

An aerial photograph of a coastal city. The city is densely packed with buildings, many of which are highlighted in yellow. A red hatched area follows the coastline, indicating a specific zone of interest. The ocean is visible on the right side of the image.

RAPPORT D'ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE 2018



TABLE DES MATIÈRES

Photo de couverture : Source : CCR, BD Ortho® IGN/BD Topo® IGN/CCR
Dénombrement des bâtiments (en jaune) exposés à l'érosion (hachure rouge) dans la commune de Sainte-Marie-la-Mer (66)



INTRODUCTION

La modélisation des événements naturels
majeurs de l'année 2018 1



LES RISQUES HYDROLOGIQUES 5

Le modèle inondations 7

La télédétection en appui de
la simulation post-événements 9

Modélisation des crues soudaines :
le projet ANR PICS 12

Analyse coût-bénéfice des solutions fondées
sur la nature : le projet H2020 NAIAD 13



LES RISQUES LITTORAUX 15

Les submersions marines 17

Estimation des sources d'incertitude
dans le modèle submersions marines 18

Modélisation des tsunamis 19

Estimation de l'impact du retrait du trait de côte ... 20



LES RISQUES LIÉS AU VENT 22

Modélisation des tempêtes 23

Modélisation des risques
cycloniques en Outre-Mer 25

Transfert de connaissances et retour
d'expérience dans les Petites Antilles du Nord :
Le projet ANR TIREX 26



LES RISQUES GÉOLOGIQUES 27

Les risques sismiques 29

Modélisation du retrait-gonflement
des argiles 31



CHANGEMENT CLIMATIQUE ET VULNÉRABILITÉ EN 2050 35

Changement climatique
et vulnérabilité en 2050 35



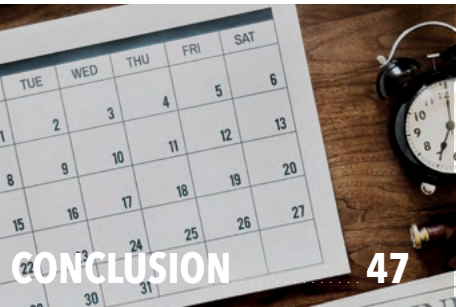
AUTRES TRAVAUX DE RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT EN COURS CHEZ CCR 41

Risques climatiques sur récoltes 43

Risques anthropiques 45

Analyse textuelle automatique
de données non structurées 46

Estimation des valeurs assurées
par approche Big data 46



CONCLUSION 47

Perspectives 47

Rétrospective de l'année 51

Les publications de 2018 53

INTRODUCTION

Le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles couvre depuis 1982, en France, les principaux périls naturels : les inondations, la sécheresse géotechnique, les tremblements de terre, les submersions marines et les cyclones dans les territoires d'Outre-Mer. Au cœur de ce dispositif, la Caisse Centrale de Réassurance (CCR), est un réassureur public qui propose une couverture illimitée aux assureurs, avec garantie de l'État. Ainsi, tous les assurés – particuliers, professionnels, collectivités territoriales – peuvent bénéficier d'une couverture contre ces risques quelle que soit leur exposition.

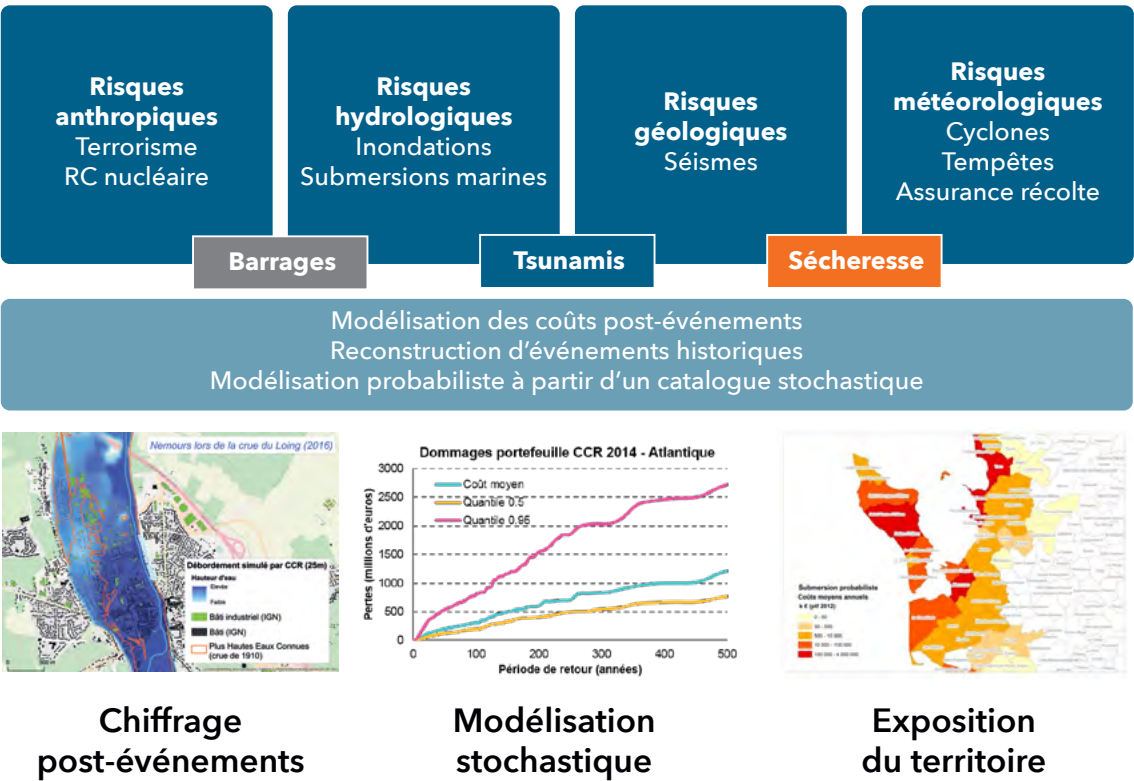
Les enjeux en termes d'amélioration des connaissances sur les risques et en termes de prévention sont cruciaux et se présentent comme un défi que les réassureurs se doivent d'anticiper avec le plus grand soin. Une situation à laquelle vient s'ajouter le contexte du changement climatique et ses impacts globaux sur l'évolution des aléas et de la vulnérabilité. Les activités du groupe s'organisent autour de projets de recherche & développement innovants et pluridisciplinaires. Ces travaux scientifiques et ces domaines de compétence s'inscrivent dans une optique de compréhension fine des phénomènes, de leurs impacts sur les dommages assurés et sur le rôle de la prévention.

Le renforcement de la coopération avec nos partenaires et les nouveaux projets portant sur l'amélioration des méthodes d'estimation des bénéfices de la prévention sont au cœur de ce rapport présentant les travaux de l'année 2018.

CCR, en partenariat avec les organismes scientifiques français reconnus dans ces domaines, poursuit le développement de modèles permettant de simuler l'aléa naturel (zones inondées lors d'un événement par exemple) et ses conséquences en termes de dommages assurés ou économiques au sens large (Figure 1). Depuis quelques années, CCR partage son expertise et les résultats de ses modèles avec ses clients (les assureurs), les collectivités locales et les pouvoirs publics, afin de contribuer à la mise en œuvre de la politique nationale de prévention des risques et de sensibilisation des populations. CCR est fortement mobilisée en faveur de la promotion de la science par son engagement au niveau national et européen : projets de recherches, publications scientifiques, co-encadrement de thèses, colloques, cours universitaires (Institut de Science Financière et d'Assurance (ISFA), École des Ingénieurs de la ville de Paris, EURo Institut d'Actuariat Brest, etc.). Depuis 2015, le prix CCR Cat, s'engage à valoriser un travail de recherche innovant, en récompensant une thèse de doctorat consacrée à la connaissance des catastrophes naturelles, son application aux métiers de l'assurance et de la prévention des risques.

L'année 2018 a été particulièrement marquée par la réalisation d'une nouvelle étude portant sur l'impact du changement climatique sur les dommages assurés à l'horizon 2050 ainsi que par la simulation d'événements naturels majeurs : la modélisation de la crue de la Seine et de la Marne en janvier, l'inondation de l'Aude en octobre et une sécheresse aux conséquences importantes.

Figure 1 : Outils de modélisation développés



LA MODÉLISATION DES ÉVÉNEMENTS NATURELS MAJEURS DE L'ANNÉE 2018

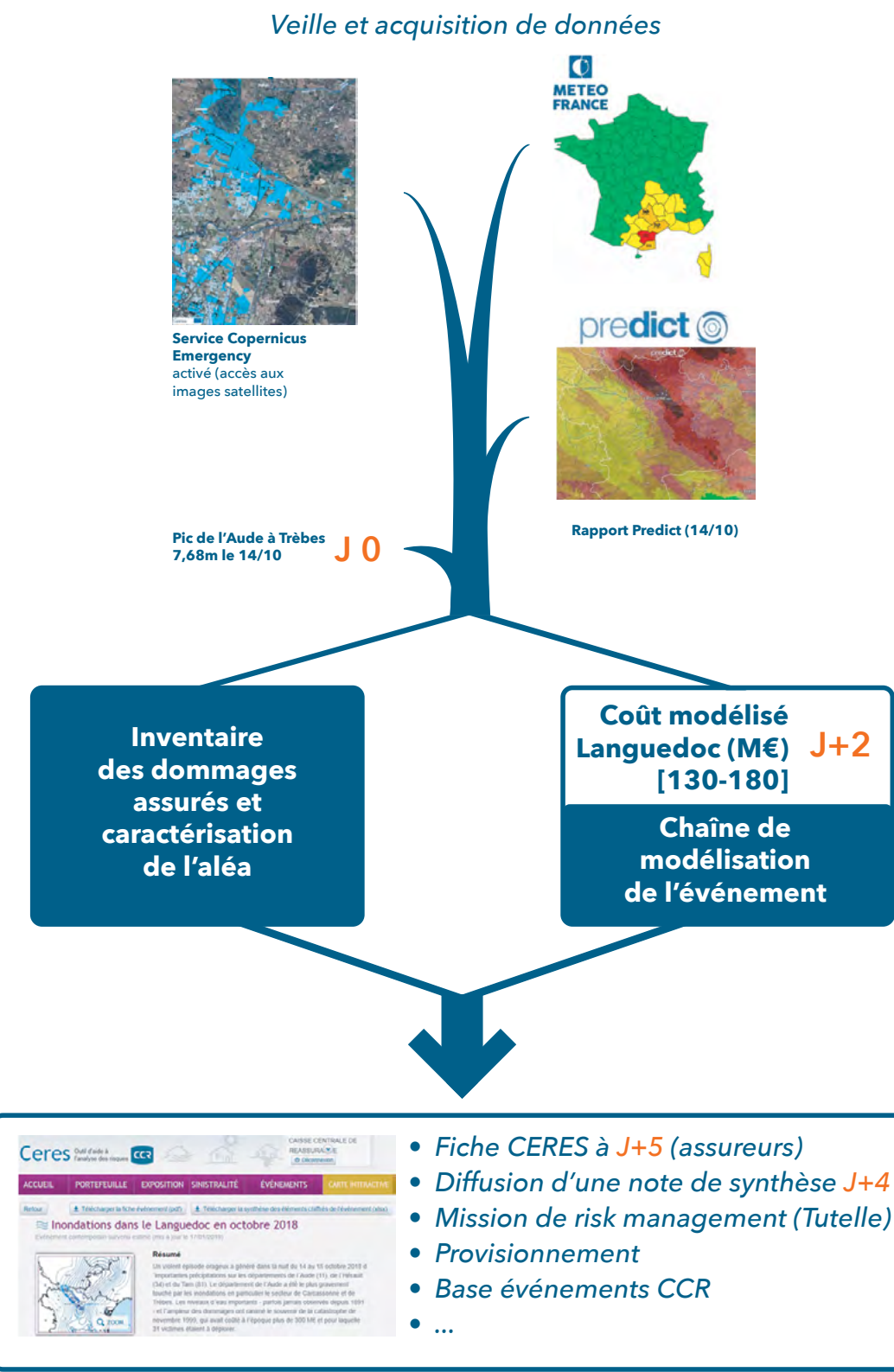
CCR a mis en place une activité de suivi et de modélisation des catastrophes naturelles, tout au long de l'année, pour être en mesure de fournir une estimation rapide des dommages assurés d'un événement survenant en Métropole et en Outre-Mer. Ce suivi est mené en partenariat avec **Météo-France** et la société **Predict**. Il repose sur l'utilisation des données de **Vigicrue** et du **Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI)**.

Le processus repose sur la collecte de données en temps réel sur l'aléa et d'informations sur la nature des dommages observés (Figure 2).

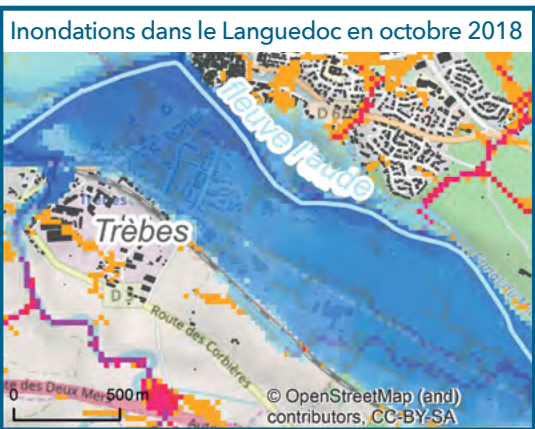
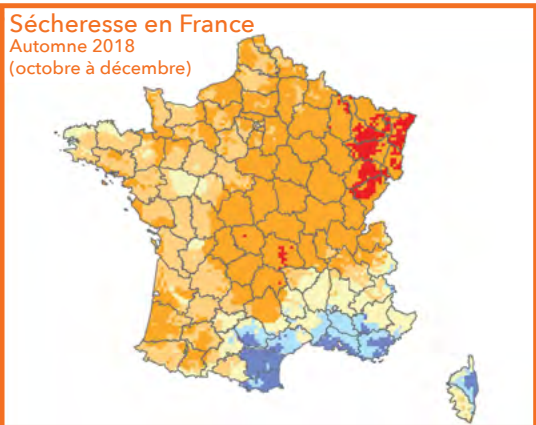
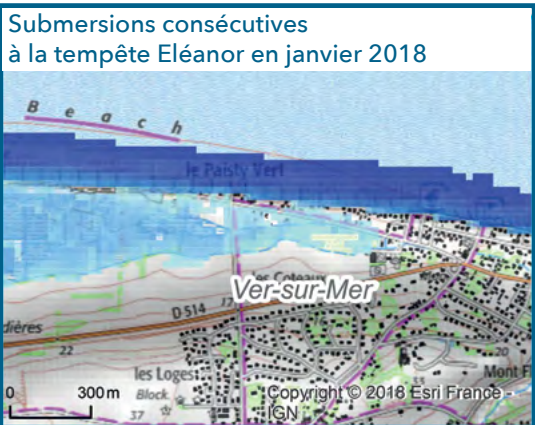
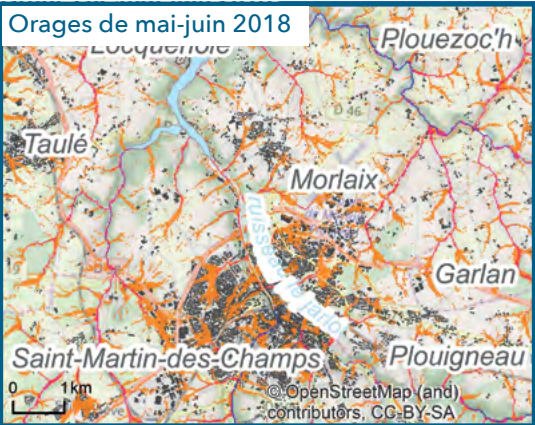
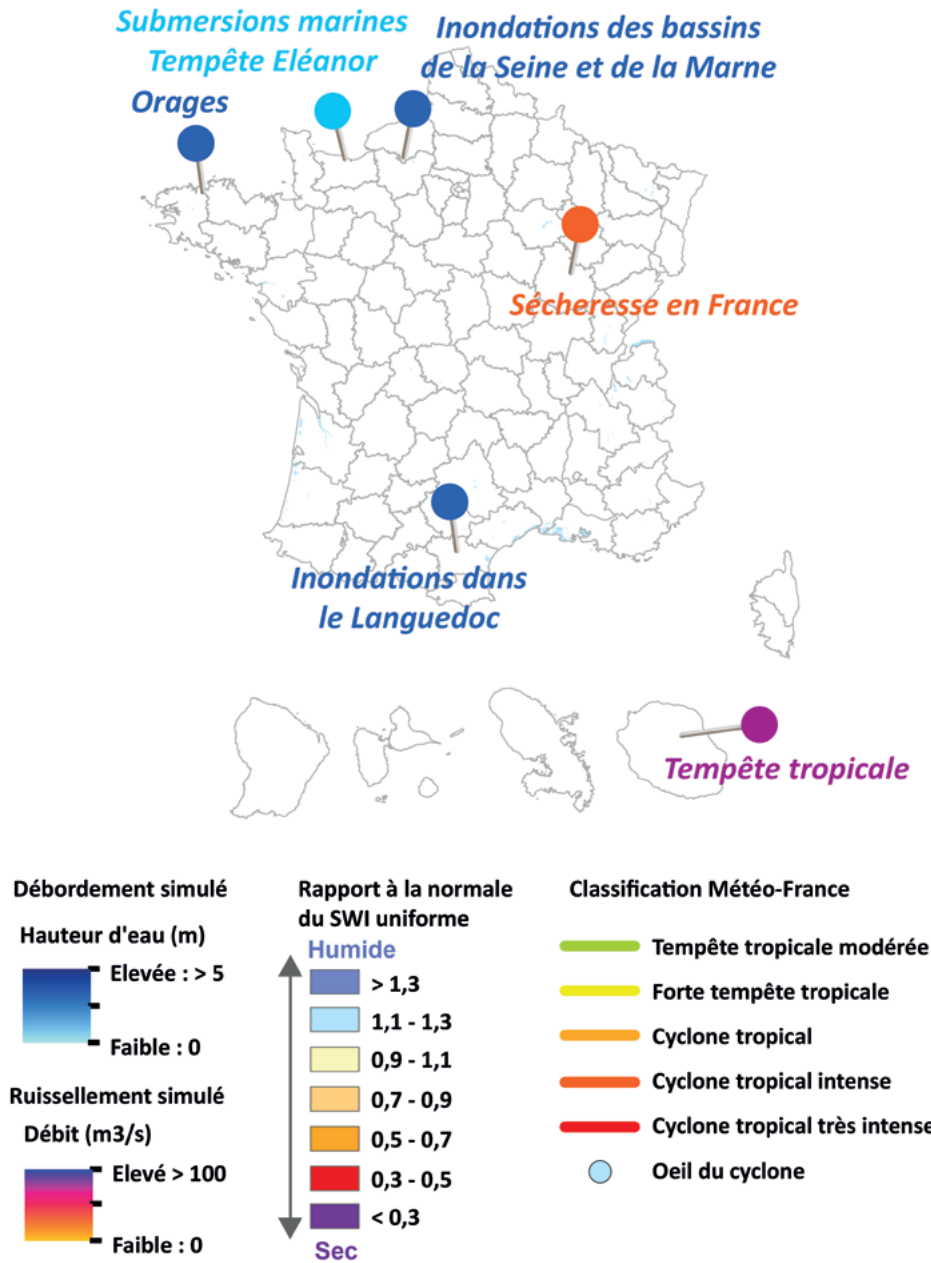
Le département Analyse et Modélisation des Risques Cat assure ensuite la simulation de l'aléa, sa cartographie sous SIG et l'estimation des dommages assurés dans un délai de 5 jours à l'aide des modèles développés en interne.

Après une année 2017 marquée par les ouragans Irma et Maria frappant Saint-Martin et Saint-Barthélemy, le premier semestre de l'année 2018 a débuté par de nombreuses tempêtes qui ont affecté l'Hexagone se traduisant par d'importantes inondations et submersions marines.

Figure 2 : Processus de suivi et de modélisation des événements, l'exemple de l'Aude en octobre 2018



Modélisation des événements majeurs de l'année 2018



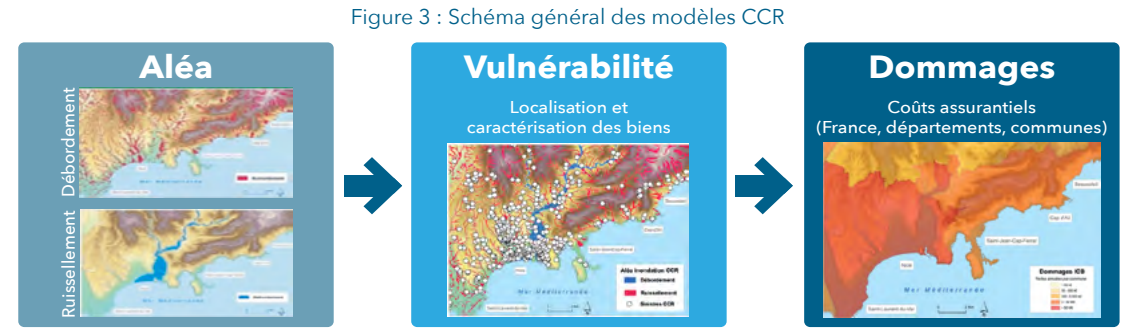
LES RISQUES HYDROLOGIQUES

LE MODÈLE INONDATIONS

En France métropolitaine et dans les Outre-Mer, les risques hydrologiques sont les phénomènes de débordement de cours d'eau, de ruissellement notamment urbain et de remontées de nappes phréatiques. Ils représentent depuis 1982, le principal enjeu en termes de sinistralité annuelle et de sinistralité extrême. Depuis 2018, en parallèle de l'amélioration de nos outils de simulation, l'accent s'est porté sur l'utilisation des modèles pour l'évaluation de l'efficacité de la prévention et sur la mise au point d'une méthode opérationnelle de simulation des dommages des crues éclair.

Pour réaliser ces estimations, pour chaque péril, un modèle de simulation de catalogue d'événements fictifs et un modèle de simulation d'événements réels ont été développés. Cette modélisation passe de l'aléa à l'analyse

de la vulnérabilité jusqu'à l'estimation des dommages assurés (Figure 3). Le chapitre suivant présente les derniers travaux réalisés sur ces différents modèles.



Premier modèle développé chez CCR, le modèle inondations fait l'objet d'un développement continu, donnant lieu à la livraison d'une nouvelle version en moyenne chaque année¹. Le modèle de ruissellement est un modèle hydrologique distribué sur une maille de 25m simulant à la fois les écoulements de surface (ruissellement), l'infiltration et les écoulements sub-surface.

CES CARTOGRAPHIES ET L'ESTIMATION DES DOMMAGES SONT ÉGALEMENT DIFFUSÉES AUX POUVOIRS PUBLICS, AUX PARTENAIRES ET AUX CLIENTS DE CCR.

Le modèle de débordement permet de simuler les débits et les hauteurs d'eau pour les cours d'eau jaugés de France métropolitaine. Lorsque le cours d'eau déborde au-delà d'un certain seuil, la zone inondée est calculée en fonction de l'altitude pour chaque maille de 25m.

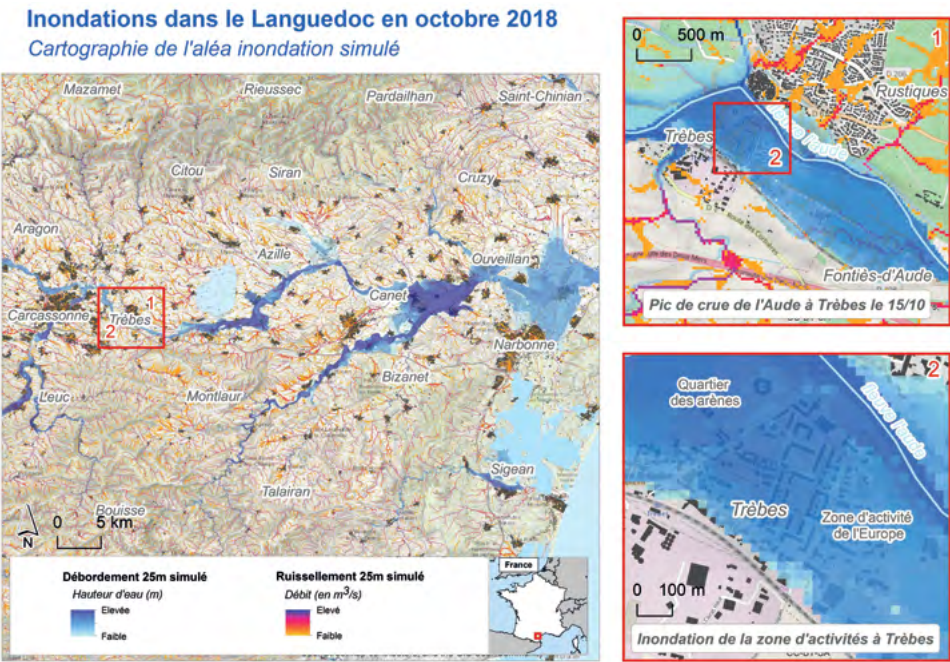
Le choix de modéliser ces deux aléas a été pris en analysant la sinistralité inondations survenue depuis 1982 et pour laquelle CCR dispose de données détaillées. Cette version du modèle inondations a notamment intégré de nouvelles fonctions d'infiltration et de calcul des écoulements de surface, ainsi qu'une nouvelle méthode de modélisation de l'extension des zones de crue à partir de la hauteur du cours d'eau. Chacune de ces versions du modèle fait l'objet d'un recalibrage complet du modèle de dommages.

Cette nouvelle version du modèle d'aléa inondations a été appliquée :

- lors de la simulation du ruissellement des événements survenus en 2018 (notamment les inondations en Île-de-France au cours des mois de janvier-février, et de l'Aude en octobre, Figure 4);
- pour la réalisation de nouvelles cartes d'aléa probabiliste à partir des données de pluies des scénarios climatiques Météo-France livrées en 2018 (scénario à climat actuel et scénario RCP² 8.5 à climat futur 2050, cf. étude changement climatique).

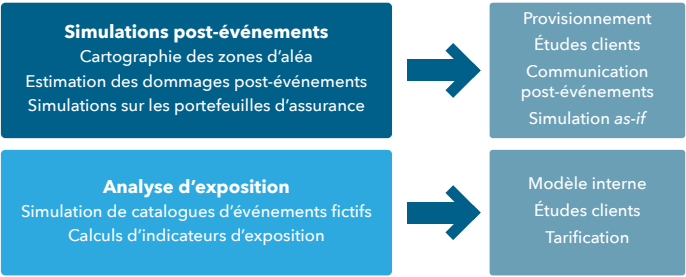
1 Moncoulon D., Labat D., Ardon J., Leblois E., Onfroy T., Poulard C., Aji S., Remy A. and Quantin A., 2014 : Analysis of the French insurance market to floods : a stochastic model combining river overflow and surface runoff. Nat. Hazard Earth System Sci., 14, 2468-2485.
2 Les scénarios Representative Concentration Pathway RCP sont des scénarios d'émission de gaz à effet de serre.

Figure 4 : Cartographie du débordement et du ruissellement simulés pour l'événement survenu dans l'Aude en octobre 2018



En parallèle de cette méthode de simulation d'événements, une modélisation probabiliste a été développée pour les deux périls : ruissellement et débordement. Il s'agit de simuler la plupart des événements possibles sur l'ensemble du territoire afin de disposer d'une vision complète de l'exposition. La Figure 5 présente de manière synthétique les objectifs des deux versions du modèle : simulations d'événements réels et d'événements fictifs.

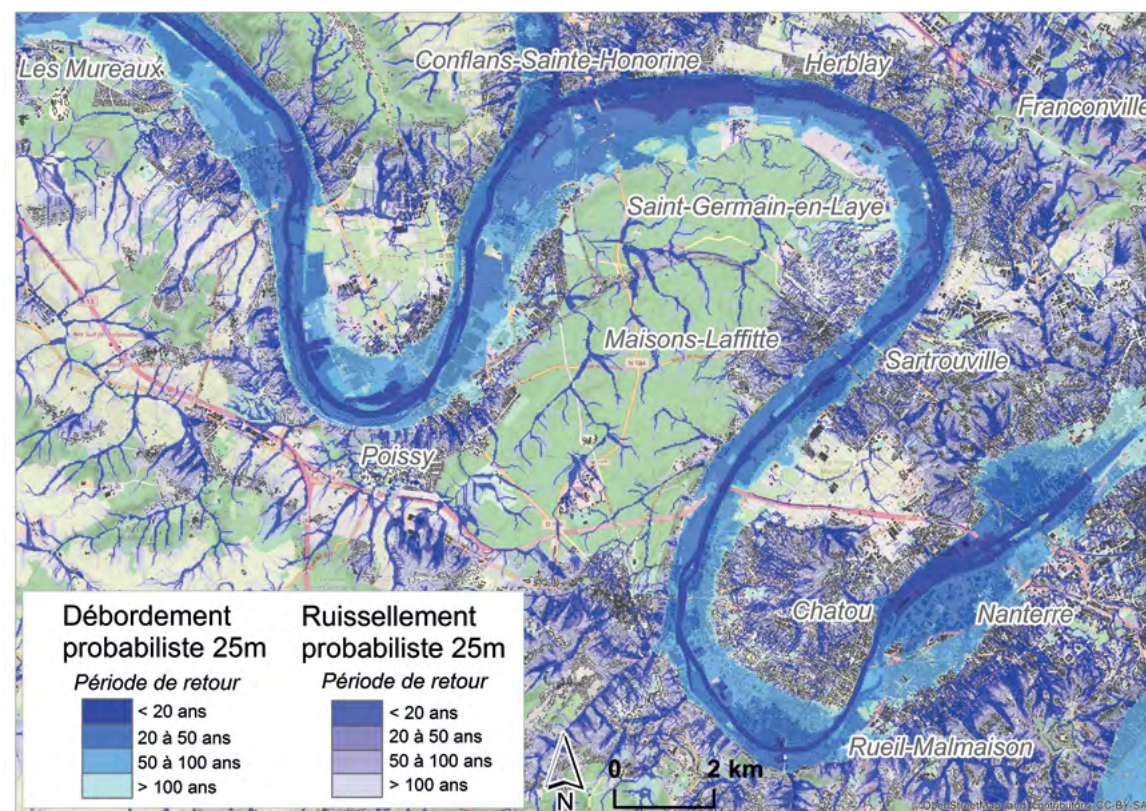
Figure 5 : L'approche probabiliste et déterministe



La méthode de simulation du débordement fictif s'appuie sur le calage de lois statistiques sur les données historiques de débits mesurés aux stations hydrométriques présentes sur les cours d'eau (données de la Banque HYDRO). À partir de ces données, il est possible de déterminer les quantiles de débits correspondant à différentes périodes de retour. La zone de débordement issue des données de débits fournit une cartographie de l'aléa pour la période de retour considérée. À titre d'exemple, un secteur impacté par un débordement pour une période de retour de 20 ans risque d'être inondé en moyenne au moins tous les 20 ans (Figure 6).

La modélisation du ruissellement fictif repose sur un catalogue d'un millier d'événements fictifs détectés et simulés à partir des données de précipitations issues du modèle climatique ARPEGE-Climat développé par Météo-France. Il s'agit d'un modèle de circulation atmosphérique global s'appuyant notamment sur la base SAFRAN (base de données historiques des précipitations quotidiennes en France métropolitaine) pour la descente vers une échelle fine (pas de temps horaire et sur une maille de 64 km²). La probabilité de survenance du ruissellement est représentée par une cartographie des périodes de retour de l'aléa.

Figure 6 : Débordement et ruissellement fictifs simulés dans le bassin de la Seine en aval de Paris



Sur la thématique des inondations, CCR participe à deux projets de recherche : le projet ANR (Agence Nationale de la Recherche) PICS et le projet européen H2020 NAIAD. Ces projets permettent

de se focaliser sur des problématiques particulières telles que les crues soudaines ou encore l'analyse coût-bénéfice des Solutions fondées sur la Nature (SfN).

LA TÉLÉDÉTECTION EN APPUI DE LA SIMULATION POST-ÉVÉNEMENTS

Approche complémentaire à la simulation par des modèles numériques, la télédétection permet notamment de vérifier la cohérence entre aléa observé et aléa simulé quelques jours après la survenance d'un événement.

Les données d'imagerie participent à la validation des résultats de la modélisation et à l'évaluation des dommages. Les images brutes sont issues de la plateforme Open Data Copernicus de l'**Agence Spatiale Européenne** (ESA). Ces données acquises par les satellites Sentinel-1 (imagerie radar à 10m de résolution) et Sentinel-2 (imagerie optique de 10m à 20m de résolution) sont traitées en interne à l'aide du logiciel de télédétection Sentinel Application Platform (SNAP) de l'ESA. Les résultats obtenus sont comparés avec les sorties des modèles, notamment sur les secteurs à forts enjeux et sur les zones les plus impactées lors de l'événement.

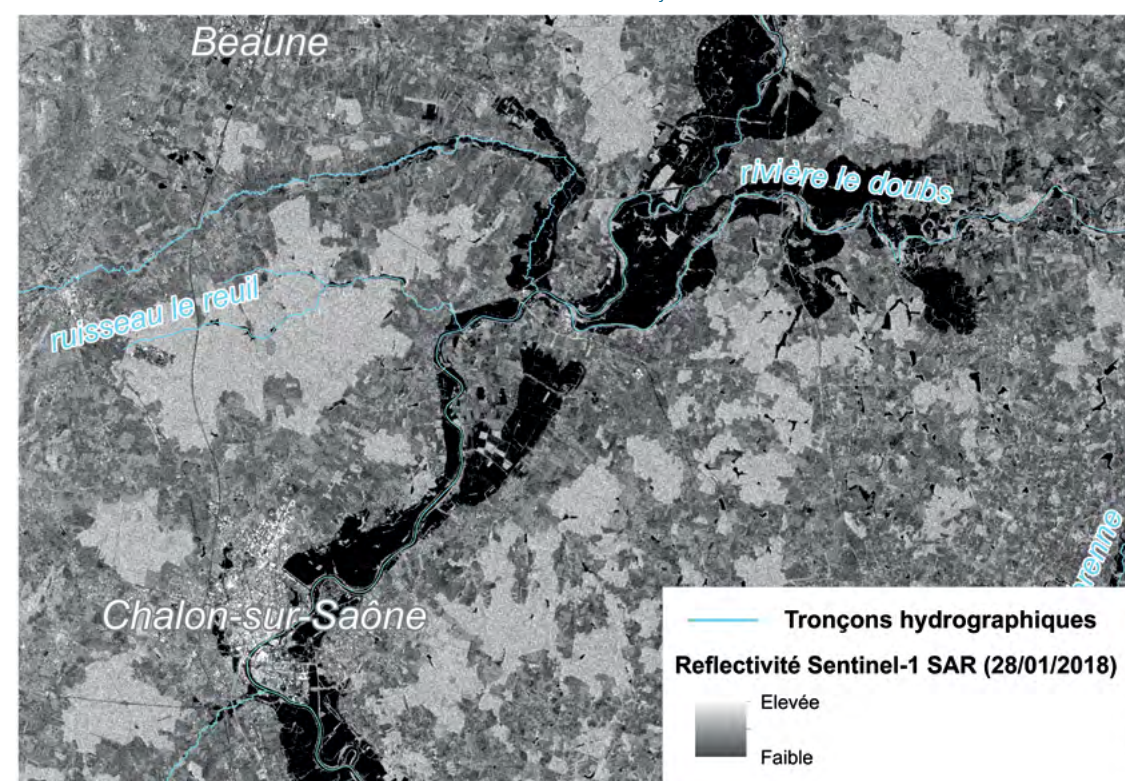
Les apports des images satellites dans l'étude des inondations sont divers depuis la démarcation des emprises inondées à la détection des ruptures de digues et de l'humidité du sol. Dans le cadre d'un partenariat mis en place depuis 2013, lors d'événements majeurs, le **Service Régional de Traitement d'Image et de Télédétection** (SERTIT) fournit à CCR des données SIG et des analyses cartographiques correspondant aux zones d'aléa observées.

TÉLÉDÉTECTION ET RECONSTRUCTION

Les images de télédétection permettent également de suivre l'évolution post-catastrophe. Ainsi, le **Centre National d'Études Spatiales** (CNES) a transmis tout au long de l'année 2018, des rapports sur l'état de la reconstruction des îles de Saint-Martin et Saint-Barthélemy suite au passage de l'ouragan Irma. Ces images spatiales issues des satellites Pléiades 1A et 1B – à 70cm de résolution – ont été délivrées à CCR dans le cadre de la charte internationale Espace et Catastrophes Majeures.

Les satellites radar de type Sentinel-1 (ESA Copernicus) ont l'avantage de permettre une acquisition de nuit et une observation de la surface terrestre à travers les nuages (Figure 7). Ces derniers produisent de bonnes images des inondations, surtout en ce qui concerne le débordement des cours d'eau.

Figure 7 : Image Sentinel-1 radar du débordement de la Saône et du Doubs en janvier 2018

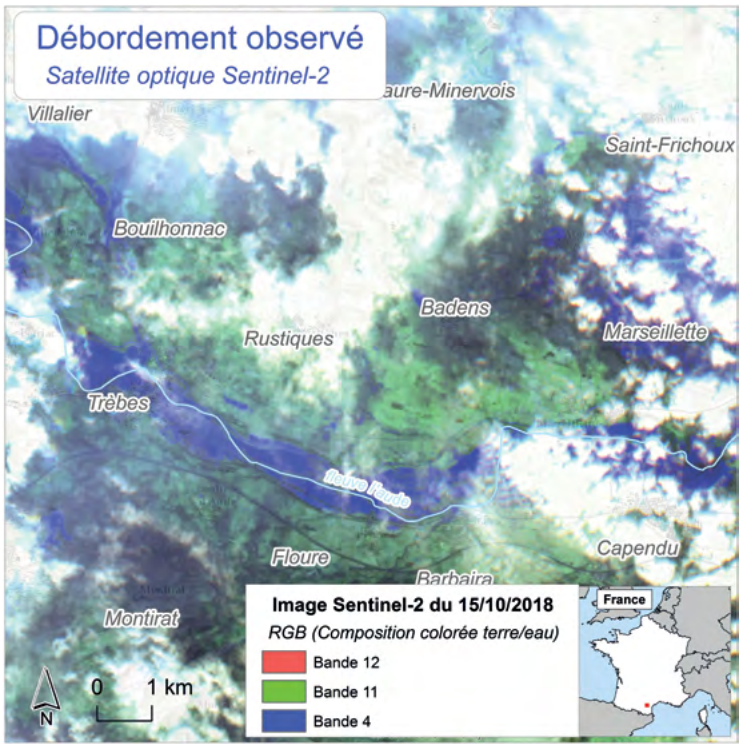


Les satellites optiques de type Sentinel-2 (ESA Copernicus) et leurs capteurs multispectraux embarqués permettent de délimiter les zones inondées, jusqu'à quelques jours après un événement (Figure 8).

Figure 8 : Inondations de l'Aude en octobre 2018 dans le secteur de Trèbes :
(a) comparaison entre l'aléa simulé et



(b) les emprises observées sur l'image optique Sentinel-2



MODÉLISATION DES CRUES SOUDAINES : LE PROJET ANR PICS



www.pics.ifsttar.fr

La problématique de la modélisation des crues éclaircies est au cœur du projet « **Prévision Intégrée des Crues Soudaines** » (PICS¹), financé par l'**Agence Nationale de la Recherche** (ANR) et rassemblant 8 partenaires (**Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux** (Ifsttar), **Institut des Géosciences de l'Environnement** (IGE), **Centre National de Recherches Météorologiques** (CNRM), **Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture** (IRSTEA), **Centre d'Études et d'expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement** (Cerema), **Geosciences Rennes**, **SCHAPI** et CCR). Ce projet porte sur le développement d'une chaîne intégrée de prévision et d'estimation des impacts socio-économiques des crues éclaircies.

Le projet se décompose en 4 thématiques de travail. La première est celle des prévisions hydro-météorologiques et a pour objectif d'évaluer et d'améliorer l'anticipation des crues éclaircies à partir de modèles météorologiques et d'observations radar. Le second volet vise quant à lui à développer des méthodes pour cartographier les inondations. CCR intervient dans le 3^e volet qui traite de la modélisation des impacts des inondations. Ces impacts peuvent être évalués en termes de dommages aux biens et d'impact sur les personnes en fonction de leurs comportements et déplacements. Afin d'intégrer les utilisateurs potentiels des outils développés, que sont les services des mairies, les services de prévision des crues, les pompiers, EDF, la SNCF ou encore les assureurs, un 4^e volet porte sur le partage des connaissances et la valorisation du projet auprès des acteurs de la prévention et de la gestion du risque.

¹ Mis en oeuvre pour 4 ans (2018-2022) et coordonné par l'Ifsttar. Contact CCR : jnaulin@ccr.fr

ANALYSE COÛT-BÉNÉFICE DES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE : LE PROJET H2020 NAIAD



La résilience des territoires face aux risques naturels et au changement climatique constitue l'enjeu du projet « **NA**ture Insurance Value : **A**ssessment and **D**emonstration » (NAIAD¹). Constitué de 23 partenaires, dont 3 en France (**Bureau de Recherches Géologiques et Minières** (BRGM), **IRSTEA**, **Université de Nice Sophia Antipolis** et CCR), ce projet a pour objectif d'évaluer et démontrer la pertinence de Solutions Fondées sur la Nature (SfN), comme mesures de prévention pour la réduction des risques liés à l'eau (inondations et sécheresses). Neuf projets pilotes s'intéressent aujourd'hui à l'évaluation des services de prévention et à la comparaison de différents scénarios d'aménagement reposant ou non sur ces solutions.

Ce projet repose sur le partage de l'expertise sur la modélisation des aléas de débordement de fleuve et de ruissellement urbain.

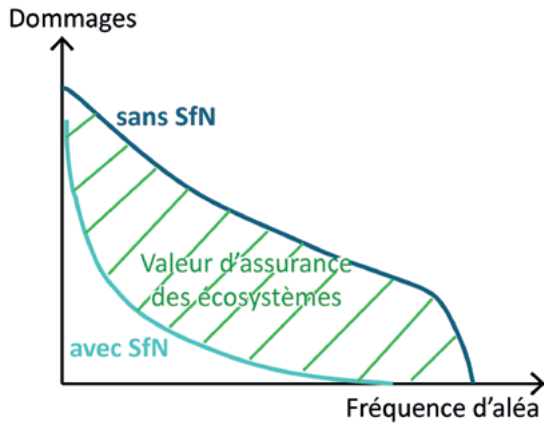
Cette année, en coopération avec le BRGM et IRSTEA, des améliorations du modèle inondations ont été réalisées. Les deux sites sont exposés à différents aléas :

- le site du Lez (Montpellier) : un fort ruissellement urbain lors d'événements cévenols,
- la Brague (Antibes/Biot) : effet cascade : feux de forêts suivis de crues torrentielles (Figure 9).

Outre un regard porté sur l'acceptabilité sociale des SfN comme mesures de protection, le projet intègre d'importantes recherches en termes de modélisation de l'aléa, d'évaluation des co-bénéfices, d'atelier d'échanges, de mise en œuvre d'instruments économiques et financiers, de connaissances sur les systèmes européens d'assurance des catastrophes naturelles² et d'évaluation de la vulnérabilité. La mise en place de cette collaboration se veut durable à la fois entre les partenaires du projet et localement entre les acteurs du territoire. Au sein du projet, CCR participe aussi à la définition d'instruments économiques et financiers stratégiques pour une gestion des risques reposant sur la prévention via les solutions vertes.

Dans un premier temps, l'objectif est de modéliser le risque inondation en milieu urbain méditerranéen en se basant sur les événements cévenols (2014) et orageux (2015). Les recherches dans le cadre de ce projet participent à une amélioration du modèle

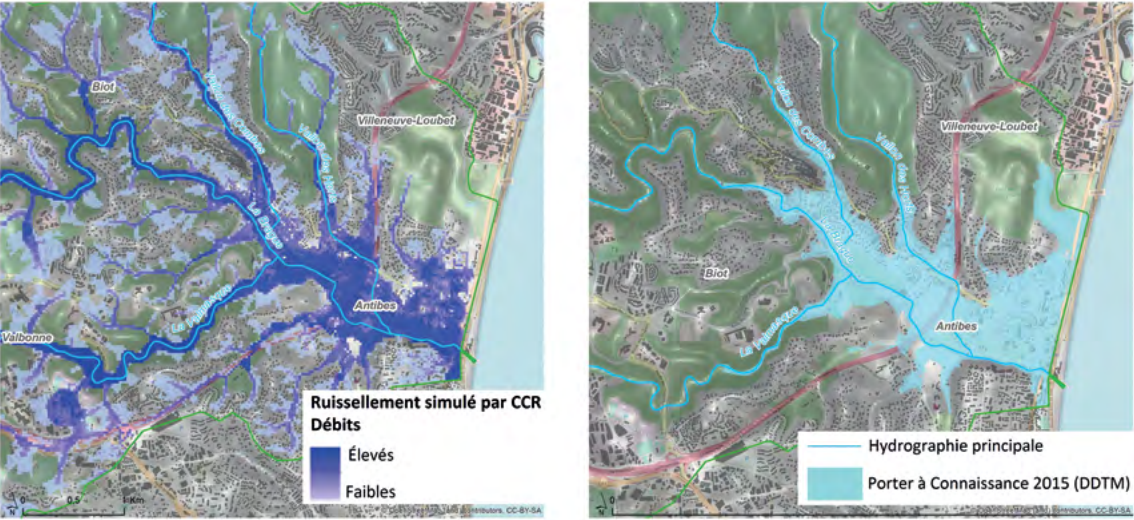
Figure 10 : Valeur d'assurance des écosystèmes



inondations en intégrant des informations plus fines sur le territoire et en effectuant des modifications de calibrage.

Ces croisements entre données cartographiques plus fines et données marché s'inscrivent dans un but essentiellement préventif. En effet, les recherches en termes de calibrage du modèle participent à une meilleure compréhension de la vulnérabilité urbaine en aval des SfN. Ceci permet donc de définir des scénarios de SfN et de comparer leur efficacité en termes de réduction de l'aléa et de dommages évités (Figure 10). Les partenaires du projet s'intéressent quant à eux aux co-bénéfices des SfN. Une telle approche permet d'apporter aux décideurs une analyse multicritère pour définir des SfN pertinentes pour le site DEMO et répondant simultanément aux contraintes techniques, économiques et environnementales.

Figure 9 : Comparaison entre l'aléa simulé (a) et la zone inondée (b)



1 Mis en oeuvre pour 3 ans (2016-2019) et coordonné par la Confédération Hydraulique du Duero (Espagne). Contact CCR : rmarchal@ccr.fr

2 Marchal R., Piton G., Tacnet J.-M., Zorrilla-Miras P., Lopez-Gunn E., Moncoulon D., Altamirano M., Matthews J., Joyce J., Nanu F., Groza I., Peña K., Dartée K., Pengal P., Cokan B., Van der Keur P., Burke S., Graveline N., 2017, European survey on insurance systems and Natural Assurance Scheme (NAS), EU Horizon 2020 NAIAD Project.



**LES RISQUES
LITTORAUX**

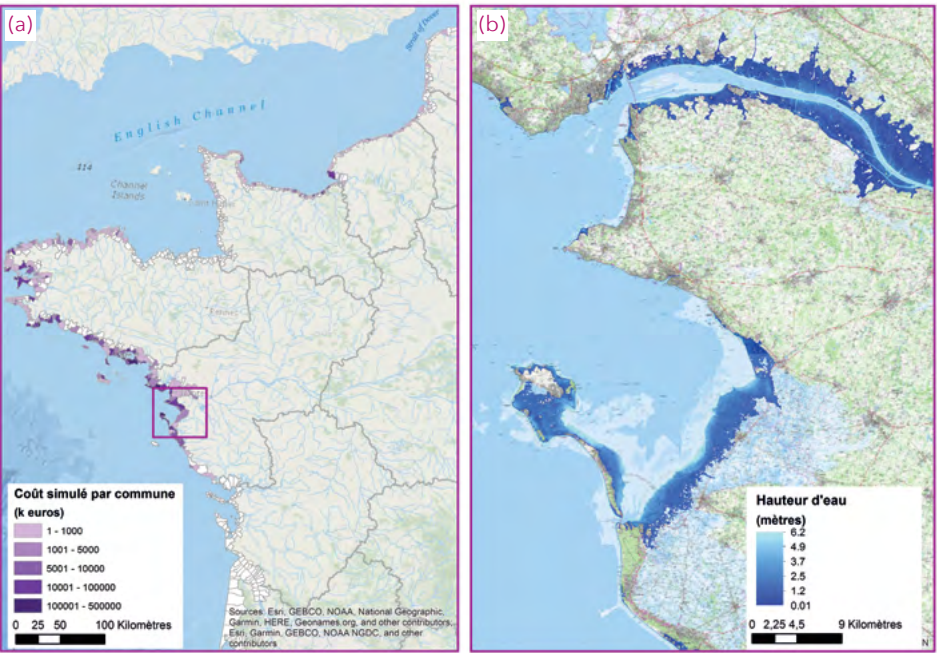
LES SUBMERSIONS MARINES

À l'interface entre terre et mer, le littoral est un territoire exposé qui concentre un grand nombre d'enjeux. CCR développe depuis plusieurs années un modèle pour estimer l'impact des submersions marines. Trois points ont été approfondis en 2018 sur cette thématique : l'estimation de l'incertitude dans le modèle, les phénomènes de tsunami et la problématique de l'érosion côtière.

Le modèle submersion marine permet d'estimer l'impact des inondations côtières qui peuvent survenir au passage des tempêtes. L'estimation de l'aléa, décrite dans Naulin et al. (2016)¹, s'effectue en trois étapes. La première est celle de l'estimation de la marée et de la surcote atmosphérique. Elle est basée sur la modélisation hydrodynamique du phénomène grâce au modèle Télémac 2D (Telemac-Mascaret²). Une fois les niveaux d'eau estimés, les vagues en mer sont modélisées grâce au modèle Tomawac, issu de la même suite de logiciels. Ces deux étapes peuvent également être remplacées par l'utilisation des sorties de modèles produites dans le cadre du projet Modélisation et Analyse pour la Recherche Côtière, (MARC³).

La troisième étape est celle de l'estimation de l'impact de l'inondation dans les terres. Pour ce faire, les niveaux d'eau en mer et les caractéristiques de vagues alimentent un modèle hydraulique 2D qui propage l'eau sur un modèle numérique de terrain (MNT). Les développements récents du modèle ont permis de passer du MNT Intermap au MNT de la BD Alti® de l'Institut Géographique National (IGN) présentant une résolution de 25m. Le modèle est également mis en œuvre dans les Antilles et à La Réunion avec une résolution de 5m grâce au MNT Litto3D®. Comme le montre la figure 11, le résultat du modèle d'aléa consiste en l'estimation des hauteurs d'eau maximales atteintes par l'inondation dans les terres et est utilisé pour modéliser les dommages.

Figure 11 : Exemple de résultat du modèle submersion marine pour un événement fictif basé sur la tempête de 1987. L'estimation des pertes par commune (a) et l'estimation des hauteurs d'eau lors de l'événement (b).



1 Naulin J. P., Moncoulon D., Le Roy S., Pedreros R., Idier D., et Oliveros C. 2016, Estimation of Insurance-Related Losses Resulting from Coastal Flooding in France. Natural Hazards and Earth System Sciences 16, n°1 : 195-207. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-195-2016>.
2 Hervouet, J.-M., et L. Van Haren, 1996, TELEMAC2D Version 3.0 Principle Note. Electricité de France. Chatou Cedex : Département Laboratoire National d'Hydraulique.
3 Les données Marc sont disponibles sur le site : <https://marc.ifremer.fr/resultats/vagues>

ESTIMATION DES SOURCES D'INCERTITUDE DANS LE MODÈLE SUBMERSIONS MARINES

Les résultats des modèles d'impacts présentent de nombreuses incertitudes liées notamment à la qualité des données topographiques et météorologiques utilisées, à des simplifications effectuées dans les modèles physiques ou encore à des imperfections relatives aux données assurantielles. Pour rendre compte de ces incertitudes, les coûts calculés sont généralement accompagnés d'intervalles de confiance. Cependant, ceux-ci rendent uniquement compte de l'incertitude globale et il peut être intéressant d'identifier plus précisément les sources d'incertitude. Cette identification permet en effet de prioriser les fonctionnalités

La méta-modélisation pour estimer les sources d'incertitudes dans la chaîne de modélisation des submersions marines
Doctorante : **Élodie Perrin**
Directeur et co-directeurs : **Olivier Roustant** (École des Mines de Saint-Etienne), **Jérémy Rohmer** (BRGM), **David Moncoulon** (CCR)

Il s'agit de modèles mathématiques qui sont ajustés sur un échantillon de simulations et qui sont beaucoup plus rapides à mettre en œuvre. Cette rapidité permet d'effectuer un grand nombre de simulations, de tester les variations de nombreux paramètres et de calibrer les modèles.

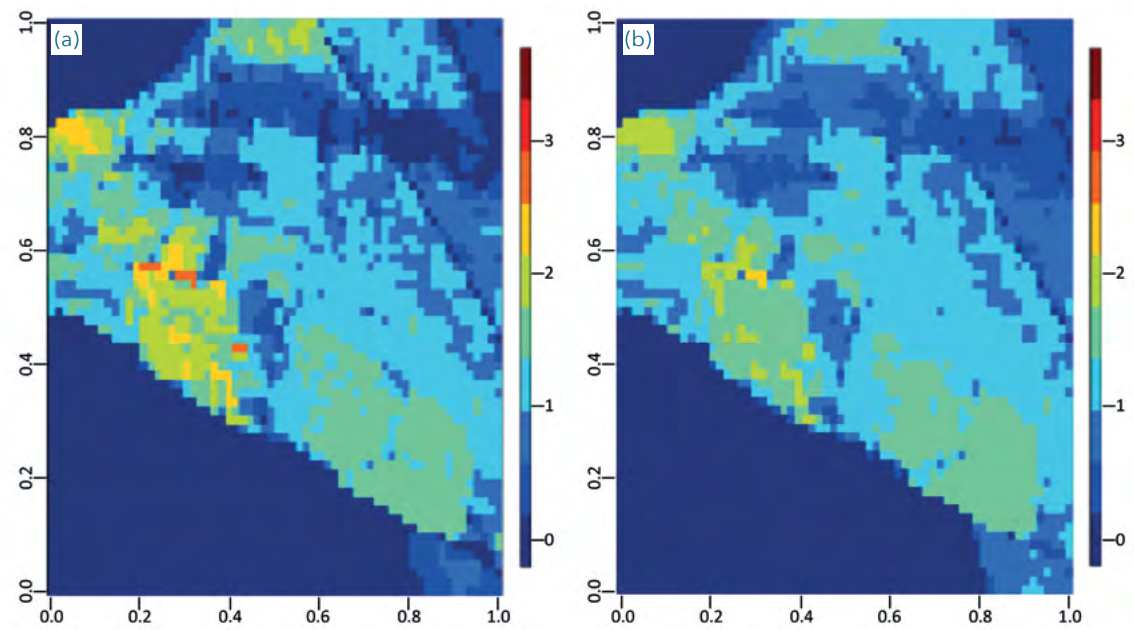
Le méta-modèle développé en fine est basé sur une approche d'analyse en composantes principales fonctionnelles utilisant les techniques de décomposition en ondelettes et le krigeage. Le méta-modèle est appliqué à la fois sur le modèle d'aléa CCR et sur le modèle développé par le BRGM

qui peuvent être améliorées dans les modèles. Une thèse a débuté en 2018, en partenariat avec le BRGM et l'École des Mines de Saint-Etienne, pour identifier ces incertitudes dans la chaîne de modélisation des submersions marines.

dans le secteur des Boucholers (Charente-Maritime) (figure 12). Ce méta-modèle est aussi testé sur l'île de La Réunion dans le contexte des submersions d'origine cyclonique. Enfin, un travail est également réalisé pour propager l'incertitude dans la chaîne de modélisation afin de comprendre, par exemple, quelle peut être l'influence d'une erreur des données d'entrée sur le résultat final.

L'approche proposée dans cette thèse repose sur la création de méta-modèles pour se substituer aux modèles physiques utilisés initialement.

Figure 12 : Comparaison entre les hauteurs d'eau simulées par le modèle d'aléa submersion marine (a) et le méta-modèle (b) dans le secteur des Boucholers (17)



MODÉLISATION DES TSUNAMIS

Les tsunamis font partie des événements naturels les plus dévastateurs de ces 50 dernières années. Le tsunami survenu au Japon en 2011 est le second en termes de pertes assurées avec 38 milliards de dollars de pertes et 18 451 victimes¹.

Le risque tsunami est présent en France, notamment aux Antilles et dans une moindre mesure en Méditerranée. Afin de pouvoir estimer l'impact qu'un tel événement aurait pour le régime Cat Nat, un premier modèle de dommages a été développé. Pour ce faire, un travail de stage de master 2 a permis de tester et de calibrer le modèle dans l'océan Indien et au Japon, avant de l'appliquer sur le territoire

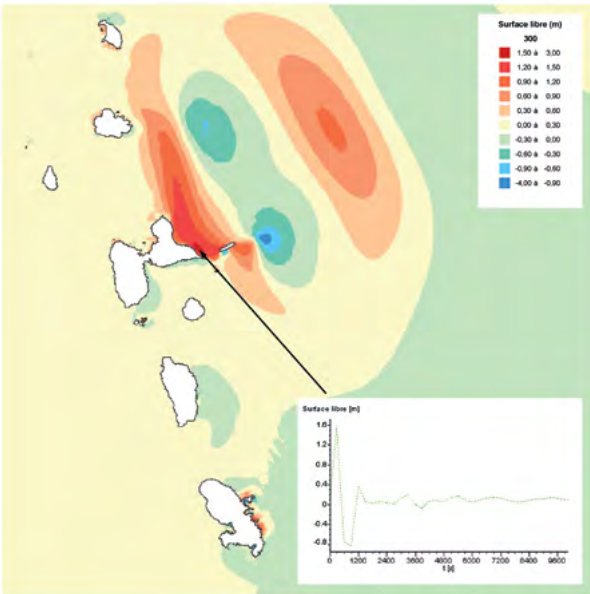
antillais². Trois événements ont été choisis et testés : le tsunami de 2004 en Indonésie, le tsunami de 2011 au Japon et le tsunami de 1843 aux Antilles. Ce dernier est associé à l'un des plus grands séismes historiques de la région Antillaise, au large de la Guadeloupe et d'Antigua, ayant entraîné de sévères dégâts. Le tsunami, en revanche, a été d'amplitude modérée.

Les tsunamis correspondent à une onde océanique superficielle engendrée par un choc tellurique comme un séisme, une éruption volcanique ou un glissement de terrain. Les tsunamis d'origine sismique constituent 81% des cas de tsunamis et sont les plus dommageables.

Ne disposant pas de données de sinistralité liées aux tsunamis, le modèle de dommages a été mis au point en se basant sur les travaux de Suppasri et al. (2013³) relatifs aux dommages du tsunami de 2011 au Japon. L'application du modèle au tsunami de 1843 (Figure 13) a permis d'estimer le montant total des dommages assurés entre 18-47 M€.

Ces travaux se poursuivront en 2019 par la connexion du modèle tsunami avec le modèle probabiliste séisme. Cette jonction des deux modèles permettra de simuler des événements fictifs extrêmes afin d'analyser l'exposition du territoire antillais à ce risque.

Figure 13 : Niveaux d'eau simulés en mer 5 minutes après le déclenchement du tsunami de 1843 au large de la Guadeloupe d'après le Scénario de Feuillet et al. 2011



1 Swiss Re, 2018, Sigma : Natural catastrophes and man-made disasters in 2017 : a year of record-breaking losses.
2 Roudon A., 2018, Elaboration d'un premier modèle opérationnel de risque tsunami aux Antilles, Mémoire de fin d'étude (Université de la Sorbonne).
3 Suppasri Anawat, Erick Mas, Ingrid Charvet, Rashmin Gunasekera, Kentaro Imai, Yo Fukutani, Yoshi Abe, et Fumihiko Imamura. Building Damage Characteristics Based on Surveyed Data and Fragility Curves of the 2011 Great East Japan Tsunami. Natural Hazards 66, n° 2 (mars 2013) : 319-41. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0487-8>.

ESTIMER L'IMPACT DU RETRAIT DU TRAIT DE CÔTE

En France, l'érosion touche environ 27% des côtes et est favorisée par les épisodes de tempête.

L'élévation de la mer résultant du changement climatique pourrait accélérer les phénomènes d'érosions en limitant notamment le rechargement des plages entre deux tempêtes et en modifiant les régimes des vagues⁴. Des travaux ont ainsi été menés, en parallèle à l'étude climatique CCR Météo-France, pour évaluer l'impact de l'érosion en 2050. La méthodologie développée s'appuie sur l'indicateur national de l'érosion côtière et sur le taux annuel d'évolution du trait de côte fourni par le CEREMA⁵. Cet indicateur a été utilisé pour extrapoler la position du trait de côte en 2050 et de délimiter les zones côtières susceptibles de disparaître (Figure 14).

Lors de l'hiver 2013-2014 certains secteurs ont perdu 40m de plage.

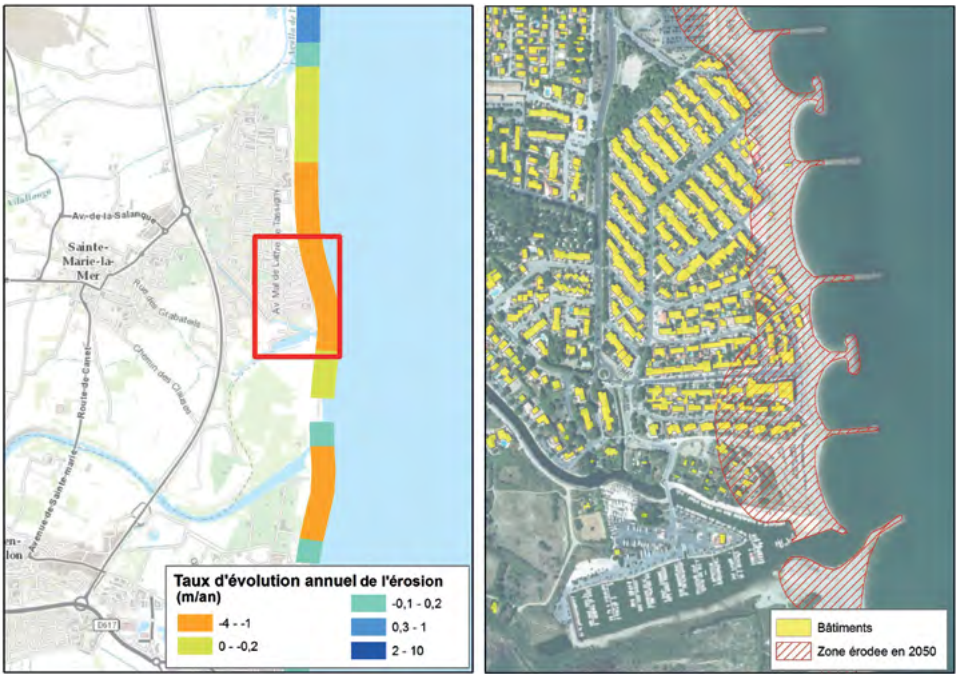
À partir de ce résultat, un décompte du nombre de bâtiments affectés par l'érosion a pu être réalisé. 444 ont été comptabilisés⁶ dans la zone érodée à

l'horizon 2050 et 2778 bâtiments sont directement menacés par l'érosion car situés à moins de 20m de la zone érodée. Ces estimations sont assez cohérentes avec celles réalisées par le CEREMA qui estime que 300 bâtiments seraient exposés à l'horizon 2040 et 2000 à l'horizon 2100. La question qui se pose alors est de savoir si ces phénomènes d'érosion

L'ÉROSION EST DÉFINIE COMME UN GAIN D'ESPACE DE LA MER SUR LA TERRE AU CONTRAIRE DE L'ACCRÉTION QUI EST UN GAIN DE LA TERRE SUR LA MER.

vont accroître l'impact des submersions marines. **Cependant, il est difficile de répondre avec les modèles disponibles qui ne permettent pas encore de simuler l'impact érosif des événements.**

Figure 14 : Dénombrement des bâtiments exposés à l'érosion dans la commune de Sainte-Marie-la-Mer (66)



4 CGDD 2011 Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain, Etude et Document n°55.
5 Hédou F., Roche A., Trmal C., Moraud S., et Deniaud Y., Elaboration de l'indicateur national de l'érosion côtière. In XVèmes Journées, La Rochelle, 647-54. Editions Paralia, 2018. <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2018.075>.
6 Les bâtiments utilisés sont ceux de la BD Topo de l'IGN.

LES RISQUES LIÉS AU VENT

MODÉLISATION DES TEMPÊTES

Le régime des catastrophes naturelles ne couvre pas les tempêtes ; ce péril étant assuré par la garantie Tempête Grêle Neige. CCR s'intéresse cependant à cet aléa souvent associé aux submersions marines afin d'effectuer une analyse complète de la sinistralité lors de ces événements.

Des travaux ont été réalisés en 2016 pour développer un modèle capable d'estimer le coût d'une tempête peu de temps après sa survenance. Les études ont également porté sur l'estimation de l'exposition du territoire français grâce à une approche basée sur le modèle météorologique ARPEGE-Climat de Météo-France.

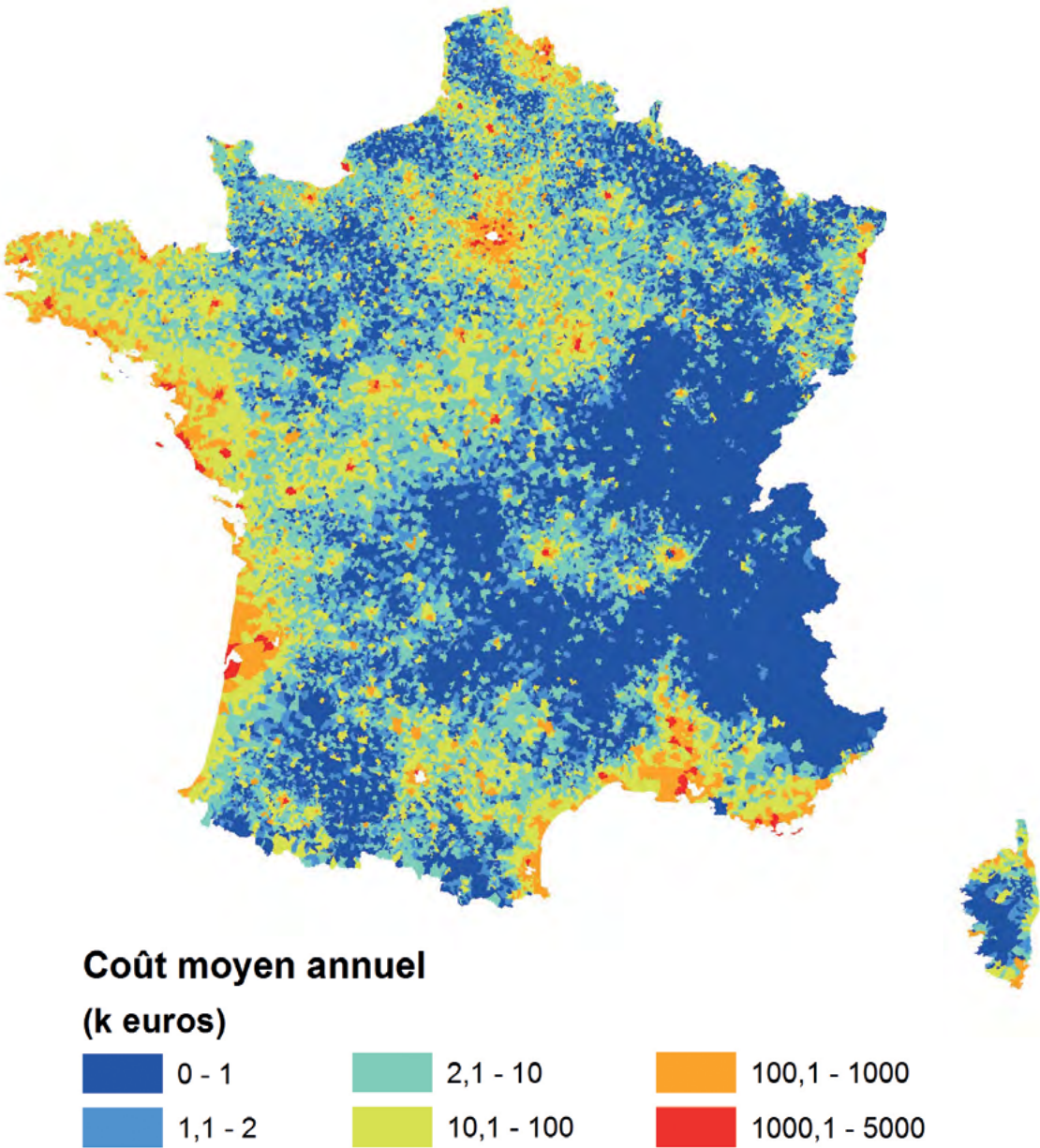
En 2018, un changement de source de données a été testé pour améliorer le modèle. Cette approche ne se base plus sur les données de vitesse de vent d'un modèle, mais sur une méthode stochastique reposant sur les observations réelles aux stations. La base de données d'observation utilisée est la base Global Surface Summary Of the Day (GSOD) de la National Ocean and Atmospheric Administration (NOAA), disponible pour l'ensemble du globe. Cette méthode pourrait ainsi être étendue à d'autres pays selon la disponibilité des stations météorologiques.

D'après les résultats du modèle de dommages, le coût moyen annuel est de 800M€ contre 1 Md€ sur les observations disponibles entre 1998 et 2017.

Ces estimations dépendent fortement des événements majeurs Lothar et Martin (1999). Sans tenir compte de ces derniers, le coût moyen annuel serait de 587M€. Étant donné le caractère exceptionnel des tempêtes de cette intensité, l'estimation des pertes moyennes annuelles à hauteur de 800 M € semble cohérente.

La distribution des pertes en fonction de leur période de retour est également similaire à la distribution des pertes observées et permet de retrouver des événements d'une intensité comparable à Lothar et Martin. Une cartographie des pertes moyennes annuelles a également été obtenue afin d'identifier les zones les plus exposées à la tempête (Figure 15). Cette cartographie montre que le modèle a tendance à sous-estimer l'aléa dans les régions manquant de stations de mesures, notamment les zones montagneuses. La chaîne probabiliste tempête pourrait être améliorée à l'avenir par l'acquisition de données météorologiques supplémentaires.

Figure 15 : Cartographie des pertes moyennes annuelles modélisées par commune

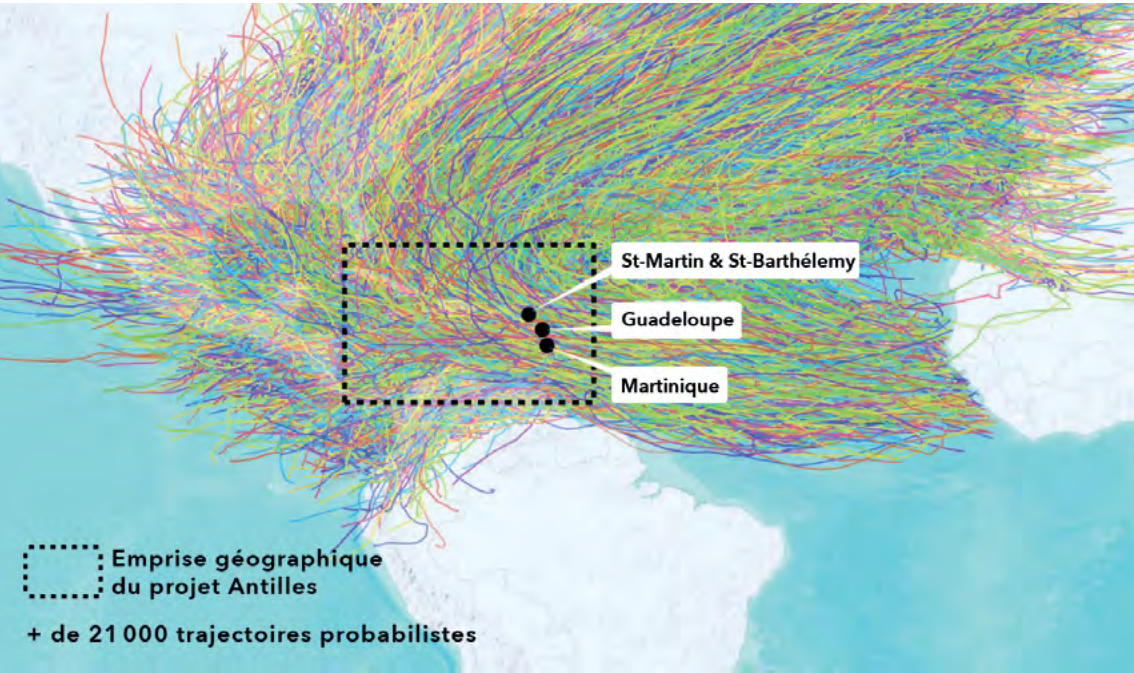


MODÉLISATION DES RISQUES CYCLONIQUES EN OUTRE-MER

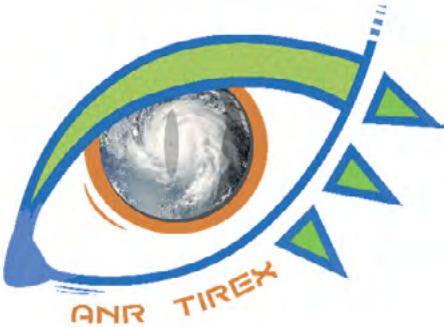
En collaboration depuis 2013 avec la société de modélisation **JBA Risk Management** (Figure 16), ce projet vise à élaborer une distribution probabiliste du coût des vents cycloniques et des aléas inondations et submersions marines associés.

En 2018, les données de sinistralité et de valeurs assurées recueillies par CCR à la suite du cyclone Irma (vitesses de vents, zones d’impact, localisation et montant des sinistres) fournissent l’opportunité d’améliorer le modèle existant vis-à-vis des événements extrêmes présents dans la distribution. Le projet a été mené en juillet-août 2018. Il a donné lieu à un recalibrage des courbes de dommages du modèle, effectué sur le portefeuille marché DOM 2018.

Figure 16 : Cartographie des trajectoires cycloniques en Atlantique Nord



TRANSFERT DE CONNAISSANCES ET RETOUR D'EXPÉRIENCES DANS LES PETITES ANTILLES DU NORD



Le projet ANR TIREX a débuté en 2018. Il est dédié à l’amélioration de l’alerte cyclonique, l’identification des facteurs de vulnérabilité hérités, le renforcement des capacités d’adaptation et de réponse des territoires et des sociétés des Petites Antilles du Nord dans un contexte de changement climatique.

Le projet « Transfert des apprentissages de Retours d’EXpériences scientifiques » (TIREX¹) est financé par l’Agence National de la Recherche et rassemble 7 partenaires : **Gouvernance Risque Environnement Développement** (GRED), **Laboratoire de Recherche en Géosciences et Energies** (LARGE), **Laboratoire Caribéen de Sciences Sociales** (LC2S), **Laboratoire de Géographie Physique** (LGP) : **Environnements Quaternaires et Actuels**, **Littoral Environnement et Sociétés** (LIENSs), Météo-France, **Direction interrégionale Antilles Guyane** (DIRAG) et CCR.

Les Antilles françaises ont été largement impactées par les récents ouragans Irma, José et Maria en 2017. L’objectif est d’analyser ces impacts, de renforcer le suivi de la reconstruction territoriale par une analyse comparative entre territoires du Nord des Antilles, en formalisant des méthodes de retour d’expérience scientifique continu.

CCR travaille dans la perspective d’améliorer la connaissance des ouragans historiques (chronologie, sévérité et dommages) et une estimation des dommages assurés causés par les événements les plus récents.

LE PROJET SE VEUT AUSSI NOVATEUR EN TERMES DE CRÉATION D'OUTILS, DE BONNES PRATIQUES FONDÉES SUR DES APPROCHES PARTICIPATIVES, DE MISES EN SITUATION ET D'OUTILS NUMÉRIQUES CONNECTÉS ET INTERACTIFS.

Au-delà de ces aspects, TIREX porte une dimension pré-opérationnelle d’accompagnement des acteurs de la gestion des risques, de la reconstruction et des populations.

1 Mis en oeuvre pour 3 ans (2018-2021) et coordonné par le GRED. Contact CCR : jdesarthe@ccr.fr



LES RISQUES
GÉOLOGIQUES

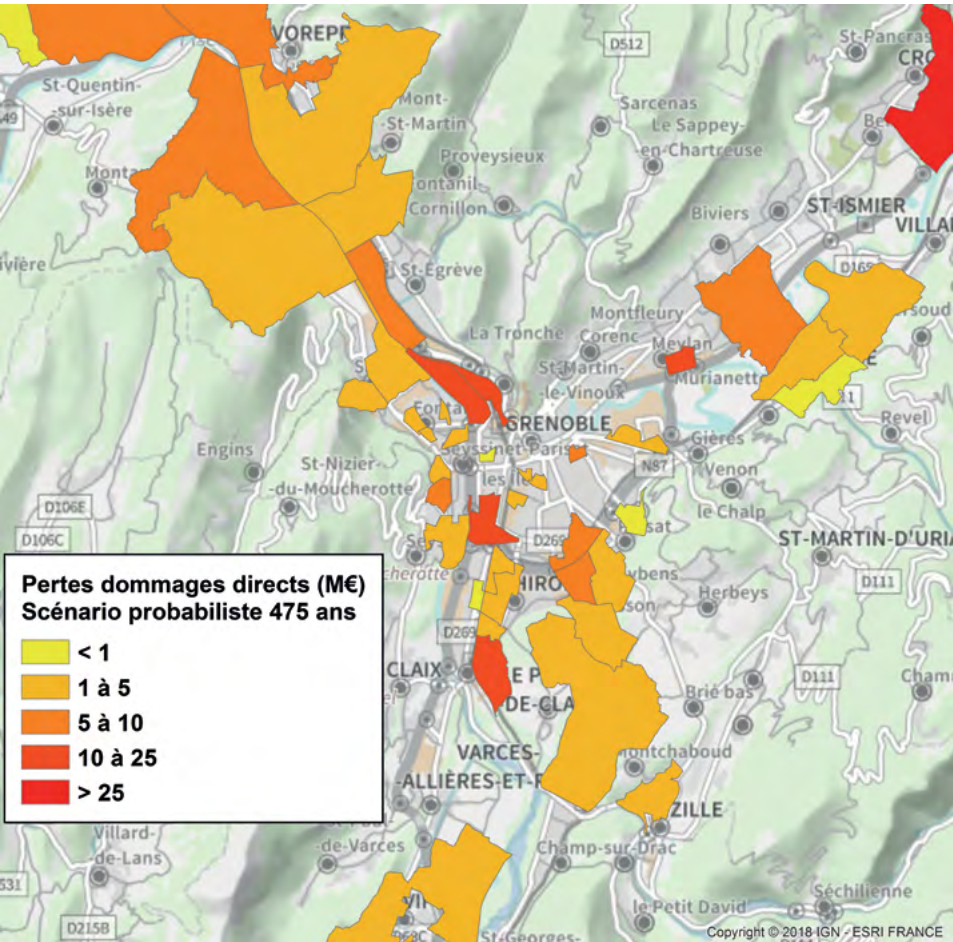
LES RISQUES SISMQUES

Le développement d'un modèle permettant d'estimer l'impact des séismes est effectué dans le cadre d'une convention pluriannuelle avec le BRGM (2014-2021).

Ce programme de recherche a d'ores et déjà permis de développer des modules spécifiques pour la France métropolitaine et l'Outre-Mer afin de caractériser finement l'aléa, la vulnérabilité et les dommages pour les bâtiments résidentiels et les zones commerciales. Ces travaux ont été menés à deux échelles d'analyse : à l'échelle départementale

pour les régions les plus sismiques (Antilles, Pyrénées, Provence Alpes Côte d'Azur, Alpes, etc.); à l'échelle régionale pour les zones les moins exposées (Bassin parisien ou le bassin aquitain). En 2018, le périmètre du modèle a été étendu aux bâtiments abritant des industries (Figure 17).

Figure 17 : Simulation des dommages sur les sites industriels dans le bassin de Grenoble selon l'aléa sismique réglementaire



Ainsi, le modèle est dorénavant complet sur la métropole et permet d'estimer les dommages consécutifs à un séisme pour toutes les typologies usuelles du secteur de l'assurance : les risques de particuliers, les industries et les autres risques professionnels (commerces et artisans). Aujourd'hui, le modèle fonctionne sur une base déterministe où

les conséquences des séismes sont évaluées selon un ensemble de paramètres physiques (magnitude, localisation, etc.). Toujours dans le cadre de ce programme de R&D, CCR et BRGM portent une attention particulière sur les incertitudes qui sont quantifiées et propagées au sein d'un nouvel outil de simulation globale des conséquences des séismes.

Une thèse de doctorat financée par CCR et réalisée au sein du consortium de recherche Research for Integrative Numerical Geology (RING) (École Nationale Supérieure de Géologie de Nancy / Université de Lorraine) a débuté en 2018.

Ce travail de recherche a pour objectif d'améliorer la vision sur les conséquences des séismes en France. Les axes de recherches reposent sur : l'amélioration du générateur stochastique de séismes via d'importants travaux de caractérisation de la sismicité en France (Figure 18); et sur la simulation de la propagation des ondes sismiques sur des zones d'études afin de calibrer les relations d'atténuation des ondes sismiques utilisées dans les modèles traitant du risque sismique.

Quant à la propagation des ondes sismiques (Figure 19), elle s'effectue à l'aide de méthodes à éléments spectraux 3D éprouvées (RegSEM, 2012). Courant 2019, l'objectif est d'opérer une intégration conjointe des avancées relevant des travaux de thèse et du modèle co-développé par CCR et BRGM proposant ainsi une vision globale sur l'impact des séismes - dans le cadre du régime Cat Nat - en métropole comme en Outre-Mer.

Approche multi-échelle de la propagation des ondes sismiques pour la réalisation d'un modèle stochastique d'impact des séismes en France
Docteurant : Corentin Gouache
Directeur et co-directeurs : Jean-Marc Montel (Université de Lorraine), François Bonneau (Université de Lorraine), Pierre Tinard (CCR)

Figure 18 : Densité de sismicité en France 1980 - 2015 après ré-analyse et zonage sismo-tectonique (en vert)

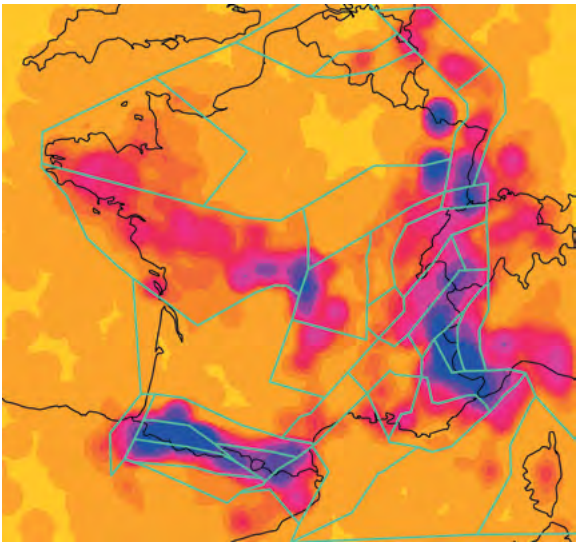
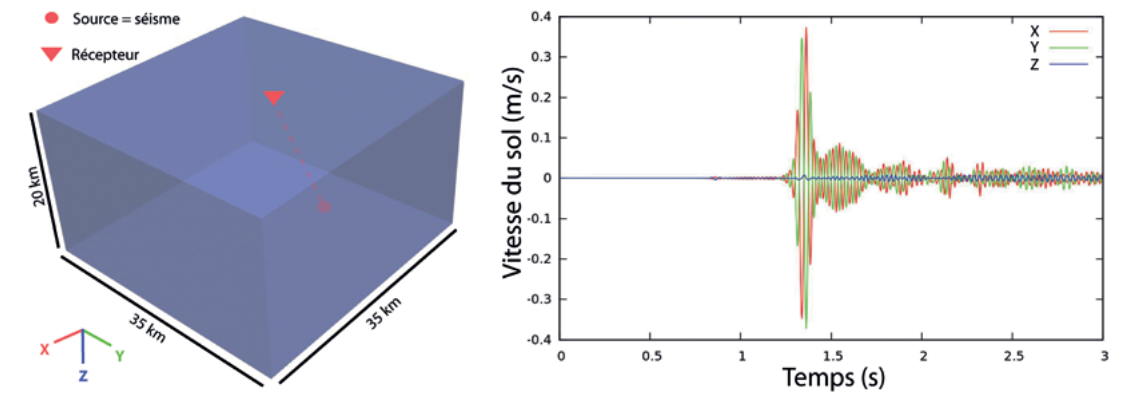


Figure 19 : Simulation d'ondes sismiques via le modèle RegSEM (Cupillard et al., Geophys. J. Int, 2012)



MODÉLISATION DU RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

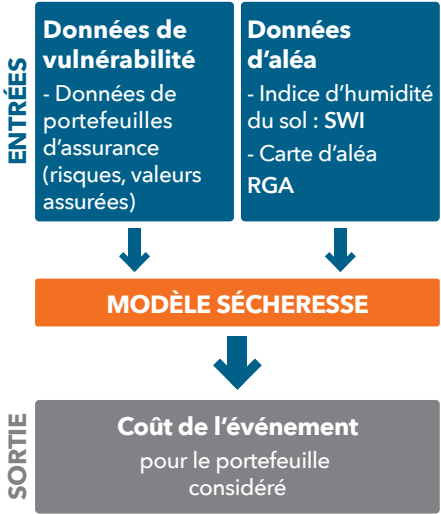
En parallèle des modèles basés sur une modélisation physique de l'aléa, des approches mathématiques ou statistiques ont été développées sur plusieurs sujets. Deux approches ont été abordées : le machine learning et la méta-modélisation.

MODÉLISER LA SÉCHERESSE : MODÈLE ACTUEL

La sécheresse géotechnique retrait-gonflement des argiles (RGA), à distinguer de la sécheresse agricole, représente l'un des risques les plus coûteux, mais aussi l'un des moins connus du régime des catastrophes naturelles. La sécheresse RGA représente plus de 33% de la sinistralité globale hors automobile sur la période 1982-2017.

Le modèle physique de caractérisation des mouvements du sol au niveau des fondations relève encore du domaine de la recherche (cf. symposiums SEC 2008 & 2015, projets ARGIC 1 & 2).

Figure 20 : Schéma du modèle d'aléa et de dommages développé pour le retrait gonflement des argiles



Le modèle de simulation (Figure 20) de catalogue d'événements fictifs sécheresse est basé sur des indicateurs météorologiques (indice d'humidité des sols de Météo-France), des indicateurs géologiques (cartes d'aléa RGA du BRGM), les caractéristiques des polices et des sinistres collectés en interne.

Il repose sur une approche statistique : pour un événement sécheresse donné, il s'agit d'estimer par régression, la probabilité qu'une commune formule une demande de reconnaissance Cat Nat au titre de la sécheresse, la probabilité qu'un sinistre survienne pour chaque risque ainsi que le taux de destruction en cas de sinistre. De plus, le modèle dans sa version dite probabiliste (Figure 21) permet d'estimer l'impact de sécheresses fictives non survenues à ce jour mais physiquement plausibles. Dérivé des travaux réalisés lors d'une thèse de doctorat portée par CCR et l'Université de La Rochelle (Ardon, 2014¹), ce modèle permet la génération stochastique d'événements sécheresse intégrant l'historique d'humidité des sols et est basé sur des corrélations spatio-temporelles pour tous les points du territoire métropolitain. Au final, le modèle génère un catalogue de 10 000 événements permettant d'estimer entre autres, les pertes annuelles moyennes ou les pertes sur de plus longues périodes de retour, de type centennales à l'échelle communale.

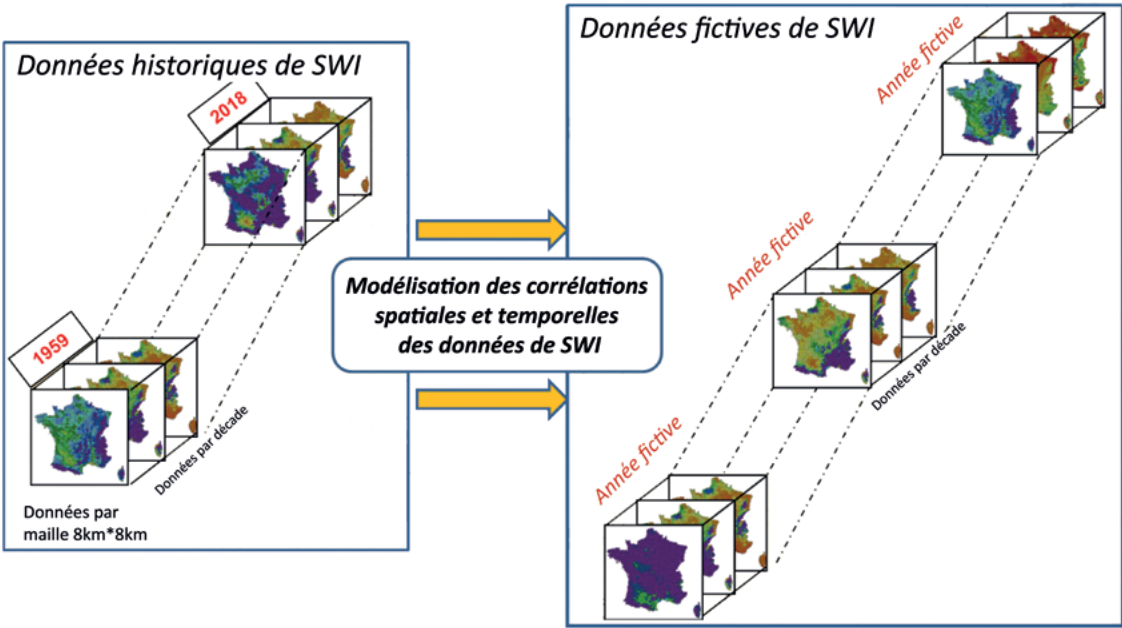


Figure 21 : Illustration du générateur stochastique sécheresse
Nouveaux critères de reconnaissance

En 2018, les membres de la Commission Interministérielle Cat Nat, à laquelle participe CCR en sa qualité de secrétaire, ont travaillé sur de nouveaux critères de reconnaissance.

Les travaux réalisés ont notamment permis d'intégrer la mise à jour du modèle de représentation des processus physiques régissant l'eau dans le sol (SIM2 - Météo France). Une approche commune à

toutes les typologies de sécheresse, sur l'ensemble de l'année, a été proposée en s'assurant de l'équité du traitement des futures sécheresses.

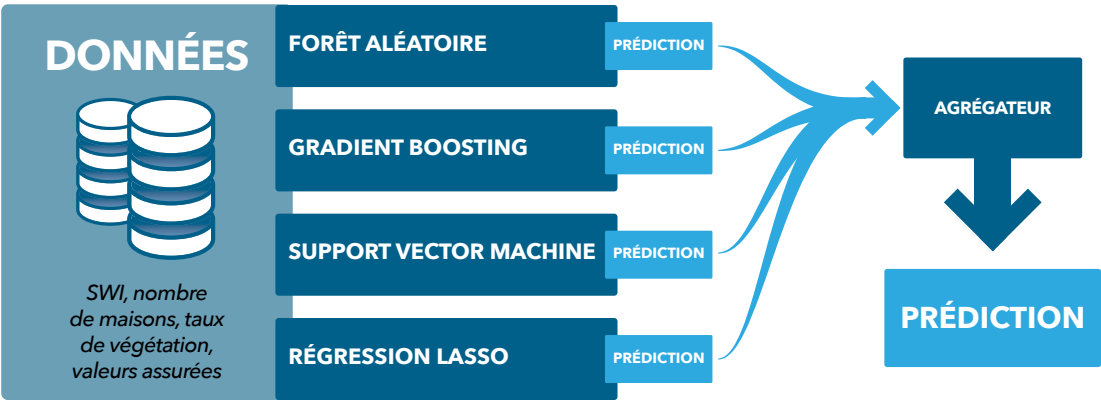
UNE NOUVELLE APPROCHE : LE MACHINE-LEARNING

Des travaux sont menés sur l'emploi d'algorithmes de machine-learning (Figure 22) pour l'estimation des taux de destruction et la modélisation des dommages à l'échelle communale. Pour un exercice donné, les coûts sont estimés pour chaque commune ayant fait l'objet d'une reconnaissance, puis agrégés pour obtenir le coût total de l'exercice. L'approche retenue pour l'apprentissage statistique, le Stacking, permet de réaliser quatre prédictions de coût de la sécheresse pour une commune donnée.

Ces prédictions sont par la suite mises à disposition d'un dernier algorithme, dit « agrégateur ». Celui-ci a pour rôle d'estimer pour une commune le coût de la sécheresse connaissant d'une part les prédictions des quatre premiers algorithmes et d'autre part l'aléa caractérisant l'événement. Ainsi, l'agrégateur peut, en fonction de l'aléa, déterminer le modèle le plus à même de fournir la meilleure estimation.

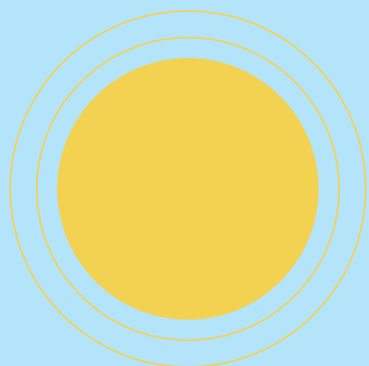
1 Ardon J., 2014, Thèse de doctorat, Modélisation probabiliste de la dépendance spatiale et temporelle appliquée à l'étude du péril sécheresse dans le cadre du régime français d'indemnisation des catastrophes naturelles, Université de La Rochelle/CCR.

Figure 22 : Algorithmes de machine-learning



Une thèse a débuté fin 2018, en partenariat avec l'Université Paris-Descartes. Elle a pour objectif de préciser ces travaux engagés. Il s'agit de réaliser l'estimation du taux de destruction à l'échelle du risque, et non plus à la commune.

Les travaux profiteront des frameworks Spark et H2o pour la manipulation de données en grande dimension ainsi que pour le déploiement des algorithmes de machine-learning. L'objectif est de proposer une méthode pour la prédiction des risques sinistrés par un événement sécheresse	<i>Modélisation et apprentissage machine-learning ciblé appliqués aux catastrophes naturelles</i>	
	<i>Doctorant : Geoffrey Ecoto</i>	(estimation de la probabilité de sinistre) ainsi que pour la prédiction des demandes communales de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle. La théorie de l'apprentissage ciblé sera également mise à profit pour estimer des quantiles de la distribution du coût marché.
	<i>Directeur et co-encadrant : Antoine Chambaz (MAP5), Thierry Cohignac (CCR)</i>	

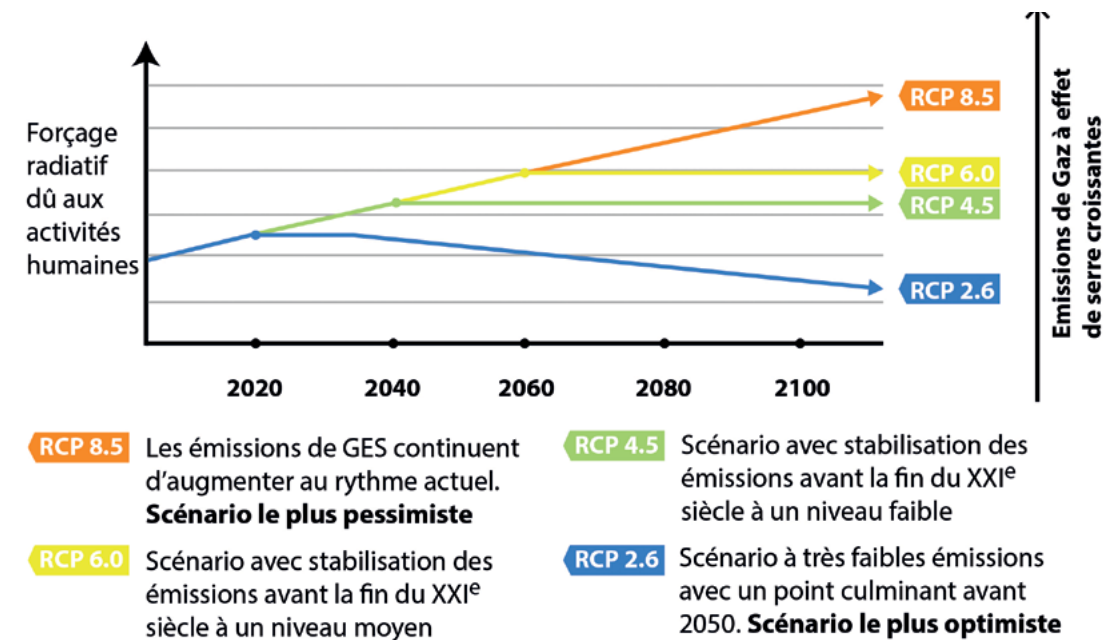


CHANGEMENT CLIMATIQUE ET VULNÉRABILITÉ EN 2050

À l'occasion de la COP 21 à Paris en 2015, CCR a travaillé en partenariat avec Météo-France sur l'estimation des conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à partir du scénario RCP 4.5 du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC). Ce partenariat a été reconduit en 2018 en s'appuyant cette fois sur le scénario RCP 8.5 considéré comme pessimiste mais réaliste.

Ce scénario suppose une évolution des émissions de gaz à effet de serre dans des proportions semblables à celles que nous connaissons aujourd'hui. Selon le GIEC, la hausse des températures serait alors comprise entre 1,4°C et 2,6°C en 2050 et entre 2,6°C et 4,8°C en 2100. Le niveau de la mer pourrait connaître une augmentation d'environ 20 cm à l'horizon 2050 (Figure 23).

Figure 23 : Scénarios d'évolution du climat (Representative Concentration Pathways, RCP)

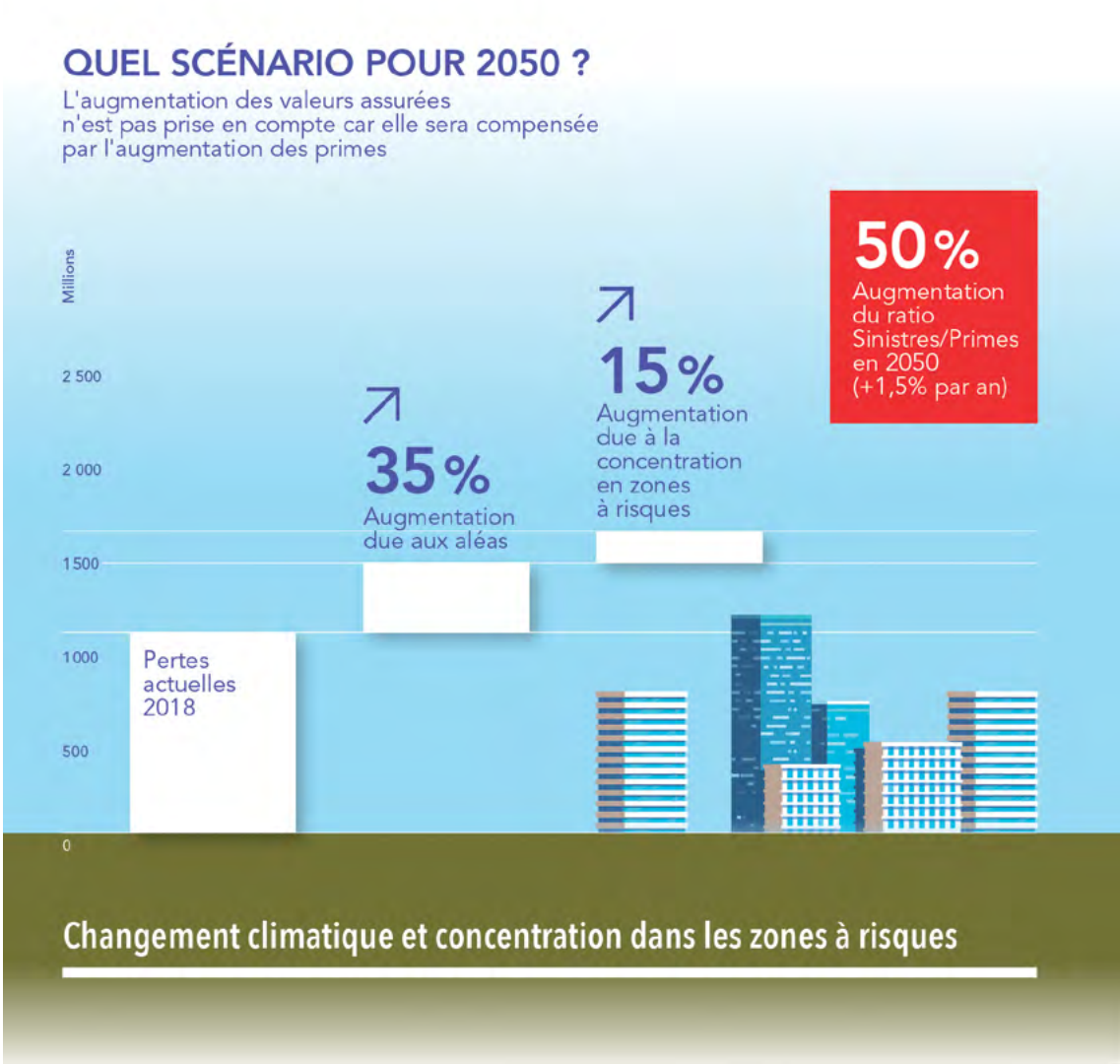


Pour estimer au mieux le coût des dommages assurés en 2050, l'évolution des enjeux assurés à cette échéance a été prise en compte. Ainsi, à partir des projections démographiques de l'INSEE, un travail de prospective a été réalisé avec la création d'un portefeuille de biens assurés à horizon 2050.

Les résultats de modélisation du climat futur réalisée par Météo-France à l'aide de son modèle ARPEGE - Climat

sont venus alimenter les modèles d'aléas (inondations, sécheresses et submersions) et de dommages de CCR. Cette chaîne de modélisation permet d'estimer à 50% l'augmentation de la sinistralité (exprimée sous la forme du rapport entre les coûts des sinistres et les primes). Elle se répartit pour 35% à la fréquence et la sévérité des aléas et pour 15% à la concentration des enjeux dans les zones à risques (Figure 24).

Figure 24 : Évolution des pertes annuelles moyennes en 2050

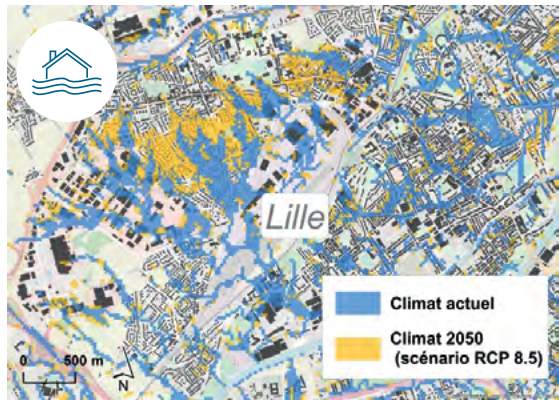


Les résultats mettent en avant une différenciation de l'augmentation de la sinistralité selon les aléas. L'augmentation du ratio Sinistres/Primes en 2050 pour les inondations serait de 38%, celle des submersions de 82% et celle des sécheresses de 23% (Figure 25).

L'analyse des résultats fait également apparaître de fortes disparités territoriales avec une exposition importante de la façade atlantique et de l'Île-de-France. Elle est également révélatrice des enjeux à prendre en compte dans les politiques de prévention, à savoir la concentration des biens dans les futures zones à risque et la récurrence élevée de certains événements (Figure 26).

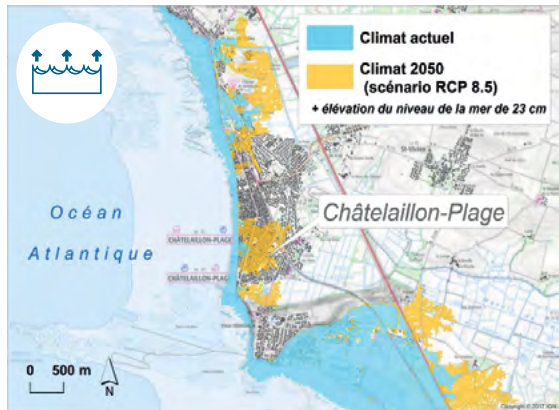
Absents de cette étude, les Outre-Mer feront l'objet d'une étude similaire menée en 2019 avec Météo-France et la société **Métigate**. Elle permettra ainsi d'évaluer l'exposition de ces territoires à l'horizon 2050.

Figure 25 : Évolution de la perte moyenne annuelle par aléa, augmentation des dommages à l'échelle de la métropole



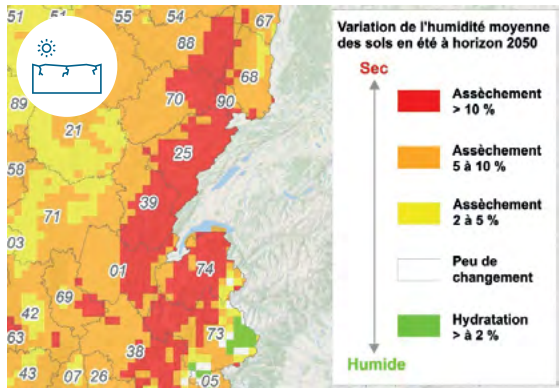
Extension des emprises impactées par les écoulements de surface

€ + 38 %



Extension des zones submergées par la mer

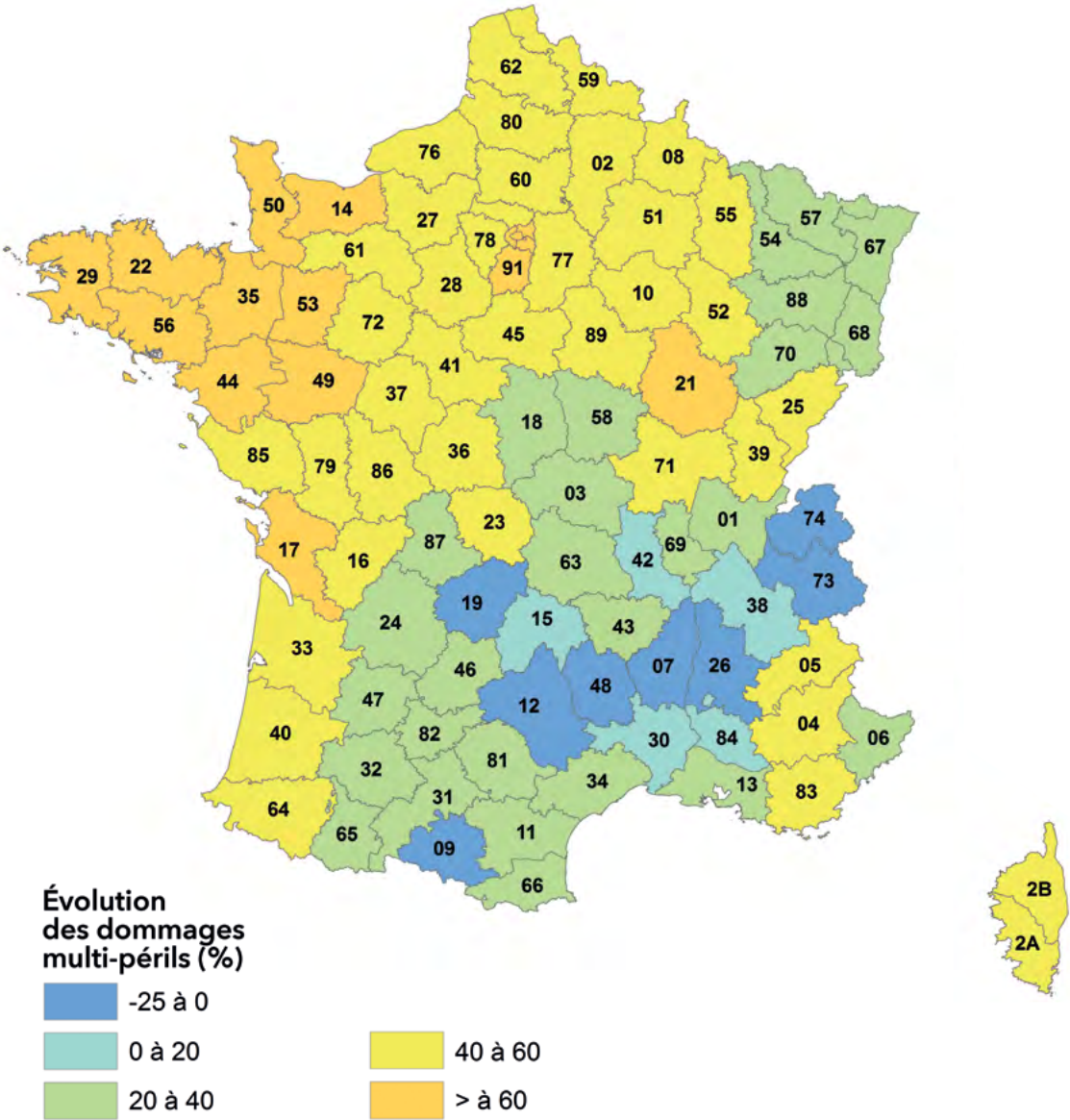
€ + 82 %



Assèchement des sols plus important en été

€ + 23 %

Figure 26 : Évolution des dommages entre 2018 et 2050



Retrouvez l'intégralité de l'étude ici :





**AUTRES TRAVAUX
DE RECHERCHE &
DÉVELOPPEMENT EN
COURS CHEZ CCR**

RISQUES CLIMATIQUES SUR RÉCOLTES

TRAVAUX DE MODÉLISATION

Les exploitations agricoles en Europe sont soumises à de nombreux types de risques et notamment climatiques. Ces derniers affectent les rendements et la qualité des productions. La gestion des risques pour un agriculteur consiste à agir sur le niveau d'exposition de son exploitation agricole pour le rendre acceptable. Plusieurs stratégies peuvent être mises en place et parmi elles figurent les solutions d'assurances.

CCR conçoit et développe depuis 2013 un modèle d'estimation des impacts des événements naturels sur les récoltes. En 2018, une thèse sur l'impact des événements climatiques extrêmes à horizon 2050 en France métropolitaine sur les principales productions végétales a débuté. Cette

thèse est en partenariat avec **AgroCampus Ouest** et le **laboratoire SMART-LERECO** spécialisé dans l'étude des structures des exploitations agricoles et de leurs évolutions

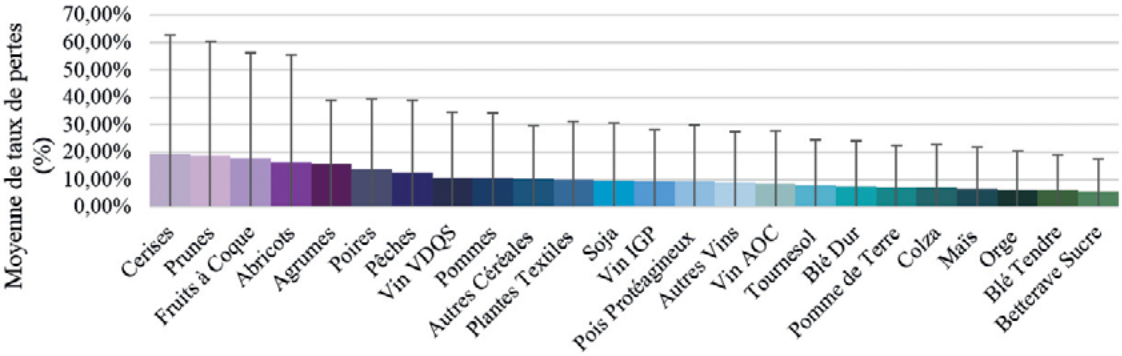
futures dans le contexte des politiques publiques actuelles. L'objectif est d'étudier l'impact des risques climatiques extrêmes (excès d'eau, sécheresse, gel) sur les grandes cultures, la viticulture et l'arboriculture. Après la création d'indicateurs agro-climatiques à l'échelle départementale, un modèle d'impact sera conçu sur les variations de rendements et les dommages économiques. L'échelle des exploitations agricoles sera ensuite traitée et intégrée en établissant des scénarios d'évolution des structures des exploitations agricoles en termes économiques. La vulnérabilité des cultures et des exploitations

agricoles à l'horizon 2050 sera aussi analysée en réalisant des projections des indices agro-climatiques. Cette thèse fait suite à plusieurs mémoires d'ingénieurs agronomes, réalisés au sein de CCR, portant sur l'étude et la modélisation des pertes de rendements agricoles

en France métropolitaine¹. Un des objectifs de ces travaux a été d'analyser la vulnérabilité des cultures (grandes cultures, viticulture et arboriculture) face aux périls climatiques. Les bases de données

utilisées pour ces études sont publiques et publiées par le **Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation** (bases Agreste et le **Réseau d'Information Comptable Agricole**, RICA.). Les résultats ont conduit notamment à un classement des principales cultures selon leur moyenne de taux de pertes de rendements sur l'historique étudié. Le taux de pertes annuelles moyen est un des déterminants du prix de l'assurance (avec la volatilité due aux extrêmes et les chargements commerciaux). Cette approche met notamment en évidence une forte exposition des cultures fruitières (Figure 27).

Figure 27 : Moyenne de taux de pertes à l'échelle de l'exploitation agricole par culture en France métropolitaine sur la période 2000-2016 et quantiles [10-90]



MISSION DE SUIVI DE L'ASSURANCE RÉCOLTE

Le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation a confié à CCR une mission de suivi de l'assurance récolte pour une durée de 5 ans (2017-2022). Dans le cadre du suivi, une étude factuelle du portefeuille et des sinistres assurés de la France métropolitaine est réalisée.

Ce travail consiste en la création d'indicateurs de suivi du développement de l'assurance à l'échelle régionale, départementale et communale. L'analyse est effectuée sur plusieurs indicateurs qui sont : la répartition des surfaces et capitaux assurés, des cotisations subventionnables, les taux de diffusion,

les taux de primes, le nombre de contrats, etc. CCR participe également au comité de pilotage de la mission d'évaluation du Programme National de Gestion des Risques et d'Assistance Technique (PNGRAT) avec le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation.

¹ Kapsambelis D., 2018 : Analyse des pertes de récoltes à l'échelle de l'exploitation agricole dans le cadre de l'assurance multirisques climatiques en France métropolitaine. Mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome (Montpellier SupAgro)

RISQUES ANTHROPIQUES

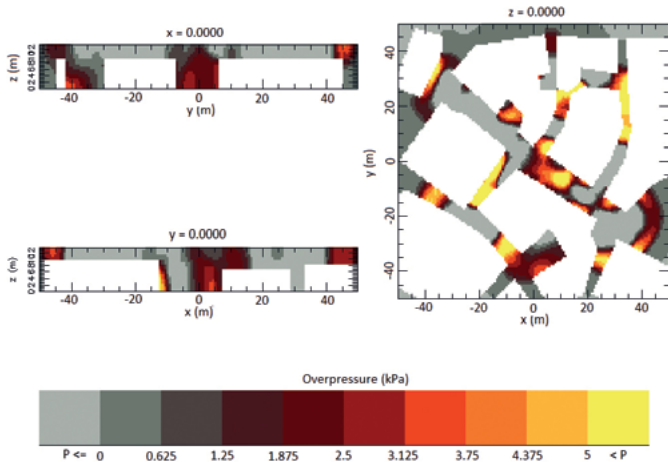
CCR développe depuis 2011 en collaboration avec **Aria Technologies**, un modèle permettant d'estimer l'impact des actes de terrorisme de type NRBC (Nucléaire Radiologique Biologique et Chimique). Les principaux développements ont porté sur les attaques R de type bombes sales qui ont un impact potentiel sur les dommages assurés de plusieurs milliards d'euros : plusieurs centaines de scénarios de référence localisés à proximité de points d'intérêts sur tout le territoire français ont été réalisés.

Les attentats par explosifs étaient jusqu'à présent pris en compte dans le modèle mais selon une approche simplifiée basée sur des rayons d'impact ne prenant pas en compte la structure des bâtiments.

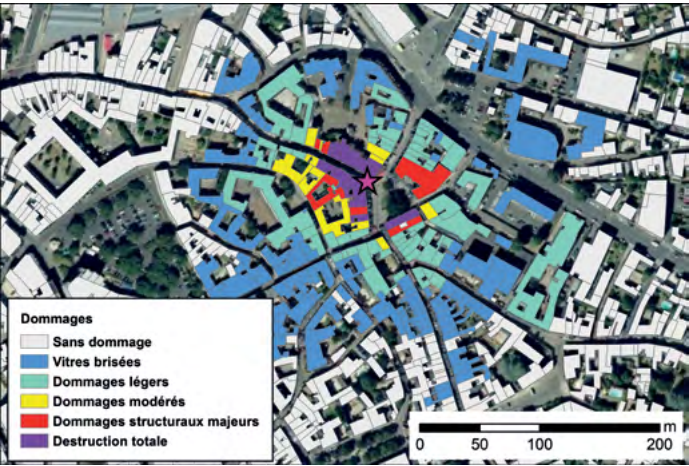
L'approche est calée sur des données des forces armées américaines (Structures to Resist the Effects of Accidental Explosions, TM 5-1300, 1990).

En termes de modélisation, une réflexion approfondie a été menée en 2018¹ sur l'intégration du module CFD ProSAir (Compressible Fluid Dynamics Propagation of Shocks in Air), développé par Cranfield University (UK), traitant des effets de souffle lors des explosions dans les simulations numériques. Ces avancées du modèle permettent une simulation plus réaliste des explosions en tenant compte de la géométrie 3D des bâtiments avec lesquels les ondes de choc vont interagir par canalisation, réflexion ou absorption (Figure 28).

Figure 28 : (a) Simulation de la propagation des effets de souffle suite à une explosion en environnement urbain avec de multiples interactions entre les ondes et les bâtiments



(b) Estimation des dommages par propagation des effets de souffle suite à une explosion



1 Saad D., 2018 : Modélisation risque de terrorisme : effet de souffle lors des explosions. Mémoire de deuxième année d'études (Institut National des Sciences Appliquées Centre Val de Loire)

ANALYSE TEXTUELLE AUTOMATIQUE DE DONNÉES NON STRUCTURÉES

Dans le cadre de missions pour le compte de l'État et pour assurer le secrétariat de la Commission Interministérielle, CCR reçoit des documents au format .pdf dont les données sont manuellement extraites.

Pour le compte de l'État, CCR a la charge de la gestion comptable et financière de fonds publics, dont le Fonds National de Gestion des Risques en Agriculture (FNGRA).

CCR assure le secrétariat de la Commission Interministérielle qui prépare la décision des Ministres relative à la constatation de l'état de catastrophe naturelle.

Pour réduire les sources d'erreur et gagner en temps de traitement, des techniques utilisant le traitement d'image et l'analyse textuelle dans le cadre d'un Proof of Concept (POC) ont été développées. Elles accompagnent l'utilisateur dans l'extraction d'informations à partir de données non structurées. Dès la réception d'un document de type image (scan) uniquement, la méthode consiste à découper le document par zone (traitement d'images), puis à

appliquer une reconnaissance de caractères (optical character recognition, OCR), et enfin à appliquer un modèle d'apprentissage supervisé, en utilisant les réseaux de neurones récurrents (recurrent neural network, RNN). Cet algorithme permet d'associer à une zone son contexte. Ensuite, une analyse de texte est réalisée afin d'en extraire l'information attendue. Enfin, la méthode agrège les résultats et les contrôle par rapport à des listes de référence.

ESTIMATION DES VALEURS ASSURÉES PAR APPROCHE BIG DATA

Dans le cadre de ses relations contractuelles avec ses clients, CCR collecte des données relatives aux biens assurés. Ces données, disponibles à l'adresse, intègrent parfois l'information sur les valeurs assurées. En revanche, cette information n'est pas toujours fiable et certaines données peuvent être manquantes. Les données sont volumineuses, certaines bases de données contiennent plusieurs centaines de millions de lignes.

Une thèse a été lancée, avec **MINES ParisTech**, sur l'exploration des méthodes de géostatistiques et d'apprentissage pour l'estimation des valeurs assurées. Les objectifs de cette thèse sont : de mettre en place un algorithme d'estimation des valeurs assurées à la maille adresse ; d'estimer les valeurs assurées à un niveau agrégé (à l'intérieur d'un polygone, une commune, Ilots Regroupés pour l'Information Statistique, quartier, cercle etc.) ; et de prendre en compte l'incertitude sur les variables explicatives.

Méthodologie d'estimation des valeurs assurées par l'approche Big Data

Doctorant : Luc Rongiéras

Directeur et co-directeurs : Hans Wackernagel (Mines de Paris), Émilie Chautru (Mines de Paris), Georges Farah (CCR)

PERSPECTIVES

En 2018, de nombreux progrès ont été faits pour améliorer la connaissance des risques que CCR couvre ou sur lesquels l'État souhaite un éclairage.

Les travaux de recherche et développement que mènent CCR, en lien avec ses partenaires scientifiques, permettent donc d'analyser l'efficacité des dispositifs d'indemnisation ou de prévention existants, d'identifier des pistes pour améliorer leur résilience et également d'étudier de nouvelles solutions envisageables.

Les travaux menés depuis près de 20 ans dans le domaine des catastrophes naturelles ont permis de mieux appréhender les conséquences financières de ces risques et d'apporter des réponses aux questions laissées en suspens au début du régime d'indemnisation en 1982. Notamment en ce qui concerne les périls jusqu'alors peu ou pas modélisés, tels que le ruissellement urbain, les submersions marines et le retrait-gonflement des argiles :

- Quel pourrait être le montant des dommages consécutifs à un événement venant de survenir ?
- Quelle est l'exposition financière probable des différents intervenants (assureurs, réassureurs, CCR, État) ?
- Comment cette exposition se décline-t-elle au niveau des territoires ?

Au-delà des mécanismes d'indemnisation, ces connaissances permettent de renforcer la culture du risque et d'identifier les bonnes pratiques en termes de prévention et de gestion de crise.

De nombreux chantiers restent à mener. Sans vouloir être exhaustifs, citons en quelques-uns :

- L'amélioration des connaissances est susceptible d'influer sur les comportements des différents acteurs et sur le modèle de mutualisation solidaire retenue par l'État français pour la couverture des catastrophes naturelles. Comment préserver ce modèle qui a fait ses preuves avec l'émergence d'outils de plus en plus sophistiqués ? C'est pour répondre à cette question que CCR soutient la chaire PARI (Programme de recherche sur l'Appréhension des Risques et des Incertitudes).

- La finesse de précision des modèles peut donner une fausse impression de maîtrise des risques et des engagements. La survenance d'événements, même peu intenses, apporte son lot d'imprévus : sinistres dans les zones qui semblaient jusque-là peu risquées, facteurs aggravants jouant sur le montant des sinistres etc. Dès lors, si les modèles comportent des incertitudes pour les événements de périodes de retour assez faibles, qu'en est-il pour les événements extrêmes dépassant largement en intensité les observations passées ? C'est tout le travail qui reste à mener pour mieux cerner les incertitudes à chaque étape de la modélisation et leur propagation tout au long de la chaîne et afin de définir des mesures de risque pertinentes pour mieux appréhender les phénomènes extrêmes.
- Ces incertitudes déjà importantes à climat actuel, le sont d'autant plus à climat futur, puisqu'au-delà des limites des modèles s'ajoutent les incertitudes sur l'évolution du climat et des enjeux assurés sur un horizon lointain. C'est dans cette optique que CCR poursuit en 2019 ses travaux avec Météo-France en se focalisant sur l'Outre-Mer.
- Enfin, les travaux menés par CCR ont permis de mieux saisir les impacts en termes de dommages directs assurés et de pertes d'exploitation consécutives. Cependant, il reste beaucoup à faire pour évaluer l'ensemble des conséquences économiques des catastrophes, par exemple les dommages aux réseaux, les effets dominos potentiels etc.

Ce sont les enjeux majeurs pour 2019 et les années suivantes, afin d'assurer l'efficacité des dispositifs assurantiels et de prévention des risques exceptionnels confiés à CCR.

Antoine Quantin
Directeur des Réassurances et Fonds Publics



CCR Groupe
@CCR_Groupe

21

MAR

J-2 pour la journée scientifique
@MeteoClimat Table ronde avec
@DMoncoulon "Comment le secteur financier
doit-il évoluer pour rendre possible les
transformations vers le 1.5°C ?" #JS2018
#RéchauffementClimatique



« Les enjeux de la
transformation
à 1,5°C pour
le secteur financier »



JOURNÉE SCIENTIFIQUE
21 NOVEMBRE 2018

Hôtel de l'Industrie Salle Lumière (1er étage)
4, place Saint-Germain-des-Près 75006 Paris

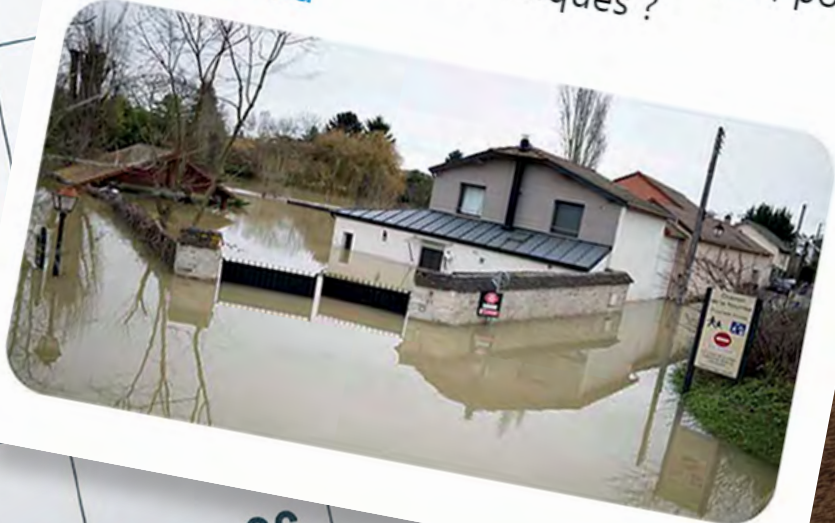




CCR Groupe
@CCR_Groupe



D'après notre estimation, les quatre lacs
réservoirs auraient permis de réduire de près
de 90 millions d'euros les dommages liés aux
#crues de 2018. Face à l'ampleur de ces
#inondations, comment mieux anticiper, pour
préserver et prévenir les risques ?
bit.ly/2N9klku





CCR Groupe - Caisse Centrale de Réassurance
3 750 abonnés
5 mois

Cette année du 1er au 2 octobre CCR a l'honneur d'organiser le workshop du projet
NAIAD (Nature Insurance Value : Assessment & Demonstration) avec en ouverture
notre DG adjoint **Laurent Montador**. Pour en savoir plus sur ce projet =>
<https://www.ccr.fr/naiad> #risquesclimatiques



The Damage Modelling Workshop is organized by CCR the 1st and 2 nd
October 2018

ccr.fr

RÉTROSPECTIVE DE L'ANNÉE



RÉTROSPECTIVE DE L'ANNÉE

15-17 JANVIER

Orléans, *Symposium sur la quantification des incertitudes dans les géosciences, BRGM*

Présentation de la quantification des incertitudes dans son modèle d'inondation.

30 JANVIER

Paris 5^e, *Géohistoire des risques « naturels », Journée d'études du CERES de l'École Normale Supérieure*

Présentation portant sur « l'histoire des cyclones dans les départements d'Outre-Mer (XVII^e-XX^e siècles) ».

29-30 MARS

Château Dauzac, Bordeaux, *Les journées IARD*

Ces journées de l'Institut des Actuaire permettent aux actuaire d'échanger lors de conférences, rencontres et retours d'expériences portant sur des thématiques d'actualité : « Sinistralité corporelle, gestion des risques et modèles prédictifs ». Cette année CCR a présenté « Solution multi-modèles et exposition aux Cat Nat ».

25 MAI

Société Nationale d'Horticulture de France, Paris 7^e, *Conseil Supérieur de la Météorologie (CSM)*

Pour la 48^e assemblée plénière du CSM, un colloque a été organisé sur le thème « La météo au service d'une agriculture durable ». CCR a présenté « Météo, Risques et Calamités ».

29 MAI

Assemblée Nationale, Paris 7^e

Groupe d'étude "Inondation, risques naturels et calamités agricoles"

Présentation ayant pour titre "Inondations, territoires et risques agricoles (XVII^e - XX^e siècle)."

29 MAI - 2 JUIN

Lecce, Italie, 11^e *Hydrological cycle in the Mediterranean Expertiment (HyMex) Workshop*

Cette 11^e conférence internationale sur la modélisation des risques hydrologiques a été l'occasion de présenter un poster expliquant les objectifs de l'ANR PICS « integrated nowcasting of flash floods and related socio-economic impacts ».

5 JUIN

Châteauform' City George V, Paris 8^e, 9^e *Journée CCR CAT*

Considérée comme l'un des rendez-vous annuels du marché français de l'assurance, cette journée est un moment d'échange sur les connaissances des catastrophes naturelles et de leurs conséquences. Cette année la thématique « Changement climatique et catastrophes naturelles », a réuni environ 250 participants issus du monde de l'assurance, de la communauté scientifique et du secteur de l'expertise des risques catastrophiques. Le prix CCR Cat Nat, autre moment important de la journée, a été remis à Kenji Fujiki qui a soutenu sa thèse de doctorat sur l'étude prospective des impacts sociaux d'une inondation majeure en région Ile-de-France.

JUILLET 2018

Lyon, France, *Réunion de lancement de l'ANR PICS (2018-2021)*

Ce nouveau projet « Prévision Intégrée des Crues Soudaines » (PICS) a pour objectif d'améliorer les outils de modélisation des crues éclair et l'analyse de la sinistralité liée aux événements Cévenols.

10 OCTOBRE

Les Docks de Paris, Aubervilliers, *SIG 2018 : la Conférence francophone ESRI*

SIG 2018 est le premier rendez-vous francophone de la géomatique et met en lumière des exemples d'utilisation des SIG. Ces évolutions ont été démontrées notamment par la présentation de « l'apport des données d'imagerie satellite dans la modélisation de l'inondation » comme nouvelle thématique de recherche.

1-2 OCTOBRE

Paris 9^e, *NAIAD Damage Modelling Workshop*

Fortement impliquée dans le projet européen H2020 NAIAD, CCR a organisé ces deux jours de conférence. 45 participants ont échangé et débattu sur les différents thèmes associés à la modélisation des dommages et à la prévention des risques liés à l'eau telle que les solutions fondées sur la nature.

8 OCTOBRE

Bucarest, Roumanie, *International Catastrophic Risks Forum (ICAR)*

Organisée par Xprimm et Business Development Group Romania la conférence ICAR est la réunion annuelle du marché de l'assurance en Europe de l'Est. L'étude climat 2018 a été présentée dans le cadre de la première session intitulée « Is climate change driving a change in the property insurance business? ». Les derniers résultats du projet NAIAD obtenus par CCR ont été mis en avant lors du workshop "Gathering forces to improve resilience to the increasing weather-related risk : Nature-based solutions for catastrophic risk management-opportunities for the insurance sector".

15 NOVEMBRE

Université d'Avignon, *Colloque Société Hydrotechnique de France « De la prévision des crues à la gestion de crise »*

Deux thématiques ont structuré ce colloque, les avancées scientifiques et opérationnelles sur la prévision des crues et des inondations et la préparation à la gestion de crise. C'est dans ce contexte de prévision qu'a été présentée l'étude « Inondations de la Seine en juin 2016 et janvier 2018 : modélisation des dommages consécutifs à ces événements et évaluation économique des lacs réservoirs ».

21 NOVEMBRE

Hôtel de l'industrie, Paris 6^e, *Journée Scientifique organisée par Météo et Climat*

Partenaire officiel des Journées Scientifiques de Météo et Climat, les collaborateurs de CCR ont participé à la 11^e journée scientifique à la thématique « Limiter le réchauffement planétaire à 1.5°C : pourquoi et comment? ».

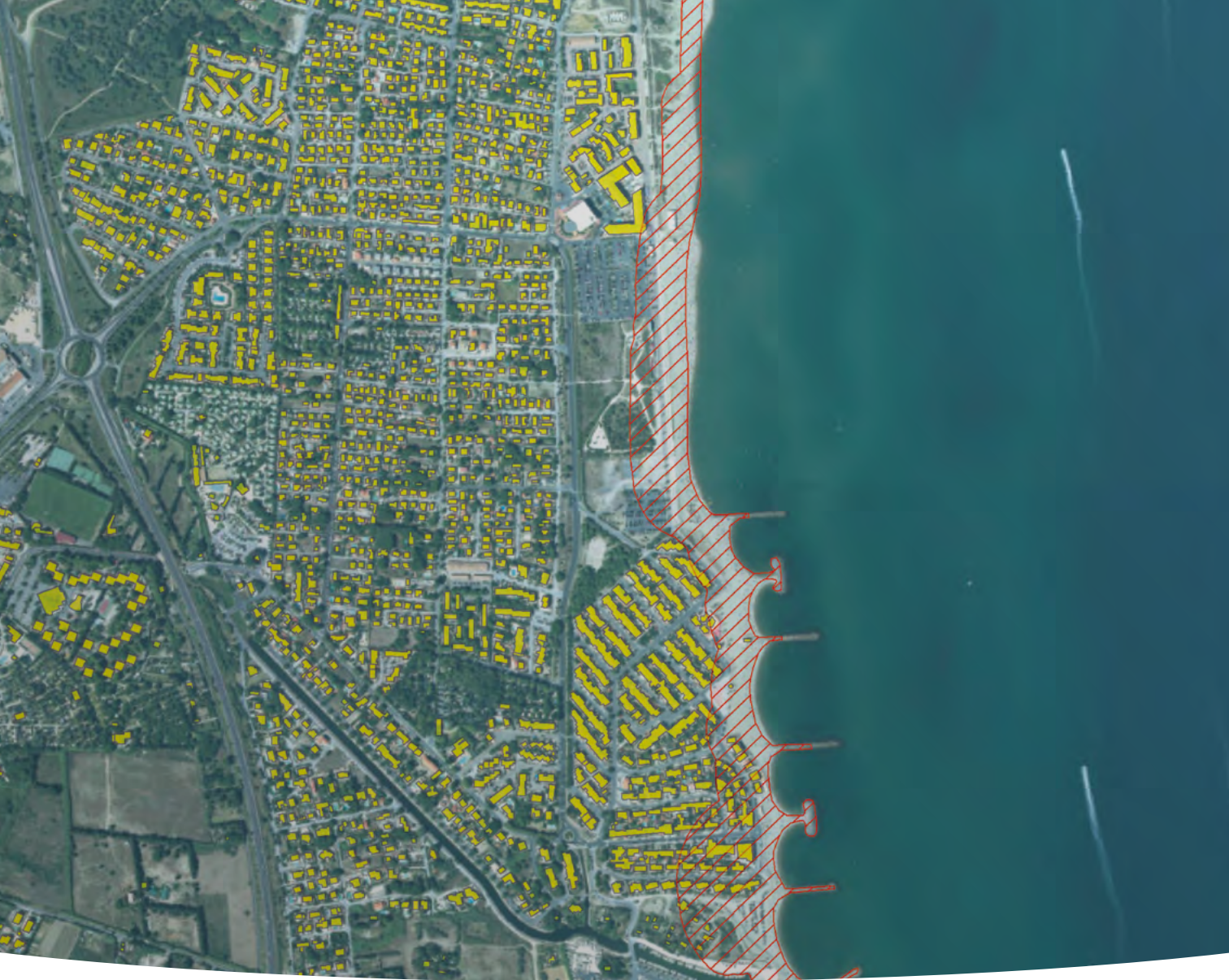
LES PUBLICATIONS DE 2018

CCR, Département Analyses et modélisation Cat. 2018. « Les conséquences du changement climatique sur les dommages assurés en France à l'horizon 2050 » , in <i>Les événements météorologiques extrêmes dans un contexte de changement climatique</i> , ONERC, à paraître	Moncoulon, D., Desarthe, J., Marchal, R., Naulin, J-Ph., Onfroy, T., Wang, Z-X. 2018. Inondations de la Seine en juin 2016 et janvier 2018. <i>Modélisation des dommages consécutifs à ces événements et évaluation de l'effet des actions de prévention</i> . La Houille Blanche.
CCR, Département Analyses et modélisation Cat. 2018. <i>Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050</i> .	Montador, L., & Moncoulon, D. 2018. <i>Le régime des catastrophes naturelles confronté au changement climatique</i> . Revue Risques, Les cahiers de l'assurance.
CCR, Département Analyses et modélisation Cat. 2018. <i>Retour sur les inondations de janvier et février 2018, modélisation des dommages et évaluation des actions de prévention</i> .	Moncoulon, D., & Onfroy T. 2018. <i>Mesurer les effets du changement climatique et agir pour la prévention</i> . Préventique n°161, ISSN 2262-2144.
Gouache C., Bonneau F., Tinard P. 2018. Representative seismic zone-dependent catalogue for France. RING Meeting 2018, ASGA.	Quantin, A. 2018. <i>Nouvelles compétences dans l'assurance</i> . Préventique n°161, ISSN 2262-2144.



Photo : CCR/Marchal R.

Le rapport d'activité scientifique et tous les éléments qu'il contient (notamment les textes, publications, images, photographies et éléments graphiques ou 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.



157 bd Haussmann 75008 Paris France
Tel. : +33 1 44 35 31 00
www.ccr.fr