les données à partir du fichier CSV
4 cleaned_data <- read.csv("C:/Users/linhc/OneDrive/Documents/projet_ANV/cleaned_data.csv")
5
6 # Partie 1: Analyse Statistique Descriptive
7
8 # Calculer les statistiques descriptives
9 mean_Indemnites_Versees <- mean(cleaned_data$Indemnites.Versees, na.rm = TRUE)
10 # Moyenne
11 median_Indemnites_Versees <- median(cleaned_data$Indemnites.Versees, na.rm = TRUE)
12 # Médiane
13 variance_Indemnites_Versees <- var(cleaned_data$Indemnites.Versees, na.rm = TRUE)
14 # Variance
15 sd_Indemnites_Versees <- sd(cleaned_data$Indemnites.Versees, na.rm = TRUE) # Ecart-type
16
17 # Imprimer les statistiques descriptives
18 print(paste("Moyenne des Indemnités Versées: ", mean_Indemnites_Versees))

```

```

## [1] "Moyenne des Indemnités Versées: 576.886517879718"
print(paste("Médiane des Indemnités Versées: ", median_Indemnités_Versees))
## [1] "Médiane des Indemnités Versées: 474.452267176153"
print(paste("Variance des Indemnités Versées: ", variance_Indemnités_Versees))
## [1] "Variance des Indemnités Versées: 194061.507039373"
print(paste("Écart-type des Indemnités Versées: ", sd_Indemnités_Versees))
## [1] "Écart-type des Indemnités Versées: 440.524127647253"
# Calculer la fréquence
frequency_above_average <- sum(cleaned_data$Indemnités.Versees > mean_Indemnités_Versees, na.rm = TRUE)
print(paste("Fréquence des Indemnités Versées au-dessus de la moyenne: ", frequency_above_average))
## [1] "Fréquence des Indemnités Versées au-dessus de la moyenne: 9"

```

```

1 # Partie 2: Visualisation des Données
2
3 # Histogramme des indemnitations
4 hist(cleaned_data$Indemnites.Versees, main="Histogramme des Indemnités Versées",
5 xlab="Indemnités Versées", breaks=10, col="skyblue")
6
7 # Graphique temporel des indemnitations
8 plot(cleaned_data$Annee, cleaned_data$Indemnites.Versees, type="o", col="blue",
9 main="Indemnités Versées par Année", xlab="Année", ylab="Indemnités Versées", pch=16)

```

```

1 # Partie 3: Modélisation et Prévision
2
3 # Utiliser un modèle simple comme ARIMA pour la série temporelle
4 auto_arima_model <- auto.arima(cleaned_data$Indemnites.Versees, trace = TRUE, stepwise = FALSE)
5 forecasted_values <- forecast(auto_arima_model, h=5)
6 plot(forecasted_values)
7
8 # Imprimer les prévisions
9 print(paste("Prévisions des Indemnités Versées pour les 5 prochaines périodes:"))
10 print(summary(forecasted_values))

```

```
ARIMA(0,0,0) with zero mean      : 402.117
ARIMA(0,0,0) with non-zero mean : 378.8701
ARIMA(0,0,1) with zero mean     : 398.1383
ARIMA(0,0,1) with non-zero mean : 381.3869
ARIMA(0,0,2) with zero mean     : 397.9372
ARIMA(0,0,2) with non-zero mean : 383.6486
ARIMA(0,0,3) with zero mean     : Inf
ARIMA(0,0,3) with non-zero mean : Inf
ARIMA(0,0,4) with zero mean     : 398.8458
ARIMA(0,0,4) with non-zero mean : Inf
ARIMA(0,0,5) with zero mean     : Inf
ARIMA(0,0,5) with non-zero mean : Inf
ARIMA(1,0,0) with zero mean     : 393.1842
ARIMA(1,0,0) with non-zero mean : 381.4077
ARIMA(1,0,1) with zero mean     : Inf
ARIMA(1,0,1) with non-zero mean : 384.1767
ARIMA(1,0,2) with zero mean     : Inf
ARIMA(1,0,2) with non-zero mean : Inf
ARIMA(1,0,3) with zero mean     : Inf
ARIMA(1,0,3) with non-zero mean : Inf
ARIMA(1,0,4) with zero mean     : Inf
ARIMA(1,0,4) with non-zero mean : Inf
ARIMA(2,0,0) with zero mean     : 393.1534
ARIMA(2,0,0) with non-zero mean : 383.906
ARIMA(2,0,1) with zero mean     : Inf
ARIMA(2,0,1) with non-zero mean : Inf
ARIMA(2,0,2) with zero mean     : Inf
ARIMA(2,0,2) with non-zero mean : Inf
ARIMA(2,0,3) with zero mean     : Inf
ARIMA(2,0,3) with non-zero mean : Inf
ARIMA(3,0,0) with zero mean     : 394.5367
ARIMA(3,0,0) with non-zero mean : 386.5583
ARIMA(3,0,1) with zero mean     : Inf
ARIMA(3,0,1) with non-zero mean : Inf
ARIMA(3,0,2) with zero mean     : Inf
ARIMA(3,0,2) with non-zero mean : Inf
ARIMA(4,0,0) with zero mean     : 395.5283
ARIMA(4,0,0) with non-zero mean : 390.0657
ARIMA(4,0,1) with zero mean     : 399.0095
ARIMA(4,0,1) with non-zero mean : 393.533
ARIMA(5,0,0) with zero mean     : 399.0352
ARIMA(5,0,0) with non-zero mean : 391.7568
```

Best model: ARIMA(0,0,0) with non-zero mean

```
# Imprimer les prévisions
print(paste("Prévisions des Indemnités Versées pour les 5 prochaines périodes:"))

[1] "Prévisions des Indemnités Versées pour les 5 prochaines périodes:"
```

```
print(summary(forecasted_values))
```

```
Forecast method: ARIMA(0,0,0) with non-zero mean

Model Information:
Series: cleaned_data$Indemnités.Versées
ARIMA(0,0,0) with non-zero mean

Coefficients:
          mean
      576.8865
  s.e.   86.3249

sigma^2 = 194062: log likelihood = -187.16
AIC=378.32   AICc=378.87   BIC=380.76

Error measures:
      ME     RMSE     MAE     MPE     MAPE     MASE     ACF1
Training set 2.160083e-13 431.6237 359.3317 -159.2516 188.9418 0.7719363 -0.04826524

Forecasts:
```

	Point Forecast <dbl>	Lo 80 <dbl>	Hi 80 <dbl>	Lo 95 <dbl>	Hi 95 <dbl>
26	576.8865	12.33213	1141.441	-286.5249	1440.298
27	576.8865	12.33213	1141.441	-286.5249	1440.298
28	576.8865	12.33213	1141.441	-286.5249	1440.298
29	576.8865	12.33213	1141.441	-286.5249	1440.298
30	576.8865	12.33213	1141.441	-286.5249	1440.298
5 rows					

FIGURE 19 – Résultat ARIMA

Annexe 2 : Données sur les Records de Pluies

Tableau Excel créé à partir des données relatives aux records de pluies extrêmes en France métropolitaine (de 1958 à 2024)

	A	B	C	D	E
	Région	Département	Mois	Record annuel	Valeurs max de pluies (en mm)
1					
2	Alsace	Bas-Rhin	Janvier	13/01/2004	167
3	Alsace	Bas-Rhin	Février	14/02/1990	198
4	Alsace	Bas-Rhin	Mars	19/03/2002	133
5	Alsace	Bas-Rhin	Avril	09/04/1983	141
6	Alsace	Bas-Rhin	Mai	11/05/1970	192
7	Alsace	Bas-Rhin	Juin	11/06/2018	117
8	Alsace	Bas-Rhin	Juillet	12/07/2014	97
9	Alsace	Bas-Rhin	Aout	15/08/1972	117
10	Alsace	Bas-Rhin	Septembre	17/09/2006	153
11	Alsace	Bas-Rhin	Octobre	28/10/1998	158
12	Alsace	Bas-Rhin	Novembre	06/11/1979	165
13	Alsace	Bas-Rhin	Décembre	16/12/1982	141
14	Alsace	Haut-Rhin	Janvier	04/01/2018	251

Références

- Nathalie Bedi. *Modélisation du risque tempête en France Métropolitaine*. PhD thesis, ISUP, 2018.
- EauFrance. Les inondations et les submersions marines. URL <https://www.eaufrance.fr/les-inondations-et-les-submersions-marines>.
- Georisque. La garantie catnat, a. URL <https://www.georisques.gouv.fr/minformer-sur-la-prevention-des-risques/la-garantie-cat-nat>.
- Georisque. Dossier expert sur les inondations, b. URL <https://www.georisques.gouv.fr/articles-risques/inondations/prevention-du-risque#summary-target-0>.
- Gouvernement. Assurance multirisque habitation, a. URL <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/Publications/Vie-pratique/Fiches-pratiques/Assurance-multirisque-habitation#:~:text=Le%20contrat%20d%27assurance%20multirisques,ou%20victime%20d%20un%20sinistre>.
- Gouvernement. Pluies extrêmes en france métropolitaine, b. URL <http://pluiesextremes.meteo.fr/france-metropole/Records-6-min-a-12-h.html>.
- Gouvernement. Chapitre iii : Obligations de l'assureur et de l'assuré. *Articles L113-1 à L113-17*, 2017.
- Hamza El Hassani. *Modélisation stochastique des inondations en France et Applications en Réassurance*. PhD thesis, l'ENSAE ParisTech, 2017.
- InstitutDesActuaires. Corrélations et agrégation des risques non-vie. URL https://www.institutdesactuaires.com/global/gene/link.php?doc_id=1479&fg=1.
- Denis Merck. La crue de lardèche denovembre 2011 à saint martin d'ardèche. URL <https://www.denis-merck.com/photos/saint-martin-dardeche-6/>.
- Ministere. Prévention des inondations. URL <https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-inondations>.
- Ministère. inondations - chiffres clés des risques naturels 2023. URL <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/chiffres-cles-des-risques-naturels-edition-2023https://www.ccr.fr/>.
- Wikipedia. Solvabilité ii, a. URL https://fr.wikipedia.org/wiki/Solvabilit%C3%A9_II.
- Wikipedia. Territoire à risques importants d'inondation, b. URL https://fr.wikipedia.org/wiki/Territoire_%C3%A0_risques_importants_d%27inondation.
- Wikipédia. Tempête klaus. URL https://fr.wikipedia.org/wiki/Temp%C3%AAtte_Klaus.