RAPPORT SCIENTIFIQUE 2024







1. Emprise d'inondation du Nord-Pas-de-Calais simulée
à Blendecques (62) par le modèle CCR à une résolution de 25 m à partir du cumul
de précipitations observé le 03/01/2024.
2. Prise de vue aérienne de Blendecques (62) du 03/01/2024
(Source AFP). Angle et lieu de prise de vue identiques entre la simulation CCR
et la photographie des inondations.

SOMMAIRE

02 INTRODUCTION

02 Éditorial par Antoine Quantin, Directeur des Réassurances, Conseil & Modélisation

03 Perspectives 2024/2025 par Charles Dumartinet, Directeur du Département Modélisation & Actuariat

04 MODÉLISATION DES RISQUES

06 Prise en compte dynamique des répliques sismiques dans l'évaluation des dommages assurés

10 Anticipation de l'évolution des phénomènes RGA sous l'effet du changement climatique

14 Le projet MUFFINS : modélisation multi-échelle des inondations à l'aide de solutions innovantes

18 Modélisation des feux de forêts : validation et amélioration d'un modèle de propagation

22 Estimation des pertes assurantielles liées à des actes de terrorisme de type « bombe sale »

26 ESTIMER LES CONSÉQUENCES D'UN ÉVÉNEMENT

28 Estimation du coût d'une catastrophe naturelle : retour sur les inondations dans le Nord Pas-de-Calais de 2023

32 Réévaluation de l'estimation du coût du séisme de La Laigne

36 DATA SCIENCE

38 L'IA au service de la Data

42 PRÉVENTION

44 Évaluer l'effet de la prévention sur le montant des dommages des catastrophes naturelles passées et futures

48 « Initiative Sécheresse » : identifier les solutions de prévention et de réparation les plus efficaces et durables face au retrait-gonflement des argiles

52 PRIX CCR CAT NAT

52 Les lauréats

54 Lauréat 2023 : Thomas Candela « Enjeux de la cartographie et de la sémiologie graphique dans la gestion des crises et des risques majeurs »

60 RÉTROSPECTIVE 2024

64 Publications CCR
Citations

« NOTRE EXPERTISE SCIENTIFIQUE PARTICIPE PLEINEMENT DE NOTRE RAISON D'ÊTRE : PROTÉGER L'ASSURABILITÉ POUR PERMETTRE À CHACUN DE SE CONSTRUIRE UN AVENIR.

ET C'EST ANIMÉ DE CET OBJECTIF QUE NOUS ENTENDONS CRÉER, DANS UNE DÉMARCHE DE LARGE CONCERTATION AVEC TOUS LES ACTEURS DE L'ASSURANCE, L'OBSERVATOIRE DE L'ASSURABILITÉ DEMANDÉ PAR L'ÉTAT. »



ANTOINE QUANTIN
Directeur des Réassurances,
Conseil & Modélisation

En permettant de mieux comprendre les phénomènes auxquels nous sommes confrontés et en permettant de travailler à notre adaptation collective et individuelle face aux périls, notre expertise scientifique est essentielle pour accomplir nos missions avec cohérence : réassurer, et conseiller l'État, les collectivités locales et les assureurs sur la nature des périls à affronter et sur les solutions à mettre en œuvre pour y faire face.

Ces deux missions et les objectifs qui en découlent ont été notre boussole dans les projets de recherche et développement menés cette année, que nous présentons dans ce rapport scientifique. Pour mieux comprendre l'impact des événements que nous avons subis, d'abord, à l'instar des inondations ou du séisme de La Laigne de 2023. Pour mieux se préparer, aussi, à l'ampleur croissante de certains événements, qu'il s'agisse de catastrophes naturelles (RGA, inondations…), de phénomènes dévastateurs non inclus dans le régime Cat Nat (feux de forêts), ou encore de risques anthropiques, comme des attaques terroristes par « bombes sales ».

Le sujet de la prévention est également au cœur de nos travaux. Son renforcement est en effet la condition de notre adaptation et de la pérennité du régime Cat Nat. Nous avons ainsi pu démontrer que chaque euro qui y est consacré permet un bénéfice bien plus important sur le long terme – une illustration majeure du bien fondé de la démarche de CCR, ancrée dans l'expertise scientifique, dans l'objectivation des risques et de leurs conséquences, et dans l'innovation.

Cette démarche, souvent menée dans le cadre de partenariats de long terme, nous a permis d'appuyer et d'éclairer des réflexions collectives tout au long de ces derniers mois. Sur l'assurabilité des risques climatiques, dans le cadre du rapport de Thierry Langreney, Myriam Merad et Gonéri Le Cozannet, qui a largement fait usage des modélisations de CCR. Sur l'évolution du schéma de réassurance ou encore sur l'augmentation de la « surprime Cat Nat » à partir du 1er janvier 2025. Le relèvement de son taux, essentiel à la pérennité du régime, a fait l'objet d'un important dialogue fondé, là encore, sur les données et modèles de CCR.

Ainsi, les études que nous publions, la recherche menée au quotidien par les équipes de CCR participent pleinement de notre raison d'être : protéger l'assurabilité pour permettre à chacun de se construire un avenir. Et c'est animé de cet objectif que nous entendons mener à bien la mission qu'a confiée l'État à CCR : la création d'un Observatoire dédié à l'assurabilité. Celui-ci aura vocation à permettre le maintien d'une offre d'assurance solidaire et accessible partout en France en objectivant au préalable les zones en tension. Cette nouvelle mission pourra être menée à bien grâce à l'expertise développée, à notre capacité d'innovation, mais surtout grâce à une démarche de large concertation avec tous les acteurs de l'assurance en France, avec pour objectif central de continuer à protéger les Français demain./

« CCR MET LA MODÉLISATION DES RISQUES EXTRÊMES AU CŒUR DE SES ACTIVITÉS, POUR LES BESOINS DE RÉASSURANCE ET EN APPUI DES POUVOIRS PUBLICS. »



CHARLES DUMARTINET
Directeur du Département
Modélisation & Actuariat

Pour accomplir ses missions de réassurance et de conseil, telles que définies dans le plan stratégique Horizon 2025, il est essentiel pour CCR de s'appuyer sur une connaissance approfondie des risques toujours améliorée. La modélisation et la Data Science sont essentielles pour quantifier les risques, structurer des couvertures de réassurance pertinentes et éclairer les pouvoirs publics, y compris pour les risques ne relevant pas du régime Cat Nat, mais qui pourraient devenir non assurables.

Afin de maintenir nos modèles au niveau de l'état de l'art, CCR a renforcé ses équipes de modélisation et défini une feuille de route priorisant plusieurs axes :

- poursuivre les travaux de recherche sur les aléas relevant du régime des catastrophes naturelles dans un contexte de changement climatique ;
- garantir la pertinence scientifique des modèles via des actions de recherche-développement, comme le co-encadrement de thèses avec des institutions et laboratoires prestigieux, pour améliorer la connaissance des risques et éclairer les politiques publiques ;
- développer de nouvelles expertises autour des risques émergents pouvant à terme poser des problèmes d'assurabilité.

Des chantiers ont été lancés pour améliorer la modélisation, par exemple celle de la sécheresse géotechnique, avec une meilleure prise en compte de l'intensité du phénomène, de la vulnérabilité du bâti et des infrastructures. Des travaux sont également en cours pour affiner les modèles d'inondation, de séisme et de risque cyclonique, ainsi que l'évaluation des chutes de blocs en montagne. La collaboration avec Météo-France se poursuit en vue de préparer une prochaine étude climat pour 2026.

CCR a également lancé un programme de modélisation face aux risques émergents sur les feux de forêts (modèle de propagation, utilisation de données satellite), les émeutes urbaines, la grêle avec le lancement d'un modèle déterministe intégrant les nouvelles intensités de tailles de grêlons et la construction d'un modèle stochastique, les risques cyber (thèse prévue pour janvier 2025 en partenariat avec l'ENSAE).

Au-delà de la seule modélisation des risques assurés, CCR souhaite évaluer les coûts économiques globaux des catastrophes pour réaliser des analyses socio-économiques des risques extrêmes, offrant ainsi un éclairage technique aux pouvoirs publics. Cela permettra ainsi d'étudier les conditions éventuelles de mises en place de schémas publics de couverture si nécessaire.

Afin de valoriser ses travaux de recherche et soutenir le marché de l'assurance, CCR prévoit de mettre en place une plateforme de modélisation, facilitant l'intégration de nouveaux risques ou de nouvelles applications. Sa mise en place permettra de diffuser à grande échelle la science du risque développée par CCR et de conseiller les assureurs, les pouvoirs publics et les collectivités locales.

CCR poursuivra également son implication dans le projet « Initiative Sécheresse », en partenariat avec France Assureurs et la MRN. Ces résultats seront essentiels pour améliorer la prévention et la remédiation de ce péril.

Enfin, à la suite des conclusions de la mission sur l'assurabilité des risques climatiques, CCR s'est vue confiée par l'État la mise en place d'un Observatoire des phénomènes de démutualisation et de leurs conséquences pour les assurés, dans les territoires métropolitains et ultra-marins. Ces travaux s'appuieront sur une cartographie des risques partagés avec les différentes parties prenantes./

MODÉLISATION DES RISQUES



Prise en compte dynamique des répliques sismiques dans l'évaluation des dommages assurés/ p.06

Cet article décrit la méthodologie développée, en partenariat avec le Laboratoire de Mécanique de Paris-Saclay, dans le cadre de la prise en compte de l'accumulation des dommages induits par les répliques dans l'évaluation des pertes sismiques.



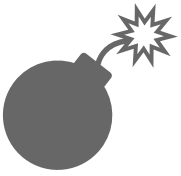
Modélisation des feux de forêts : validation et amélioration d'un modèle de propagation/ p.18

Le risque accru de survenance et de gravité des feux de forêts ainsi que leurs liens avec les conditions climatiques actuelles font des feux un risque d'assurabilité émergent important à surveiller par CCR. Dans ce contexte, les travaux présentés dans cet article visent à améliorer et valider un modèle développé chez CCR en 2022.



Anticipation de l'évolution des phénomènes RGA sous l'effet du changement climatique/ p.10

Les travaux de thèse de Sophie Barthelemy ont permis de mettre au point un indicateur d'intensité sur les phénomènes de sécheresse géotechnique. Cet indicateur a été appliqué sur une période historique et sur des scénarios de projections climatiques.



Estimation des pertes assurantielles liées à des actes de terrorisme de type « bombe sale »/ p.22

Cet article présente les résultats des travaux communs entre SUEZ ARIA Technologies et CCR dont le but est d'estimer les pertes assurantielles induites par trois scénarios de bombes sales en France.



Le projet MUFFINS : modélisation multi-échelle des inondations à l'aide de solutions innovantes/ p.14

MUFFINS est un projet de recherche financé par l'ANR et auquel CCR contribue. L'objectif de ce projet est de développer des approches innovantes pour la modélisation des débits, du ruissellement, du débordement et des impacts consécutifs aux inondations.



Le 17 juin 2023, un tremblement de terre a endommagé des dizaines de maisons à La Laigne (Charente-Maritime), dans le Sud-Ouest de la France. Le séisme a été ressenti jusqu'à Rennes, au nord de la Bretagne.

Prise en compte dynamique des répliques sismiques dans l'évaluation des dommages assurés/

Adélaïde Allemand[1,2], Corentin Gouache[2]
(1) CentraleSupélec, Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay
(2) Département Modélisation & Actuariat, CCR

RÉSUMÉ

Cet article décrit la méthodologie développée au sein du modèle d'évaluation des dommages assurés de CCR afin de prendre en compte l'accumulation des dommages induits par les répliques sismiques. Cette méthodologie est appliquée dans un premier temps au cas des bâtiments en béton armé de France métropolitaine.

INTRODUCTION

Le modèle d'estimation des dommages assurés consécutifs à un séisme de CCR se décompose en trois modules. Tout d'abord, le module d'aléa estime l'intensité macrosismique I_0 et la fréquence des séismes. Ensuite, le module de vulnérabilité géolocalise les enjeux assurés et évalue leur capacité à résister à une secousse sismique à travers une variable appelée indice de vulnérabilité V_1. Enfin, le module de dommages traduit l'aléa et la vulnérabilité en dommages assurés via le calcul de la classe de dégâts $D=f(I_0, V_1)$ pour chaque paire séisme-bâtiment. Une description détaillée de ce modèle est proposée dans le rapport scientifique 2022 de CCR (Gouache et al., 2022).

Cette méthodologie utilisée par CCR est particulièrement bien adaptée à l'évaluation du risque à l'échelle nationale cependant, elle n'est pas adaptée à la comptabilisation de l'accumulation des dommages observée au sein des séquences sismiques. En effet, les tremblements de terre se produisent généralement sous la forme d'essaims sismiques également appelés séquences sismiques et composés d'un séisme principal et de répliques. À cet égard, la procédure ci-dessus considère les impacts des mouvements du sol sur un bâtiment comme indépendants, alors que les dommages subis par un bâtiment soumis à une réplique sont en fait corrélés aux dommages causés par les chocs précédents. Ainsi, ne pas prendre en compte les dégâts bâtimentaires induits par un ou des séisme(s) précédent(s) lors de l'estimation des dommages d'une réplique tend à sous-estimer ces dommages.

Une proposition pour remédier à cette lacune consiste à calculer chaque nouvelle valeur de classe de dégâts D_i en fonction de l'état antérieur du bâtiment : $D_i = g(IM, D_{i-1})$, où IM (Intensity Measure) représente la variable quantifiant l'intensité sismique. L'intensité macrosismique I_0 utilisée dans le modèle CCR initial est un exemple de IM.

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie développée dans cette étude repose sur trois étapes principales.

La première étape consiste à analyser et décrire les bâtiments français afin de les reproduire numériquement via le logiciel OpenSees qui calcule les performances structurales et géotechniques d'un bâtiment sujet à un séisme. Plus précisément, l'étude se focalise sur les bâtiments en béton armé divisés en sous-catégories dépendant des paramètres influençant leur vulnérabilité sismique (le nombre d'étages ici). Chaque sous-catégorie est représentée par un modèle moyen de bâtiment dans OpenSees : dimensions moyennes, paramètres moyens des matériaux et caractéristiques structurales moyennes. Par soucis de simplicité et de gain de temps, seuls les bâtiments en béton armé sont concernés dans cette étude.

La deuxième étape est la collecte de paires de signaux sismiques, chaque paire représentant deux séismes successifs au sein d'une séquence sismique. Cette sélection est basée sur des critères spécifiques aux caractéristiques de la sismicité fran-

çaise, à savoir : des magnitudes de moment M_w comprises dans l'intervalle 4,0-7,0, et des contextes tectoniques similaires à celui de la France (au moins, les régions de croûte peu profonde). Les paires sont ensuite téléchargées à partir d'une base de données ouverte fournie par le centre *Pacific Earthquake Engineering Research* (PEER).

La dernière étape consiste à appliquer ces paires à chaque modèle de bâtiment. Cette étape permet d'évaluer comment la vulnérabilité est affectée et évolue (ou non) lorsqu'un deuxième séisme frappe la structure déjà endommagée. Concrètement, l'analyse du bâtiment soumis à de nombreuses paires de signaux différentes permet de calculer les probabilités de transition d'un niveau d'une classe de dégâts à une autre, en fonction de la gravité du mouvement du sol. Ces probabilités sont représentées par des courbes dites de fragilité, qui relient la probabilité de dépasser une valeur de classe de dégâts D_i à la mesure d'intensité IM, pour une valeur de classe de dégâts initiale D_{i-1}. Elles sont obtenues à l'aide d'une méthode appelée l'analyse des bandes multiples (MSA pour *Multiple Stripes Analysis*).

Cette dernière étape nécessite un choix minutieux de la mesure d'intensité (IM) et du paramètre de demande technique (EDP pour *Engineering Demand Parameter*), respectivement utilisés pour quantifier l'intensité du mouvement du sol et les dommages subis par le bâtiment. Une IM doit être efficace et suffisante pour mesurer correctement la menace représentée par le mouvement du sol sur une structure. Un EDP doit être facile à suivre et augmenter avec la durée de l'excitation du sol, afin de capturer avec précision l'accumulation des dommages causés par une séquence sismique. La meilleure IM (respectivement EDP) est sélectionnée en comparant les résultats de l'analyse utilisant différents choix d'IM (respectivement EDP).

Enfin, le nombre de signaux téléchargés doit être suffisamment élevé pour calculer des probabilités robustes, en particulier pour les valeurs élevées de l'intensité sismique (IM).

RÉSULTATS

72 mouvements de terrain sont sélectionnés dans des régions allant de l'Italie à la Californie, en passant par l'Iran et la Grèce. Ils proviennent de séquences sismiques composées d'un séisme principal et d'une à onze réplique(s). Les signaux de chaque >

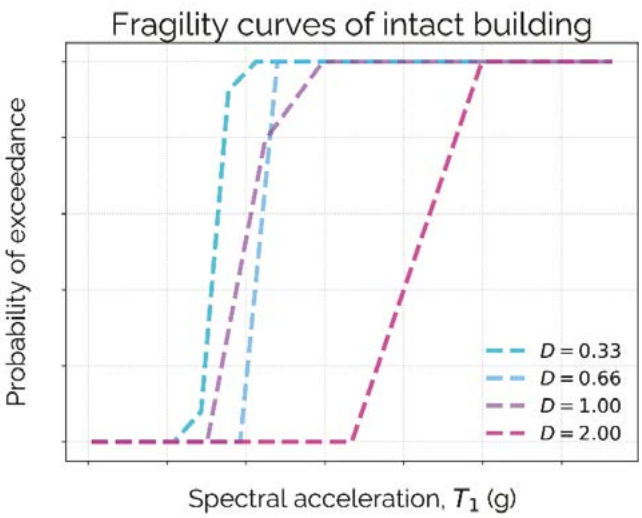


Figure 1 : Courbes de fragilité obtenues pour différentes valeurs de classe de dégâts dans le cas d'un bâtiment sain.

vulnérabilité
endommagement
analyse de risques
fonction de fragilité

> séquence ont été enregistrés dans la même station d'enregistrement. Ils sont réassemblés en 57 paires. Les signaux ne sont pas mis à l'échelle et l'ordre d'apparition reste inchangé, afin de garantir que chaque paire présente des caractéristiques réalistes (amplitude, durée de l'excitation, contenu en fréquence).

Les 57 paires de mouvements du sol sont appliquées à chaque modèle de bâtiment. Les résultats de l'analyse conduisent à choisir l'accélération spectrale à la période fondamentale du bâtiment *(S_a (T_1))* comme IM et le déplacement maximal du toit comme EDP. Les courbes de fragilité obtenues avec ces paramètres sont visibles en Figure 1 dans le cas d'un bâtiment sain. Elles donnent la probabilité de dépasser une classe de dégâts donnée en fonction de l'intensité du mouvement du sol choisie *(S_a (T_1))* ici).

Les probabilités qu'un bâtiment intact dépasse différentes valeurs de classe de dégâts *D* sont calculées, (1) lorsque seul le choc principal est appliqué, et (2) lorsque le choc principal et la réplique sont appliqués. La comparaison des deux courbes est présentée en Figure 2. Cette comparaison permet d'évaluer la valeur seuil d'IM au-delà de laquelle l'accumulation de dommages se produit. Pour des valeurs élevées d'IM, la succession de deux mouvements de terrain conduit à une augmentation des dommages sur la structure. En effet, les chocs principaux de forte intensité rendent la structure suffisamment vulnérable pour que l'occurrence d'une réplique augmente les dommages.

En outre, les séismes principaux de forte intensité sont plus susceptibles de produire des répliques de forte intensité, qui risquent d'endommager la structure. Toutefois, pour des valeurs faibles de IM, cela n'est plus vrai : les points de données se superposent (couleur bleu foncé), ce qui signifie que l'ajout d'un deuxième séisme après le séisme principal n'augmente pas les dommages.

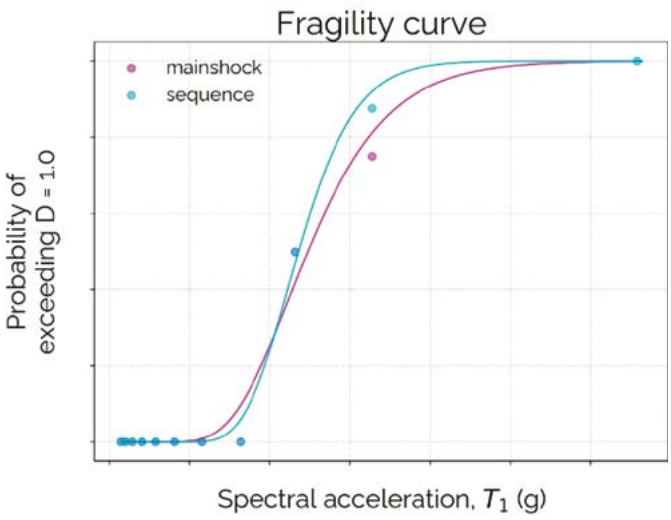


Figure 2 : Courbes de fragilité pour un bâtiment béton armé de mi-hauteur (3 étages), avec et sans réplique, pour *D=1*. La valeur d'IM *(S_a (T_1))* est celle du séisme principal

CONCLUSION

Les résultats montrent que, pour des intensités de choc principal suffisamment élevées, l'occurrence de répliques augmente effectivement les dommages sur la structure. Par conséquent, la prise en compte de l'accumulation des dommages dus à des séismes successifs conduit nécessairement à des niveaux de dommages différents de ceux obtenus en calculant séparément les dommages induits par chaque tremblement de terre de la séquence.

Cette méthodologie peut donc être utilisée dans l'évaluation des dommages assurantiels consécutifs à un séisme, à condition qu'un nombre suffisamment élevé de mouvements de terrain représentatifs soit utilisé pour dériver des courbes de fragilité robustes. Pour ce faire, différentes pistes pourraient être adoptées : télécharger davantage de séquences à partir de la base de données NGA2-West et/ou réassembler les paires de mouvements du sol dans un ordre différent de celui des enregistrements./

LE PARTENAIRE

LMPS est dédié à l'expérimentation, à la modélisation et à la simulation en mécanique des solides. Le laboratoire vise à contribuer à relever les défis dans les domaines stratégiques du développement d'une énergie propre, sûre et efficace, de la gestion sobre des ressources et de l'adaptation au changement climatique, des transports et systèmes urbains durables, de la fiabilité des systèmes complexes et du renouveau industriel. Au sein du LMPS, l'équipe OMEIR (Ouvrages, Matériaux, Environnement : Interactions et Risques) travaille sur (i) la réduction de l'empreinte écologique des ouvrages, (ii) l'évaluation et la réduction de la vulnérabilité des constructions (ayant des impacts économiques et humains) soumises à des aléas/risques, naturels ou non, et (iii) le passage de la maquette numérique à de véritables jumeaux numériques, voire hybrides couplant simulation multi-physique, assimilation de données et expérimentations avancées.

RÉFÉRENCES

1. Gouache, C. (2022). Modèle probabiliste d'exposition aux séismes en France métropolitaine. CCR Scientific report, 10-13.
2. Milutinovic, Z. V., & Trendafiloski, G. S. (2003). An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns - WP4: Vulnerability of current buildings. RISK-UE.

CITATION

Allemand et al., Prise en compte dynamique des répliques sismiques dans l'évaluation des dommages assurés. In Rapport scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 06 à 09.

Anticipation de l'évolution des phénomènes RGA sous l'effet du changement climatique/

Sophie Barthelemy[1], Jean-Philippe Naulin[2]
(1) Météo-France - BRGM - CCR
(2) Département Modélisation & Actuariat, CCR

RÉSUMÉ

En dépit de l'ampleur de ses impacts sur le bâti, les conditions propices au phénomène de retrait-gonflement des argiles sont encore mal connues. Des recherches, exploitant un modèle d'humidité des sols, des cartes d'aléa et des données de sinistralité assurantielles ont permis de caractériser les déclencheurs sur une période historique et sous climat futur.

INTRODUCTION

Le retrait-gonflement des argiles (RGA), également connu sous le nom de sécheresse géotechnique, est un phénomène de rétraction des sols riches en minéraux argileux gonflants, comme les smectites, lors de périodes de sécheresse. Ce phénomène peut affecter les constructions lorsque la dessiccation s'étend suffisamment profondément sous les fondations : des fissures apparaissent sur les façades, révélant des déformations irréversibles. Ces dommages sont couverts par le régime national d'indemnisation des catastrophes naturelles (régime Cat Nat) et constituent un problème majeur en France. En effet, il est le deuxième péril le plus coûteux après les inondations, avec des dommages estimés à plus de 20,8 milliards d'euros depuis son inclusion dans le régime en 1989. Les coûts ont particulièrement augmenté depuis 2017, atteignant un nouveau record en 2022, avec des dommages estimés à plus de 3 milliards d'euros. Ce phénomène est également reconnu à l'échelle mondiale : il a fait l'objet d'études approfondies au Royaume-Uni, ainsi qu'aux États-Unis, en Italie, au Kenya, à Chypre, et ailleurs.

Bien que ce phénomène soit bien compris au niveau local, il reste difficile à cartographier en raison de l'hétérogénéité des dépôts argileux. C'est pourquoi une thèse a été lancée en 2021, dans le cadre d'une collaboration entre Météo-France, le BRGM et CCR. L'objectif de cette recherche est d'améliorer la caractérisation des facteurs de survenue du retrait-gonflement des argiles (RGA) à différentes échelles, de la parcelle individuelle à l'échelle de la France métropolitaine. Pour ce faire, différents types de données sont comparés : des simulations de l'humidité du sol (Météo-France), des données géologiques et géotechniques (BRGM), et une base de données des sinistres (CCR). Cette thèse a permis de développer un indicateur de sécheresse et de le tester sur des événements passés. Étant donné que les phénomènes de sécheresse sont susceptibles d'augmenter avec le changement climatique, les indices ont également été appliqués à des scénarios de projection RCP. Cette approche fournit un élément de quantification pour évaluer l'augmentation future des sécheresses.

MÉTHODOLOGIE

Le travail se concentre sur le facteur déclenchant principal du phénomène de retrait-gonflement des argiles : la sécheresse. Un indicateur spécifique a été développé pour mesurer la magnitude annuelle de sécheresse. Cet indicateur repose sur les simulations de l'humidité du sol fournies par le modèle de surface terrestre ISBA (Noilhan et Mahlouf, 1996).

La magnitude de sécheresse intègre les fortes anomalies négatives d'humidité du sol sur une année entière. Ses caractéristiques – telles que la définition de la sécheresse, la profondeur de la couche de sol, les paramètres de végétation et la méthode de calcul – ont été ajustées en comparaison avec un échantillon de données de sinistres (Barthelemy et al., 2024). L'objectif est d'identifier les conditions de sécheresse susceptibles de provoquer des phénomènes de retrait-gonflement des argiles (RGA). L'indice de sécheresse est représenté à l'échelle d'une maille de 8 km de côté pour une année donnée.

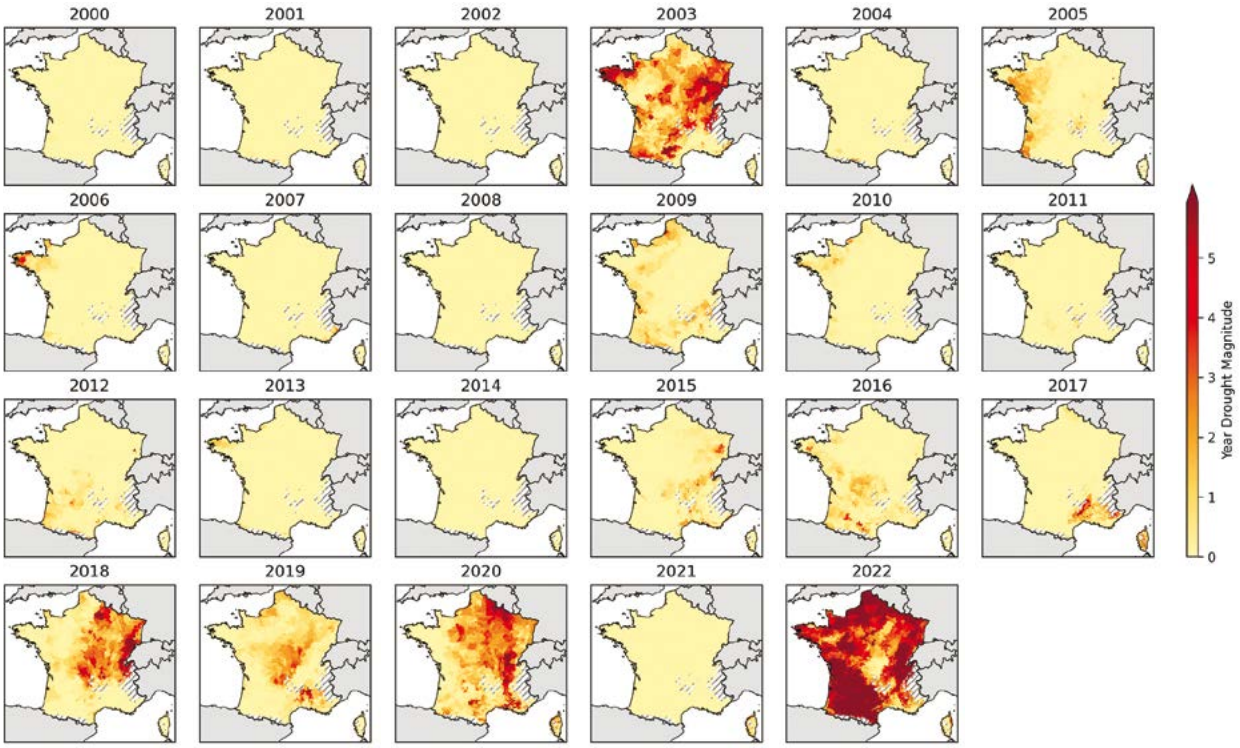


Figure 1 : Magnitude de sécheresse pour les années 2000 à 2022.

Après avoir été calibré avec des données provenant de communes fortement impactées, l'indicateur a été appliqué à l'ensemble du territoire français, tant pour les événements passés que pour les scénarios de projection climatique.

SIMULATION DES ÉVÉNEMENTS HISTORIQUES ET PROJECTIONS CLIMATIQUES

La magnitude annuelle de sécheresse a été calculée de manière spatialisée pour la France sur la période historique de 2000 à 2022. L'analyse historique, présentée dans la Figure 1, met en évidence les événements extrêmes ayant affecté le pays en 2003, 2018, 2019, 2020 et 2022. L'année 2022, pour laquelle la sinistralité a été estimée entre 3 et 3,5 milliards d'euros (CCR 2024), montre des valeurs élevées de l'indicateur sur presque tout le territoire. De même, la canicule de 2003, qui a coûté 1,2 milliard d'euros, ressort de manière très marquée. >

sécheresse
retrait gonflement
argile
sinistralité

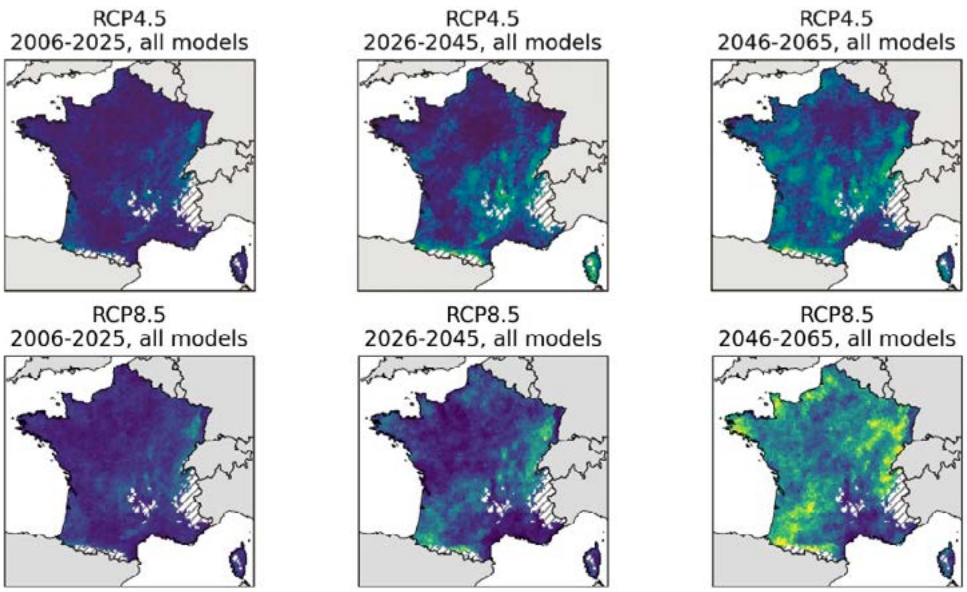


Figure 2 : 75ème centile (égal au 3ème quartile) des magnitudes de sécheresse projetées jusqu'en 2065 par périodes de 20 ans (2006-2025, 2026-2045, 2046-2065) pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5, pour différents modèles de climat.

> On note cependant que l'indicateur est en retrait sur l'année 2011. Cela s'explique par le fait qu'il est calculé sur une base annuelle et ne prend pas en compte la dimension saisonnière des sécheresses. Cette limitation empêche de bien refléter la sécheresse particulière survenue au printemps de cette année-là.

Pour étudier l'impact du changement climatique sur les phénomènes de retrait-gonflement des argiles (RGA), l'indicateur de sécheresse a été appliqué à une période future s'étendant jusqu'en 2065. Pour ce faire, le modèle ISBA a été contraint successivement par la réanalyse atmosphérique SAFRAN et par les champs atmosphériques simulés par six modèles climatiques différents, selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.

Les magnitudes projetées, présentées dans la Figure 2, indiquent une augmentation très marquée de la fréquence et de l'intensité des sécheresses susceptibles de favoriser le RGA dans le futur, en particulier sous le scénario le plus pessimiste RCP 8.5. Les divergences entre les scénarios deviennent significatives à partir de 2046, et l'ensemble du territoire français serait concerné par ces évolutions.

CONCLUSION

Les travaux de thèse ont conduit au développement d'un indicateur de magnitude de sécheresse basé sur l'indice d'humidité du sol du modèle ISBA. Cet indice a été utilisé pour analyser des événements historiques et des projections climatiques. Les résultats ont révélé une augmentation significative des sécheresses futures en raison du changement climatique.

Les prochaines étapes de la recherche se concentreront sur la corrélation entre les magnitudes de sécheresse annuelles et les cartes de susceptibilité au retrait-gonflement des argiles (RGA) élaborées par le BRGM. Cette approche permettra de créer un nouvel indice quantifiant le potentiel de retrait annuel. Cet indice sera validé en le comparant à une base de données de dommages assurés et pourrait être utilisé pour prédire le nombre et le montant des sinistres./

LES PARTENAIRES

Cet article présente les travaux de la thèse de Sophie Barthelemy qui est encadrée par Météo-France, le BRGM (Bureau de Recherche Géologiques et Minières) et CCR.

RÉFÉRENCES

1. Noilhan, J. and Mahfouf, J. F.: The ISBA land surface parameterisation scheme, Glob. Planet. Change, 13, 145–159, https://doi.org/10.1016/0921-8181(95)00043-7, 1996.
2. Barthelemy, S., Bonan, B., Calvet, J.-C., Grandjean, G., Moncoulon, D., Kapsambelis, D., and Bernardie, S.: A new approach for drought index adjustment to clay-shrinkage-induced subsidence over France: advantages of the interactive leaf area index, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 24, 999–1016, https://doi.org/10.5194/nhess-24-999-2024, 2024.
3. CCR 2024 Les catastrophes naturelles en France, Bilan 1982-2023.112p.

CITATION

Sophie Barthelemy et al., Titre. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 10 à 13.

Le projet MUFFINS : modélisation multi-échelle des inondations à l'aide de solutions innovantes/

Jean-Philippe Naulin[1], Pierre-André Garambois[2]
(1) Département Modélisation & Actuariat, CCR
(2) INRAE, UMR RECOVER, Aix-en-Provence, France

RÉSUMÉ

MUFFINS est un projet de recherche financé par l'ANR, dont l'objectif est de développer des approches innovantes pour la modélisation des inondations. Ce projet intègre des modèles hydrologiques, hydrauliques et hybrides (avec intelligence artificielle), ainsi que des techniques d'assimilation de données, afin d'estimer les impacts des inondations de manière précise. Les solutions proposées par MUFFINS sont conçues pour être opérationnelles et répondre aux besoins des acteurs impliqués dans la gestion de crise. Elles pourront également s'avérer précieuses pour la modélisation des dommages assurantiels ou économiques liés aux inondations.

INTRODUCTION

Le projet MUFFINS (MULtiscale Flood Forecasting with INnovating Solution) est une initiative de recherche financée par l'ANR, impliquant un consortium pluridisciplinaire regroupant des utilisateurs, des hydrométéorologues, des hydro-informaticiens et des mathématiciens.

La prévision de l'impact des inondations constitue un domaine de recherche vaste et complexe, mobilisant de nombreuses disciplines, telles que la météorologie, l'hydrologie, l'hydraulique, et les sciences socio-économiques. L'une des principales difficultés réside dans le fait que les modèles utilisés à chaque étape de la prévision des inondations opèrent sur des échelles spatio-temporelles différentes. Par exemple, les modèles météorologiques ont une résolution spatiale généralement supérieure au kilomètre, tandis que les modèles hydrauliques, employés pour estimer les zones impactées, disposent d'une résolution spatiale variant entre 5 et 25 mètres. Une autre problématique majeure découle du temps de calcul des modèles : alors que la complexité physique des phénomènes entraîne des temps de calcul de plusieurs heures, la gestion de crise requiert des réponses en temps réel, souvent dans un laps de temps réduit à une heure, voire quelques minutes.

L'objectif principal du projet MUFFINS est de développer des approches innovantes pour la modélisation des inondations, alliant précision et efficacité en termes de temps de calcul. Ces approches visent à assurer le transfert d'informations entre différents types de modèles (météorologiques, hydrologiques, hydrauliques, dommages) et à travers diverses échelles spatiales, allant d'un maillage de 5 mètres de côté à des bassins versants couvrant plusieurs milliers de kilomètres carrés. Ces méthodes seront également adaptées aux bassins versants non jaugés.

Parmi les solutions explorées dans le cadre de MUFFINS, des techniques d'assimilation de données et de machine learning seront mises en œuvre pour améliorer les prévisions et évaluer les incertitudes. Afin de construire des outils opérationnels et de répondre aux attentes des utilisateurs, les sorties des modèles seront intégrées dans un démonstrateur, qui permettra d'aller jusqu'à la modélisation des impacts humains et assurantiels.

MÉTHODOLOGIE

Le projet est structuré en 3 axes de travail (Work Package - WP) :

- *WP1 : Couplage modèle et échelle pour répondre aux besoins des utilisateurs*
  L'objectif de ce WP est de mettre au point des outils de prévision couvrant différentes échelles, allant de bassins versants de moins de 1 km² à ceux de 2 500 km². Il sera également nécessaire de travailler sur le couplage entre des modèles de prévisions de précipitations à courte échéance, des modèles hydrologiques distribués et des modèles hydrauliques de haute résolution. Ces travaux visent à répondre aux attentes des acteurs impliqués dans la gestion des inondations, tels que les services de prévision des crues, les pompiers, et les maires.

- *WP2 : Réduction des incertitudes grâce à de nouvelles données et méthodes*
  Cet axe de travail se concentre sur l'amélioration de la précision des chaînes de modélisation hydrologique à fine échelle et leur extension à de vastes domaines. Ces améliorations reposent en partie sur des méthodes d'assimilation de données et de machine learning.

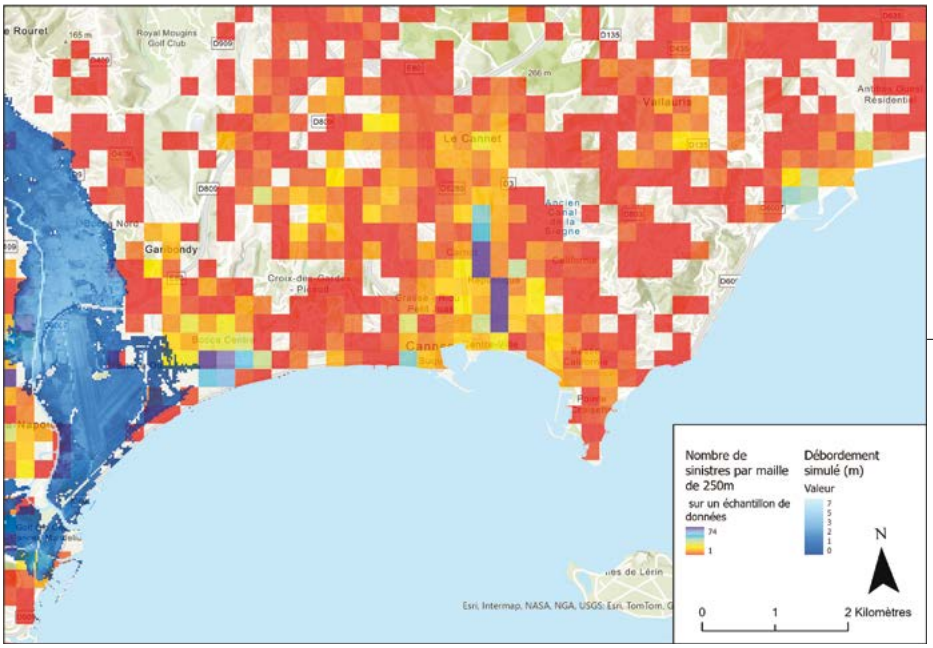


Figure 1 : Cartographie du nombre de sinistres par maille de 250 m sur les inondations d'octobre 2015 dans le Sud Est.

- *WP3 : Implication des utilisateurs finaux*
  Le dernier axe de travail, auquel participe CCR, vise à impliquer les utilisateurs finaux des outils développés dans le cadre de MUFFINS, afin d'orienter les choix de modélisation réalisés dans les deux premiers WP.

La zone d'étude est située dans le sud-est de la France, avec un focus particulier sur certains événements marquants : les inondations de l'Argens en 2010, de l'Aude en octobre 2018, ainsi que celles des Alpes-Maritimes en octobre 2015 et 2020.

IMPLICATION DE CCR DANS LE PROJET MUFFINS

CCR intervient dans ce projet en tant qu'utilisateur des outils développés au sein de MUFFINS. Depuis 15 ans, CCR a mis en place une chaîne de modélisation des aléas liés aux inondations, allant de la modélisation pluie-débit à l'estimation des débordements et du ruissellement. Les travaux menés dans le cadre du projet MUFFINS sont étroitement liés aux enjeux de modélisation de CCR.

La précision de l'estimation des dégâts consécutifs à une inondation dépend fortement de la qualité de l'aléa simulé. Par exemple, si la hauteur d'une digue est sous-estimée et que le modèle de débordement surestime la zone impactée, le modèle de dommages risque alors de surestimer les pertes dans les communes concernées. Inversement, si le débit du cours d'eau est sous-estimé, la zone impactée sera réduite, tout comme l'estimation des dommages. La modélisation pluie-débit et la modélisation hydraulique sont donc des éléments clés pour une estimation précise de l'impact des événements.

Parmi les modèles utilisés dans MUFFINS, on peut citer le modèle hydrologique SMASH (Jay-Allemand et al., 2020), le modèle hydraulique Floodos2D (Davy et al., 2017), ainsi que la plateforme DassFlow (Pujol et al., 2022) qui est employée pour la modélisation hydraulique et l'assimilation de données. La plateforme SMASH est notamment utilisée de manière opérationnelle dans le cadre du service d'avertissement Vigicrues Flash (Piotte et al., 2020). Ces différents outils se révèlent particulièrement prometteurs pour modéliser les débits et les emprises touchées par un événement.

L'analyse des données de sinistralité de CCR a également mis en évidence la nécessité de prendre en compte les phénomènes de ruissellement, qui représentent parfois la majorité des sinistres, notamment lors des épisodes méditerranéens. Un exemple emblématique est celui des inondations survenues en 2015 dans le sud-est de la France, illustré dans la Figure 1, où seulement 15 % des sinistres peuvent être attribués au débordement de cours d'eau.

Pour étudier ce phénomène dans le cadre de MUFFINS, la méthode Cartino 2D (Pons et al., 2021) basée sur le modèle hydraulique Telemac 2D (Hervouet 2007) permet de simuler les hauteurs de ruissellement à une résolution de 5 m. Les résultats de ce modèle sont particulièrement prometteurs, bien qu'ils nécessitent actuellement un temps de calcul conséquent. L'importance des phénomènes de ruissellement a également conduit CCR à développer un modèle spécifique depuis plusieurs années. Ce modèle a été récemment amélioré pour mieux intégrer les caractéristiques du sol et permettre l'estimation des hauteurs, vitesses, et débits. Les résultats de ce modèle, >

inondation
impact
modélisation
hydrologie
hydraulique

> dont un exemple est présenté dans la Figure 2, se révèlent particulièrement utiles pour estimer les zones impactées ainsi que les dommages en résultant.

Une part importante des travaux entrepris dans le cadre de MUFFINS repose sur l'utilisation de méthodes de machine learning pour l'estimation régionale de paramètres d'un modèle hydrologique distribué (Huynh et al. 2023) ou de corrections de la structure du modèle hydrologique lui-même (Huynh et al. 2024), ou encore pour élaborer des métamodèles (ou surrogate models) (Allabou et al. 2024). Ces métamodèles, qui apprennent à partir des sorties des modèles hydrauliques, peuvent ensuite être utilisés pour prédire très rapidement les hauteurs d'eau et les vitesses. Une fois calibrés, ces outils présentent l'avantage d'être très rapides à exécuter. Ils peuvent servir à plusieurs fins :

- Utilisation en temps réel : Les métamodèles peuvent remplacer les modèles hydrauliques coûteux en temps de calcul, offrant une solution rapide pour les prévisions en temps réel.
- Analyse de sensibilité : Les métamodèles permettent de réaliser des analyses de sensibilité en générant un grand nombre de sorties à partir de variations des paramètres d'entrée.
- Simulation de dommages : Les modèles de dommages, utilisés par les assureurs et les réassureurs, reposent souvent sur la simulation d'un grand nombre d'événements pour estimer l'impact financier des scénarios extrêmes. Les métamodèles peuvent accélérer ces simulations, qui sont par ailleurs coûteuses en temps de calcul.

CONCLUSION

Le projet MUFFINS a débuté en 2022 et se termine en 2025. Jusqu'à présent, une part importante des travaux a été consacrée au développement des différents outils et à leur couplage. Les résultats obtenus avec les modèles hydrauliques, hydrologiques et mathématiques sont prometteurs. Certains outils, comme SMASH, sont déjà opérationnels, tandis que d'autres nécessitent encore des améliorations. La prochaine phase du projet se concentrera sur la mise en commun des sorties des différents modèles afin de constituer un démonstrateur./

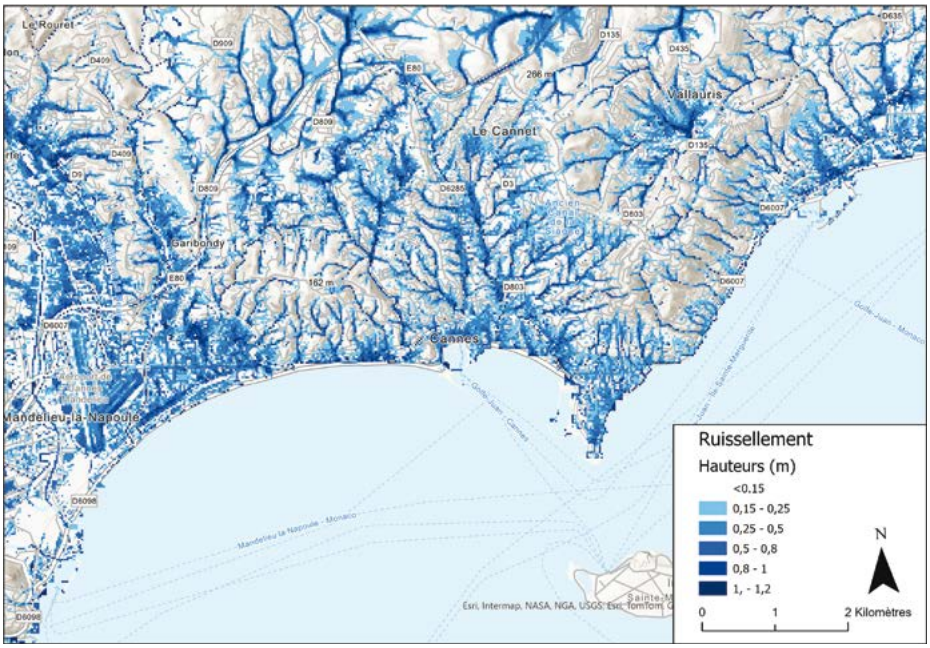


Figure 2 : Modélisation du ruissellement simulé par le modèle CCR sur les inondations d'octobre 2015 dans le Sud-Est.

LES PARTENAIRES

IMT (Institut de Mathématiques de Toulouse), CCR (Caisse Centrale de Réassurance), Université Gustave EIFFEL, IMFT (Institut de Mécanique des fluides de Toulouse), Cerema : Centre d'Etude et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement), INRIA (Institut National de la Recherche en Informatique et Automatique), le SHAPI et Météo France.

RÉFÉRENCES

1. Allabou, M., Bouclier R., Garambois, P.-A., Monnier, J. Reduction of the Shallow Water System by an Error Aware POD-Neural Network Method: Application to Floodplain Dynamics. (2024), Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. https://hal.science/hal-04391872
2. Maxime Jay-Allemand, Pierre Javelle, Igor Gejadze, Patrick Arnaud, Pierre-Olivier Malaterre, Jean-Alain Fine, and Didier Organde (2020). On the potential of variational calibration for a fully distributed hydrological model : application on a Mediterranean catchment. Hydrology and Earth System Sciences, 24(11) :5519–5538, November 2020. ISSN 1027-5606. doi : 10.5194/hess-24-5519-2020
3. Philippe Davy, Thomas Croissant, and Dimitri Lague (2017). A precipiton method to calculate river hydrodynamics, with applications to flood prediction, landscape evolution models, and braiding instabilities. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, 122(8): 1491–1512, 2017. ISSN 2169-9011. doi : 10.1002/2016JF004156
4. Hervouet Jean-Michel. Hydrodynamics of free surface flows, modelling with the finite element method. Wiley 2007. 341 pp.
5. Huynh, T., Garambois P.-A, Renard, B., Colleoni F., Monnier J., Roux H. Multiscale Learnable Physical Modeling and Data Assimilation Framework: Application to High-Resolution Regionalized Hydrological Simulation of Flash Floods. (2023) https://hal.inrae.fr/hal-04498418
6. Huynh, T., Garambois P.-A, Renard, B., Roux, H., Demargne J., Javelle P. Learning Regionalization within a Differentiable High-Resolution Hydrological Model using Accurate Spatial Cost Gradients. (2024), https://arxiv.org/abs/2308.02040
7. L. Pujol, P.-A. Garambois, J. Monnier (2022). "Multi-dimensional hydrological-hydraulic model with variational data assimilation for river networks and floodplains". Geoscientific Model Development (GMD), vol 15 (15), pp. 6085-6113, 2022
8. Piotte, O., Montmerle, T., Fouchier, C., Belleudy, A., Garandeau, L., Janet, B., ... Organde, D. (2020). Les évolutions du service d'avertissement sur les pluies intenses et les crues soudaines en France. La Houille Blanche, 106(6), 75–84.
9. Frédéric Pons, Mathieu Alquier, Elodie Paya, Christophe Moulin, Nina Panier and Anne-Evelyne Chollet (2021), Premiers tests de la méthode Cartino2D sur le territoire de Toulon Provence Méditerranée. LHB: HYDROSCIENCE JOURNAL2021, VOL. 107, 1912968https://doi.org/10.1080/00186368.2021.1912968 ©2021

CITATION

Naulin et al., MUFFINS : Modélisation multi-échelle des inondations à l'aide de solutions innovantes. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 14 à 17.

Modélisation des feux de forêts : validation et amélioration d'un modèle de propagation/

Maxim Desenfant[1], Daniela Peredo[2], Luc Baudoux[2]
(1) IMT Mines Alès, Département I2ER
(2) Département Modélisation & Actuariat, CCR

RÉSUMÉ

Les travaux de validation et d'amélioration d'un module de propagation des feux de forêts issus d'un stage sont présentés dans cet article. Basés sur un modèle existant chez CCR (Jolivet, 2022), ces travaux ont pour objectif de proposer et implémenter des améliorations du modèle afin de permettre une meilleure modélisation des feux de forêts en France.

INTRODUCTION

En 2022, l'Union Européenne a enregistré un bilan record en matière de surfaces brûlées en atteignant *« plus du double de la moyenne recensée des surfaces brûlées entre 2006 et 2021 »* selon l'Observatoire Permanent des Catastrophes Naturelles.
Au-delà de l'augmentation du nombre d'événements, c'est l'apparition en Europe de nouvelles dynamiques de feu proches de celles observées en Australie, aux États-Unis ou au Canada de type « méga feu » qui interrogent et conduisent à de nombreuses réflexions.
C'est dans ce contexte que CCR entame en 2019 des travaux sur ce risque dit émergent. Ainsi, à la suite de plusieurs stages et partenariats, (Le Ven et al, 2023 ; Jolivet, 2022) une première version du modèle d'estimation de l'aléa et de propagation du feu est réalisée.

L'objectif de cette étude est d'établir une méthodologie de validation de la qualité des résultats du modèle préexistant et d'y apporter des améliorations ayant pour objectif de rendre le modèle plus proche de la réalité physique du phénomène.

MÉTHODOLOGIE

Pour l'heure, deux modules sont à disposition de CCR : le premier estime l'aléa feu de forêt pour une année donnée sur l'ensemble de l'arc Méditerranéen, le second assure la propagation d'un feu suivant un point de départ et les conditions physiques du milieu.
Une analyse des hypothèses réalisées lors de la construction de ce dernier, et une revue bibliographique ont permis d'identifier plusieurs pistes d'amélioration. En effet, Freire et al. (2018) suggère que des modèles physiques de propagation des feux sont fortement influencés par les paramètres suivants :
- le vent au cours de l'événement (en km/h),
- la nature des sols et leurs comportements plus ou moins combustible,
- la pente du milieu favorisant ou non la propagation des flammes.

Le diagnostic réalisé sur le modèle initial (Jolivet, 2022) indique que la nature des sols et le vent sont pris en compte de façon partielle. Le vent est considéré constant tout au long de la simulation (vent moyen journalier) et la nature des sols ne prend pas en compte un temps d'ignition différentié. De plus, la pente, qui contrôle en majorité la propagation des flammes, n'est pas intégrée au modèle.

Dans ce contexte, les axes prioritaires d'améliorations à apporter au modèle ainsi que les méthodes choisies pour y parvenir sont les suivants :
- Modèle 2.1 : Prise en compte de la variation temporelle du vent au cours de l'événement en y intégrant une nouvelle formule physique traduisant l'influence du vent d'après Freire et al., 2018.
- Modèle 2.2 : Reprise du modèle 2.1 en y ajoutant l'effet de la pente sur la propagation du feu (Freire et al, 2018).
- Modèle 2.3 : Reprise du modèle 2.2 en modifiant la prise en compte du vent afin d'intégrer une variation spatiale du vent et les effets de la topographie sur celui-ci.

Afin de quantifier l'impact des modifications apportées, il est nécessaire de définir une méthode de validation des résultats obtenus. L'objectif est de déterminer si les surfaces brulées simulées sont spatialement similaires aux surfaces observées.
La méthode de validation nécessite donc de déterminer, dans un premier temps, la surface réellement brûlée qui servira de référence. Cette surface peut être obtenue à partir d'une méthode de télédétection. Parmi les différentes méthodes disponibles dans la bibliographie, la méthode basée sur le dNBR (différence

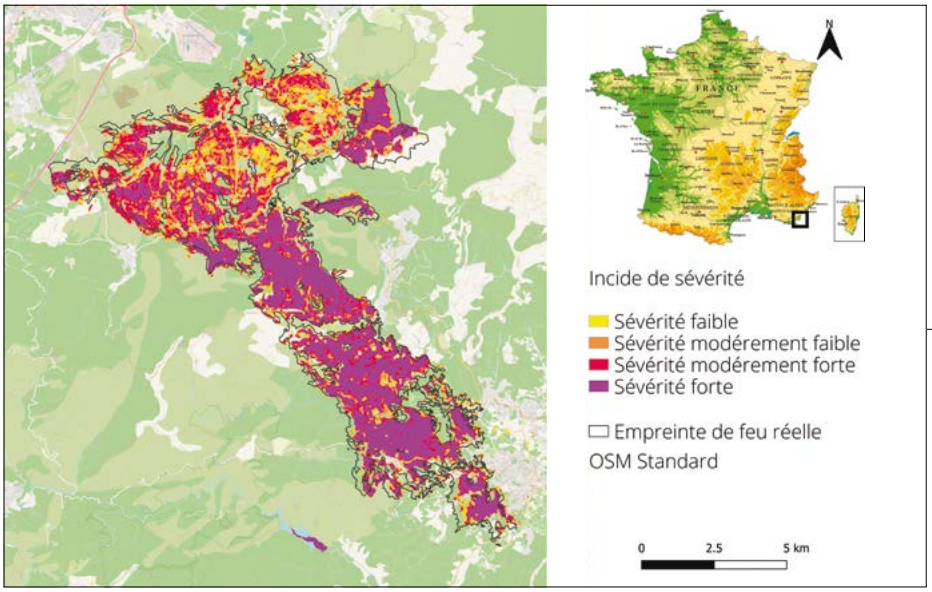


Figure 1 : Comparaison de la surface brûlée détectée par la méthode du dNBR et la surface réellement brulée. Indice de sévérité de l'incendie calculé pour le feu de Gonfaron.

entre les Normalized Brun Ratio à l'état initial et à l'état final) a été choisie (Keeley, 2009).
Le NBR est un indice qui s'appuie sur les différences des propriétés réflectances entres les végétaux sains et brûlés dans le proche infrarouge (NIR) et dans l'infrarouge à ondes courtes (SWIR). Comme l'indique le USGS (*United States Geological Survey*), le dNBR peut donc servir à traduire la sévérité de l'incendie, plus la valeur est importante, plus la sévérité sera considérée comme importante (Tableau 1). En suivant cette classification, il est possible de définir l'empreinte du feu comme tout pixel dont la valeur de dNBR est supérieure à 0.01. L'empreinte ainsi obtenue sert de référence pour la validation des sorties des modèles.

	Niveau de sévérité	**dNBR (10^3)**
	Non brûlé	dNBR (10^3)
	Sévérité faible	dNBR (10^3)
	Sévérité modérément faible	dNBR (10^3)
	Sévérité modérément forte	dNBR (10^3)
	Sévérité forte	dNBR (10^3)

Tableau 1 : Niveau de sévérité de l'incendie en fonction du dNBR (Source : USGS).

La validation des résultats repose sur l'utilisation de critères permettant de juger de la cohérence entre la référence et les simulations. Cette analyse est réalisée par le biais de caractères binaires séparant deux états : brûlé ou sain par pixel. À partir de ces caractères il est possible de construire un tableau de contingence présentant les quatre scénarios possibles lors de la comparaison entre simulation d'un événement et les observations : vrai positif, faux positif (surestimation), faux négatif (lacune) et vrai négatif.

Les résultats du tableau de contingence peuvent être résumés à l'aide des critères comme le POD (*Probability Of Detection*). Ce critère permet de mesurer le pourcentage de la surface brûlée par l'incendie détecté correctement par le modèle (1 si parfait). La prise en compte des fausses alertes est exprimée, au travers de la précision (*Accuracy*) (*Accuracy=1-False positive*). Le critère de biais, (*BIAS*) pénalise le modèle en cas de sur- ou sous-estimation (1 si parfait) de la surface brûlée. Enfin, un dernier critère permet de déterminer une valeur globale de la qualité du modèle, le CSI (*Critical Success Index*).

Au-delà de ces critères issus du tableau de contingence, il est important de qualifier la variabilité interne du modèle, c'est-à-dire sa capacité à reproduire le même résultat à chaque itération. Pour cela un score de variabilité interne est défini à partir d'une modélisation en série (de 100 itérations du modèle) pour lequel une valeur proche de zéro sera considérée comme optimale.

RÉSULTATS

Détermination de la zone réellement brûlée par télédétection

La Figure 1 illustre la zone brûlée déterminée par télédétection et la compare à l'empreinte de feu réelle obtenue par Copernicus[1]. Il est possible d'observer que l'ensemble du feu est correctement identifié et que les lacunes, sautes et ramifications sont parfaitement conservées. La sévérité de l'incendie est cohérente avec la nature de la végétation. Ainsi, les zones les plus sévèrement touchées sont identifiées comme des zones présentant un mélange de prairie herbacée et de forêt, caractérisées par une importante quantité de combustible. Cette zone définie à l'aide de la télédétection servira par la suite comme référence pour l'évaluation par comparaison des simulations du modèle. >

(1) https://www.copernicus.eu/fr

feux de forêts
propagation
télédétection

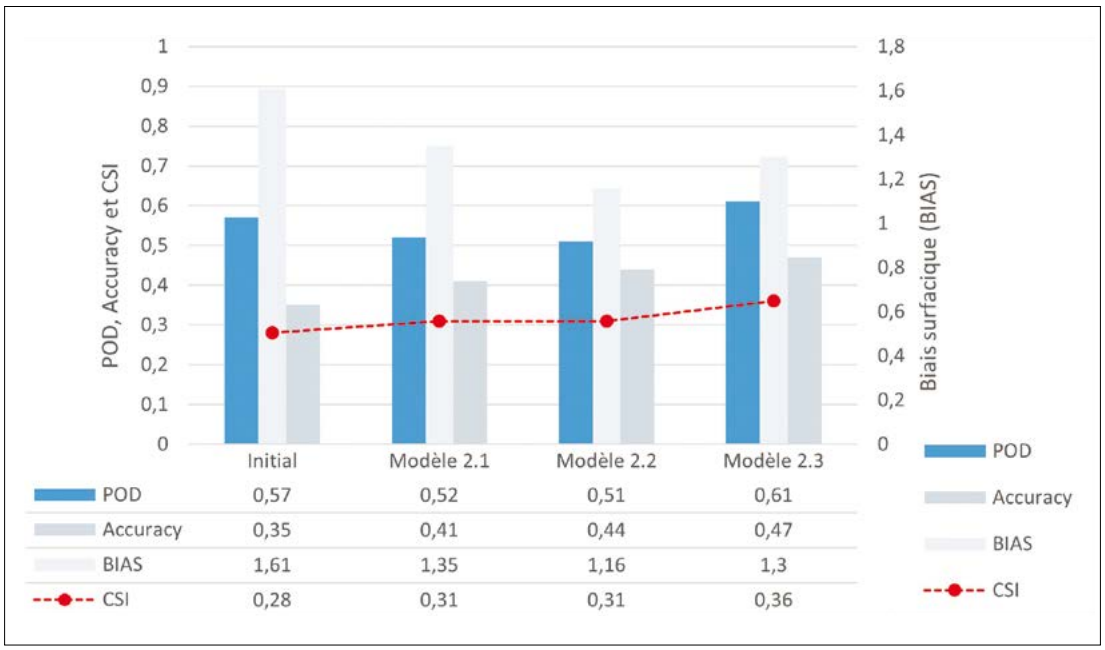


Figure 2 : Critères d'évaluation de la qualité des modèles à partir du tableau de contingence, pour le modèle initial et les modèles améliorés.

>

Évaluation des résultats du modèle

Afin de calculer les critères présentés précédemment en prenant en compte la variabilité interne, 100 simulations sont réalisées pour chaque modèle. Tous les pixels brûlés par au moins une des 100 simulations du modèle initial ont dû être conservés du fait de sa très forte variabilité interne. À contrario, les modèles 2.1, 2.2 et 2.3 apparaissent nettement plus stables permettant de retenir uniquement les pixels déterminés comme brûlés par au moins 65 simulations sur les 100 (75 pour le 2.3). Les résultats quantitatifs de cette comparaison sont présentés dans la Figure 2.

Le modèle initial obtient une valeur de POD supérieure à 50 % mais, en contrepartie d'un taux de fausses alertes élevé avec une précision de 35 % seulement et d'un biais important (+61 % de surestimation).

Les modèles 2.1, 2.2 et 2.3 présentent une nette amélioration de la précision puisque celle-ci passe respectivement à 41 %, 44 % et 47 % contre 35 % pour le modèle initial. De plus, le fort biais surfacique observé précédemment, est réduit à 35 % et 16 % de surestimation pour les modèles 2.1 et 2.2, respectivement. Le modèle 2.3 surestime, quant à lui, de 30 % la surface brûlée observée. Cette hausse de la surestimation peut être expliquée par le fait que le modèle 2.3 est également le modèle avec la meilleure probabilité de détection (supérieure à 60 %). En général, indépendamment de la version du modèle, les améliorations permettent une meilleure modélisation des feux de forêt, se traduisant par une hausse du CSI qui passe de 0.28 à 0.36 pour le modèle 2.3. Cependant, La valeur du CSI reste sensiblement améliorable ce qui indique que d'autres améliorations du modèle peuvent être encore nécessaires.

CONCLUSION

Ces travaux ont permis d'identifier et d'apporter des améliorations au modèle initialement développé chez CCR en 2022 de manière à passer d'une approche basée sur des relations empiriques à une approche cherchant à reproduire des processus physiques. En effet, l'utilisation de données plus proches de la réalité des conditions de propagation du feu permettent de s'assurer d'un gain de fiabilité des modèles tout en s'assurant de la qualité de modélisation de l'événement. L'intégration de la variation temporelle et spatiale du vent permet, par exemple, de s'assurer d'une prise en compte plus fine des conditions de propagation. Ce travail constitue une première étape vers l'élaboration d'un modèle performant pour la modélisation des feux de forêts. Les résultats inférieurs au seuil de 50 % d'efficacité ainsi que l'analyse des emprises simulées, illustrent la nécessité d'explorer de nouvelles pistes d'amélioration du modèle. L'intégration de la vitesse de propagation semble être une piste prioritaire puisque la forme du feu est largement dépendante de celle-ci. En effet un feu avec une vitesse de déplacement importante sera plus allongé. Cette notion de vitesse peut aussi intégrer une différentiation en fonction de la nature des sols, afin de mieux prendre en compte les propriétés physiques des milieux./

RÉFÉRENCES

1. Jolivet Quentin. 2022. Risques d'incendies de forêts sur l'Arc Méditerranéen. Internship Report.
2. Le Ven Clément, Rafalimanana Glory et Kple Othniel. 2023. Modélisation des dommages consécutifs aux feux de forêts en France. Internship Report.
3. Freire Joana G. et DaCamara Carlos C. 2018. Using cellular automata to simulate wildfire propagation and to assist in fire prevention and fighting. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss. EGU https://doi.org/10.5194/nhess-2018-227
4. Keeley J. E. 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: A brief review and suggested usage. International Journal of Wildland Fire, 18(1), 116–126.

CITATION

Desenfant et al., Modélisation des feux de forêts : Validation et amélioration d'un module de propagation. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 18 à 21.

Estimation des pertes assurantielles liées à des actes de terrorisme de type « bombe sale »/

Sina Nassiry[1], Corentin Gouache[2], Maxime Nibart[3], Armand Albergel[3]
(1) Département Risques Émergents, CCR
(2) Département Modélisation & Actuariat, CCR
(3) SUEZ ARIA Technologies

RÉSUMÉ

Dans cette étude sont présentés les résultats des travaux communs entre SUEZ ARIA Technologies et CCR dont le but est d'estimer les pertes assurantielles induites par trois scénarios de bombes sales en France. Cette étude s'inscrit dans le cadre de la rédaction d'un rapport international sur la réassurance des actes terroristes, pilotée par la Geneva Association.

INTRODUCTION

Cet article est un résumé des contributions de CCR et de SUEZ ARIA Technologies à la rédaction d'un rapport international sur la réassurance des actes terroristes. Les travaux réalisés dans le cadre de cette étude sont focalisés sur des « bombes sales ». Cette dénomination se réfère à l'utilisation d'un explosif traditionnel pour disperser des agents essentiellement radiologiques, mais potentiellement aussi chimiques

Dans cette optique, trois scénarios de bombes sales sont présentés :

- sur **l'avenue des Champs-Elysées à Paris, à proximité de l'Arc de Triomphe.** Ce scénario est basé sur une bombe sale artisanale assez petite pour tenir dans un sac à dos. Cette bombe est composée de 1 kg d'équivalent TNT et 100 TBq (environ 32 g de produit brut) du radionucléide Césium 137 (137Cs).
- à **La Défense, le quartier d'affaires de Paris, en face de la Grande Arche.** Ce scénario est basé sur une bombe sale artisanale du même type (1 kg équivalent TNT ou et 100 TBq de 137Cs (environ 32 g de produit brut)).
- à proximité du **Parlement européen à Strasbourg.** Ce scénario consiste en un attentat perpétré par un groupe terroriste, qui impliquera cette fois une charge explosive de 1 kg d'équivalent TNT et 1000 TBq de 137Cs (environ 315 g de produit brut).

MÉTHODOLOGIE

L'estimation des pertes assurées induites par un attentat à la bombe sale est basée sur trois modules : aléa, vulnérabilité et dommages.

Module d'aléa

Le but de ce module est d'obtenir une carte des distributions des activités du radionucléide utilisé dans la bombe sale (^{137}Cs) dans l'air (en Becquerel par mètre cube, $Bq.m^{-3}$) et déposées sur les surfaces ($Bq.m^{-2}$). Cette étape est réalisée à l'aide de la chaîne de calcul RISTER, développée par SUEZ ARIA Technologies. Ce logiciel simule la propagation du nuage généré par la charge explosive de la bombe (en kg d'équivalent TNT) et distribue la quantité initiale d'éléments radioactifs (en Bq) dans l'air et dans les dépôts. La première étape tient compte des effets dynamiques et thermiques induit par l'explosion et calcule le nuage « stabilisé » compte tenu des effets combinés de l'explosion et de l'écoulement de l'air au lieu précis de l'attentat. Ensuite, le nuage stabilisé est dispersé dans le voisinage en résolvant les équations de transport-diffusion dans un écoulement urbain 3D (vent et turbulence) reconstitué à très haute résolution. Les résultats des concentrations et des dépôts dépendent de différents paramètres tels que les conditions micro-météorologiques (direction et vitesse du vent, précipitations), la topographie, la nature et l'occupation du sol, l'interaction avec des obstacles 3D (bâtiments) et le comportement intrinsèque du radio-

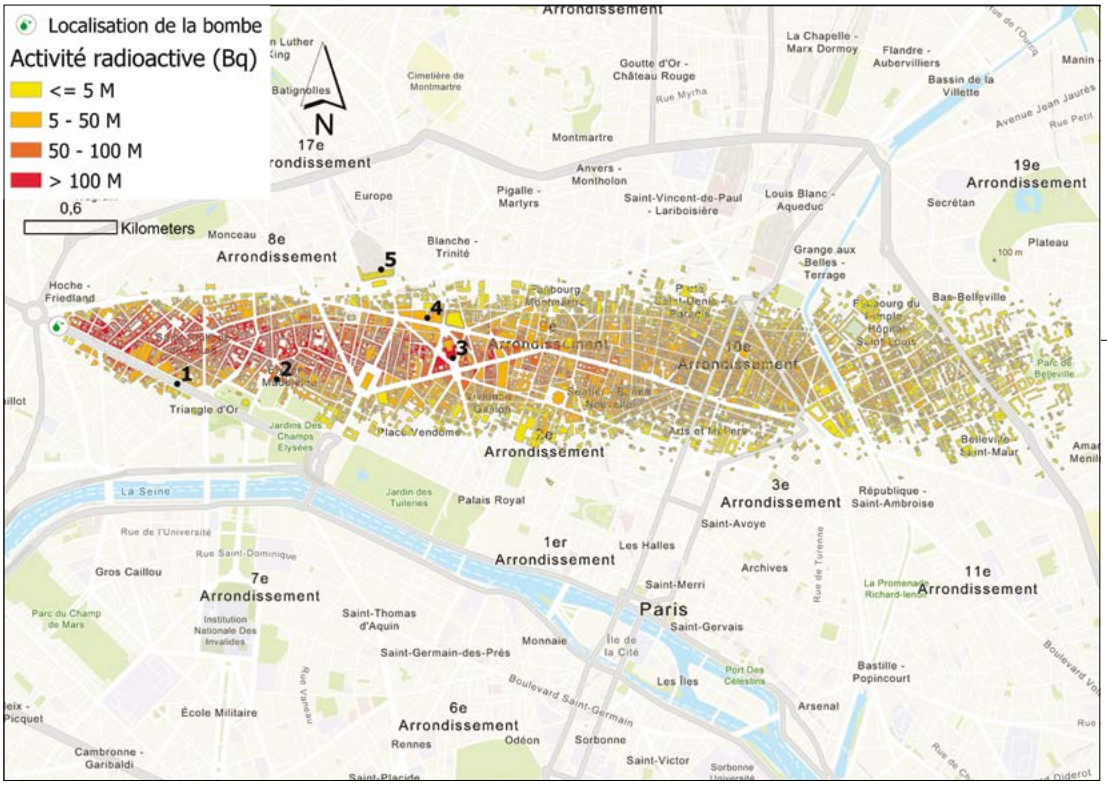


Figure 1 : Carte de l'activité du radionucléide (en Becquerel Bq) dans les bâtiments, obtenue pour le scénario « Champs-Elysées » avec un vent faible (1 m/s) d'Ouest sans précipitation.
1. Champs-Elysées, 2. Palais de l'Élysée, 3. Opéra Garnier, 4. Galeries Lafayette, 5. Gare Saint-Lazare.

nucléide utilisé (masse, temps de demi-vie, vitesse de dépôt, taux de lessivage par la pluie, ...). Lors de sa propagation, le nuage s'appauvrit et dépose au sol et sur les bâtiments les radionucléides initialement présents dans le nuage. Ainsi, RISTER propose, *in fine*, une carte des dépôts de radionucléides (en $Bq.m^{-2}$) à une résolution choisie, fixée à 5 m dans cette étude. Pour des raisons techniques, la quantité de TNT maximale qu'il est possible de modéliser est fixée à 1 kg.

Module de vulnérabilité

Le module de vulnérabilité consiste à extraire tous les bâtiments de la zone impactée, c'est-à-dire de la zone où le module d'aléa a estimé des activités volumiques significatives. Ensuite, pour chacun de ces bâtiments, des polices d'assurance sont associées afin d'estimer la valeur assurée totale contenue dans le bâtiment donné. Cette valeur assurée est divisée en trois catégories : le bâtiment et son contenu (qui font partie des « biens »), et les pertes d'exploitation (uniquement pour les risques professionnels). Enfin, l'activité du radionucléide (en Bq) est estimée dans chaque bâtiment en croisant sa surface et la carte des dépôts.

Module de dommages

La dernière partie du modèle vise à déterminer un coût assurantiel pour chaque bâtiment en croisant les résultats de la vulnérabilité et de l'aléa. Pour ce faire, on utilise des courbes d'endommagement qui relient l'activité du radionucléide aux taux de pertes en fonction du type de valeur assurée : bâtiment, contenu et pertes d'exploitation (une courbe par type). Ensuite, le coût de l'attaque pour un bâtiment donné et un type donné est obtenu en multipliant le taux de pertes par sa valeur assurée. Le taux de pertes va de 0 à 1 et représente le « degré d'endommagement » du bâtiment de 0 % à 100 %. Pour ce type d'événement, les dommages ne représentent pas la destruction physique mais le coût de la décontamination. Ces courbes ont été définies pour chaque type (bâtiment, contenu et pertes d'exploitation) sur la base du retour d'expérience de la catastrophe de Fukushima.
Il est important de noter que seuls les dommages assurés (matériels et pertes d'exploitation) et les frais de relogement sont modélisés. Les coûts estimés ne comprennent pas les dommages aux véhicules et aux personnes, ni les pertes économiques (risque de réputation, impacts sur le tourisme et sur le secteur public…) et les effets en cascade, tels que les explosions de conteneurs et les fuites, consécutifs à un tel événement.

RÉSULTATS

La Figure 1 présente l'activité du radionucléide dans chaque bâtiment, obtenue avec les pires conditions météorologiques pour le scénario « Champs-Élysées ». Pour ce scénario et celui de La Défense, les pires conditions météorologiques correspondent à un vent faible (1 m/s) d'ouest alors que pour le scénario du Parlement européen, il s'agit d'un vent faible (1 m/s) du nord-est. >

modélisation
« bombe sale »
Champs-Élysées
La Défense
Parlement européen

Scénario	Biens	Pertes d'exploitation	Frais de relogement	Total
Champs-Elysées	7 902	2 294	479	**10 675**
La Défense	4 612	1 648	212	**6 472**
Parlement européen	2 790	677	93	**3 560**

Tableau 1 : Pertes assurées (M€) réparties entre les biens, les pertes d'exploitation et les frais de relogement pour les trois scénarios proposés.

Scénario	Pertes assurées	Part de CCR et de l'État	Part des réassureurs privés	Part des assureurs
Champs-Elysées	10 675	5 770 (54 %)	2 306 (22 %)	2 599 (24 %)
La Défense	6 472	2 381 (37 %)	2 438 (38 %)	1 653 (25 %)
Parlement européen	3 560	71 (2 %)	904 (25 %)	2 585 (73 %)

Tableau 2 : Répartition des pertes assurantielles (M€) entre les assureurs, les réassureurs privés, CCR et l'État.

> Le Tableau 1 résume les pertes assurées induites par les trois scénarios proposés. Ces pertes sont réparties en pertes matérielles, pertes d'exploitation et frais de relogement. Pour le scénario des Champs-Élysées, plus de 36 000 polices d'assurance concentrées dans 7 000 immeubles parisiens sont concernées par la décontamination. Les pertes matérielles (décontamination) sont dominantes et représentent 74 % de l'ensemble des pertes. En ce qui concerne le scénario de La Défense, étant donné qu'il s'agit du quartier d'affaires de Paris, de nombreuses multinationales sont touchées, ce qui explique la proportion plus élevée de pertes d'exploitation que dans le scénario des Champs-Élysées (25,5 % contre 21,5 %). Cette augmentation de la proportion des pertes d'exploitation est atténuée par la présence de nombreux biens résidentiels parmi les 27 000 polices d'assurance touchées. De plus, une grande partie de ces actifs résidentiels se trouve à Levallois-Perret, la commune la plus densément peuplée de France. Enfin, le scénario du Parlement européen induit principalement des pertes matérielles (78 %) en raison de la proximité de Strasbourg, qui concentre une grande partie des 20 000 polices d'assurance touchées.

En ce qui concerne les pertes moyennes par sinistre, le scénario « Champs-Elysées » arrive en tête avec 279 K€, suivi du scénario « La Défense » avec 231 K€ et du scénario « Parlement européen » avec 168 K€. Cela est cohérent avec la valeur moyenne assurée dans chacune des villes les plus touchées, à savoir respectivement Paris, Levallois-Perret et Strasbourg.

Le Tableau 2 illustre la répartition des pertes assurées entre les principaux acteurs pour les trois scénarios proposés. La première observation est que plus la perte totale est élevée, plus la part de l'État et de CCR est importante. Inversement, plus la perte totale est faible, plus la part des assureurs est importante. Ensuite, la proportion élevée de la part des réassureurs privés (38 %) pour le scénario de La Défense s'explique par le fait que de nombreux grands risques (valeurs assurées ≥ 20 M€) sont exposés dans ce scénario et que ces risques sont principalement couverts par ces réassureurs. En effet, la priorité des réassureurs privés dans le cas des grands risques est fixée à 500 M€ (au-dessus de la rétention des assureurs) tandis que la portée s'élève à 2,8 Mds€, soit une prise en charge maximale de 2,3 Mds€.

CONCLUSION

Cette étude met en évidence le fait que des attentats terroristes plausibles, dans le sens où leur logistique est relativement simple (1 kg d'équivalent TNT et 32 g de 137Cs pur), peuvent conduire à des dommages dévastateurs avec des pertes assurées supérieures à 1 Md€. Les pertes des trois scénarios présentés, alors même qu'ils sont concentrés sur une seule ou quelques commune(s), sont comparables à des catastrophes naturelles majeures qui se sont produites en France et qui ont touché une grande partie du territoire français, comme la tempête Lothar et Martin en 1999 (15 Mds€ de pertes assurées sur 77 % des communes), les tempêtes de grêle de mai 2022 (5,1 Mds€ de pertes assurées sur 50 % des communes) et la sécheresse géotechnique de 2022 (3,5 Mds€ de pertes assurées sur environ 150 000 polices)./



LE PARTENAIRE

SUEZ ARIA Technologies est aujourd'hui une entité de SUEZ Air et Climat. C'est une équipe de 35 experts engagés pour concevoir et développer des solutions qui permettent à ses clients, collectivités et industriels, d'améliorer la qualité de l'air sur leur territoire ou leur site, et d'atténuer leur impact sur le climat.
Cette mission, SUEZ ARIA Technologies la réalise en proposant à ses clients une approche intégrée des problématiques Air et Odeurs, qui s'articule autour de 3 principaux leviers : Diagnostiquer, Modéliser / Monitorer et Traiter.

CITATION

Nassiry et al., Estimation des pertes assurantielles liées à des actes de terrorisme de type « bombe sale ». In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 22 à 25.

ESTIMER LES CONSÉQUENCES D'UN ÉVÉNEMENT



Estimation du coût d'une catastrophe naturelle : retour sur les inondations dans le Nord Pas-de-Calais de 2023/ p.28

La veille événementielle est une procédure qui permet de suivre et d'informer en temps réel sur le déroulé d'un événement appartenant au régime Cat Nat. La chaîne opérationnelle mise en place chez CCR permet de simuler l'aléa, d'estimer le coût des dommages assurés et de les communiquer très peu de temps après la survenance d'un événement.

Réévaluation de l'estimation du coût du séisme de La Laigne/ p.32

Ce séisme survenu en Charente-Maritime (17) constitue le plus fort séisme métropolitain depuis celui survenu au Teil (07) en 2019. Cet article traite la manière dont a été estimé le coût de ce séisme au cours du temps.



Le 4 janvier 2024 suite à la crue de la rivière Aa dans le nord de la France, une partie de la ville d'Arques est inondée.

Estimation du coût d'une catastrophe naturelle : retour sur les inondations dans le Nord Pas-de-Calais de 2023/

Daniela Peredo[1], Luc Baudoux[1]
(1) Département Modélisation & Actuariat, CCR

RÉSUMÉ

La veille événementielle est une procédure mise en place au sein de CCR visant à suivre en temps réel le déroulé d'un événement relevant du régime Cat Nat. Cette procédure s'appuie sur une chaîne opérationnelle permettant d'estimer les dommages assurés potentiels très peu de temps après la survenance d'une catastrophe naturelle. Les résultats des estimations sont communiqués sur un site extranet dédié (Espace Pro) fournissant ainsi aux assureurs une première évaluation du coût.

INTRODUCTION

Les inondations en France sont responsables de 49 % du coût des catastrophes naturelles depuis la création du régime d'indemnisation en 1982. L'année 2023, dont la sinistralité est estimée à environ 2 Md€, s'inscrit parmi les années avec une sinistralité supérieure à la moyenne depuis 1982 (CCR, 2024). Dans ce contexte, et en tant que réassureur couvrant 98 % du marché des catastrophes naturelles en France, CCR est à même de procéder à une estimation du coût des événements ayant lieu en France de manière à garantir un bon suivi de la sinistralité.

L'estimation des événements qui viennent de survenir est complexe car elle ne peut pas s'appuyer sur des retours directs des sinistres des assureurs. Elle demeure toutefois indispensable, tant pour permettre le provisionnement rapide de ces catastrophes, que pour assurer la mission d'information de CCR vis-à-vis des assureurs et des pouvoirs publics. Pour ce faire, CCR a mis en place une veille événementielle, c'est à dire une chaîne opérationnelle qui permet d'estimer rapidement les dommages après la survenance d'un événement.

Cet article vise à présenter le processus de veille événement et s'appuie pour se faire sur l'un des événements ayant causé des dommages considérables durant l'année 2023 : les inondations du Nord-Pas-de-Calais. Ces inondations s'inscrivent dans le contexte d'une succession de passages pluvieux et venteux ayant eu lieu sur la moitié nord de la France entre la fin de l'année 2023 et le début de l'année 2024. Ces cumuls de précipitations importants avaient alors provoqué de nombreuses crues et débordements exceptionnels.

MÉTHODOLOGIE

Le processus de veille événementielle des inondations repose sur plusieurs étapes comme illustré dans la Figure 1. Le suivi d'un événement est déterminé à l'aide des vigilances publiques émises par Météo-France ainsi que celles du site Vigicrues dépendant du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires qui permet de suivre les observations et les prévisions des débits ou hauteurs d'eau sur les cours d'eau instrumentés en France. Ces vigilances permettent de rester attentif à l'arrivée ou au déroulement d'un événement et sont accompagnées des bulletins de sévérité à la commune émis par la société Predict[1] pour CCR. Si des inondations ont lieu et des dégâts sont constatés, une revue de presse est alors effectuée et croisée avec les indicateurs de sévérité produits par la société Prédict pour déterminer les principales zones potentiellement impactées.

Il est nécessaire d'attendre la fin de l'événement avant de lancer la chaîne de modélisation CCR car celle-ci repose sur des données observées de précipitations (Météo-France) ainsi que sur des observations de débits aux stations hydrométriques (Hub'Eau). Une fois les données acquises, un modèle hydrologique conçu par CCR est lancé permettant ainsi de convertir les pluies en débits. Il est important de noter que le modèle hydrologique se sert des débits observés pour corriger les simu-

(1) https://www.predictservices.com/

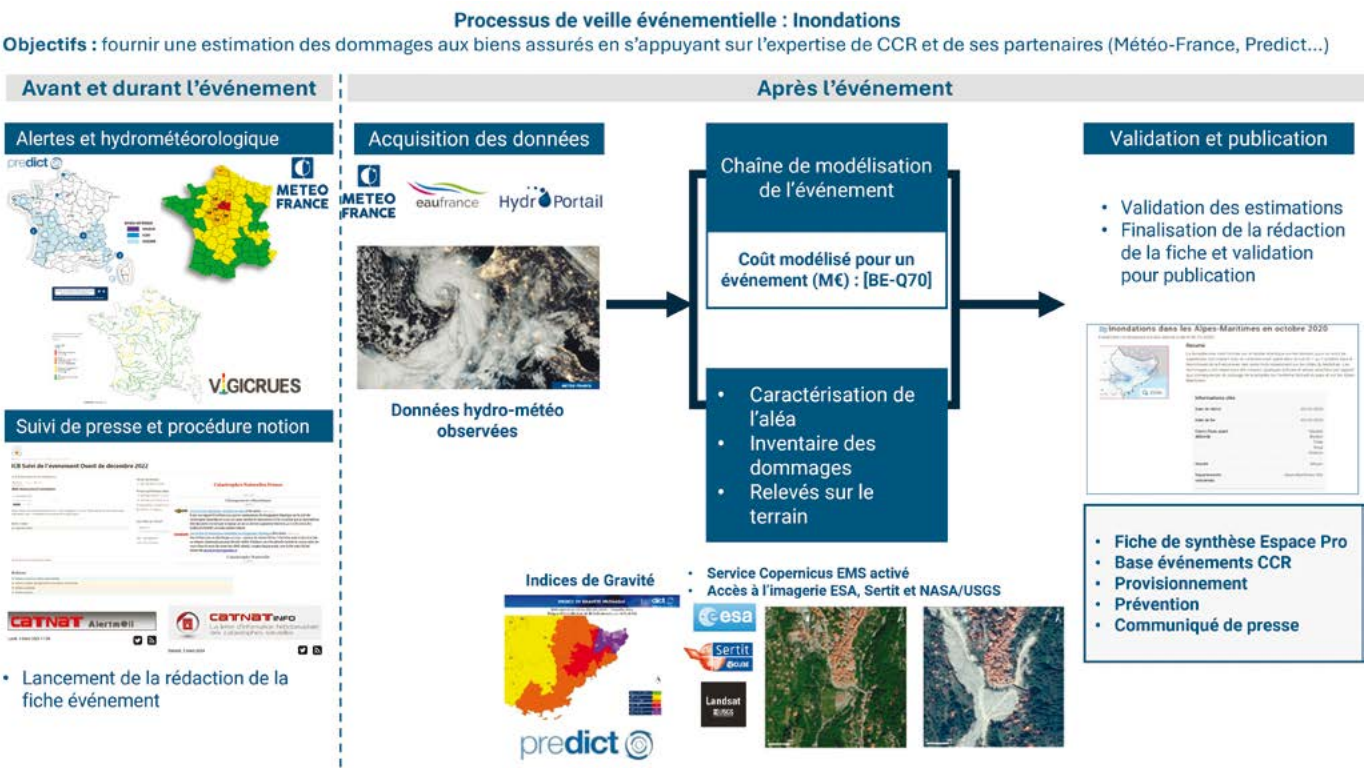


Figure 1 : Schéma de la veille événementielle au sein de CCR.

lations en cours. Les débits simulés à une résolution de 100 m vont alimenter ensuite un modèle d'étalement du type LisFlood (Horritt & Bates, 2002) produisant des emprises inondées à une résolution de 25 m. Les emprises simulées sous forme de hauteurs d'eau sont ensuite validées en les confrontant aux images satellites de Copernicus (si disponibles), aux observations recensées dans la presse et aux indicateurs Predict. Une fois les simulations validées, elles sont considérées comme représentatives de l'aléa observé lors de l'événement et servent à l'estimation des coûts.

Pour ce faire, les résultats des simulations vont alors alimenter le modèle de dommages de CCR. Ce modèle a été construit grâce à la base de données de CCR qui contient la localisation et les caractéristiques des sinistres observés depuis la création du régime. Il est ainsi possible d'obtenir une estimation des dommages causés à l'échelle de l'événement en général avec un détail par commune et par type de risque. Cette estimation issue du modèle est validée et expertisée en interne en fonction des retours de la revue de presse, des commissions interministérielles, des assureurs et surtout de l'expertise des modélisateurs.

Ce processus de veille événementielle est réalisé dans un délai maximal de cinq jours après la fin de l'événement compte tenu de l'importance de disposer d'une estimation le plus tôt possible pour gérer au mieux le provisionnement, en particulier pour les événements de grande ampleur. Les résultats finaux sont alors communiqués à l'aide d'une fiche publiée dans l'Espace Pro[2] (extranet dédié) qui permet d'avoir un résumé de l'événement ainsi que des dégâts constatés. >

(2) https://espacepro.ccr.fr/

catastrophes naturelles
chaîne opérationnelle
dommages
inondations

>

RÉSULTATS

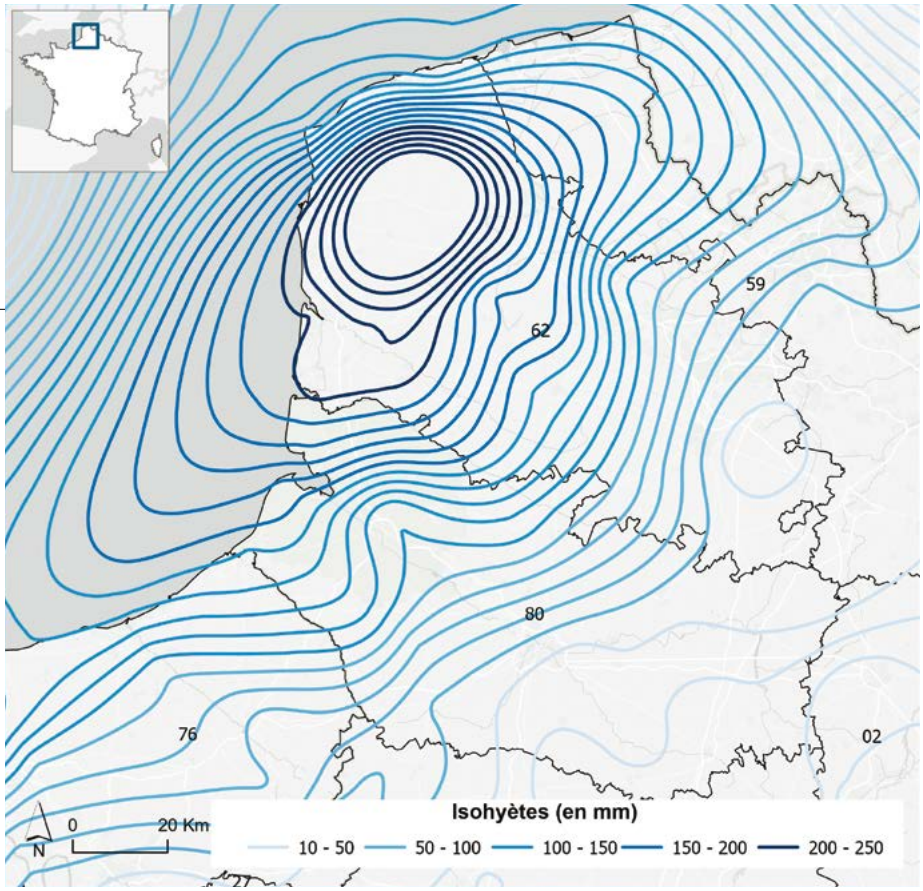


Figure 2 : Cumuls des précipitations observées du 1er au 16 novembre pour l'événement simulé de 2023.

Au début du mois de novembre 2023, la tempête Ciaran, a balayé les départements du Nord déclenchant des vigilances orange et rouge pour vents sur le quart nord-ouest de la France. Ces vents ont été accompagnés de fortes précipitations qui ont généré les premières crues sur des cours d'eau du Pas-de-Calais (62) et du Nord (59). À l'approche de ce premier événement le processus de veille événementielle a été déclenché. Avant de lancer toute simulation, les prévisions hydrométéorologiques ont été analysées et il a été constaté qu'une nouvelle tempête arrivait en France. Deux jours plus tard, la tempête Domingos a impacté le territoire métropolitain, et a été suivie d'un régime de traîne caractérisé par des averses soutenues sur des sols déjà saturés par Ciaran.

Les premières collectes de données ont alors été faites ainsi que les premières simulations. Elles n'ont toutefois finalement pas été utilisées pour estimer des dommages car, quelques jours plus tard, l'arrivée de la dépression Elisa a encore causé de très fortes pluies sur les départements côtiers du nord du pays. Par ailleurs, les prévisions météorologiques annonçaient de nouvelles pluies avec un front actif qui a circulé sur les Hauts-de-France le 14 novembre apportant des précipitations intenses.

En parallèle, une revue de presse a été réalisée pour noter tous les dommages recensés à la suite du passage de chaque événement permettant ainsi aux modélisateurs de déterminer la zone à simuler.

Avant de relancer la chaîne de modélisation de CCR, il a ainsi fallu attendre que tous les épisodes pluvieux soient terminés pour être sûr de pouvoir estimer correctement l'emprise d'inondation et de prendre en compte le pic maximal de débits observés, chose faite le 18 novembre. Les données d'entrée ont alors été acquises et les modèles hydrologique et hydraulique ont été lancés. Les cumuls de pluies issus du modèle ont confirmé des valeurs élevées observées (Figure 2).

Les résultats des simulations des emprises d'inondation ont pu être confrontées aux images satellite issues de Copernicus permettant ainsi de valider les résultats des modèles CCR. Il est important de noter que les dernières pluies sont tombées sur des zones particulièrement vulnérables ayant été durement touchées par les événements précédents consécutifs (Figure 3). Au moment de la simulation une commission exceptionnelle a eu lieu étant donné l'ampleur de l'événement. Les communes reconnues à date ont ainsi pu être prises en compte dans l'estimation des dommages de CCR. Une première fourchette d'estimation a alors été réalisée s'élevant à 480 - 550 M€. Elle a été communiquée sur l'Espace Pro de CCR ainsi que le résumé de l'événement.

CONCLUSION

L'estimation du coût des dommages causés par un événement tel que les inondations du Nord-Pas-de-Calais en France est un exercice délicat qui doit être accompagné de plusieurs étapes de vérification. En effet, les estimations fournies sont soumises aux incertitudes liées aux données d'entrée, à la structure et aux paramètres des modèles ainsi qu'aux données de vérification. La mise en place d'une chaîne opérationnelle permet d'avoir une procédure ordonnée visant à limiter l'impact des incertitudes du fait des sources d'information variées et malgré les courts délais.

En outre, ces estimations peuvent évoluer rapidement lors d'événements pluvieux consécutifs ce qui fut le cas pour les inondations du Nord, une autre inondation ayant eu lieu début janvier 2024 avant même que tous les travaux de réparation de l'événement précédent aient pu avoir lieu aggravant ainsi les dégâts déjà existants. De ce fait, les modélisateurs de CCR ont dû relancer la chaîne de modélisation et les coûts de 2023 se sont élevés jusqu'à une fourchette de 510 - 600 M€ à laquelle se sont ajoutés 10 à 15 M€ de nouveaux sinistres./

RÉFÉRENCES

1. CCR, Les Catastrophes Naturelles en France. Bilan 1982 – 2023 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 112.
2. Horritt, M.S. & Bates, P.D.. (2002). Evaluation of 1D and 2D Numerical Models for Predicting River Flood Inundation. Journal of Hydrology. 268. 87-99. 10.1016/S0022-1694(02)00121-X.

CITATION

Peredo et al., Estimation du coût d'une catastrophe naturelle : exemple des inondations dans le Nord Pas-de-Calais de 2023 et 2024. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 28 à 31.

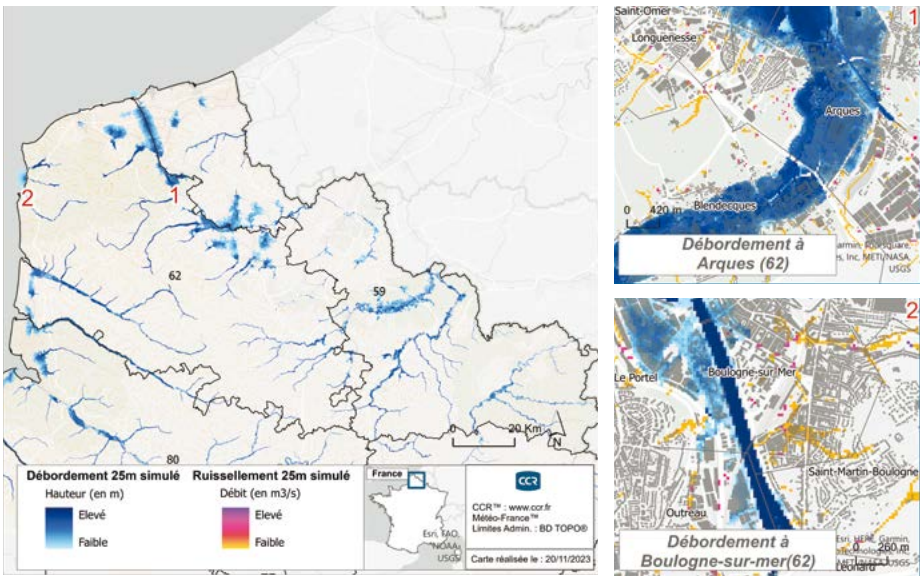


Figure 3 : Emprises d'inondation (hauteurs d'eau de débordement en mètres et débits de ruissellement en m3/s) simulées par CCR pour 2023 (à gauche) et 2024 (à droite).

Réévaluation de l'estimation du coût du séisme de La Laigne/

Corentin Gouache[1]
(1) Département Modélisation & Actuariat, CCR

RÉSUMÉ

Le vendredi 16 juin 2023 à 18h38, un séisme de magnitude M_w4,9 est survenu en Charente-Maritime. Son épicentre est localisé entre les communes de La Laigne et de Cram-Chaban situé à 20 km à l'ouest de Niort et 30 km à l'est de La Rochelle. Cet événement constitue le plus fort séisme métropolitain depuis le séisme du Teil (07) de 2019. Cet article traite la manière dont a été estimé le coût de ce séisme au cours du temps.

INTRODUCTION

Le séisme étudié a eu lieu le vendredi 16 juin 2023 à 18h38. Son épicentre est localisé entre les communes de La Laigne et de Cram-Chaban. Par la proximité de l'épicentre et les nombreux dégâts observés au sein de cette commune, ce séisme est dénommé « séisme de La Laigne ».

Dans le cadre de ses activités de réassureur public des catastrophes naturelles, CCR se doit d'estimer rapidement l'ampleur des conséquences d'un tel séisme afin d'anticiper les mesures à mettre en place, tel que le provisionnement. Néanmoins, modéliser les coûts induits par un séisme nécessite de connaître les paramètres du dit séisme. Ces paramètres sont la magnitude, la localisation, la profondeur et les dimensions du plan de rupture (faille) associé. Quelques jours voire quelques heures après la survenance du séisme, ces informations sont disponibles sur le site du Bureau Central Sismologique Français (BCSF).

Plusieurs mois après la survenance du séisme, les répliques sont analysées grâce à l'installation d'un réseau dense de capteurs sismiques temporaires et les dégâts bâtimentaires sont répertoriés par le Groupe d'Intervention Macrosismique (GIM). Les travaux du GIM servent de références pour la reconnaissance des communes en état de catastrophe naturelle (Cat Nat) pour le cas des séismes. En ce qui concerne le séisme de La Laigne, le rapport final du GIM, publié mi-janvier 2024, a permis la reconnaissance en état de catastrophe naturelle de 36 communes lors du dernier arrêté concernant ce séisme (24/01/2024).

Le rapport du GIM est donc l'occasion de clarifier les paramètres du séisme et d'avoir une vision quasiment définitive du nombre de communes reconnues. Ces informations affinées permettent d'estimer plus précisément le coût du séisme.

MÉTHODOLOGIE

Le modèle d'estimation des pertes assurantielles associées à un séisme est composé de trois modules détaillés ci-après.

Le module d'aléa

L'accélération maximale du sol, notée PGA pour *Peak Ground Acceleration*, produit en surface par le séisme est calculée. Ce calcul est réalisé à l'aide de la relation empirique de prédiction des mouvements du sol proposée par Drouet et Cotton (2015) [1] :

$$\ln(PGA) = b_1 + b_2(M-8) + b_3(M-8)^2 + (b_4 + b_5 M) ln\left(\sqrt{D^2 + b_6^2}\right) + b_7 D,$$

qui prend pour entrées, *a minima*, la magnitude M du séisme et la distance D entre le plan de rupture du séisme et le site en surface.



Les valeurs de PGA sont ensuite transformées en intensités macrosismiques *I*. La relation utilisée entre le PGA et *I* est celle de Worden et al. (2010) [2] :

$$I = \begin{cases} 1{,}78 + 1{,}55\ log_{10}(PGA) & si\ PGA \leq 37\ cm/s^2 \\ -1{,}6 + 3{,}7\ log_{10}(PGA) & sinon \end{cases}.$$

Dans cette étude, l'intensité macrosismique est calculée à une résolution de 250 m sur le territoire impacté par le séisme.

Le module de vulnérabilité

Le module de vulnérabilité se base sur les polices d'assurance en renseignant notamment les caractéristiques physiques des bâtiments associés. Pour chaque police, les valeurs d'intensité macrosismique *I* produites par les séismes fictifs sont récupérées.

Pour le péril séisme, des informations spécifiques telles que les matériaux de construction, la hauteur ou encore l'âge des bâtiments sont obtenus grâce aux données de la BD Topo® de l'IGN. Ces caractéristiques physiques permettent d'associer, à chacun des bâtiments, un indice de vulnérabilité *VI*. Cet indice décrit la capacité d'un bâtiment à résister à une secousse sismique : de 0 pour un bâtiment « invulnérable » à 1 pour un bâtiment totalement dépourvu de défense contre les agressions sismiques. Ensuite un lien entre les bâtiments et les polices est réalisé suivant la qualité de géolocalisation des polices et en fonction du type de risque, nature et usage afin d'associer à chaque police un indice *VI*.

Le module de dommages

Le module de dommages consiste à produire des courbes d'endommagement puis d'estimer les coûts liés à un événement. Cela passe par la définition de la classe de dégâts *D*. Cette classe décrit les dégâts subis par le bâtiment, allant de 0 pour « aucun dégât » jusqu'à 5 pour « destruction totale ». Une fois que chaque police a été caractérisée par une intensité macrosismique *I* du séisme et un indice de vulnérabilité *VI*, la classe de dégâts d'une police *p* impactée par un séisme *s* est définie comme tel (Milutinovic et Trendafiloski, 2003) :

$$D_{p,s} = 2{,}5 \times \left[1 + tanh\left(\frac{I_{p,s} + 6{,}25 \times VI_p - 13{,}1}{2{,}3}\right)\right].$$

Les courbes d'endommagement sont des relations entre la classe de dégâts *D*, la fréquence de sinistre *FS* et le taux de destruction *TD*. Pour chaque police *p*, *FS* et *TD* sont multipliés par la valeur assurée *VA* de la police afin d'estimer les coûts induits par un séisme *s* sur cette police à l'aide de la formule suivante :

$$Coût_{p,s} = FS(D_{p,s}) \times TD(D_{p,s}) \times VA_p.$$

Les relations *D-TD* et *D-FS* sont basées sur les travaux de Milutinovic et Trendafiloski (2003) [3] pour le projet européen RiskUE puis calibrées sur les sinistres passés collectés par CCR auprès de ses clients. >

séisme de La Laigne
modèle
incertitudes
reconnaissance Cat Nat

>

RÉSULTATS

Pour l'heure, CCR a proposé deux estimations principales du coût du séisme de La Laigne. La première a eu lieu quelques jours seulement après la survenance du séisme (juin 2023). La deuxième a été réalisée en mai 2024 après révision des informations liées au séisme (paramètres et communes reconnues).

La Table 1 (ci-dessous) présente les principaux paramètres utilisés lors des deux estimations du coût du séisme de La Laigne. Plusieurs paramètres décrivant le séisme ont été modifiés à la suite du rapport final du GIM : la localisation de l'épicentre (1,338 km), la profondeur (390 m), et l'azimut (92°) et le pendage (22°) de la faille associée à ce séisme.

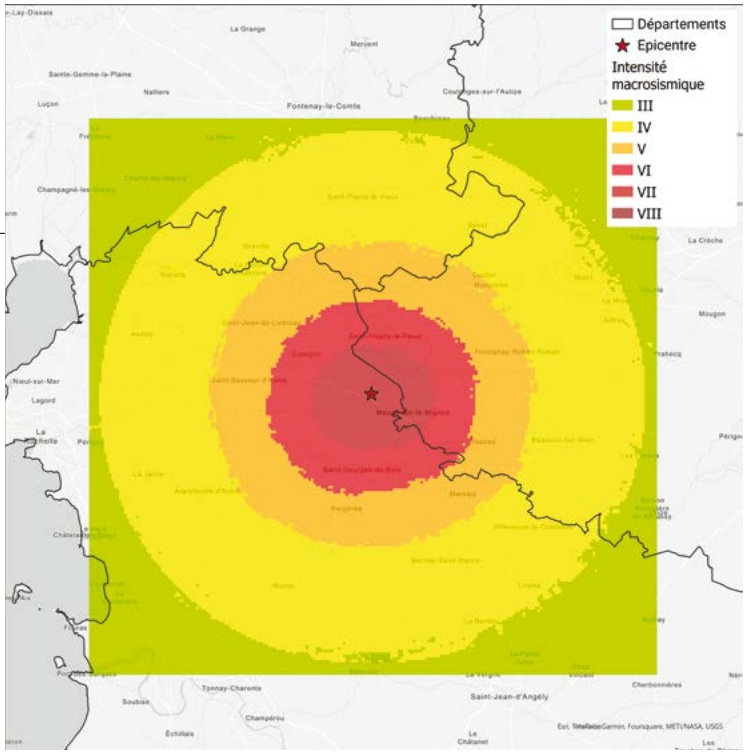


Figure 1 : Intensité macrosismique calculée lors de la première estimation du coût du séisme de La Laigne.

La Figure 1 illustre les intensités macrosismiques calculées lors des deux estimations du coût du séisme de La Laigne. Le premier changement notable est la modification d'orientation de l'anisotropie de ces intensités. En effet, lors de la première estimation (Figure 1) les intensités s'étendent légèrement d'est en ouest tandis que lors de la deuxième estimation (Figure 2) cette directivité s'observe sur l'axe nord-sud. Cela est dû à la modification de l'azimut du plan de rupture qui est passé de 268° (faille orientée est-ouest) à 0° (faille orientée nord-sud), soit une rotation perpendiculaire (92°), expliquant cette variation notable.

Le deuxième changement principal est la valeur maximale atteinte par les intensités macrosismiques calculées. Dans le premier cas, cette valeur maximale vaut VIII dans la commune de Cram-Chaban tandis qu'elle n'est plus que de VII lors de la deuxième estimation. Cette nouvelle valeur est en cohérence avec le rapport final du GIM (intensité macrosismique maximale de VII) et est principalement dû à la modification de la profondeur qui a éloigné le foyer du séisme de 400 m par rapport à la surface terrestre.

En ce qui concerne les coûts estimés, l'augmentation de la profondeur et le changement d'orientation de la faille du séisme de La Laigne ont entraîné sa diminution. En effet, lors de la première estimation le coût était compris entre 200 et 350 M€ tandis que la nouvelle estimation aboutit à l'intervalle 190 – 300 M€.

Date	X (m - L93)	Y (m - L93)	M_w	Profondeur (km)	Azimut	Pendage	Régime
06/2023	412 825	6 574 048	4,9	2,51	268°	68°	décrochant
05/2024	411 518	6 574 333	4,9	2,9	0°	90°	décrochant

Table 1 : Paramètres utilisés lors des deux estimations du coût du séisme. Les coordonnées (X,Y) sont exprimées en Lambert 93 (m).

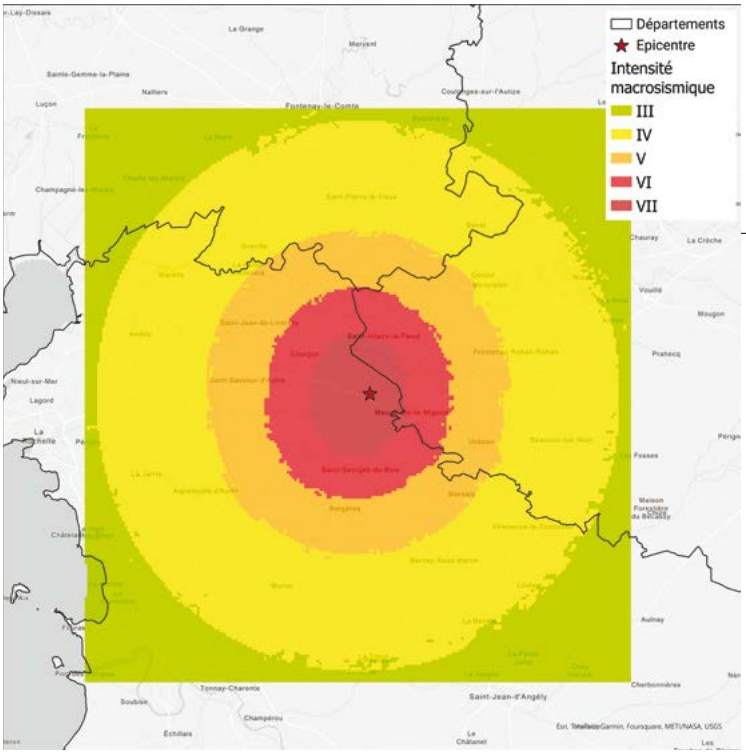


Figure 2 : Intensité macrosismique calculée lors de la seconde estimation du coût du séisme de La Laigne.

CONCLUSION

Au travers l'exemple du séisme de La Laigne, cet article met en lumière la difficulté d'estimer avec précision le coût d'une catastrophe naturelle, notamment quelques jours après la survenance de l'événement. Cette estimation rapide se fait au détriment de la qualité des premières données disponibles et des remontées de terrain. Cela montre à quel point il est primordial de mettre à jour les coûts des événements, au moins afin d'affiner l'intervalle de coût initialement communiqué. Cette mise à jour peut également être effectuée au vu des retours du nombre de sinistres enregistrés et des estimations de coûts que les assureurs nous fournissent au cours du temps sous la forme de sondages.

La comparaison des résultats des modèles d'estimation des coûts avec les dommages observés permet également de mettre en avant les points forts et les points faibles de tels modèles. Dans le cas présent (séisme de La Laigne), nous pouvons principalement noter la difficulté à reproduire les intensités macrosismiques observées à plus de 15 km de l'épicentre, notamment en raison de la présence du marais Poitevin qui amplifie les ondes sismiques localement. Cet aspect est en cours d'amélioration grâce au partenariat avec le BRGM ou encore via la thèse de doctorat de Marius Rapenne (RING Team, Nancy)./

RÉFÉRENCES

1. S. Drouet et F. Cotton, « Regional stochastic GMPEs in low-seismicity areas: Scaling and aleatory variability analysis—Application to the French Alps », Bull. Seismol. Soc. Am., vol. 105, no 4, p. 1883-1902, 2015, doi: 10.1785/0120140240.
2. C. B. Worden, D. J. Wald, T. I. Allen, K. Lin, D. Garcia, et G. Cua, «A Revised Ground-Motion and Intensity Interpolation Scheme for ShakeMap», Bull. Seismol. Soc. Am., vol. 100, no 6, p. 3083-3096, déc. 2010, doi: 10.1785/0120100101.
3. Z. V. Milutinovic et G. S. Trendafiloski, « WP4: Vulnerability of current buildings. », RISK-UE, EVK4-CT-2000-00014, sept. 2003.

CITATION

Gouache, Réévaluation de l'estimation du coût du séisme de La Laigne. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 32 à 35.

DATA SCIENCE

IA

L'IA au service de la Data/ p.36

En utilisant l'Intelligence Artificielle, CCR améliore l'efficacité opérationnelle du traitement de ses données grâce notamment à l'automatisation d'analyse textuelle. Ceci rend possible le traitement de gros volumes de données, en un temps court et permet de gagner en fiabilité et en reproductibilité des résultats.




AI
19.90
19.90
75.25
0.38
0.35
0.28
0.23
0.26
16.20

L'IA au service de la Data/

Christian Cousin[1], Doryan Daguin[1], Georges Farah[1]
(1) Département Data, Géomatique & Calcul scientifique, CCR

RÉSUMÉ

Le traitement de données est une étape permettant de passer d'une donnée brute à une donnée exploitable pour un cas d'usage spécifique. L'accroissement de la complexité des données et de leur volumétrie rend nécessaire l'automatisation du traitement, grâce aux avancées notables en intelligence artificielle (IA). Cet article présente deux cas d'usage sur l'extraction de connaissance à partir de données non structurées, en explorant notamment les techniques du traitement du langage naturel (NLP) et de l'Extraction des Entités Nommées (NER pour Named Entity Recognition). Bien que les résultats soient prometteurs et que les méthodes soient utilisées en production, une ouverture vers les approches du type Modèles Larges de Langage (LLM pour Large Language Models) permettra de combler les défauts des méthodes actuelles.

INTRODUCTION

Dans le cadre de ses activités de réassurance et de modélisation, CCR collecte des données auprès de ses clients, certaines non structurées (en général au format PDF), et d'autres structurées. Ces dernières sont de deux types : des données agrégées, par exemple les données comptables, et d'autres détaillées, par exemple des données portant sur les risques assurés, fournies à CCR dans un cadre contractuel bilatéral.

Quelles que soient la nature et la structure des données, un travail d'audit, de traitement et d'analyse est nécessaire. Il permet de passer d'une donnée brute à une donnée exploitable, adaptée au cas d'usage auquel elle est destinée. Le traitement et l'analyse des données est donc une étape primordiale en amont de la modélisation ou de toute exploitation ultérieure.

Traiter les données peut se faire en mode manuel ou automatique. Le premier mode peut être source d'erreurs et de manque de fiabilité et devient inadapté au fur et à mesure que la volumétrie des données augmente. Traiter de façon automatique les données permet de réduire les erreurs tout en offrant une meilleure reproductibilité des résultats et un gain de temps non négligeable.

CCR utilise des méthodes basées sur l'intelligence artificielle (IA) pour le traitement des données aussi bien structurées que non structurées. Cet article présente deux cas d'usage où l'IA confirme son apport pour extraire de la connaissance à partir de données non structurées.

PROBLÉMATIQUE

Différentes méthodes basées sur l'IA pour le traitement des données sont utilisées au sein de CCR. Le choix de l'une ou de l'autre des méthodes se fait en fonction des données disponibles et surtout du cas d'usage en question.

Le premier cas d'usage se base sur l'analyse des conditions générales d'assurance. Il s'agit d'un contrat que chaque assuré signe auprès de son assureur, permettant au premier de connaître les clauses contractuelles qui s'appliquent, à savoir ce qui est couvert, ce qui ne l'est pas et sous quelles conditions. L'analyse de ces documents permet à CCR de quantifier ce qui est assuré par le marché de l'assurance et de disposer d'information nécessaire pour améliorer la modélisation des catastrophes naturelles. Ce cas d'usage consiste à extraire de l'information à partir de documents PDF.

Quant au deuxième cas d'usage, il se base sur les données détaillées portant sur les biens assurés. Ces données comprennent l'adresse et la typologie du bien, ainsi que certaines de ses caractéristiques. Ce cas d'usage se concentre sur la normalisation des adresses avant géocodage des données détaillées. Le géocodage permet de passer d'une adresse postale à une localisation sur une carte. Pour ce faire, un module de géocodage récupère en entrée le champ adresse, le code postal et le nom de la commune. Afin que le géocodage puisse s'effectuer correctement, le champ adresse ne devra contenir que l'adresse à proprement parler, c'est-à-dire sans code postal ou nom de commune, ni numéro de bâtiment ou d'étage. Or, les adresses fournies contiennent plus d'information que celles attendues. Par exemple, à partir de l'adresse « CCR, 2ème étage, 157 boulevard Haussmann, 75008 Paris » il

s'agit d'extraire de façon automatique l'adresse « 157 boulevard Haussmann », le code postal « 75008 » et le nom de la commune « Paris ». La problématique est de traiter les adresses en amont de la brique de géocodage et de soumettre à cette dernière des adresses normalisées, c'est-à-dire standardisées et fiables.

MÉTHODOLOGIE

Les deux cas d'usage ci-dessus sont traités en ayant recours aux techniques classiques d'intelligence artificielle.

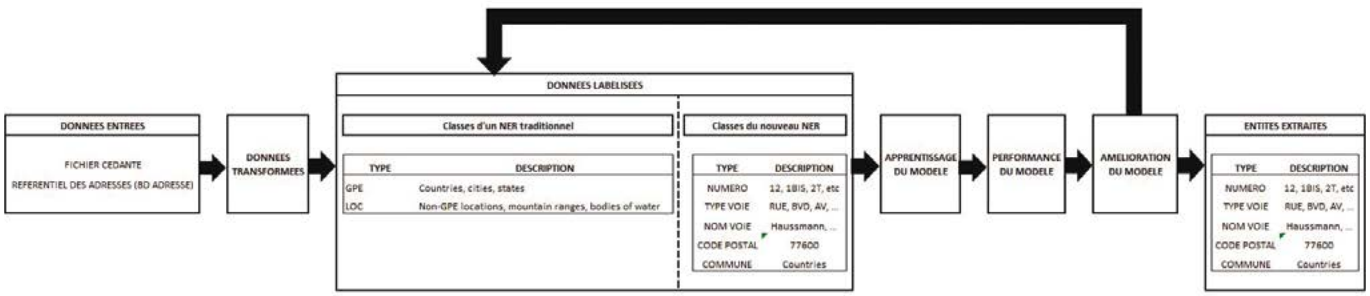
Le premier cas d'usage utilise le traitement de langage naturel (NLP) s'appuyant sur les expressions régulières pour la recherche de mots clés et de leurs synonymes associés. L'utilisateur choisit un mot clé et délègue la recherche à l'algorithme : concrètement, à chaque page du document étudié, le texte est extrait et normalisé en supprimant les accents et les retours chariots et en transformant les majuscules en minuscules. Une recherche du mot clé et de ses synonymes associés est effectuée à l'aide d'expressions régulières. Si le mot clé ou son synonyme est trouvé, alors son positionnement est analysé pour récupérer l'ensemble du paragraphe ou la ligne du tableau où il est mentionné (dans le cas d'éléments chiffrés dans un tableau). Ainsi, pour chaque mot clé, la section du document qui le mentionne est extraite automatiquement.

Quant au second cas d'usage, il met en œuvre trois méthodes.

La première est basée sur le calcul des distances entre un référentiel d'adresses et l'adresse fournie dans les données détaillées. Si cette dernière est parfaite (sans bruit), la distance sera égale à 0. En termes de métriques, nous utilisons la distance de Levenshtein qui est le nombre minimal de caractères à supprimer, insérer ou remplacer pour passer d'une chaîne de texte à l'autre. Dans notre cas, cette distance permet de retourner l'adresse référencée dans la base Adresse la plus proche de celle fournie dans les données détaillées. Bien que cette méthode soit populaire, elle n'est pas adaptée aux adresses où le bruit est important (celles comprenant plus d'éléments tels que la surface, le code postal ou le nom de la commune).

La deuxième méthode est la reconnaissance d'entités nommées, connue sous le sigle NER pour Named Entity Recognition. Elle recherche des mots ou groupes de mots catégorisables dans des classes prédéfinies. Dans notre cas, l'utilisation de cette méthode permet de découper l'adresse en plusieurs catégories prédéfinies. Une adresse est composée d'un numéro, du type de la voie (Rue, Avenue, Boulevard) et du nom de l'adresse.

Quant à la troisième méthode, elle se base sur le Deep Learning. L'idée est d'enrichir la deuxième méthode présentée, le NER traditionnel, en l'adaptant à notre problématique. Pour cela, des données synthétiques sont créées comportant des adresses bruitées (avec des éléments tels que la surface, le code postal, le nom de la commune) et des adresses du référentiel. Un apprentissage est ensuite effectué sur une partie de ces données pour paramétrer un nouveau NER qui est ensuite tester sur l'autre partie des données. L'apprentissage nécessite l'utilisation de ressources importantes sur des machinées dotées de cartes graphiques performantes GPUs. Les trois classes sont créées : le numéro, le type de voie et le nom de l'adresse. Cette méthode est en général la plus performante des trois, étant donné qu'elle est plus adaptée aux données sur lesquelles elle est utilisée. La figure ci-dessous explique le fonctionnement du NER. >



traitement des données
intelligence artificielle
NLP
NER
LLM

>

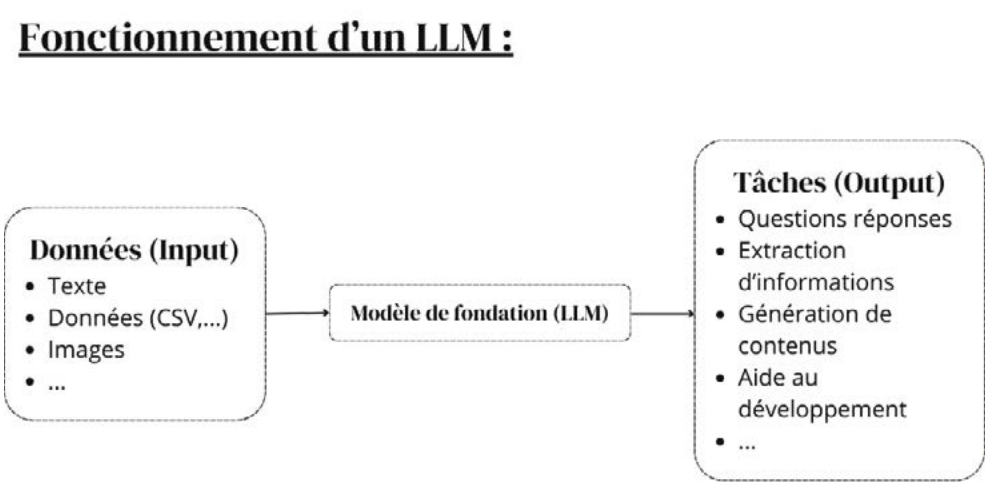
RÉSULTATS

Le premier cas d'usage a été mis en œuvre sur 61 documents PDF concernant les conditions générales de l'assurance sur les polices multirisques habitation. Un premier travail d'analyse du format a été réalisé afin de guider l'algorithme vers la solution. Cette étape d'exploration manuelle du document est nécessaire en amont de toute utilisation des expressions régulières. Une fois l'algorithme implémenté, pour chaque mot clé donné par l'utilisateur, un fichier de résultats est généré avec l'ensemble des positions et des extraits de toutes conditions générales de l'assurance analysées. Le gain en temps est très important. L'utilisateur n'effectue plus de recherche à la main, c'est la machine qui le fait à sa place. Elle extrait le paragraphe concerné de façon automatique. La recherche dans les 61 documents se fait en quelques minutes alors que la recherche manuelle et l'extraction auraient pris plusieurs heures.

La mise en œuvre du second cas d'usage a mobilisé un référentiel des adresses, une base de données composée de près de 20 millions de lignes issues de la base ADRESSE de l'IGN, ainsi que des données détaillées sur les biens assurés collectées par CCR. Comme pressenti, le calcul des distances est peu pertinent, le NER n'est pas optimal et les meilleurs résultats sont obtenus avec un NER adapté. Cette méthode permet d'extraire à partir d'une adresse le numéro, le type de voie et le nom de l'adresse, tout en identifiant les codes postaux, le nom des communes ou tous bruits ne faisant pas partie d'une adresse normalisée. Cette méthode fonctionne en production et permet en amont du géocodage de normaliser les adresses, ce qui rend possible un bon géocodage des données détaillées.

CONCLUSION

Cet article présente deux cas d'usage s'appuyant sur des données non structurées où l'extraction des connaissances se fait de façon automatique grâce à l'intelligence artificielle. La méthode basée sur les expressions régulières nécessite un respect des formats par les documents. La méthode basée sur l'extraction des entités nommées nécessite une adaptation au contexte et aux données traitées, ce qui consiste en un apprentissage et un besoin en ressources graphiques GPUs.
Pour ces deux cas d'usage, l'utilisation des modèles larges de langage (LLM) sera explorée dès cette année. Notamment pour le premier cas, la mise en place d'un RAG (Retrieval-Augmented Generation) permettra d'améliorer l'extraction et l'analyse des données en tenant compte de données contextualisées. Quant au deuxième cas, une étude comparative des performances du LLM et du NER sera réalisée. Les principaux usages des LLM sont explicités dans la figure suivante :



RÉFÉRENCES

1. Expressions régulières : Guide des expressions régulières — Documentation Python 3.12.4, consulté le 26/07/2024
2. Distance de Levenshtein : Distance d'édition [Conception de formes de relecture dans les chaînes éditoriales numériques] (utc.fr), consulté le 22/07/2014
3. Kalyani Pakhale, 2023, Comprehensive overview of named entity recognition models, domain specific applications and challenges, 2309.14084 (arxiv.org)
4. Yunfan Gaoa , Yun Xiongb , Xinyu Gaob , Kangxiang Jiab, Jinliu Panb, Yuxi Bic, Yi Daia, Jiawei Suna, Meng Wangc , and Haofen Wang, 2024, Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey, 2312.10997 (arxiv.org).

CITATION

Cousin et al., L'IA au service de la Data. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 38 à 41.

PRÉVENTION

Évaluer l'effet de la prévention sur le montant des dommages des catastrophes naturelles passées et futures/ p.06

L'orientation de la politique publique de prévention suppose d'être capable de mesurer les effets, constatés ou anticipés, des différents dispositifs. Nous présentons ici les premiers éléments d'une démarche d'objectivation de l'efficacité et de l'efficience de la prévention à l'échelle nationale.

« Initiative Sécheresse » : identifier les solutions de prévention et de réparation les plus efficaces et durables face au retrait-gonflement des argiles/ p.10

Ce projet porté par CCR, la Mission Risques Naturels (MRN) et France Assureurs et co-financé par l'État dans le cadre de France 2030, a été lancé en réponse à l'augmentation des sinistres liés au phénomène de RGA. Il a pour objectif de développer la résilience des maisons individuelles, neuves ou existantes.





Dans le Parc Naturel Régional du Luberon, création d'une zone d'expansion des crues au bord du Calavon à Cavaillon.

Évaluer l'effet de la prévention sur le montant des dommages des catastrophes naturelles passées et futures/

Olivier Bouc[1], Nicolas Bauduceau[1]
(1) Département Conseil en Prévention et Fonds Publics, CCR

RÉSUMÉ

La prévention des catastrophes naturelles est déterminante pour réduire les dommages pour les personnes et les biens et à moyen terme pour préserver l'assurabilité des territoires dans un contexte de changement climatique. Elle mobilise des investissements conséquents, dont les impacts restent souvent peu visibles. Nous présentons ici les premiers éléments d'une démarche d'objectivation de l'efficacité et de l'efficience de la prévention à l'échelle nationale, visant à appréhender les bénéfices apportés par les efforts consentis en la matière.

INTRODUCTION

Le système de gestion des catastrophes naturelles repose sur trois piliers :

- la prévention, pour limiter l'apparition d'une catastrophe ou en atténuer l'ampleur et les effets ;
- la gestion de crise, pour réduire autant que possible les conséquences de la catastrophe, en raccourcir la durée et faciliter le relèvement ;
- l'indemnisation, pour compenser financièrement les pertes et permettre un retour à l'état précédant la catastrophe.

La prévention, en France, est soutenue notamment par les investissements du Fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM), depuis sa création en 1995. L'extension progressive du périmètre d'application de ce fonds et l'augmentation de ses engagements annuels, pour atteindre plus de 200 M€/an ces dernières années, témoignent de l'essor réel de la prévention. Face à l'augmentation des risques dans le contexte du changement climatique, celle-ci recèle aujourd'hui une importance accrue pour préserver à moyen terme l'assurabilité des territoires exposés.

Pour autant, l'une des principales difficultés pour justifier les investissements dans la prévention tient au fait qu'une prévention efficace est, par nature, peu visible : les catastrophes survenues témoignent des défaillances de la prévention ; les gains réalisés grâce à ses succès se trouvent rarement mis en évidence. Alors que les finances publiques sont sous tension, il importe de pouvoir soutenir les efforts de prévention par des éléments quantitatifs légitimant leur bien-fondé.

C'est pourquoi CCR s'est engagée dans une démarche d'objectivation de l'efficacité et de l'efficience de la prévention à l'échelle nationale. La prévention des différents périls menaçant la France mobilise de multiples dispositifs complémentaires. L'évaluation de ses bénéfices implique de s'intéresser individuellement à chacun de ces dispositifs, puis d'appréhender les interactions entre eux pour estimer un effet global.

MÉTHODOLOGIE

De nombreuses études relatives à l'évaluation des bénéfices générés par les dispositifs de prévention des risques naturels mettent en évidence leur intérêt économique clair : des revues [1, 2] suggèrent une valeur moyenne d'économie de l'ordre de quatre euros pour chaque euro investi. Elles soulignent aussi la grande volatilité des estimations : certaines montrent des bénéfices dix fois plus faibles que les dépenses, d'autres, cinquante voire cent fois plus élevés. Une telle variabilité est certainement logique, du fait de la diversité des dispositifs étudiés, de leur contexte géographique, des méthodes et hypothèses employées… Elle exclut néanmoins la possibilité d'appliquer une valeur standard à l'ensemble des dispositifs de prévention en France.

Notre démarche consiste à caractériser individuellement, dans le contexte français, les différents dispositifs de prévention déployés, en termes :
- d'efficacité, c'est-à-dire dans quelle mesure le dispositif produit des résultats correspondant aux objectifs fixés ;
- d'efficience, c'est-à-dire dans quelle mesure ces résultats sont atteints à moindre coût.

Ainsi, l'analyse se positionne par rapport à des objectifs fixés pour la prévention. Nous nous concentrons d'abord sur l'objectif de limitation des dommages économiques et, plus particulièrement, des dommages assurés.

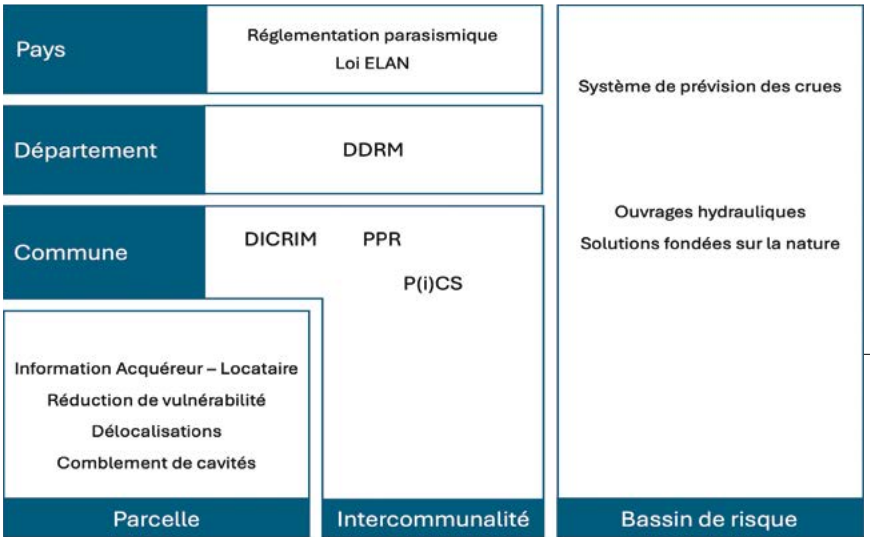


Figure 1 : Illustration, sur quelques outils, de la diversité des échelles géographiques d'action des dispositifs de prévention.

Levier d'action de la prévention	Principaux dispositifs à considérer
Culture du risque	Information préventive : DDRM, DICRIM
	Information acquéreur-locataire : ERRIAL
Régulation de l'urbanisme	PPR
	Délocalisations
Gestion de l'aléa	Ouvrages hydrauliques
	Solutions fondées sur la nature
	Protection contre les risques gravitaires : filets parablocs, consolidation de cavités…
Réduction de vulnérabilité du bâti	Bâti neuf : loi ELAN, réglementation parasismique, réglementation paracyclonique
	Bâti existant : mesures de l'arrêté PAPI, renforcement parasismique
Préparation et gestion de crise	Surveillance, prévision et alerte : système de prévision des crues, dispositifs d'alertes inondations, FR-Alert
	Plans communaux de sauvegarde
Gestion de l'après-crise	Reconstruction : MIRAPI

Figure 2 : Principaux dispositifs de prévention intégrés dans l'étude.

L'enjeu consiste à produire une évaluation des différents dispositifs, avec une méthode aussi homogène que possible. De la sorte, leurs effets cumulés pourront ensuite être examinés pour produire une évaluation d'ensemble des investissements de prévention. Pour autant, il serait illusoire de prétendre appliquer une méthode strictement similaire pour chacun des dispositifs, tant ils sont variés, en termes de péril traité, d'échelle territoriale d'action (Figure 1), de levier d'action, d'échelle temporelle d'effet… Il s'agit alors d'établir des principes généraux d'analyse, dont la déclinaison pratique conserve suffisamment de souplesse pour être adaptée aux spécificités de chaque dispositif.

La première étape consiste à identifier les dispositifs que nous souhaitons évaluer. Les financements publics pour la prévention des risques soutiennent à la fois des dispositifs techniques (Plans de prévention des risques – PPR – pour la régulation de l'urbanisme, mesures individuelles de réduction de vulnérabilité, systèmes de prévision des crues…) et des programmes rassemblant un ensemble de mesures (tels les Programmes d'action de prévention des inondations – PAPI, ou le Plan Séisme Antilles). Nous privilégions l'étude de chaque dispositif technique. Ainsi, bien que le soutien financier de l'État aux ouvrages hydrauliques soit conditionné à l'intégration au sein d'un PAPI, nous chercherons à évaluer l'effet des ouvrages en eux-mêmes, plutôt que celui des PAPI, dont les sept axes d'action présentent des proportions assez variables selon les programmes. La Figure 2 présente les principaux types de dispositifs à inclure dans l'étude – qu'il convient de décliner selon les périls considérés. >

prévention
efficacité
efficience
FPRNM
analyse coût-bénéfice

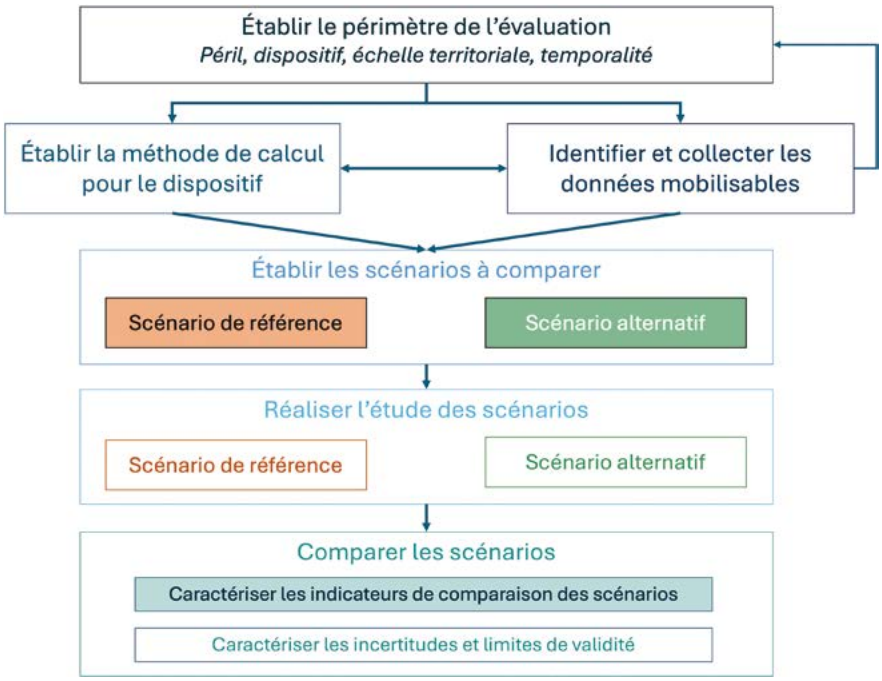


Figure 3 : Démarche schématique d'évaluation de l'effet d'un dispositif de prévention.

> Chacun des dispositifs est examiné selon une approche schématisée à la Figure 3, dans une logique soit rétrospective, pour mettre en valeur les résultats passés de la prévention, soit prospective, pour anticiper les retombées à en attendre. La méthode adoptée s'appuie sur les éléments d'évaluation déjà disponibles dans les résultats antérieurs de CCR ou bien dans la bibliographie, au regard d'une analyse critique de leur exploitation possible et de leurs limites. Elle dépend des données mobilisables, qu'il s'agit d'identifier et de collecter. Elle peut consister en une étude empirique, statistique, ou de modélisation. Cette évaluation peut directement aborder l'échelle nationale, ou porter sur une échelle locale dans un premier temps, pour alimenter ensuite une évaluation nationale. Par défaut, l'évaluation vise d'abord à estimer l'efficacité du dispositif, pour en déduire une efficience en la mettant au regard des dépenses qu'il engendre. Cependant, dans certains cas les données disponibles permettront de caractériser directement l'efficience. La connaissance des dépenses impliquées permet alors d'estimer en retour les bénéfices produits.

RÉSULTATS

Un premier exemple d'analyse provient de l'étude publiée en 2023 concernant l'efficacité des PPR inondations (PPRi)[3]. Celle-ci repose sur la combinaison d'une étude statistique avec des travaux de modélisation. Elle estimait à 20 % du montant des dommages inondations, soit 92 M€/an, la réduction moyenne des dommages assurés aux biens des particuliers sur la période 1995-2018, sous l'effet des PPRi. La réplication de la méthode employée pour les biens de professionnels conduit à une réduction moyenne de 32 % du montant des dommages inondations, soit 67 M€/an, sous l'effet des PPRi. Les économies annuelles grâce aux PPRi dans le champ du régime catastrophes naturelles sont donc estimées, au total, à 160 M€/an. Ces estimations peuvent être mises au regard des dépenses engendrées par l'élaboration et la mise en œuvre des PPR : les opérations soutenues par le FPRNM relatives à la préparation des PPR, d'une part, aux études et travaux imposés par un PPR, d'autre part, représentent, sur la période 2009-2020, un investissement moyen inférieur à 14 M€/an. Si l'on s'en tient aux engagements publics dans les opérations du FPRNM, la mise en perspective de ces deux estimations suggère un bénéfice généré par les PPRi de l'ordre de 11 € pour 1 € investi.

Une autre forme d'évaluation est proposée pour les ouvrages hydrauliques de protection face aux inondations. Depuis une quinzaine d'années, le soutien financier de l'État, via le FPRNM et dans le cadre des PAPI, à ces ouvrages est conditionné à la réalisation d'évaluations socio-économiques *ex ante*, qui doivent démontrer le bien-fondé du projet envisagé. Cette exigence rend aujourd'hui disponible un corpus de résultats d'analyses coûts-bénéfices pour des ouvrages hydrauliques, obtenus dans des contextes géographiques variés. Nous avons examiné 45 évaluations de rapports bénéfices / coûts à horizon cinquante ans, relatives à des ouvrages en France métropolitaine, présentées à la Commission Mixte Inondations pour la plupart entre 2018 et 2020. Les estimations calculées varient entre un retour sur investissement de 0,07 € à 50 € pour 1 € engagé, avec une valeur médiane de 2,7 € pour 1 € engagé. Les évaluations socio-économiques devant guider le choix des opérations retenues, il est permis de penser que les projets dont les bénéfices se révèlent significativement en-deçà des dépenses ne sont finalement pas mis en œuvre. Quoi qu'il en soit, la variabilité

mise en évidence révèle combien le bénéfice de la prévention par les ouvrages dépend de la configuration locale, de l'aléa, des enjeux exposés et des projets envisagés. Des écarts proviennent également du champ d'analyse retenu (intégration ou non des infrastructures publiques, par exemple). En effectuant une moyenne des bénéfices par catégorie d'enjeu, pondérée par le coût des opérations, nous obtenons un bénéfice moyen total d'environ 3 € pour 1 € engagé dans des ouvrages hydrauliques, dont 2,7 € pour les enjeux relevant du régime de l'indemnisation des catastrophes naturelles.

CONCLUSION

Les deux exemples ci-dessus illustrent le type de résultats attendus de ces travaux, en même temps qu'ils révèlent la diversité des approches mobilisables pour étudier chaque « brique » élémentaire. L'enjeu réside dans la capacité à maintenir une cohérence entre chacune de ces briques, pour pouvoir ensuite procéder à une évaluation globale. L'estimation de l'effet de chacun des dispositifs constitue un travail spécifique ; évaluer l'ensemble des briques suppose ainsi un travail au long cours. À son issue, les résultats relatifs aux différents dispositifs et aux différents périls pourront être intégrés pour proposer une évaluation de l'effet global de la prévention, à échelle nationale, sur la réduction des dommages de catastrophes naturelles. Les évaluations des dispositifs pourront également alimenter les modèles de CCR, pour qu'ils reflètent non seulement l'exposition et la vulnérabilité des territoires aux différents périls, mais également les efforts mis en œuvre pour les réduire.

Par la suite, il serait souhaitable d'élargir le champ d'analyse pour couvrir l'ensemble des enjeux socio-économiques, au-delà du seul périmètre des dommages assurés. La valorisation des enjeux humains permettrait également de refléter l'enjeu majeur de la politique de prévention des risques majeurs que constitue la préservation des vies humaines. Enfin, mobiliser les différents acteurs de la prévention suppose de cerner la répartition entre ces acteurs du poids des dépenses de prévention, d'une part, et de ses retombées, d'autre part.

L'élaboration d'éléments quantifiés de caractérisation de l'effet de la prévention fournira à CCR une appréhension plus fine de son exposition. Elle apportera surtout un éclairage utile aux différents acteurs de la politique nationale de prévention des risques naturels pour orienter leur action et mettre en valeur les retombées des montants investis dans la prévention./

RÉFÉRENCES

1. Moench, Marcus, Mechler, Reinhard, Stapleton, Sarah, 2007. The costs and benefits of disaster risk reduction. High Level Dialogue Information Note No 3, Global Platform for Disaster Risk Reduction, https://www.unisdr.org/files/1084_InfoNote3HLdialogueCostsandBenefits.pdf
2. Mechler, Reinhard, 2016. Reviewing estimates of the economic efficiency of disaster risk management: opportunities and limitations of using risk-based cost–benefit analysis. Nat. Hazards, DOI 10.1007/s11069-016-2170-y.
3. CCR, 2023. Efficacité des plans de prévention des risques d'inondation sur le coût des dommages assurés : estimation des impacts passés, présents et futurs. https://www.ccr.fr/fr/-/ccr-etude-ppri

CITATION

Bouc & Bauduceau, Évaluer l'effet de la prévention sur le montant des dommages des catastrophes naturelles passées et futures. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 44 à 47.

« Initiative Sécheresse » : identifier les solutions de prévention et de réparation les plus efficaces et durables face au retrait-gonflement des argiles/

Anael BRAMI[1], Olivier BOUC[1], Claire FAÏK[2]
(1) Département Conseil en Prévention et Fonds Publics, CCR
(2) Mission Risques Naturels

RÉSUMÉ

Le projet « Initiative Sécheresse » est porté par CCR, la MRN et France Assureurs et co-financé par l'État dans le cadre de France 2030 opéré par l'ADEME. Il a été lancé en réponse à l'augmentation des sinistres liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles avec pour objectif de développer la résilience des maisons individuelles, neuves ou existantes, exposées ou sinistrées et de maîtriser ce risque à long terme pour les assurés, les assureurs et l'État dans un contexte de dérèglement climatique.

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, le dérèglement climatique entraîne sur le territoire français des épisodes de sécheresse de grande ampleur, causant des fissures sur les maisons individuelles construites sur des sols argileux, qui se rétractent puis gonflent comme une éponge en réponse aux alternances d'épisodes de pluie et de sécheresse. Le coût des sinistres liés à ce phénomène de retrait-gonflement des argiles (RGA) est en forte augmentation : il est passé de 400 M€ par an en moyenne sur la période 1989-2015 à 1 Md€ par an en moyenne sur la période 2016-2020. Pour la seule année 2022, ce coût est estimé à 3,5 Md€, un record depuis la création du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles. Ces tendances seront amenées à s'accentuer du fait d'une intensification des phénomènes liée au changement climatique.

Par ailleurs, plus de la moitié des maisons individuelles en France, soit 11 millions, seraient potentiellement concernées, dont 3,3 millions en zone d'aléa fort. Établir une véritable stratégie nationale de prévention du risque RGA constitue désormais une nécessité.

Par le passé, divers programmes de recherche menés par des organismes scientifiques ont visé à caractériser le phénomène, cartographier le risque sur le territoire, étudier ses impacts sur les sols et les constructions. Parmi ces programmes, le Projet ARGIC 2 (2012-2016) piloté par l'IFSTTAR, sous l'égide du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, a abouti à la rédaction de trois guides[1,2,3]. Ces résultats ont conduit à s'interroger sur la possibilité de réponses alternatives à la reprise en sous-œuvre, classiquement employée en réparation des sinistres dus au RGA. Une étude[4] financée par CCR, fondée sur des analyses empiriques et des modélisations, indique que des mesures de gestion de l'environnement du bâti, « dites mesures horizontales » peuvent se montrer efficaces, moins coûteuses, moins invasives, avec une durée de chantier plus courte. Ces conclusions restent à confirmer par une expérimentation *in situ*, visant notamment à définir leur domaine de validité.

« Initiative Sécheresse », projet lancé le 12 septembre 2023 par CCR, la Mission risques naturels (MRN) et France Assureurs, est co-financé par l'État dans le cadre de France 2030 opéré par l'ADEME. Il a pour objectif d'identifier et d'évaluer dans le temps les solutions les plus efficaces et durables pour prévenir et réparer durablement les désordres sur les bâtiments d'habitation liés au phénomène de retrait gonflement des argiles. Cette initiative de place constitue une opportunité d'améliorer la connaissance de ce risque et de proposer des solutions à la hauteur des enjeux, reconnues par un consensus des experts et adoptées par les parties prenantes.



MÉTHODOLOGIE

Le projet, d'une durée de cinq ans comprend deux volets d'actions complémentaires : le volet prévention et le volet réparation. Ces deux volets seront menés en parallèle et suivront les mêmes phases suivantes :

- une phase de travaux préalables pour l'organisation du projet avec les acteurs et partenaires : rédaction de cahiers des charges techniques, prototype de démarche de prévention, formations des équipes au contact des sinistrés, et constitution de l'échantillon Prévention et Remédiation ;
- une phase de mise en œuvre des mesures de prévention et de remédiation, accompagnée d'une instrumentation des maisons en remédiation ;
- une phase d'observation pendant laquelle les données seront collectées ;
- et enfin une phase de production des livrables. Ces livrables, seront à destination de la profession de l'assurance, de l'expertise, du monde de la construction et du grand public.

Le volet prévention s'est fixé pour objectif de définir une démarche de prévention pérenne pour les maisons existantes exposées et non sinistrées, et de renforcer l'adhésion des particuliers à cette démarche. Des diagnostics de prévention *in situ* seront proposés pour une centaine de maisons et des solutions concrètes de prévention seront préconisées. Ces travaux permettront également d'identifier et déployer de bonnes pratiques de construction de maisons neuves.

Le volet réparation s'est fixé pour objectif de réaliser un bilan complet pour évaluer les solutions de réparation autour de six critères déterminants :

- efficacité,
- acceptabilité pour les sinistrés,
- conditions optimales de mise en œuvre,
- coût,
- conditions d'industrialisation,
- bilan carbone.

Cette étude sera réalisée sur une sélection de plus de 200 maisons sinistrées, sur la base de rapports réalisés par les experts d'assurance complétés par des données issues de capteurs connectés (déformation, teneur en eau du sol, météo, etc.) installés spécifiquement pour le projet. Un processus de sélection de biens sinistrés pertinents, réalisée conjointement par un expert RGA formé et labellisé et l'équipe projet de l' « Initiative Sécheresse », permettra de constituer l'échantillon.

Les solutions de réparation étudiées sont regroupées en quatre grandes familles :
- protection des sols : installation de dispositifs de confinement des fondations (tels que géomembrane, écran anti-racine, drainage…) pour stabiliser la teneur en eau des sols ;
- réhydratation des sols : injection d'eau à proximité des fondations en période de sécheresse pour stabiliser la teneur en eau du sol ;
- traitement des sols : injection d'une solution à proximité des fondations pour stabiliser le sol ;
- traitement du bâti et des fondations : Agrafage des murs impactés avant le comblement des fissures pour renforcer le bâti et reprise en sous œuvre pour renforcer les fondations.

Cette initiative de place rassemble de nombreux acteurs impliqués en prévention ou en réparation des sinistres RGA. Les pilotes du projet MRN, CCR, France Assureurs, se sont entourés notamment de la Fédération des sociétés d'expertise (FSE) et de la Compagnie des experts agréés (CEA) pour le cadrage du projet et le lancement des premiers travaux fin 2023. Un comité scientifique a été constitué pour se prononcer sur les aspects scientifiques du projet et rendra un avis sur les solutions les plus innovantes en particulier, avant tout déploiement.

RÉSULTATS

Au cours du premier semestre 2024, la méthodologie générale a été travaillée avec les acteurs du projet. La définition des objectifs, pour le volet prévention comme le volet réparation, a fait l'objet d'un consensus, permettant d'initier les premiers travaux techniques. Les acteurs qui seront au contact des sinistrés volontaires pour intégrer l'Initiative Sécheresse ont été formés, afin de les accompagner au mieux tout le long du projet.

Le suivi des maisons traitées et instrumentées, comme celles équipées à titre préventif, sera assuré pendant au moins trois ans pour fournir une vision dans la durée de l'efficacité des solutions. Les résultats sont ainsi attendus à l'horizon des cinq ans du projet.

>

retrait-gonflement des argiles (RGA)
prévention
réparation
« Initiative Sécheresse »

> Au terme de cette initiative, les livrables seront diffusés auprès du grand public, des institutionnels ainsi que de la profession de l'assurance et de la construction. Ils comprendront notamment une étude approfondie pour chacune des solutions de réparation observées, un livret de bonnes pratiques pour la construction neuve et une démarche de prévention pour les bâtis existants. En mettant en place un niveau commun d'information et en instaurant un consensus autour des mesures mobilisables, Initiative Sécheresse favorisera le déploiement large de mesures permettant un traitement du risque RGA plus efficace.

CONCLUSION

« Initiative Sécheresse » a été lancée en septembre 2023, la méthodologie générale a été définie et les échantillons sont, à ce jour, en phase de constitution. Les premières maisons du volet réparation devraient être instrumentées prochainement.

La diffusion large des résultats des différentes études menées dans le cadre d' « Initiative Sécheresse » est attendue pour l'année 2028. Ces résultats publics et partagés permettront de bâtir une stratégie globale de traitement du RGA tant au niveau préventif que curatif./

LES PARTENAIRES

FRANCE ASSUREURS est le nom d'usage de la Fédération Française de l'Assurance qui rassemble 252 entreprises d'assurance et de réassurance représentant 99 % du marché des entreprises régies par le Code des assurances.
La MRN, est une association régie par la loi 1901, créée par la profession de l'assurance en 2000 pour contribuer à une meilleure connaissance, prévention et adaptation face aux risques naturels actuels et à venir.

RÉFÉRENCES

1. Ifsttar et Armines - Retrait et gonflement des argiles - Caractériser un site pour la construction, guide 1.Marne-la-Vallée : Ifsttar, 2017. Techniques et méthodes, GTI 4-1, 46 pages, numéro ISBN 978-2-85782-724-5.
2. Ifsttar et CSTB - Retrait et gonflement des argiles - Protéger sa maison de la sécheresse : conseils aux constructeurs de maisons neuves, guide 2. Marne la Vallée : Ifsttar, 2017. Techniques et méthodes, GTI 4-2, 50 pages, numéro ISBN 978-2-85782-725-2.
3. Ifsttar et Ineris - Retrait et gonflement des argiles - Analyse et traitement des désordres créés par la sécheresse, guide 3. Marne la Vallée : Ifsttar, 2017. Techniques et méthodes, GTI 4-3, 58 pages, numéro ISBN 978-2-85782-726-9.
4. Martin Cahn, Nguyen Nath Hoang, Sebastien Burlon, Alain Franck Béchade ; Évaluation de l'efficacite de techniques de traitement du retrait gonflement par modelisation numerique. JNGG, Poitiers 2024.

CITATION

Brami et al., Initiative Sécheresse : identifier les solutions de prévention et de réparation les plus efficaces et durables face au retrait-gonflement des argiles. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 48 à 51.

PRIX CCR CAT NAT

Créé en 2015, le Prix CCR Cat Nat a pour but d'encourager la recherche dans le domaine des catastrophes naturelles, applicable aux métiers de l'assurance et de la prévention des risques.
Ouvert au niveau européen, il a pour objet de récompenser une thèse de doctorat portant sur cette thématique et constituant un travail de recherche, approfondi et original, permettant de mieux appréhender les aspects théoriques et les enjeux pratiques du sujet traité.
Le jury est composé d'universitaires, d'experts du secteur de la recherche et de l'assurance, et de représentants de CCR.
Parmi les dossiers de candidatures reçues, CCR effectue une présélection de cinq thèses maximum. Ensuite, pour chaque thèse, le président du jury désigne parmi ses membres un ou deux rapporteurs qui se chargeront d'établir et de présenter un rapport sur la base duquel le jury délibérera.
Le prix s'accompagne de la remise au lauréat d'une dotation de 5 000 euros et d'une communication au public de la thèse récompensée.
Sa remise officielle a lieu chaque année lors de la Journée CCR CAT qui réunit depuis 15 ans les acteurs de la communauté scientifique et du monde de l'assurance. Le lauréat s'engage à y présenter ses travaux.

En 2023, CCR a reçu 23 candidatures. Il s'adressait aux doctorants ayant soutenu une thèse entre le 1er juillet 2022 et le 31 décembre 2023. Exceptionnellement, le jury n'a pu départager les deux candidats qui ont remporté le prix, il y a donc eu deux lauréats ex æquo !
Thomas Candela pour sa thèse : « Optimisations cartographiques pour la gestion des crises et des risques majeurs : le cas de la cartographie rapide des dommages post-catastrophes ».
Eugénie Cazaux pour sa thèse : « La prise en compte des risques côtiers par les marchés fonciers et immobiliers du littoral français métropolitain : ambivalence de la mer et tentatives de régulation publique du « désir de rivage » à l'aube du changement climatique »./

2024
Hippolyte KERN, « Le dépôt d'avalanche : une nouvelle variable dans la connaissance du risque avalancheux ».

2023
Thomas CANDELA, « Optimisations cartographiques pour la gestion des crises et des risques majeurs »
Eugénie CAZAUX, « La prise en compte des risques côtiers par les marchés fonciers et immobiliers du littoral français métropolitain ».

2022
Aloïs TILLOY, « Comprendre et modéliser les événements extrêmes à multiples aléas naturels ».

2021
Odile PLATTARD, « Repenser l'évacuation d'une population littorale en milieu urbain en contexte multi-risques : le modèle STEP ».

2020
Audrey MICHAUD-DUBUY, « Dynamique des éruptions pliniennes : réévaluation de l'aléa volcanique en Martinique ».

2019
Fanny BENITEZ, « Faire face ou vivre avec les catastrophes ? Capacités d'adaptation et capabilités dans les trajectoires de résilience individuelles et territoriales au sein de l'espace Caraïbe ».

2018
Kenji FUJIKI, « Etude prospective des impacts sociaux d'une inondation majeure en région Ile-de-France. Disparités socio-spatiales dans la prise en charge des populations franciliennes en situation de crise et post-crise : une analyse cartographiée et quantifiée des besoins des ménages, de l'évacuation à la reconstruction ».

2017
Elif ORAL, « Modélisation multi-dimensionnelle de la propagation des ondes sismiques dans les milieux linéaires et non-linéaires ».

2016
Vanessa MULOT, « Les submersions marines : Nouveaux Enjeux, nouvelles pratiques juridiques ».

2015
Camille ANDRÉ, « Analyse des dommages liés aux submersions marines et évaluation des coûts induits aux habitations à partir de données d'assurance ».

« AU-DELÀ DU PRIX, C'EST SURTOUT UNE VALORISATION ET UNE VISIBILITÉ DE MES TRAVAUX DE RECHERCHE. C'EST IMPORTANT EN TANT QUE CHERCHEUR ET JEUNE CHERCHEUR DE POUVOIR AVOIR CETTE VISIBILITÉ À L'ÉCHELLE DE NOS FUTURS COLLABORATEURS. »

Thomas Candela



Enjeux de la cartographie et de la sémiologie graphique dans la gestion des crises et des risques majeurs/

Thomas Candela[1,2], Frédéric Leone[2], Péroche Matthieu[2], Marvin Germain[1,2]
(1) RisCrises
(2) Laboratoire de Géographie et d'Aménagement de Montpellier (LAGAM), Université Paul Valéry, Montpellier 3

RÉSUMÉ

Cet article s'intéresse aux enjeux de la cartographie dans le domaine de la gestion des risques et des crises. Il s'intéresse plus particulièrement à la cartographie des dommages post-catastrophes et aux conséquences qu'ont les évolutions techniques sur le développement et l'efficacité de ces supports dans les processus d'aide à la décision. Par l'analyse des cartes existantes, nous avons testé les limites de ces représentations et proposé un prototype basé sur les fondamentaux de la sémiologie graphique. Des expérimentations ont validé son efficacité pour améliorer l'interprétation des données et la communication des risques, avec des applications concrètes pour la gestion des crises.

INTRODUCTION

L'augmentation de l'impact des catastrophes s'accompagne d'un besoin croissant de supports de gestion de risques et de crises efficaces. Dans un monde de plus en plus numérisé (Ory, 2016), la carte reste un outil important d'aide à la décision, en permettant de planifier des actions (Leone et al., 2010) lors de phase de gestion de crise et de post-crise. Plus particulièrement, les cartographies de dommages post-catastrophes jouent un rôle de plus en plus important depuis les années 2000 à travers de nombreux cas d'usages. Ces cartes sont le produit de services de cartographies rapides (UNOSAT, SERTIT, etc.), réalisé dans le cadre de programmes internationaux et régionaux tels que la Charte internationale Espace et catastrophes majeures et Copernicus EMS (de Boissezon & Dubois, 2014). Ces cartographies dites « rapides » apportent un premier inventaire des dommages à partir de l'imagerie satellitaire, lorsqu'une catastrophe survient (Figure 1). Grâce à leur capacité de couverture, de réactualisation et leurs délais d'intervention très courts, ces produits sont une aide précieuse pour les gestionnaires de crises dont le panel d'utilisateurs finaux tend à se développer.

Malgré leur grande utilité opérationnelle, ces productions cartographiques posent certains problèmes.

- La comparaison avec les données de terrain révèlent les limites de l'analyse par photo-interprétation, qui demeure particulièrement sensible à la nature de l'endommagement ainsi qu'à la structure du tissu urbain (Andre et al., 2001; Rey et al., 2019; Candela et al., 2023).
- Des cas comme Haïti en 2010 (Figure 2) et le cyclone Irma en 2017 soulignent le manque de standards cartographiques internationaux, la surcharge visuelle et interrogent sur les risques d'erreurs d'interprétation (Kerle, 2010, 2013).

Alors même que le rôle de ces cartes est central dans la gestion de crise (Le Bourhis, 2007; Martinais, 2007), le manque de prise en compte des exigences de la communication et de la visualisation cartographique représente un risque d'abandon et de sous-utilisation de ces cartes.

MÉTHODOLOGIE

En intégrant ce cas d'étude cartographique, nous avons profité de la diversité des cartes post-catastrophes produites depuis une vingtaine d'années pour interroger les modes de représentation et les conséquences dans l'interprétation par les utilisateurs, notamment au regard des grands paradigmes cartographiques qui ont influencé la façon dont les cartographes et géographes regardent et conçoivent la carte. Bien que ces questions aient été soulevées par les chercheurs envers les cartes de dommages post-catastrophes, elles n'ont pas directement fait l'objet d'études approfondies. Pour être efficace dans ce contexte particulier, une carte doit être lue, comprise et mémorisée facilement et rapidement par une vaste gamme d'utilisateurs tout en réduisant le « coût mental » (Zipf, 1932, 1946) nécessaire à la perception visuelle et cognitive de l'information (Bertin, 1967; Zanin, 2006) et tout en garantissant la qualité des réponses apportées (MacEachren, 1995).

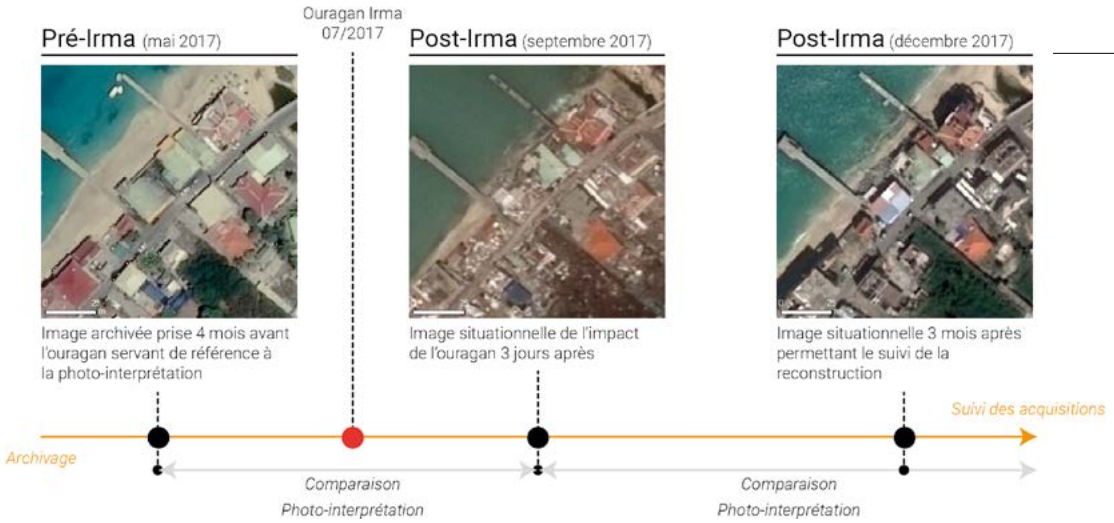


Figure 1 : Photo-interprétation selon l'approche multi-temporelle (Candela, 2021).

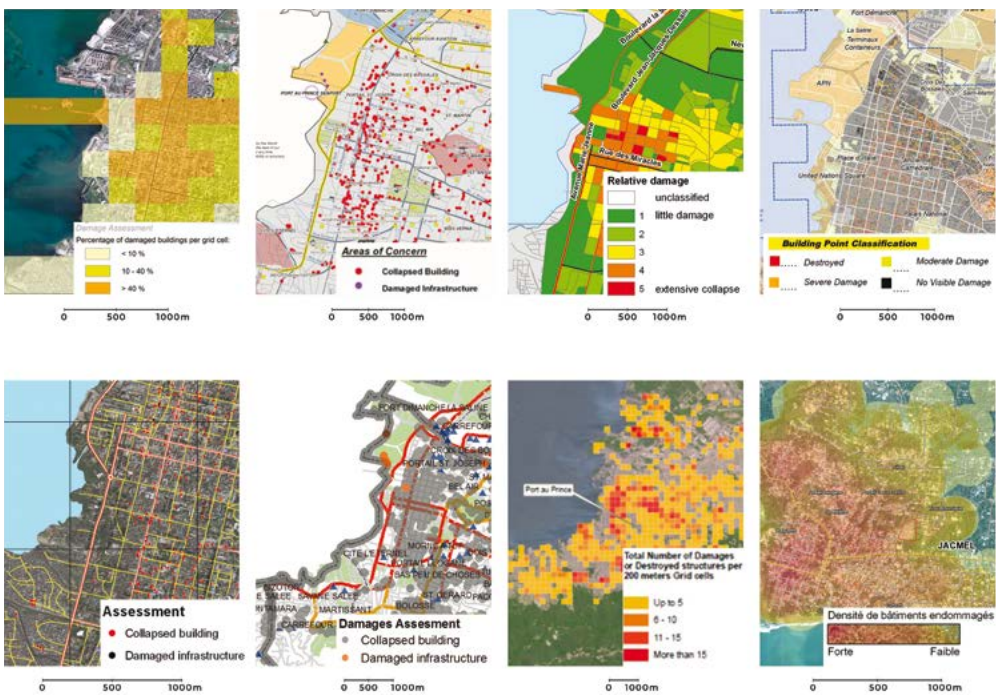


Figure 2 : Diversité des représentations du dommage à la suite du séisme de Haïti, 2010 (Kerle & Hoffman, 2013).

cartographie rapide post-catastrophes
risques
sémiologie graphique
multi-échelle
SIG
cartographie web



Figure 3 : Phasage de la méthodologie appliquée à l'évaluation des besoins et le prototypage de nouvelle représentation cartographique (Candela, 2021)

> Pour satisfaire nos objectifs, nous avons élaboré une méthodologie basée en quatre grandes étapes, en analysant et expérimentant l'existant, prototypant un nouveau modèle de représentation cartographique et expérimentant à nouveau (Figure 3).

- une première étape a consisté à identifier, sur la base d'une grille d'analyse multicritère, les caractères prédominants et distinctifs de 204 cartes de dommages post-catastrophes à l'échelle internationale. Cette évaluation a montré l'influence de l'échelle de visualisation sur la diversité des méthodes de représentations des dommages (carroyage, interpolation, blocs urbains, points, etc.).
- Une seconde étape a été d'expérimenter (expérimentation 1), en condition de stress simulé, l'impact de cette diversité sur la lecture et la transmission d'un message et d'en identifier les paramètres d'efficacité et de limitation des biais d'interprétation.
- À partir des résultats des deux premières phases, une troisième étape a été de prototyper une nouvelle représentation cartographique. Sur la base des préceptes de sémiologie graphique et de cartographie, ce prototype devait s'adapter à une large gamme d'utilisations, à plusieurs échelles et pour plusieurs acteurs de la gestion des risques et des crises.
- Cette nouvelle représentation a été expérimentée et testée pour en évaluer l'efficacité. Deux protocoles ont été mis en place afin de tester les capacités cognitives (expérimentation 2) et sensorielles (expérimentation 3) de notre prototype vis-à-vis d'un échantillon représentatif de méthodes d'agrégation employées dans la cartographie post-catastrophe. Le premier cherchait à connaitre la capacité de mémorisation des dommages les plus importants sur plusieurs représentation ; tandis que le second visait à tester le parcours du regard sur plusieurs techniques (ponctuel, carroyage, interpolation, semi-régulier de point) volontairement mise sur le même pied d'égalité en offrant une vision quantitative et qualitative des dommages sur plusieurs secteurs d'étude. Pour cela, la technologie de l'Eyetracking a été utilisée.

D'un point de vue méthodologique, nous avons ainsi produit un parcours reproductible d'échantillonnage, d'analyse multicritère et d'expérimentations autour de la cartographie. L'objectif ici étant de tirer un premier retour d'expérience sur les méthodes d'acquisition, d'évaluation et de représentation spatiale employées et prototypées. Les expérimentations ont été réalisées en majorité sur un panel d'acteurs homogènes (étudiants de master dans le domaine des risques naturels) mais ont été aussi enrichies par des utilisateurs variés usant de la cartographie dans le domaine des crises et des risques majeurs (chercheurs, institutionnels, forces de secours, services d'observation de la terre, privés, etc.).

RÉSULTATS

Les résultats de cette recherche sont multiples. Premièrement, l'analyse multicritère a établi un environnement propre à la conception des cartes de dommages post-catastrophes. Elles interviennent dans un contexte de crise, à la suite d'un événement, et répondent à des tâches bien précises. Ces paramètres impliquent une orientation particulière des thèmes affichés et des échelles de visualisation (Candela et al., 2022). On peut noter par exemple des pratiques cartographiques et sémiologiques communes sur les cartes représentant de grandes échelles (supérieures au 1:25 000), où les représentations ponctuelles domines. Toutefois, ce consensus s'éteint pour les productions à plus grandes échelles (inférieure au 1:25 000). L'hétérogénéité y est plus marquée, tant sur les méthodes d'agrégation, que sur les choix de couleurs et les fonds de cartes Figure 4.

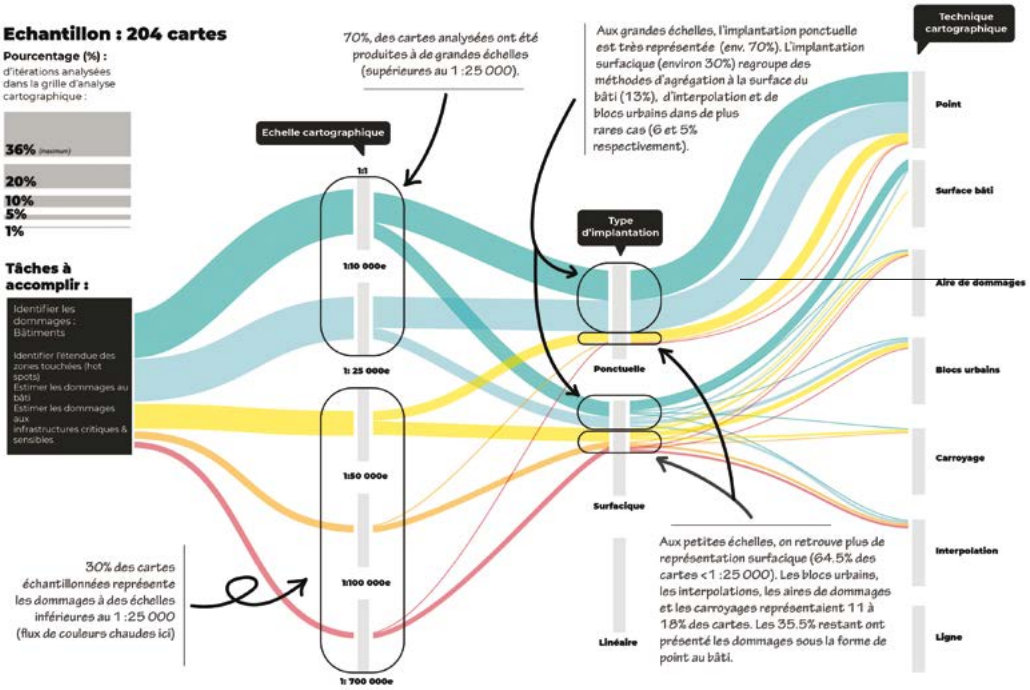


Figure 4 : Pourcentage d'itérations observées en fonction des paramètres d'échelle d'appréciation, des types d'implantations et des techniques employées pour la représentation des dommages aux bâtiments .

Cette hétérogénéité et la surcharge visuelle qui caractérisent ces cartes représentent un risque d'erreurs potentielles quant à l'interprétation finale des utilisateurs. Cette analyse est affinée par l'expérimentation 1 qui interroge les limites liées à la fois à la diversité cartographiques mais également aux techniques mêmes employées traditionnellement par les services de cartographie rapides. Ainsi, des divergences d'interprétation ont été observées pour des représentations utilisant les mêmes données d'endommagement évaluées à la suite du séisme de Haïti en 2010. Il existe des divergences d'interprétation lorsqu'un groupe d'utilisateurs homogènes analyse une même technique cartographique sur un même espace. Des divergences d'interprétations sont apparues aussi lorsque les résultats de plusieurs techniques étaient superposés et comparés. Simplifier l'information par des méthodes d'agrégation tels que les blocs urbains ou l'interpolation permettent de gagner en lisibilité. Cependant, cela intègre un risque, pouvant être influencé par l'esthétisme de la carte, d'introduire des biais interprétations liées à la nature de la donnée (qualitative ou quantitative) représentée. Aussi, les représentations d'ordre quantitative et qualitative sont quasi inexistantes aux grandes échelles ce qui engendre ces différences d'interprétation entre les méthodes d'agrégation.

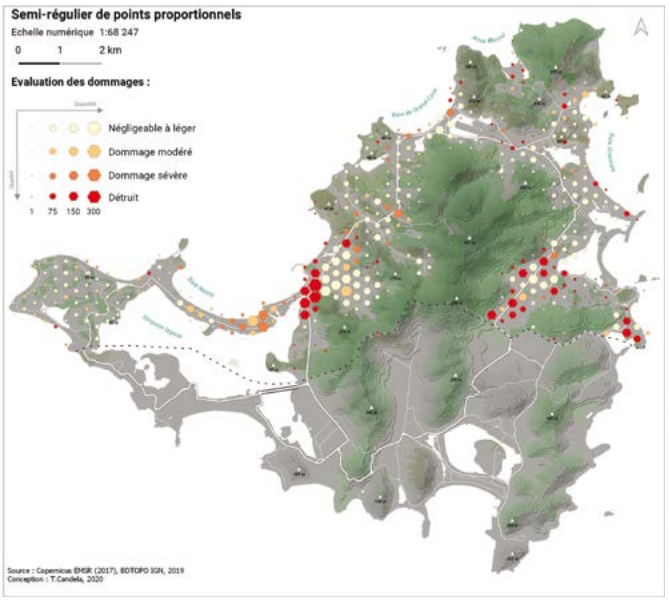


Figure 5 : Représentation des dommages par semi-régulier de points proportionnels (Candela, 2021).

Partant de ces résultats, nous avons proposé une représentation par « semi-régulier de points proportionnels » (Figure 5). Cette dernière a été réalisée sous SIG sur la base de la méthode de carroyage et des « points de Bertin » afin de fournir une information quantitative (quantité de bâtiments concernés) et qualitative (niveaux de dommages observés) au moyen de la significativité des variables de taille et de couleur. Par sa distribution carroyée, l'implantation ponctuelle bénéficie également d'une combinaison redondante entre la proportionnalité des surfaces et la densité grâce à leur position. Les différents choix techniques et sémiologiques mobilisés lors de la construction de cette représentation devaient ainsi optimiser la sélectivité rétinienne des

>

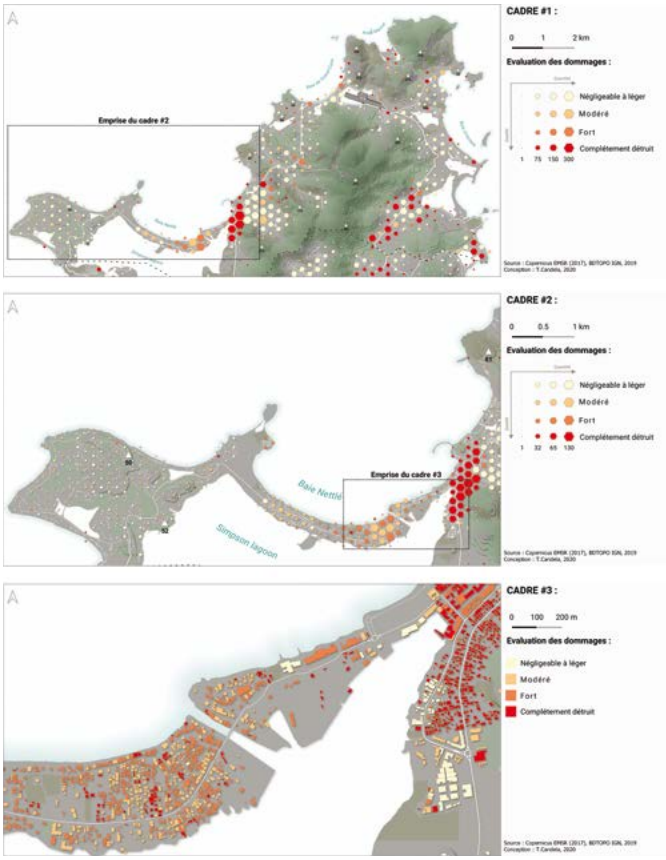


Figure 6 : Exemple d'agrégation à travers 3 échelles cartographiques, de l'échelle synoptique à celle du quartier (Candela, 2021).

> informations thématiques aux petites et moyennes échelles cartographiques et favoriser les capacités cognitives quant à leur interprétation.

Les résultats des deux expérimentations qui s'en sont suivies, ont permis de tester la validité des hypothèses concernant l'apport théorique de la représentation par semi-réguliers de points proportionnels vis-à-vis de techniques d'agrégation que l'on retrouve traditionnellement dans la cartographie rapide des dommages post-catastrophes. Sur le plan cognitif, les résultats de l'expérimentation 2 ont témoigné d'une plus grande efficacité des méthodes d'agrégation statistiques à faciliter la mémorisation des dommages les plus importants, et ceci quel que soit le niveau en cartographie des participants. Des résultats qui sont confirmés par l'expérimentation 3, où là encore l'efficacité des techniques basées sur des carroyages s'est montrée meilleure sur le plan sensorielle (Candela et al., 2022). À ce stade, notre prototype a montré son efficacité en fournissant un compromis intéressant entre ses capacités d'analyse visuelle, de mémorisation, mais également de perception par les utilisateurs, quel que soit leur niveau en cartographie. Une meilleure saillance visuelle qui se retrouve également lorsqu'il s'agit de délimiter les zones les plus touchées qu'importe le niveau de dispersion des données.

Ainsi, ces deux expérimentations confortent l'idée que synthétiser l'information de manière graphique, en s'appuyant sur les règles de sémiologie graphique et de cartographie, optimise la synoptique de la construction cartographique.

CONCLUSION

Cette recherche montre que le respect des règles cartographiques et de sémiologie graphique améliore l'efficacité des cartes à la fois sur le plan visuel et cognitif. Elle démontre également l'intérêt des expérimentations utilisateurs à la conception cartographique, notamment au regard des méthodes de représentations des dommages traditionnellement employées, et dont l'usage est largement répandu dans les pratiques cartographiques contemporaines. Ce retour d'expérience inédit des cartographies rapides des dommages post-catastrophes, se conclu par une proposition de représentation de données complexes permettant d'améliorer leur interprétation, appuyant ainsi la prise de décision. Pour aller plus loin, nous explorons les capacités de cette représentation à travers les échelles en proposant des outils de visualisation web (ANR TIREX[1]). Environnement dans lequel, notre représentation fournit une méthode d'analyse multi-échelle (Figure 6) basée sur l'emboitement successif de mailles dont les paramètres sont définis à partir des standards Web Mercator (ESPG : 3857). Cette étude offre de nombreuses possibilités cartographiques pour la planification des risques et des crises, mais aussi l'information préventive. Axes de recherches qui sont aujourd'hui développés dans le cadre d'une thèse cifre[2] au sein de RisCrises et du LAGAM./

(1) https://riscrises-maps.com/maps/dommage-irma-tirex/

(2) Marvin Germain (thèse en cours) - Optimisation des procédures opérationnelles de gestion de crise au moyen d'outils cartographiques en ligne : cas appliqué à la gestion des risques tsunami et cyclone dans les collectivités d'outre-mer.

LES PARTENAIRES

RISCRISES est un bureau d'études et un organisme de formations qui accompagne depuis 2014 les collectivités, services de l'État, entreprises et industries face aux risques (naturels et technologiques) auxquels ils sont exposés. Son équipe plurisdisciplinaire développe des solutions d'expertise dans la planification, la modélisation, l'analyse spatiale, la cartographie web et statique, la simulation de crise, en appuie à la gestion des risques et des crises.
Le LAGAM a été fondé en janvier 2021. ce nouveau laboratoire de recherche universitaire a pour ambition de redonner une place centrale aux approches géographiques et à leurs prolongements opérationnels, notamment en aménagement du territoire, environnement et gestion des risques, en mobilisant la recherche-action, l'expertise de terrain, l'analyse spatiale, la cartographie, la modélisation, la co-construction et le transfert de connaissances.

RÉFÉRENCES

1. Andre, G., Chiroiu, L., & Guillande, R. (s. d.). Evaluation et cartographie de dommages par imagerie satellitaire spot 5 : Simulation sur la ville de Bhuj, séisme de gujarat, inde (26 janvier 2001). 10.
2. Bertin, J. (1967). Sémiologie graphique, Les diagrammes, Les réseaux, Les cartes. Sémiologie graphique, Les diagrammes, Les réseaux, Les cartes (Gauthiers-Villars).
3. Candela, T. (2021). Optimisations cartographiques pour la gestion des crises et des risques majeurs : Le cas de la cartographie des dommages post-catastrophes.
4. Candela, T., Péroche, M., Leone, F., & Robustelli, M. (2022). Cartographier un territoire « cycloné » : Saint-Martin après le passage de l'ouragan Irma (Antilles du Nord, sept. 2017), In Press. Mappemonde. Revue trimestrielle sur l'image géographique et les formes du territoire, 24.
5. Candela, T., Péroche, M., Sallaberry, A., Rodriguez, N., Lavergne, C., & Leone, F. (2022). Visualising post-disaster damage on maps : A user study. International Journal of Geographical Information Science, 36(7), 1364-1393.
6. de Boissezon, H., & Dubois, C. (2014). Les données de télédétection dans la gestion des risques et des désastres en Haïti : La difficile rencontre entre expertise exogène et savoirs locaux. CIST2014 - Fronts et frontières des sciences du territoire, 135-140. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01353460
7. Gueben-Venière, S. (2019). Il est temps de cartographier les crises. 17.
8. Kerle, N. (2010). Satellite-based damage mapping following the 2006 Indonesia earthquake—How accurate was it? International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 12(6), 466-476. https://doi.org/10.1016/j.jag.2010.07.004
9. Kerle, N. (2013). Remote Sensing Based Post-Disaster Damage Mapping with Collaborative Methods. In S. Zlatanova, R. Peters, A. Dilo, & H. Scholten (Éds.), Intelligent Systems for Crisis Management (p. 121-133). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33218-0_9
10. Le Bourhis, J.-P. (2007). Du savoir cartographique au pouvoir bureaucratique. Les cartes des zones inondables dans la politique des risques (1970-2000). Genèses, 3, 75-96.
11. Leone, F., De Richemond, N. M., & Vinet, F. (2010). Aléas naturels et gestion des risques. Presses universitaires de France.
12. MacEachren, A. M. (1995). 1995 : How maps work : Representation, visualization and design, New York : Guilford Press.
13. Martinais, E. (2007). La cartographie au service de l'action publique. EspacesTemps. net, 7.
14. Rey, T., Leone, F., Candela, T., Belmadani, A., Palany, P., Krien, Y., Cécé, R., Gherardi, M., Péroche, M., & Zahibo, N. (2019). Coastal Processes and Influence on Damage to Urban Structures during Hurricane Irma (St-Martin & St-Barthélemy, French West Indies). Journal of Marine Science and Engineering, 7(7), 215. https://doi.org/10.3390/jmse7070215
15. Zanin, C. (2006). Cartographie thématique. Hypergeo, article 377, 8.
16. Zipf, G. K. (1932). Selected studies of the principle of relative frequency in language. Harvard Univ. Press.
17. Zipf, G. K. (1946). The psychology of language. In Encyclopedia of psychology (p. 332-341). Philosophical Library.
18. CCR, 2023. Efficacité des plans de prévention des risques

CITATION

Candela et al. Enjeux de la cartographie et de la sémiologie graphique dans la gestion des crises et des risques majeurs. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France,; 2024, pp. 54 à 59.

2023

26 janvier

Conférence sur la réforme du régime Cat Nat

À Paris, la Compagnie des Experts Agréés (CEA) a organisé une conférence sur la réforme du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles à laquelle Antoine Quantin est intervenu.

02 février

Table ronde « Nos approches assurantielles doivent-elles être revues ? Quel futur pour l'assurance paramétrique ? »

Issy-les-Moulineaux. Antoine Quantin est intervenu lors du colloque « Infrastructures critiques et états limites » organisé par le Haut Comité Français pour la Résilience Nationale (HCFRN).

20 février

Inauguration de la Chaire Géolearning

Mines ParisTech. David Moncoulon est intervenu lors de l'inauguration de la Chaire Géolearning.

09 mars

Université Savoie Mont Blanc – Rencontres PRO USMB

Au Bourget du lac, Roxane Marchal a présenté CCR et ses missions.

14 mars

CNP – Chaire DIALog

À Paris, au sein de la Chaire DIALog - Digital Insurance And Long-term risks, Geoffrey Ecoto est intervenu sur le thème : « Éléments pour la prise en compte du risque climatique dans les process actuariels – Zoom sur le risque sécheresse ».

15 mars

Table ronde « Risques de climat, risque de crédit »

Paris, Espace Étoile Saint-Honoré. David Moncoulon, invité par MathWorks, est intervenu sur le thème « Évaluer l'impact du climat (physique, de transition, macroéconomique) sur le risque de crédit ».

24 mars

Webinaire sur la « Résilience des territoires » organisé par Twin+

En distanciel. Lise Gonnetan et Nathalie Orlhac ont participé au webinaire « Résilience des territoires : avant les jumeaux numériques, des hubs de données à constituer ».

25 avril

Séminaire sur la prévention des inondations

DREAL Bourgogne-Franche-Comté, Delle. Lise Gonnetan est intervenue sur le thème : « Quelles conséquences prévisibles sur les biens assurés à l'horizon 2050 ? Quelles synergies avec le monde de l'assurance ? ».

13 mai

Maths en mouvement – à l'eau les maths !

Paris, Fondation Sciences Mathématiques de Paris. Léa Boittin est intervenue à la conférence sur le thème : « Quelques exemples d'utilisation des maths pour la modélisation des catastrophes naturelles ».

1er juin

Septeo Académie

Lyon. Jérémy Desarthe est intervenu lors de l'atelier sur « Le logement face aux enjeux risques et urbanisme ».

16 juin

Environnement et assurance

Caen, Université de Caen Normandie. Olivier Choquet est intervenu lors du colloque sur le thème : « La question du financement des sinistres par la réassurance ».

21 juin

6th European Climate Change Adaptation ECCA 2023

Dublin, Irlande. Daniela Peredo et Luc Baudoux sont intervenus sur le thème « Electricity Grid Risk Assessment » au Magica, JPI Climate, UCC, MaREI.

22 juin

CEPRI, AFPCNT Journée d'échanges « Inondation : anticiper pour faciliter et accélérer la reconstruction »

En distanciel. Lise Gonnetan a présenté « cartographier les territoires impactés durablement par les inondations ».

28 juin

World Energy and Meteorology Council

Padoue, Italie. Lors de l'ICEM 2023, David Moncoulon est intervenu lors de la conférence « Towards climate-resilient energy systems » sur le thème : « Climate change modelling and impacts on the power system in France ».

30 juin

21st informs Applied Probability Society Conference

Nancy, Université de Lorraine. Geoffrey Ecoto est intervenu sur le thème « Forecasting the cost of drought events in France by super learning ».

30 août

Congrès EAAE, Agri food systems in a changing World : connecting science and society

Rennes, lors du congrès de l'EAAE, European Association of Agricultural Economists. Dorothée Kapsambelis est intervenue pour présenter « L'impact des événements climatiques extrêmes sur l'agriculture ».

12 – 15 septembre

RING Meeting

Nancy. Marius Rapenne a présenté ses travaux de thèse portant sur « Quadrangular adaptive mesh for elastic wave simulation in smooth anisotropic media ».

09 – 13 octobre

[Live+] SIG2023

En distanciel. Les équipes de CCR ont participé à plusieurs conférences organisées par ESRI France : Luc Baudoux « Risques climatiques et Assurance : une analyse plus fine avec la Géo », Christian Cousin et Nathalie Orlhac « Cas d'usages de Data Engineering dans le cadre de la réassurance publique des catastrophes naturelles au sein de CCR ».
En présentiel. Nathalie Orlhac « Les usages du SIG et Web SIG à CCR : modélisation des risques et actions de prévention ».

19 octobre

Séminaire « La résilience est-elle une mode durable ? Les jalons vers une résilience collective »

Saint-Denis, IMdR-AFPCNT. Olivier Bouc est intervenu lors de la Session 5 « Faire vivre, mais à quel (sur)coût ? » sur le thème : « Quel coût supportable pour les catastrophes.

>

>

2024

07 – 10 novembre

11e colloque de l'AFPS « Le risque sismique dans un contexte multi-risques : comprendre, gérer, prévenir »

Gosier, Guadeloupe. Corentin Gouache a présenté le « Modèle probabiliste d'exposition aux séismes aux Antilles françaises ».

13 novembre

Séminaire Chaire Géolearning – Mines ParisTech

Paris. Luc Baudoux est intervenu pour présenter « les cas d'usage du géolearning chez CCR ».

21 novembre

Sustainable Finance Forum 2023

Paris, Bloomberg. Dorothée Kapsambelis a participé à une table ronde sur le thème « Industry Panel : Physical Risk, The Challenge ».

1er décembre

Séminaire MAPI relatif aux milieux aquatiques et à la prévention des risques Inondations

En distanciel. À l'initiative de la Préfecture de la Guadeloupe, Jérémy Desarthe est intervenu pour présenter « L'exposition de la Guadeloupe aux risques de catastrophes naturelles ».

13 décembre

Les risques de la biodiversité

Paris, organisé par SCOR. Dorothée Kapsambelis est intervenue sur le thème : « Application à la gestion du risque (Prix des Sciences du risque 2023 - IA et Cour des comptes ».

14 mars

Les matinées de l'IGEDD « L'eau : entre manque et trop plein »

Paris, Inspection générale de l'Environnement et du Développement durable. Nicolas Bauduceau est intervenu à la table ronde « De l'excès de l'eau sur les territoires, inondations, destructions et gestion des risques ».

15 – 19 avril

EGU24 General Assembly, Autriche

Vienne. Adélaïde Allemand a présenté ses travaux de stage s'intitulant « Considering aftershock-induced damage accumulation in seismic loss assessments ».
Daniela Peredo a co-organisé la session « Short-range forecasting and monitoring of heavy rainfall induced hazards and risks: surface water floods, flash-floods, and geomorphic hazards ».

17 & 18 avril

Quelle assurance dans un monde d'incertitudes ?

Aux Rendez-Vous de Casablanca de l'Assurance, Maroc. La Fédération Marocaine de l'Assurance organise annuellement cet événement clé pour le secteur de l'assurance et de la réassurance en Afrique. Nicolas Bauduceau est intervenu dans la table ronde sur « les grands défis des assureurs face au changement climatique ».

22 – 26 avril

International Forum of Terrorism Risk (Re)Insurance Pools (IFTRIP)

Washington, États-Unis. Antoine Quantin et Sina Nassiry ont participé aux discussions entre les pays membres de l'IFTRIP sur leur gestion des Pools multirisques : quels sont les défis, les synergies, les leçons apprises et les meilleures pratiques qui ont émergé ?

14 mai

Journée « Climat, Risque et Assurance »

ISFA, Lyon. Table ronde, avec la participation de Geoffrey Ecoto.

31 mai

21e Forum international de la Météo et du Climat

Météo et Climat à Paris. Colloque sur les impacts socio-économiques de la sécheresse destiné aux acteurs socio-économiques et territoriaux, aux scientifiques, aux journalistes, aux représentants de think-tank, ONG, associations professionnelles et étudiants. Au cours de ce colloque, Antoine Quantin a participé à la table ronde sur la « Sécheresse des sols ».

12 juin

15e édition de la Journée CCR CAT

À Paris, la 15ème édition de la Journée CCR Cat sur le thème « Protégeons l'assurabilité ». a réuni des acteurs de l'expertise des risques, des territoires et de la société civile. Les 206 participants ont également assisté à la traditionnelle remise du Prix CCR Cat Nat 2024. Le lauréat, Hippolyte Kern, a présenté ses travaux de thèse sur « Le dépôt d'avalanche : une nouvelle variable dans la connaissance du risque avalancheux ».

19 juin

Inondations, sécheresses…, comment construire le système assurantiel de demain ?

Cercle Français de l'eau à Paris. Nicolas Bauduceau est intervenu dans une table ronde pour débattre sur « Comment fonctionne aujourd'hui le système assurantiel des risques naturels ? ».

20 juin

L'assurance des catastrophes naturelles française, une inspiration pour l'Allemagne ?

Centre Européen de la Consommation à Kehl en Allemagne. Dans ce colloque, Édouard Vieillefond, Directeur général de CCR, a présenté le rôle de CCR et Antoine Quantin le fonctionnement du régime Cat Nat et du Fonds de prévention des risques naturels majeurs (FPRNM).

PUBLICATIONS CCR

2024

Jean-Philippe Naulin
- Cahiers de la SHF - Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050

Jean-Philippe Naulin
- Cahiers techniques du bâtiment février 2024 - Quand c'est la mer qui prend l'homme - pages 13-16

Daniela Peredo, Luc Baudoux
- Bulletin des geoliens - N° 122 - Septembre 2024 - Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050

Corentin Gouache
- Bulletin des geoliens - N° 122 - Septembre 2024 - Modélisation des catastrophes naturelles - exemple des séismes

Corentin Gouache
- Bulletin des geoliens - N° 122 - Septembre 2024 - La gestion des catastrophes naturelles en France - Réassurance et régime de catastrophes naturelles

Sophie Barthelemy
- Modélisation du phénomène de retrait-gonflement des argiles (RGA) - Compréhension et modélisation multi-échelle du RGA et de ses impacts en termes financiers

Olivier Bouc
- Géosciences - La prévention des risques de catastrophes naturelles

2023

Marchal R., Moncoulon D., Lopez Gunn E., Weinberg J., Thakar K., Altamirano M., Piton G.
- Springer - Insurance and the natural assurance value (of ecosystems) in risk prevention and reduction in the book Greening Water Risks

Philippe Le Coent, Cécile Hérivaux, Javier Calatrava, Roxane Marchal, David Moncoulon, Camilo Benítez Ávila, Mónica Altamirano, Amandine Gnonlonfn, Ali Douai, Guillaume Piton, Kieran Dartée, Thomas Biffn, Nabila Arfaoui, and Nina Graveline
- Springer - Economic Assessement of NBS for water-related risks in the book Greening Water Risks

Albert Scrieciu, Sabin Rotaru, Bogdan Alexandrescu, Irina Catianis, Florentina Nanu, Roxane Marchal, Alessandro Pagano, and Raffaele Giordano
- Springer - Reducing water related riskss in the lower Danube through NBS design: a stakeholder participatory process in the book Greening Water Risks

Guillaume Piton, Nabila Arfaoui, Amandine Gnonlonfn, Roxane Marchal, David Moncoulon, Ali Douai, and Jean-Marc Tacnet
- Springer - Giving room to the rvier: a NBS for flash flood hazards? The brague river case study in the book Greening Water Risks

Josh Weinberg, Kanika Thakar, Roxane Marchal, Florentina Nanu, Beatriz Mayor, Elena López Gunn, Guillaume Piton, Polona Pengal, and David Moncoulon
- Springer - Enabling effective engagement, investment and implementation of natural assurance systems for water and climate security in the book Greening Water Risks

Elena López Gunn, Nina Graveline, Raffaele Giordano, Nora Van Cauwenbergh, Philippe Le Coent, Peter van der Keur, Roxane Marchal, Beatriz Mayor, and Laura Vay
- Springer - Looking into the future: natural assurance scheme for resilience in the book Greening Water Risks

Jérémy Desarthe
- Acte du colloque Géorisque 2022 La saison cyclonique 2017 - Une histoire des ouragans dans les Antilles françaises depuis le XVII^{e} siècle

Jérémy Desarthe
- Acte du colloque de l'université de Caen - Des secours à l'indemnisation. L'État et l'aide aux sinistrés (XVIIIe-XXe siècle)

Marius Rapenne, Paul Cupillard, Corentin Gouache
- Acte du RING Meeting 2023 - First-order homogenization of the wave equation in isotropic non-periodic stratified media

Marius Rapenne, Guillaume Caumon, Paul Cupillard, Corentin Gouache, Pierre Anquez
- Acte du RING Meeting 2023 - Quadrangular adaptive mesh for elastic wave simulation in smooth anisotropic media

Frédéric Leone, Yann Bérard, Stéphanie Defossez, Jérémy Desarthe, Virginie Duvat, Delphine Grancher, Philippe Palany et Narcisse Zahibo
- EchoGéo - Les apprentissages d'un RETEX scientifique et collectif sur l'ouragan Irma (saison cyclonique 2017, Petites-Antilles du Nord, projet ANR TIREX)

Jean-Philippe Naulin
- Cahiers de la SHF - Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050

CITATIONS

Allemand et al., Prise en compte dynamique des répliques sismiques dans l'évaluation des dommages assurés. In Rapport scientifique CCR 2024; CCR, Paris, France, 2024, pp. 06 à 09.

Sophie Barthelemy et al., Titre. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 10 à 13.

Naulin et al., MUFFINS : Modélisation multi échelle des inondations à l'aide de solutions innovantes. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 14 à 17.

Desenfant et al., Modélisation des feux de forêts : Validation et amélioration d'un module de propagation. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 18-21.

Nassiry et al., Estimation des pertes assurantielles liées à des actes de terrorisme de type « bombe sale ». In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 22 à 25.

Peredo et al., Estimation du coût d'une catastrophe naturelle : exemple des inondations dans le Nord Pas-de-Calais de 2023 et 2024. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 28 à 31.

Gouache, Réévaluation de l'estimation du coût du séisme de La Laigne. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 32 à 35.

Cousin et al., L'IA au service de la Data. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 38-41.

Bouc & Bauduceau, Évaluer l'effet de la prévention sur le montant des dommages des catastrophes naturelles passées et futures. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 44 à 47.

Brami et al., Initiative Sécheresse : identifier les solutions de prévention et de réparation les plus efficaces et durables face au retrait-gonflement des argiles. In Rapport Scientifique CCR 2024 ; CCR, Paris, France, 2024, pp. 48-51.

Rapport Scientifique édité par CCR - Octobre 2024 - Le Rapport Scientifique 2024 de CCR et tous les éléments scientifiques qu'il contient (notamment les textes, publications, images, schémas, tableaux ou éléments cartographiques) sont la propriété exclusive de CCR ou de tiers l'ayant expressément autorisée à les utiliser, et sont protégés par les dispositions du Code de la propriété intellectuelle et les traités internationaux sur le copyright. Copyright © 2024 CCR, Paris, France. Crédits photos : AFP - Thibaud Moritz (p.05) / Charles Caby (p.27) / David Tatin Biosphoto (p.43) / Getty Images panida wijitpanya (p.37) - Photothèque CCR - Conception et réalisation : **story-building.fr**

Ce rapport scientifique a été imprimé en France par HandiPRINT, une entreprise adaptée, filiale du Groupe Lecaux imprimeries, imprimeur certifié PEFC et FSC détenteur du label Imprim'vert et signataire de la Charte de la diversité.

CCR, protéger l'assurabilité, préparer l'avenir



Arbres soumis à des vents très forts lors du passage du cyclone Belal, à La Possession, sur l'île d'outre-mer française de La Réunion, le 15 janvier 2024. Richard BOUHET / AFP

CCR, acteur incontournable de la réassurance, mène des travaux pour contribuer à la connaissance des conséquences économiques des catastrophes naturelles ou anthropiques et accompagne les acteurs de la prévention et de la gestion des risques.

www.ccr.fr
www.catastrophes-naturelles.ccr.fr

www.catastrophes-naturelles.ccr.fr — www.ccr.fr

CCR – 157, bd Hausmann, 75008 Paris – Tél. : +33 1 44 35 31 00