

# Modèles Prédicatifs et Projections Climatiques pour le risque de subsidence (RGA)

Remi BELLINA, IA  
Loup ORTIZ, IA  
Antoine ROUGIER



## Face aux défis croissants posés par le changement climatique, comprendre et anticiper les risques naturels tels que la subsidence devient essentiel pour les assureurs.

Le phénomène de subsidence, également connu sous le terme de **retrait-gonflement des argiles (RGA)**, représente un risque naturel important touchant de nombreuses régions à travers le monde. Ce processus géologique, associé aux variations d'humidité dans les sols argileux, peut entraîner des mouvements de terrain significatifs, causant des fissures et des déformations dans les structures bâties. En France, par exemple, plusieurs milliers de cas sont observés chaque année.

La subsidence pose des défis complexes pour l'assurance, notamment en matière de prévention, d'évaluation des risques et d'indemnisation. Les assureurs doivent comprendre ce risque pour répondre aux besoins des assurés. Le changement climatique, avec ses périodes de sécheresse mais aussi de fortes précipitations, accroît la fréquence et l'intensité du phénomène. Le provisionnement est particulièrement complexe en raison de la temporalité lente du risque, et des délais de déclaration et de reconnaissance des arrêtés CATNAT.

Ce papier explore trois thématiques essentielles permettant aux assureurs d'appréhender le risque subsidence :

- **Le provisionnement** est un enjeu majeur pour les compagnies d'assurance. Il vise à constituer des provisions suffisantes pour couvrir les sinistres potentiels liés à la subsidence, un phénomène dont l'occurrence et l'intensité peuvent varier de manière imprévisible. Les assureurs doivent donc développer des modèles capables de prendre en compte l'évolution des conditions géologiques et climatiques, afin d'anticiper les impacts financiers tout en assurant la protection des biens de leurs clients.

- **Le suivi et la compréhension** du risque sont nécessaires pour maintenir une bonne connaissance des expositions dans le temps. Cette démarche permet aux assureurs de mieux anticiper les zones à risque et d'adapter la gestion de leur portefeuille en conséquence. Elle inclut également la sensibilisation des assurés aux mesures préventives, réduisant ainsi potentiellement la vulnérabilité des bâtiments face à ce phénomène naturel. Ces mesures incluent le traitement, la réhydratation et la protection des sols, la gestion de la végétation, la conception renforcée des fondations, et des systèmes de surveillance de l'humidité. L'« Initiative Sécheresse », portée par France Assureurs, CCR, et la MRN, teste par exemple ces méthodes sur 300 maisons pour en évaluer les effets préventifs et correctifs. Ce projet, soutenu par le gouvernement, vise à renforcer la résilience des constructions aux effets du changement climatique en proposant des solutions adaptées et durables.
- **Les projections climatiques à horizon 2100** soulèvent des questions structurantes pour le secteur de l'assurance, alors que le changement climatique accentue les épisodes de sécheresse et de précipitations intenses. Ces projections, basées sur les scénarios climatiques du GIEC, permettent d'anticiper l'évolution du risque de subsidence dans les décennies à venir. Les assureurs doivent intégrer ces perspectives dans leur stratégie à long terme, afin de maintenir une couverture adaptée et durable face à un environnement en constante mutation.

Cette étude vise à fournir une compréhension approfondie des mécanismes de la sécheresse, à anticiper ses impacts futurs grâce aux projections climatiques et à établir des mesures de provisionnement robustes et fiables.

Les recherches reposent sur des données géographiques et climatiques open source, clés pour la modélisation des phénomènes climatiques. Les principales sources de données incluent Météo France, Copernicus, BRGM, DRIAS, CCR (pour les arrêtés CAT NAT) et l'INSEE. Ces données ont été utilisées pour calibrer les modèles. Par ailleurs, toute l'approche de modélisation est faite à une maille spécifique (8km x 8km), et/ou des codes INSEE, selon l'indicateur suivi.

## Provisionnement

### CRITERES DE RECONNAISSANCE

Lorsqu'une commune subit des dégâts significatifs dus à des mouvements de terrain, il s'agit pour ses représentants de soumettre dans un premier temps une demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (CATNAT) aux autorités compétentes. Cette demande fait l'objet dans un second temps d'une étude approfondie, dont les conclusions détermineront si l'état de CATNAT est officiellement reconnu ou non. Cette reconnaissance est primordiale car elle déclenche le processus d'indemnisation, notamment par le biais de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR).

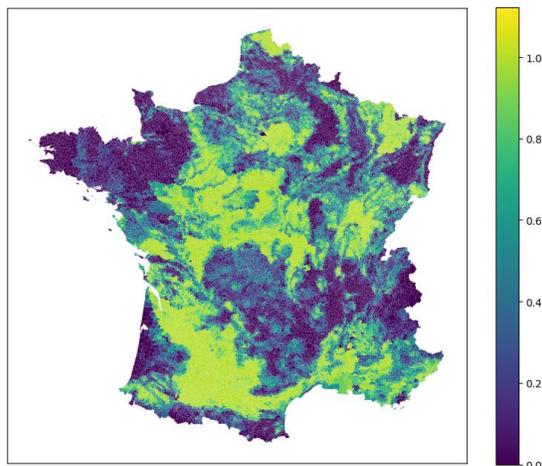
Pour évaluer le risque climatique, les assureurs peuvent utiliser des modèles prédictifs afin de simuler les différentes étapes de reconnaissance du statut CATNAT. Ces modèles estiment le nombre potentiel de reconnaissances et les coûts associés pour l'année en cours, en se basant sur les critères d'évaluation.

La reconnaissance du statut CATNAT repose sur deux critères.

- Le premier, dénommé **critère géotechnique**, mesure l'exposition d'une commune au phénomène de subsidence. Pour qu'une commune puisse être considérée comme éligible, la surface exposée à ce risque doit représenter au moins 3 % de sa superficie totale. Cette évaluation repose sur des données disponibles en libre accès fournies par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), qui classe le risque en trois niveaux : faible, moyen, et élevé. Si le pourcentage de surface exposée est inférieur à 3 %, une commune peut néanmoins présenter une étude de sol complémentaire pour justifier sa demande. Près de 50 % du territoire français métropolitain est exposé au risque de sécheresse, touchant près de 30 000 communes (soit plus de 85% des communes). Cela montre l'ampleur du phénomène, avec des régions particulièrement vulnérables. Les régions les plus exposées (niveaux moyen et élevé) apparaissent en jaune sur la carte ci-après.
- Le second critère pour la reconnaissance du statut de catastrophe naturelle est le **critère météorologique**, qui repose sur un indice d'humidité des sols appelé **Soil Wetness Index (SWI)**, établi par Météo France, disponible en libre accès après un certain délai de publication (pour le moment en année N+1). Le SWI constitue un indicateur clé : plus il est élevé, plus les sols sont humides, et inversement, plus il est bas, plus les sols sont secs, traduisant des conditions de sécheresse. Les données montrent une forte saisonnalité, avec des périodes plus humides de décembre à mai et des périodes plus sèches de juin à octobre. Des années comme 2022 et 2003 se distinguent par des SWI particulièrement bas, indiquant des sécheresses sévères, ce qui corrobore les observations des épisodes de subsidence

importants ces années-là. D'autres années, comme 2018, illustrent des sécheresses plus tardives, avec des valeurs basses observées d'octobre à décembre. A l'inverse, l'année 2024 présente un niveau d'humidité particulièrement élevé en date du mois de septembre 2024.

FIGURE 1 : EXPOSITION AU RISQUE RGA



Représentation Milliman, Source des données : BRGM

En avril 2024, le critère de reconnaissance de catastrophe naturelle a évolué pour mieux intégrer les impacts de la sécheresse (cf. [legifrance](#)). Désormais, trois sous-critères météorologiques seront pris en compte à partir de l'exercice 2024 :

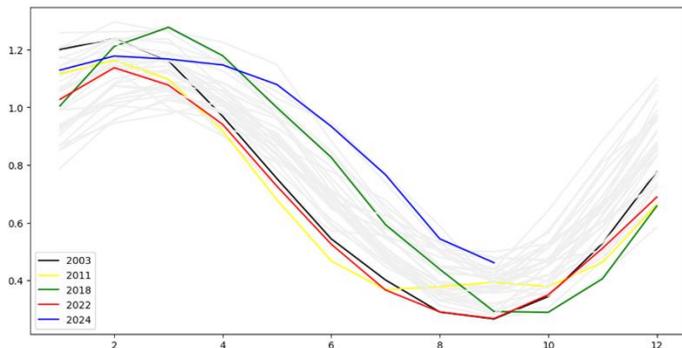
- l'humidité des sols anormalement basse sur l'année concernée,
- la sécheresse significative après une succession d'épisodes de sécheresse-réhydratation, indiquant une fragilisation du sol
- la sécheresse locale combinée à une sécheresse significative dans une commune voisine, pour une approche plus régionale.

Étant donné la faible intensité de la sécheresse de 2024 et la volonté de comparer les années entre elles en gardant un contexte réglementaire constant, cette réglementation n'est pas intégrée dans le présent document mais le sera dans les futures publications.

### MODÉLISATION

La méthode de modélisation adoptée repose sur l'application de techniques de machine learning pour prédire la reconnaissance du statut CATNAT. Cette approche comprend deux phases : la prédiction de la probabilité qu'une commune soumette une demande de reconnaissance, puis la simulation des critères d'éligibilité. Au préalable, une modélisation du SWI est nécessaire pour fournir les données indispensables à ces prévisions.

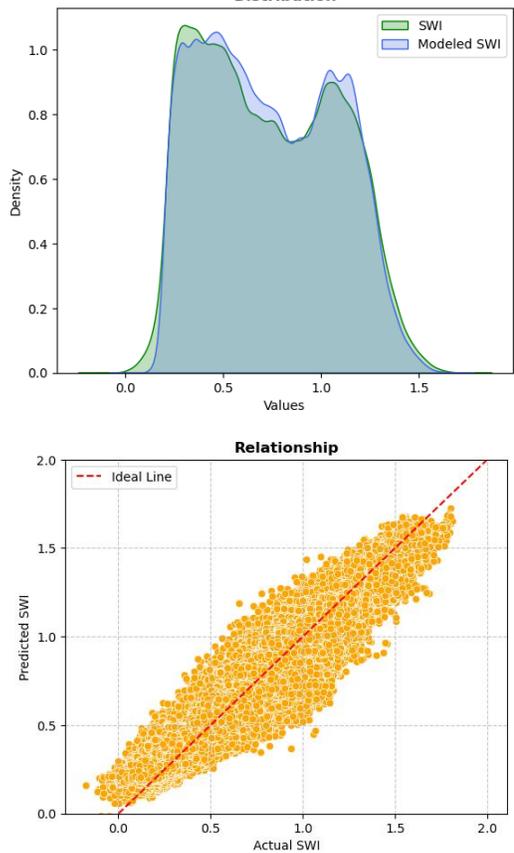
**FIGURE 2 : SWI MODELISES SUR LES 12 MOIS DE L'ANNEE**



Représentation Milliman

Les modèles de régression de type gradient boosting sont particulièrement adaptés à cet exercice, dont les résultats des SWI prédits sont comparés aux valeurs réelles dans les graphiques présentés ci-dessous où l'on compare les distributions des SWI réels aux SWI issus d'un modèle calibré sur la base des données arrêtées au 31/12/2019.

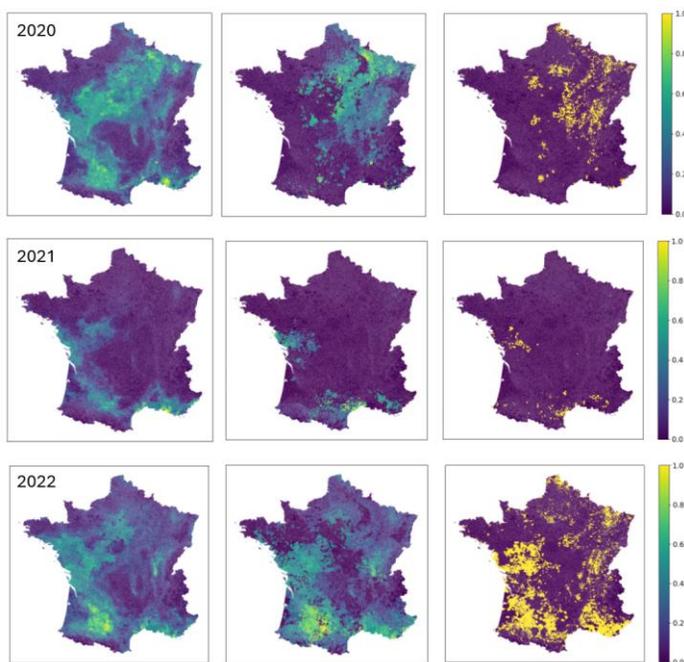
**FIGURE 3 : COMPARAISON DES SWI PREDITS ET REELS**



Représentation Milliman, Source : Météo France

De la même manière la modélisation de la demande de reconnaissance CATNAT par gradient boosting sur la base des données arrêtées à 2019 nous permet de prédire les années 2020 à 2022. Les représentations cartographiques suivantes nous permettent d'effectuer la validation du modèle. Pour les années 2020 à 2022, voici la carte des probabilités de demande de reconnaissance (gauche), croisée avec les critères géotechniques et météorologiques (milieu) et les reconnaissances réelles (droite). Une similarité notable est visible entre les cartes du milieu et de droite, malgré des modèles calibrés jusqu'en 2019.

**FIGURE 3 : VALIDATION GRAPHIQUE DES MODELES (CALIBRES EN 2019)**



Représentation Milliman

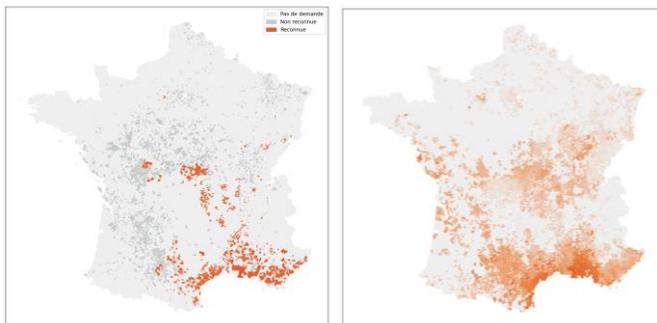
La répartition spatiale obtenue est particulièrement intéressante et singulière au regard de l'année considérée : 2021 notamment est très largement épargnée. Le phénomène est capturé par le modèle qui parvient à identifier avec précision les régions concernées bien que celles-ci soient restreintes à l'échelle du territoire. Ce constat est également valide pour l'année 2020 pour laquelle on observe que l'ouest et le sud du territoire ne sont pas affectés. L'année 2022, lourdement impactée, est aussi relativement bien anticipée par le modèle. On notera ainsi l'hétérogénéité des régions touchées d'une année sur l'autre ce qui témoigne de la forte variabilité spatiale du phénomène.

## ZOOM SUR LA SURVENANCE 2023

Vues à septembre 2024, les représentations graphiques ci-après illustrent respectivement la situation des communes après publication des trois premiers arrêtés CATNAT pour la sécheresse (à gauche) et la carte des prédictions du modèle établies sur les données arrêtées au 31/12/2023 (à droite). Plus d'un millier de communes ont obtenu jusqu'à présent le statut de catastrophe naturelle pour l'année de survenance 2023.

Ce nombre est susceptible d'évoluer au cours des prochains mois avec la publication de nouveaux arrêtés CATNAT. Selon les prédictions du modèle on aboutirait à un total moyen de l'ordre de 2500 communes reconnues in fine. La spatialisation du phénomène est primordiale dans l'appréhension du risque par les assureurs et là encore singulière pour l'année 2023.

**FIGURE 4 : RECONNAISSANCE OFFICIELLES DE LA SURVENANCE 2023 APRES TROIS ARRETES CATNAT (GAUCHE) ET LES PREDICTIONS GLOBALES DU MODELE (DROITE)**



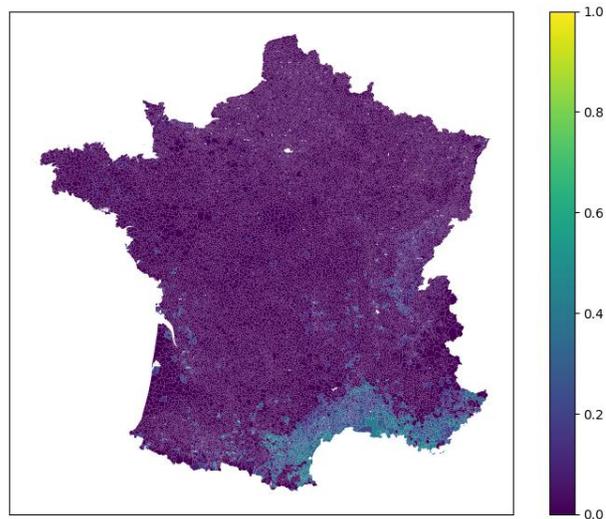
Représentation Milliman

## ZOOM SUR LA SURVENANCE 2024

L'année 2024 n'est pas encore terminée, et les arrêtés CATNAT ne seront sans doute disponibles qu'au deuxième trimestre 2025. Pour autant, l'utilisation du modèle prédictif sur l'année 2024 nous permet d'ores et déjà de disposer d'une estimation de la sinistralité (en croisant les prédictions du modèle avec les critères géotechniques et météorologiques estimés pour 2024), sur la base des critères d'éligibilité des exercices précédents comme évoqué. L'adoption des anciens critères d'éligibilité permet de se comparer directement à la survenance 2023 à iso contexte réglementaire.

En date de septembre 2024, on obtient une évaluation d'un nombre relativement faible de communes dont le statut de catastrophe naturelle pour le risque subsidence serait reconnu et dont la grande majorité est située sur le pourtour méditerranéen (cf. carte ci-après).

**FIGURE 5 : ESTIMATION A SEPTEMBRE 2024 DE L'OCCURRENCE DE LA SECHERESSE SUR LA SURVENANCE 2024 (ISO CRITERE 2023)**



Représentation Milliman

Ces premières estimations sont cohérentes avec les forts niveaux d'humidité relevés de janvier 2024 à septembre 2024, laissant présager d'une année relativement épargnée par le phénomène de sécheresse à l'inverse des épisodes d'inondations recensés ces derniers mois, particulièrement fréquents et intenses. Cette année 2024 sera vraisemblablement proche de la survenance 2021.

Toutefois, ces projections doivent être considérées avec prudence, car l'année n'est pas encore terminée et elles reposent sur un modèle prédictif qui comporte toujours une part d'incertitude. La CCR a [communiqué](#) début septembre sur la sécheresse 2024 évoquant une sécheresse faible à modérée.

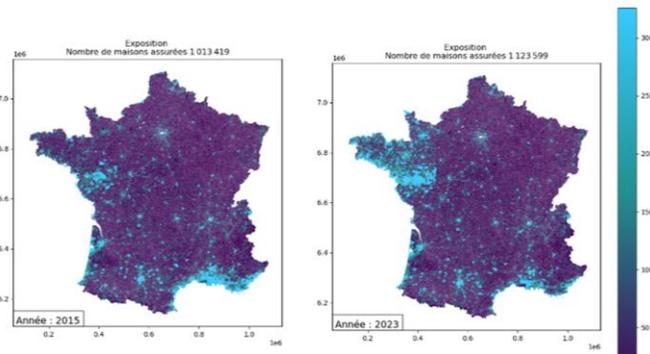
On notera en opposition que seulement deux ans auparavant, l'année 2022 a été enregistrée comme la plus sinistrée de l'histoire avec un coût global estimé de l'ordre de 3.5 Mds€.

## Suivi du risque

A l'instar des phénomènes climatiques, le risque de sécheresse est spécifique en ce sens qu'il présente des fluctuations très importantes d'une année sur l'autre selon les variations climatiques et l'alternance des périodes de forte humidité et de temps sec. Ce péril est de plus fortement localisé spatialement, aussi deux portefeuilles exposés différemment spatialement ne subiront pas les mêmes dommages pour un même épisode considéré. La maîtrise de la répartition géographique de son portefeuille de biens assurés est donc primordiale pour l'assureur.

Le modèle de provisionnement présenté plus haut offre la possibilité de réaliser un suivi approfondi du risque sécheresse, en considérant un portefeuille de biens assurés. Les illustrations données ci-après reposent sur des données simulées sur un historique de 2015 à 2023.

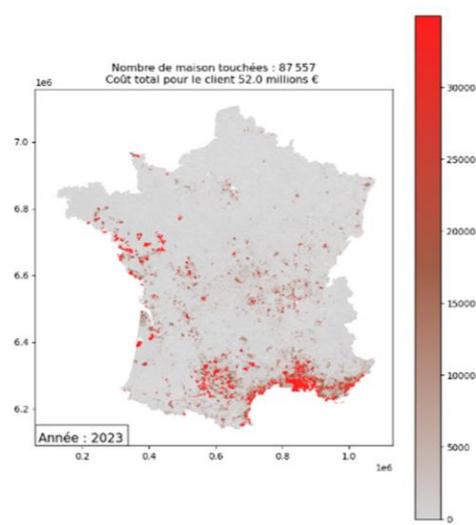
**FIGURE 6 : EVOLUTION D'UN PORTEFEUILLE FICTIF ENTRE 2015 (GAUCHE) ET 2023 (DROITE)**



Représentation Milliman

On visualise le croisement entre la sinistralité historique et l'exposition par le biais des cartes ci-dessous. Nous avons fait en sorte de faire évoluer la localisation des biens assurés au cours des années de la région méditerranéenne à la Bretagne afin de mettre en évidence la composante géographique de la sinistralité.

**FIGURE 7 : ZOOM SUR LA SURVENANCE 2023**

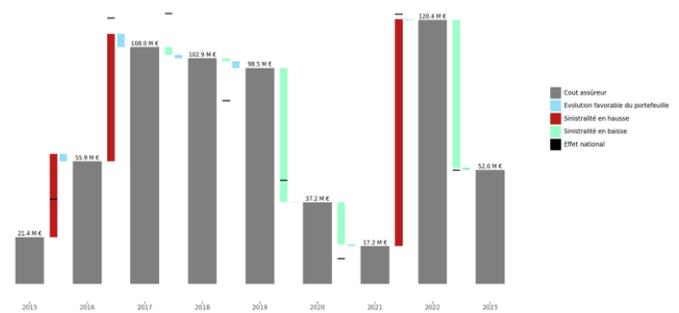


Représentation Milliman

Le modèle permet en particulier de séparer les évolutions de sinistralité de celles de l'exposition du portefeuille et ce vis-à-vis de l'impact national global par le biais du graphique suivant.

Par exemple entre 2015 et 2016 on note que la hausse de sinistralité est deux fois plus marquée sur le portefeuille considéré par rapport à l'évolution de sinistralité au niveau national. L'impact sur le portefeuille est néanmoins légèrement atténué par une relocalisation (correspond à l'évolution favorable du portefeuille sur le graphique).

**FIGURE 8 : ANALYSE DES COÛTS DE LA SECHERESSE SUR LA PERIODE 2015-2023 D'UN PORTEFEUILLE FICTIF**



Représentation Milliman

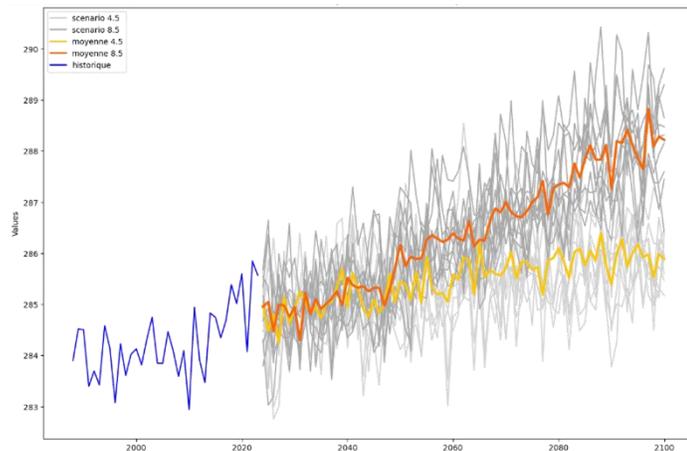
La représentation en cascade permet ainsi de quantifier les impacts favorables ou défavorables liés à l'évolution géographique du portefeuille.

## Projections climatiques à horizon 2100

Anticiper les impacts des dérives climatiques, comme la sécheresse, est crucial pour les assureurs, car cela influence directement les sinistres. Les sécheresses prolongées peuvent augmenter les dommages matériels et les coûts des sinistres. En utilisant des projections climatiques à long terme, les assureurs peuvent piloter leur activité, assurant ainsi la viabilité économique et protégeant leurs assurés.

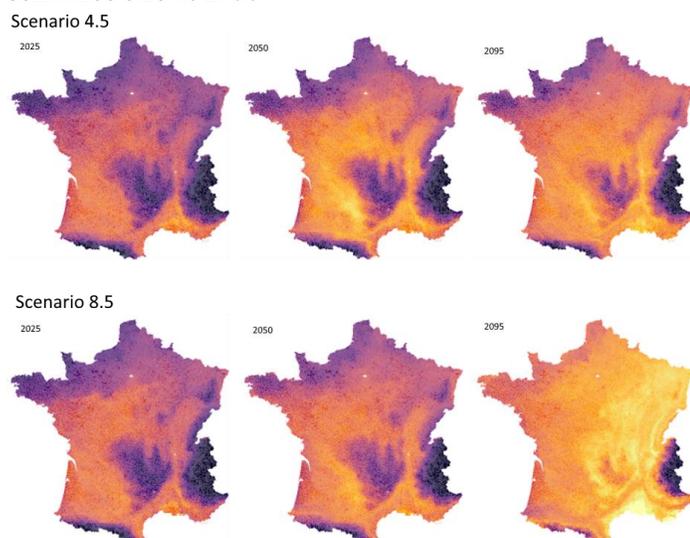
Les projections climatiques à l'horizon 2100 selon les scénarios du GIEC, RCP 4.5 et RCP 8.5, permettent d'anticiper les futures sécheresses. Le scénario RCP 4.5, aboutit à une stabilisation des émissions après 2050. En revanche, le scénario RCP 8.5, avec des émissions non contrôlées, prédit des conséquences plus graves.

Le projet DRIAS (Donner accès aux scénarios climatiques Régionalisés français pour l'Impact et l'Adaptation de nos Sociétés et environnement) met à disposition des données de différents modèles de projection (MPI, LR, Aladin...) conférant des prévisions de températures et de précipitations pour les scénarios 4.5 et 8.5. Le graphique ci-dessous représente les températures historiques, celles des deux scénarios du GIEC et la moyenne annuelle des températures ainsi projetées.

**FIGURE 9 : EVOLUTION DES TEMPERATURES MOYENNES SELON DIFFERENTS SCENARIOS CLIMATIQUES**

Représentation Milliman, Source des données : DRIAS

Nous utilisons ces estimations pour prévoir la dérive de sinistralité globale de la sécheresse à long terme. D'ici à 2050, les deux trajectoires sont similaires, et elles commencent à diverger entre 2050 et 2060, avec une augmentation continue de la sinistralité reflétée par le modèle basé sur les projections du scénario 8.5. Cela illustre le dérèglement significatif simulé avec cette trajectoire à long terme. Ces changements deviennent très prononcés d'ici 2095, comme illustré sur les cartes ci-dessous. L'ensemble du territoire sera affecté par le phénomène, quelle que soit la trajectoire considérée. Cependant, l'intensité en fréquence sera particulièrement élevée dans le scénario 8.5.

**FIGURE 10 : EVOLUTION DE L'IMPACT DE LA SECHERESSE D'APRES LES SCENARIOS GIEC 4.5 ET 8.5**

Représentation Milliman

Ces différentes analyses permettent une meilleure anticipation des risques et des prises de décisions stratégiques à long terme vis-à-vis du péril sécheresse. La prise en compte des données régionales et la modélisation des scénarios climatiques permettent de sensibiliser les parties prenantes à l'importance de la prévention et de l'adaptation.

## Perspectives

En conclusion, le phénomène de retrait gonflement des argiles, exacerbé par le dérèglement climatique, représente un défi majeur pour les compagnies d'assurance, nécessitant une approche multidimensionnelle pour la gestion du risque. Un provisionnement adéquat basé sur des modèles prédictifs, le suivi continu des conditions géotechniques et météorologiques et l'intégration des projections climatiques à long terme sont essentiels pour anticiper et atténuer les impacts de ce péril.

Les travaux présentés reposent sur l'exploitation des données open source et des techniques de modélisation avancées. Ils permettent d'améliorer la compréhension et la prévision des risques associés à la subsidence. À l'horizon 2100, les scénarios climatiques soulignent la nécessité d'adapter les stratégies assurantielles et de prévention pour faire face à des conditions de sécheresse de plus en plus sévères.

Pour perfectionner ces modèles, nous travaillons notamment sur l'intégration de composantes stochastiques ainsi que des corrélations géographiques entre les communes voisines. Par ailleurs, nous publierons également une mise à jour de ces travaux avec l'intégration des nouveaux critères de reconnaissance, avec une mise en perspective des impacts sur le futur mais aussi l'historique.

---

## Solutions for a world at risk™

Milliman leverages deep expertise, actuarial rigor, and advanced technology to develop solutions for a world at risk. We help clients in the public and private sectors navigate urgent, complex challenges—from extreme weather and market volatility to financial insecurity and rising health costs—so they can meet their business, financial, and social objectives. Our solutions encompass insurance, financial services, healthcare, life sciences, and employee benefits. Founded in 1947, Milliman is an independent firm with offices in major cities around the globe.

[milliman.com](https://milliman.com)



### CONTACT

Rémi Bellina  
[remi.bellina@milliman.com](mailto:remi.bellina@milliman.com)

Loup Ortiz  
[loup.ortiz@milliman.com](mailto:loup.ortiz@milliman.com)