



CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE COÛT DES CATASTROPHES NATURELLES EN FRANCE À HORIZON 2050

Septembre 2018

CCR - Département Analyse & Modélisation Risques CAT



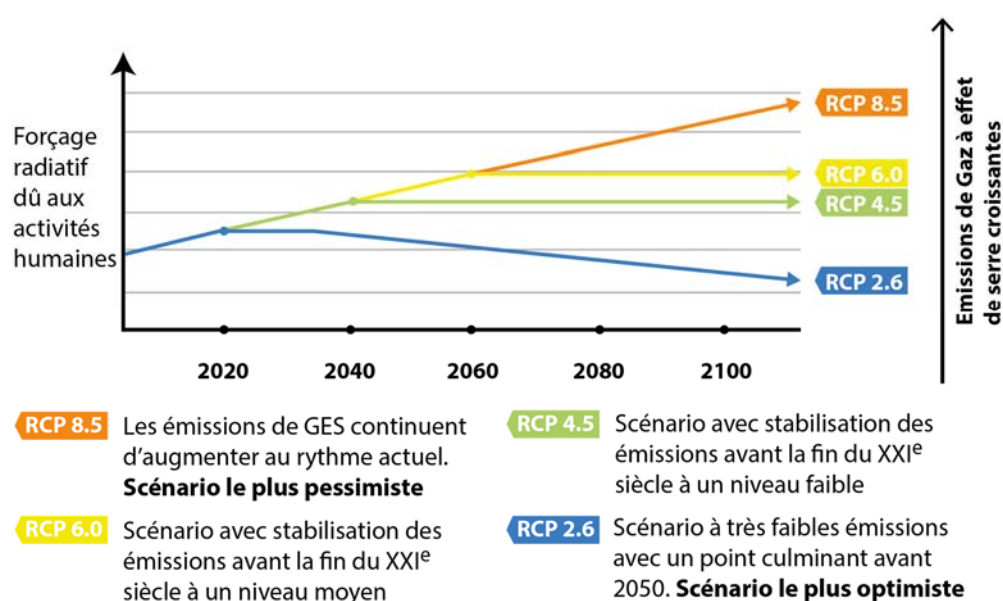
Table des matières

1. Introduction	5
2. Projections des enjeux assurés	7
3. Les résultats du modèle ARPEGE Climat pour l’horizon 2050	10
4. La sinistralité Cat Nat en 2050	12
4.1 Résultats généraux	12
4.2 Les inondations	14
4.3 La submersion	18
4.4 La sécheresse	22
4.5 Autre péril non climatique modélisé à CCR : les tremblements de terre	25
5. Conclusion	25
6. Principales références	26

Synthèse de l'étude

D'importantes catastrophes naturelles ont touché la France ces trois dernières années : crue de la Seine en juin 2016, sécheresse en 2017, ouragan Irma en septembre 2017, crues de la Seine et de la Marne en janvier 2018. Ces événements rappellent l'exposition du territoire français et la vulnérabilité de notre société aux risques naturels. Dans ce contexte, l'évolution future de la fréquence des événements et de leurs conséquences financières doit être étudiée pour garantir la pérennité du système d'indemnisation des catastrophes naturelles.

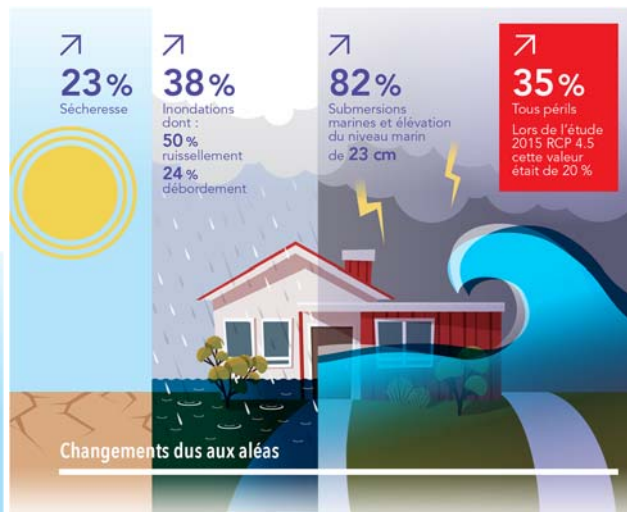
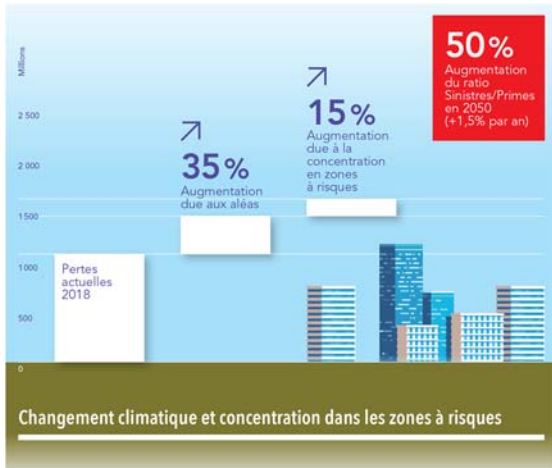
Dans le cadre de la 21^e Conférence des Parties (COP 21) organisée à Paris en décembre 2015, la Caisse Centrale de Réassurance avait conduit, en partenariat avec Météo-France, une première étude sur l'impact du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en 2050 sur la base d'un des scénarios les plus volontaristes du GIEC en termes d'évolution des émissions de gaz à effet de serre, le RCP 4.5, compatible avec les objectifs de l'accord de Paris (Figure ci-dessous).



CCR a souhaité estimer l'impact sur le coût des catastrophes naturelles que pourrait avoir un scénario plus pessimiste du GIEC. Toujours menée en partenariat avec Météo-France, cette nouvelle étude s'appuie sur le **scénario RCP 8.5**. Ce scénario suppose une poursuite de l'augmentation des émissions de gaz à effet de serre au rythme actuel. Selon le GIEC, ce scénario se traduirait par une **hausse des températures 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 connaîtrait quant à lui une augmentation d'une vingtaine de centimètre à l'horizon 2050. Pour cette étude, Météo-France a généré avec son modèle Arpège Climat, 400 années possibles à climat actuel et 400 autres années à climat 2050. Les résultats de cette modélisation du climat futur sont venus alimenter les modèles d'aléa (inondation, sécheresse et submersion) et de dommages de CCR.

Si le scénario RCP 8.5 se réalisait, ses conséquences sur la sinistralité Cat-Nat seraient tangibles (Figure ci-contre).

En effet, à enjeux assurés identiques, la perte annuelle moyenne des sécheresses serait 23% plus élevée qu'à climat actuel.



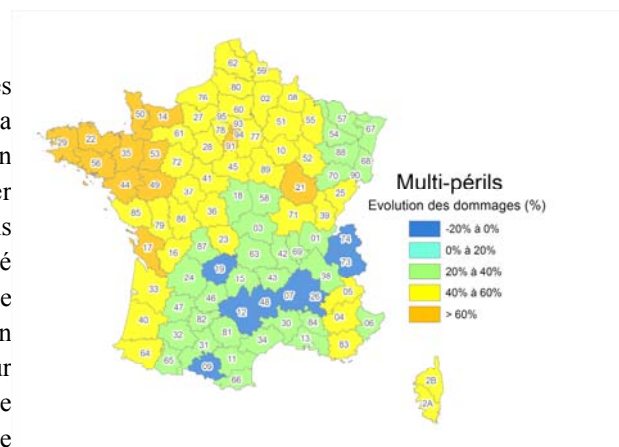
Pour les inondations et les submersions, l'augmentation serait respectivement de 38% et de 82%. **La perte annuelle pour ces trois périls confondus augmenterait de 35% contre 20% avec le scénario RCP 4.5 utilisé lors de l'étude précédente.**

A l'horizon 2050, les résultats montrent que la sinistralité (ratio sinistres à primes) augmenterait de 50% en 2050 (Figure ci-contre). La fréquence et la sévérité des événements contribueraient pour 35% et la concentration dans les zones à risques pour 15%.

L'évolution des valeurs assurées n'est ici pas prise en compte puisqu'une partie de la hausse serait compensée par l'augmentation des primes d'assurance.

La répartition spatiale de ces résultats souligne les fortes disparités territoriales (Figure ci-contre). La façade atlantique sous l'effet de l'évolution démographique et de la hausse du niveau de la mer verrait les dommages augmenter de plus de 60% dans certains endroits. L'accroissement de la vulnérabilité en Île-de-France se traduirait par une hausse supérieure à 40%. L'augmentation serait d'environ 30% pour les départements du pourtour méditerranéen. Ces résultats permettent également de mettre en avant les territoires qui pourraient faire l'objet de politiques de prévention particulières.

Les Outre-Mer ne sont pas couverts par cette étude. Ils font l'objet de travaux en cours menés conjointement avec Météo-France afin de mesurer l'évolution de leur exposition à l'horizon 2050.



1. Introduction

Le succès de la 21^e Conférence des Parties (COP 21) organisée en France en décembre 2015 et la ratification rapide de l'accord de Paris sont venus illustrer la détermination de nombreux pays à mettre en oeuvre des moyens de lutte contre le changement climatique. Cependant, malgré les engagements pris par les Etats signataires, une récente étude suggère que la perspective d'un maintien de l'évolution des températures en dessous des 2°C souhaités lors des accords de Paris s'éloigne de plus en plus¹.

Au-delà de 2°C, les écosystèmes connaîtraient des dégradations significatives (hausse des températures, acidification des océans, pertes de la biodiversité) altérant les conditions de vie d'une grande partie de la population mondiale². En outre, le changement climatique aurait d'importantes répercussions sur l'économie. Selon l'OCDE, une hausse des températures de 2°C entraînerait une baisse de 1% à 3% du PIB mondial d'ici à 2060³.

Dans ce contexte, on observe également une hausse toujours plus importante des dommages causés par les catastrophes naturelles⁴. L'année 2017 a connu une sinistralité exceptionnelle dans le monde en raison d'une saison cyclonique particulièrement intense dans le bassin Atlantique nord avec les ouragans Harvey, Irma et Maria. En France, si les dommages aux biens assurés restent relativement stables, le cyclone Irma en 2017 et les inondations de la Seine en 2016 ont été deux des cinq événements les plus coûteux depuis 1989⁵.

Si le lien direct entre l'intensité d'un aléa naturel et le changement climatique est difficile à établir, le GIEC estime comme probable l'augmentation de la sévérité et de la fréquence des précipitations et des sécheresses à la fin du siècle⁶. Pour les tempêtes, les conséquences du changement climatique sur leur survenance et leur intensité sont plus incertaines. Toutefois, la hausse du niveau de la mer pourrait venir aggraver le phénomène de submersion marine⁷.

Depuis la mise en place du régime d'indemnisation des Catastrophes Naturelles (Cat Nat) par la loi du 13 juillet 1982, la Caisse Centrale de Réassurance propose aux compagnies d'assurance une couverture contre les dommages causés par les catastrophes naturelles (Figure 1). Dès lors, la question de l'évolution future de la fréquence des événements extrêmes et de leurs conséquences financières nécessitent d'appréhender l'exposition future des territoires et leur sinistralité probable.

¹ ONU Environment (2017), *Emissions Gap Report*, 116 p.

² Mitchell D., Allen M., Wall J., Mueller B., Rajamani L., Le Quéré C. (2018), *The Paris Agreement : understanding the physical and social challenges for a warming world of 1,5°C above pre-industrial levels*, Philosophical Transactions of the Royal Society A, vol. 376, Issue 2119

³ OCDE (2016), *Les conséquences économiques du changement climatique*, mars 2016, 150 p.

⁴ Swiss Re (2017), *Sigma : Catastrophes naturelles et techniques en 2017. Une année de perte record*, Swiss Re Institute, n°1/2018, 60 p.

⁵ Caisse Centrale de Réassurance (2018), *Les Catastrophes Naturelles en France. Bilan 1982-2017*, 88 p.

⁶ GIEC (2013), *Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* (sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex et P.M. Midgley), Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique, p. 5

⁷ Boucher O., Dufresne J.-L., Vial J., Brun E., Cattiaux J. et alii (2015), « Projection des changements climatiques futurs », *La Météorologie*, n°88, p. 56-68, DOI : <https://doi.org/10.4267/2042/56362> ;

Nicholls R.J., Cazenave A., (2010), « Sea-level rise and its impact on coastal zone », *Science*, vol. 328, <https://doi.org/10.1126/science.1185782>



Figure 1 : Mécanisme d'indemnisation des Catastrophes Naturelles

Après une première étude publiée au moment de la 21^e Conférence des Parties (COP 21) organisée à Paris en décembre 2015, CCR a souhaité estimer l'impact sur le coût des catastrophes que pourrait avoir le scénario du GIEC le plus pessimiste en termes d'évolution des émissions de gaz à effet de serre⁸. Ce faisant, depuis 2017, une nouvelle étude a donc été menée en partenariat avec Météo-France en prenant comme scénario d'étude le RCP 8.5⁹.

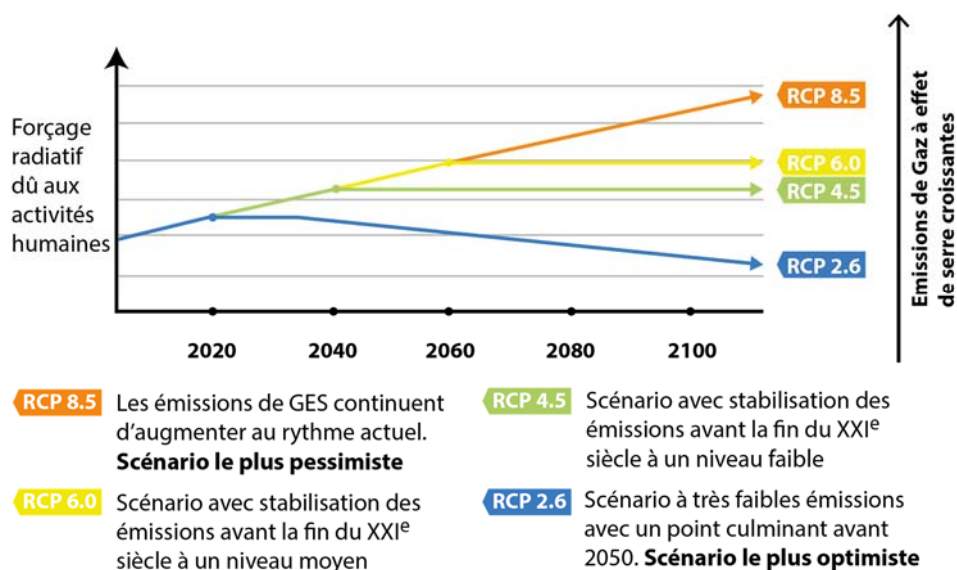


Figure 2 : Scénarios d'évolution du climat (Representative Concentration Pathways RCP))

Ce scénario considéré comme celui de l'inaction ("business as usual") suppose une poursuite des émissions de gaz à effet de serre dans les mêmes proportions qu'actuellement (Figure 2). Selon le GIEC, la hausse des

⁸ Modélisation de l'impact du changement climatique sur les dommages assurés dans le cadre du régime Catastrophes Naturelles, Caisse Centrale de Réassurance, décembre 2015.

⁹ RCP : Representative Concentration Pathways

températures serait alors comprise entre 1.4°C et 2.6°C en 2050 et entre 2.6°C et 4.8°C en 2100¹⁰. En France métropolitaine, la hausse des températures pourrait atteindre, selon un rapport récent, 3.4°C pour les hivers et 5.3°C pour les étés¹¹. Le niveau de la mer quant à lui pourrait connaître une augmentation d'une vingtaine de centimètres à l'horizon 2050¹².

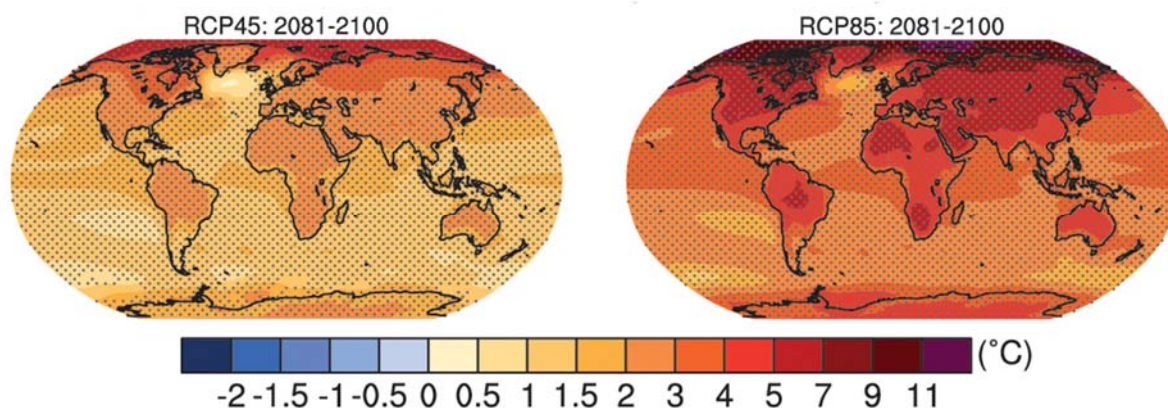


Figure 3 : Évolutions de température moyenne en surface (entre 1986-2005 et 2081-2100)

Outre la hausse des températures, le scénario 8.5 pourrait se traduire par une modification des régimes pluviométriques avec comme corollaire une aggravation des épisodes de sécheresses et de précipitations à la fin du XXI^e siècle¹³. Comme pour la première étude, l'horizon 2050 a été retenu. Cette échéance apparaît pertinente car les conséquences du changement climatique seront déjà tangibles. Elle permettra ainsi de sensibiliser les différents acteurs aux coûts probables des catastrophes naturelles et plus généralement de contribuer à la prise de conscience des impacts financiers du changement climatique.

2. Projections des enjeux assurés

Analyser l'impact du changement climatique sur les catastrophes en 2050 implique de s'intéresser aux évolutions que la société française va connaître. En effet, les dommages causés par des événements sont les conséquences d'un aléa sur des enjeux, caractérisés par leur vulnérabilité, c'est-à-dire ici sur un ensemble de biens assurés.

Il s'agit d'appréhender l'exposition futures des enjeux et leur transcription à l'échelle des territoires. Un travail de prospective a donc été réalisé en trois étapes :

¹⁰ Stocker T.F., Qin G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley, (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

¹¹ Jouzel J. (dir), Ouzeau G., Déqué M., Jouini M., Planton S., Vautard R. (2014), *Le climat de la France au XXI^e siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer*, Rapports Direction générale de l'énergie et du climat, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, p. 17

¹² Jouzel J. (dir), Planton S., Le Cozannet G., Cazenave A., Costa S., Douez O., Gaufrès P., Hissel F., Idier D., Laborie V., Petit, V. Sergent P. (2015), *Le climat de la France au XXI^e siècle. Volume 5. Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises*, Rapports Direction générale de l'énergie et du climat, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, p. 27

¹³ Boucher O., Dufresne J.-L., Vial J., Brun E., Cattiaux J. et alii (2015), « Projection des changements climatiques futurs », *La Météorologie*, n°88, p. 56-68, DOI : <https://doi.org/10.4267/2042/56362> ; Fix M., Cooley D., Sain S., Tebaldi C. (2018), « A comparison of U.S. precipitation extremes under RCP8.5 and RCP4.5 with an application of pattern scaling », *Climatic Change*, vol. 146, DOI : <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1656-7> ; Park C.-H., Byun H.-R., Deo R., Lee B.-R. (2015), « Drought prediction till 2100 under RCP 8.5 climate change scenario for Korea », *Journal of Hydrology*, vol. 526, DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.043>

- évaluation de l'augmentation du nombre de risques assurés à horizon 2050 ;
- projection de leur répartition spatiale ;
- estimation de l'évolution des valeurs assurées.

Les scénarios de projection construits pour cette analyse de la vulnérabilité future ne constituent qu'une représentation plausible des biens et des valeurs assurés en 2050.

Dans un premier temps, les scénarios de projections démographiques de l'INSEE ont été utilisés pour estimer le nombre de risques de particuliers (i.e. les habitations) en 2050 (Figure 4)¹⁴. Le scénario central décline à l'échelle des départements les tendances nationales observées pour le solde migratoire, la fécondité et le gain de l'espérance de vie. Les scénarios haut et bas proposés par l'INSEE résultent des variations apportées aux différentes hypothèses pour le solde migratoire, la fécondité et l'espérance de vie. Les données départementales ont alors permis de déterminer un taux de croissance annuel moyen qui a ensuite été appliqué à l'échelle communale.

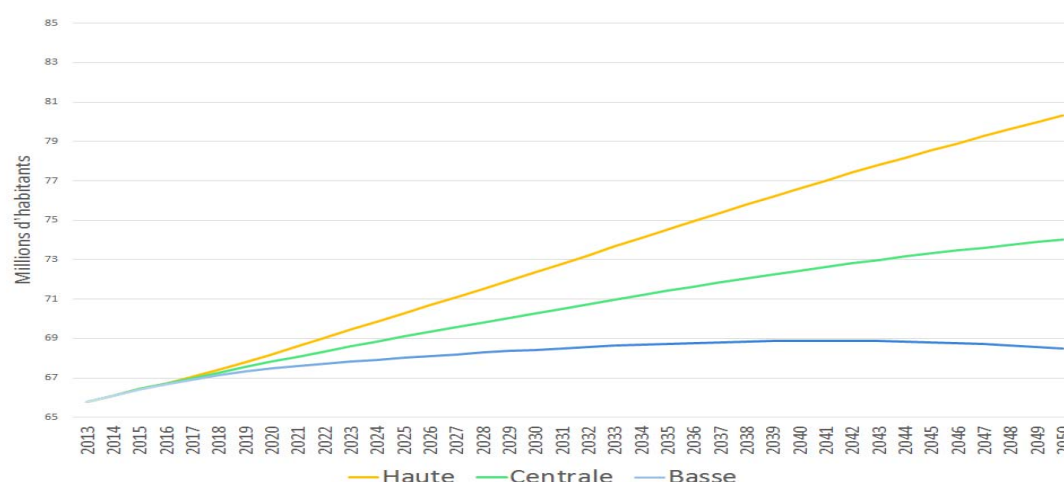


Figure 4 : Scénarios de projection démographique de l'INSEE (2010-2050)

Pour les risques professionnels (i.e industries, services, exploitations agricoles), l'évolution de la population active calculée à partir des projections démographiques a été prise en compte ainsi que les mutations économiques observées. En effet, depuis plusieurs années, le nombre d'exploitations agricoles diminue avec une baisse de 11% des risques agricoles entre 2010 et 2016 et de 57% entre 1990 et 2016¹⁵. Si cette tendance se poursuit, le nombre de risques agricoles baisserait de 35% à horizon 2050. De même, le monde industriel a connu de profondes métamorphoses avec une baisse des emplois dans ce secteur et une externalisation de certaines de ses tâches vers le secteur des services¹⁶. Ce faisant, l'évolution se traduirait par une baisse du nombre de risques industriels qui serait toutefois compensée par une forte hausse des risques professionnels et commerciaux. Ces deux types de risques pourraient en effet croître de 24% à l'horizon 2050.

Cette évolution du nombre de risques assurés va se traduire par des dynamiques territoriales hétérogènes (Figure 5). Ainsi, certains territoires vont connaître une croissance importante du nombre de risques, en particuliers les littoraux atlantiques et méditerranéens et la région Île-de-France. À l'inverse, des territoires vont être concernés par une baisse du nombre de risques ou une relative stabilité par exemple les départements de l'Allier (03), la Nièvre (58) et du Cher (18). Dans l'Est, les anciens départements industriels et miniers subissent également une érosion démographique avec une baisse significative dans le département des Ardennes (08) et de la Haute-Marne (52).

¹⁴ <https://www.insee.fr/fr/information/2546485>

¹⁵ Enquête sur la structure des exploitations agricoles, AGRESTE Primeur, juin 2018, n°350, <http://urlz.fr/7vxxv>

¹⁶ Demmou L. (2010), *La désindustrialisation en France*, Direction Générale du Trésor, 52 p.

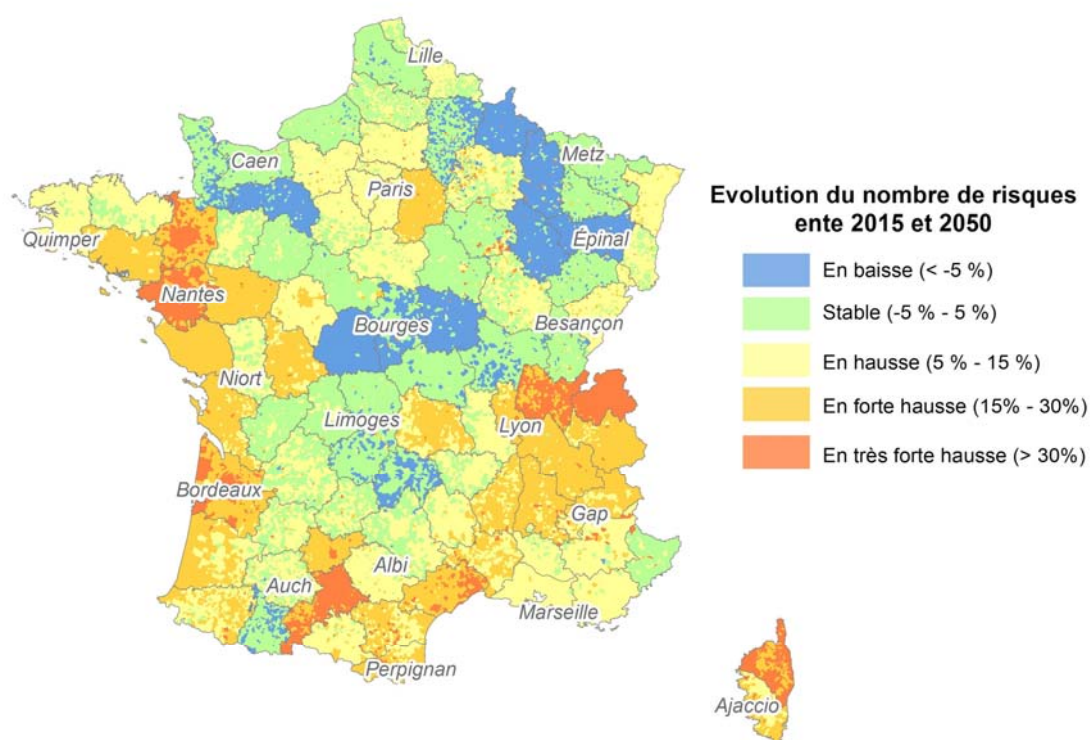


Figure 5 : Évolution du nombre de risques assurés entre 2015 et 2050

Un scénario tendanciel a été utilisé pour estimer l'évolution des valeurs assurées. La méthode s'appuie sur deux indicateurs : l'indice des prix à la consommation 1971-2017 et l'indice des prix à la construction 1974-2018. L'évolution moyenne annuelle de ces indicateurs est calculée sur plusieurs périodes de référence et appliquée aux valeurs assurées actuelles.

Après application des coefficients, on constate que les valeurs assurées pourraient alors atteindre 30 000 Md€ en 2050 contre environ 14 000 Md€ aujourd'hui (Figure 6). Cette augmentation des valeurs assurées serait en partie compensée par celle des primes d'assurance dommages qui leur sont mécaniquement liées. En conséquence, un scénario ne prenant en compte que l'évolution du nombre de risques assurés¹⁷ et la modification de leur répartition spatiale a été élaboré. Dans ce cas, les valeurs assurées seraient d'environ 15 000 Md€ en 2050.

¹⁷ OCDE, (2012), *Horizon 2060 : perspectives de croissance économique globale à long terme*, Études de politique économique de l'OCDE, n°03, 31 p.

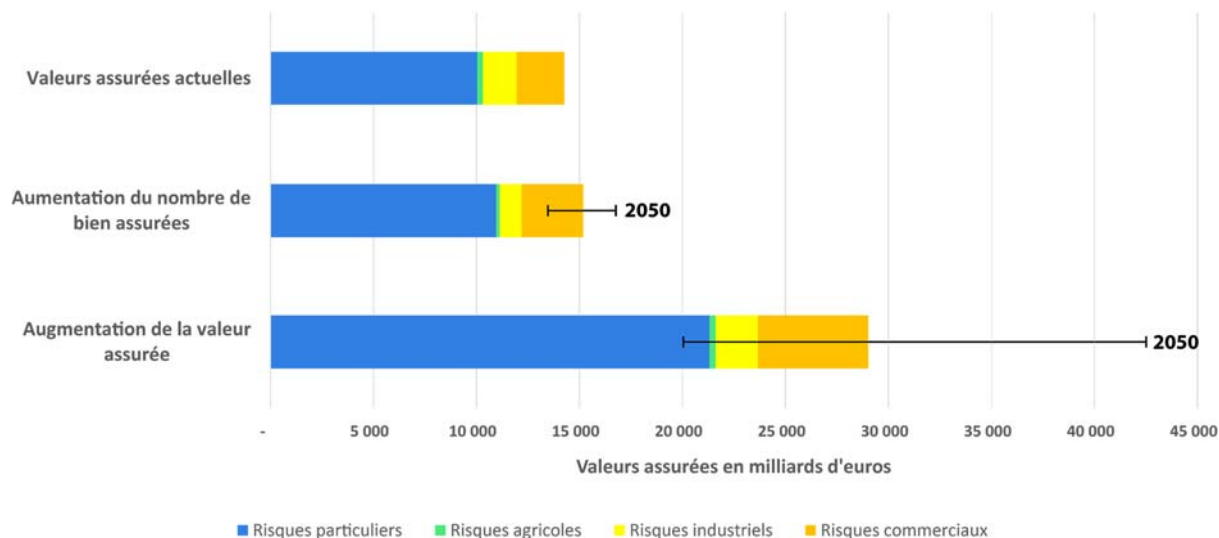


Figure 6 : Projections de portefeuilles assurés en 2050

3. Les résultats du modèle ARPEGE Climat pour l'horizon 2050

Météo-France dispose depuis de nombreuses années d'une expertise et d'un savoir-faire sur la modélisation du climat. Dès 1990, Météo-France a élaboré un modèle de prévision et d'évolution du climat à l'échelle mondiale : ARPEGE Climat basé sur le modèle ARPEGE de prévision météorologique. Celui-ci a ensuite été amélioré au fil des années pour permettre une meilleure analyse de l'évolution du climat entre 1850 et 2300 et une meilleure modélisation des scénarios du GIEC¹⁸. Dans cette perspective, Météo-France a participé au projet international CMIP5 visant à améliorer avec une démarche comparative la modélisation du climat.

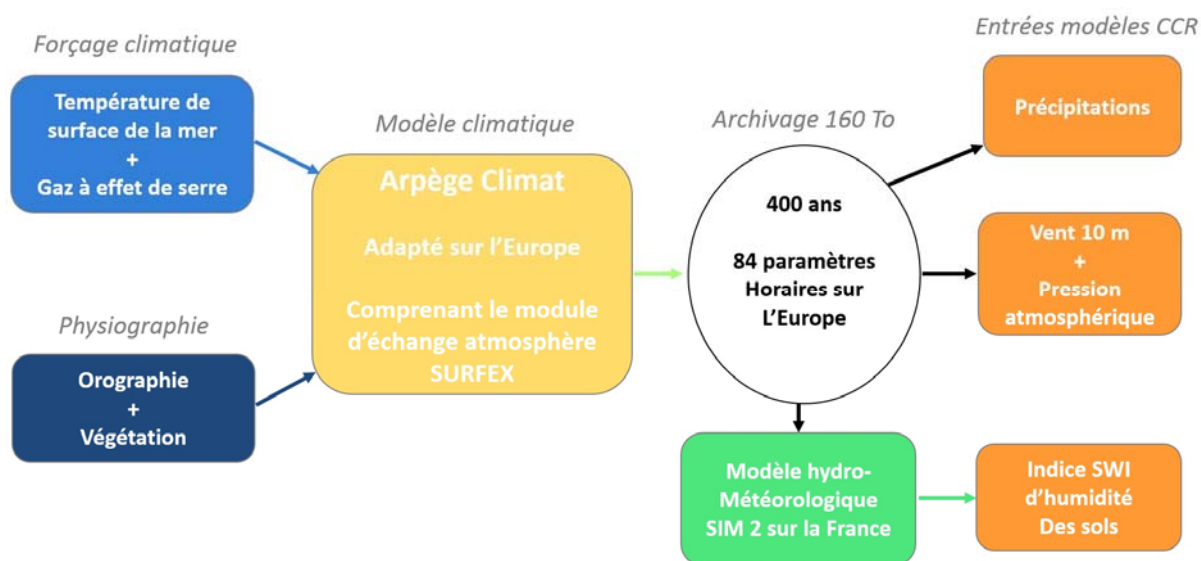


Figure 7 : Chaîne de modélisation du climat mis en œuvre par Météo-France

¹⁸ <http://www.meteofrance.fr/activites-recherche/modeliser-le-climat/changement-climatique-a-lechelle-globale>

Pour cette étude, le modèle ARPEGE-Climat est configuré avec une résolution spatiale de 20km environ sur l'Europe. La stabilité du climat simulé est assurée grâce au forçage climatique par des séries de températures de surface de la mer extraites d'une expérience climatique du GIEC, et par le maintien des concentrations en gaz à effet de serre aux valeurs définies par l'hypothèse climatique choisie sur l'année cible (Figure 7). Les simulations ainsi produites ont pour objectif de représenter la variabilité interne du climat autour de l'année cible, comme une photo instantanée de notre climat en cours d'évolution. Le pas de temps du modèle est de 10 mn, les données sont enregistrées au pas de temps 1h pour la plupart des paramètres météorologiques. Les données archivées sont interpolées sur le domaine géographique d'intérêt de CCR et corrigées des défauts de modélisation sur la base d'une climatologie historique de référence.

Les données produites par le modèle climatique de Météo-France ont permis d'alimenter les modèles d'aléa développés par CCR (Figure 8).

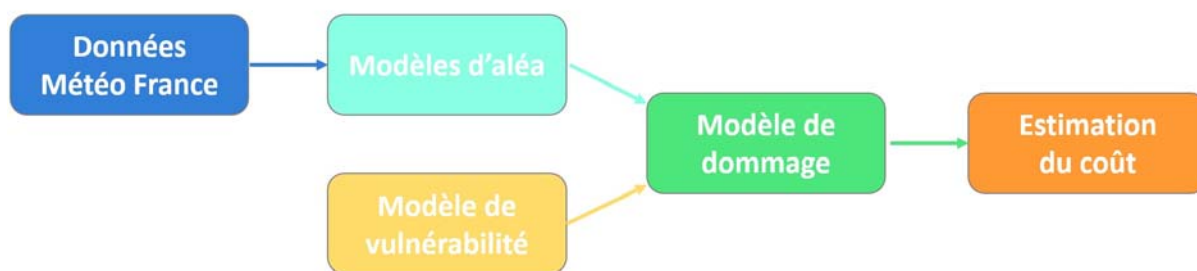


Figure 8 : L'intégration des données Météo-France dans la chaîne de modélisation de CCR

Météo-France a fourni 400 années de données climatiques (précipitations, pression atmosphérique, composantes du vent à 10 m de hauteur) à climat actuel (autour de 2000) et à climat futur (autour de 2050) pour les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. Les données de précipitations ont alimenté le modèle CCR inondation et les composantes horizontales de la vitesse du vent à 10 m et la pression atmosphérique ont alimenté le modèle CCR submersion marine.

Par ailleurs, Météo-France a mis en oeuvre son modèle hydro-météorologique SAFRAN-ISBA-MODCOU (SIM2) sur la France métropolitaine et la Corse (figure 9). Ce modèle local est alimenté par une dizaine de paramètres météorologiques issus des simulations climatiques, et interpolés à la résolution de 8 km. Les sorties de ce modèle comprennent l'indice d'humidité des sols (SWI) nécessaire à l'étude du risque de sécheresse, ainsi que divers paramètres d'état des sols et de débit des cours d'eau. L'indice d'humidité des sols calculé avec une configuration de SIM2 à concentration des sols en argile sur la France uniforme a alimenté le modèle CCR sécheresse géotechnique (affectant les bâtiments).

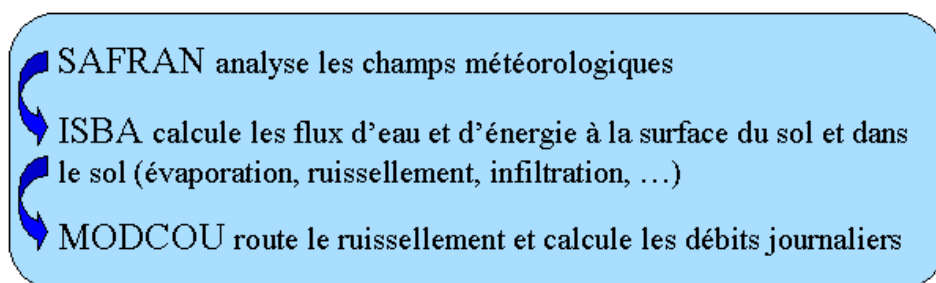


Figure 9 : la chaîne SIM2

Les premiers éléments d'étude des données produites par ces simulations climatiques montrent une élévation moyenne des températures sur la France entre le climat 2000 et le climat 2050 d'environ 1,5°C selon l'hypothèse RCP4.5 et 1,9°C selon l'hypothèse RCP8.5. Les vagues de chaleur sur le territoire augmentent en nombre,

intensité et durée tandis que les vagues de froid diminuent en nombre, intensité et durée. Toutefois, le modèle n'exclut pas totalement le risque de vague de froid exceptionnelle en 2050.

Les résultats de ces travaux de modélisation du climat futur font également apparaître une évolution du régime des précipitations extrêmes (Figure 10). La modélisation réalisée par Météo-France met en exergue l'évolution des cumuls de pluies lors des événements extrêmes. Ainsi, pour les cumuls de pluie sur 72 h de période de retour 50 ans, la hausse pourrait atteindre 16%, avec néanmoins, d'importantes disparités régionales.

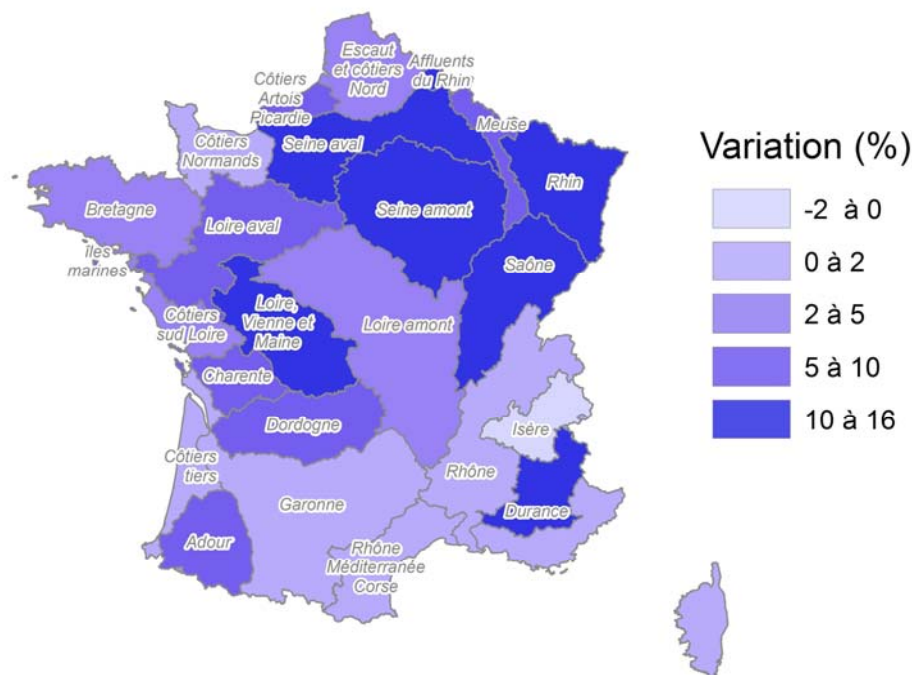


Figure 10 : Variation entre 2000 et 2050 des cumuls de pluie (sur 72h) de période de retour de 50 ans par région hydrographique (%)

4. La sinistralité Cat Nat en 2050

4.1 Résultats généraux

Avant de proposer une analyse fine en fonction de chaque péril, il convient dans un premier temps d'évaluer les conséquences du changement climatique sur la sinistralité totale des catastrophes naturelles.

Si le scénario RCP 8.5 se réalisait, ses conséquences sur la sinistralité Cat-Nat seraient tangibles (Figure 11).

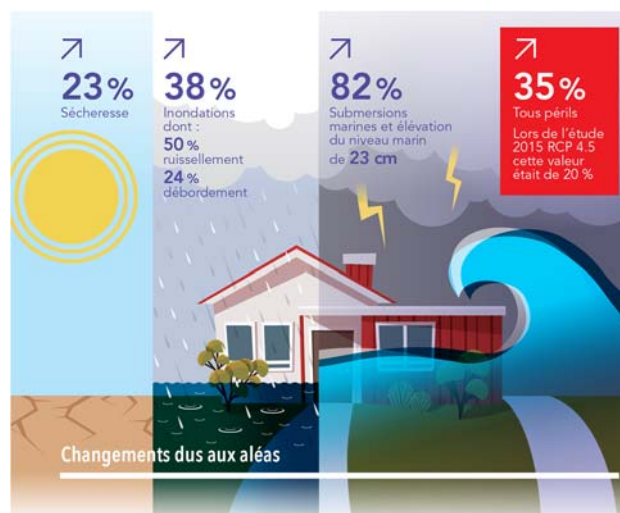


Figure 11 : Evolution en 2050 des pertes annuelles moyennes par périls liées aux évolutions du climat sur les valeurs assurées actuelles

En effet, à enjeux assurés identiques, la perte annuelle moyenne des sécheresses serait 23% plus élevée qu'à climat actuel. Pour les inondations et les submersions, l'augmentation serait respectivement de 38% et de 82%. **La perte annuelle pour ces trois périls confondus augmenterait de 35% contre 20% avec le scénario RCP 4.5 utilisé lors de l'étude précédente.**

A l'horizon 2050, les résultats montrent que la sinistralité (ratio sinistres à primes) augmenterait de 50% en 2050 (Figure 12). La fréquence et la sévérité des événements contribueraient pour 35% et la concentration dans les zones à risques pour 15%.

L'évolution des valeurs assurées n'est ici pas prise en compte puisqu'une partie de la hausse serait compensée par l'augmentation des primes d'assurance.

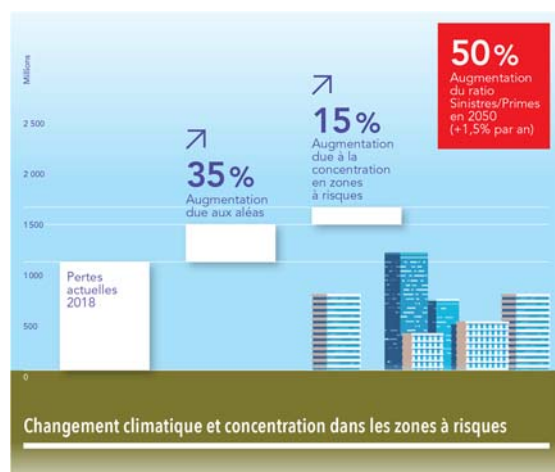


Figure 12 : Evolution en 2050 des pertes annuelles moyennes en distinguant l'effet aléa seul et l'effet de la concentration de population dans les zones à risques

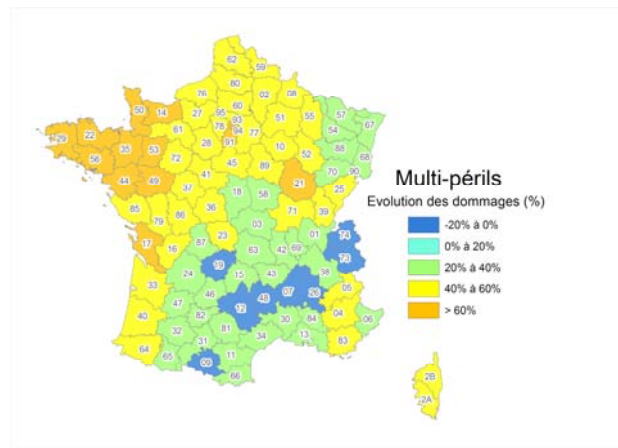


Figure 13 : Répartition spatiale de l'évolution des dommages entre 2018 et 2050

La répartition spatiale de ces résultats souligne les fortes disparités territoriales (Figure 13). La façade atlantique sous l'effet de l'évolution démographique et de la hausse du niveau de la mer verrait les dommages augmenter de plus de 60% dans certains endroits. L'accroissement de la vulnérabilité en Île-de-France se traduirait par une hausse supérieure à 40%. L'augmentation serait d'environ 30% pour les départements du pourtour méditerranéen. Ces résultats permettent également de mettre en avant les territoires qui pourraient faire l'objet de politiques de prévention particulières.

4.2 Les inondations

4.2.1 Modèle d'aléa inondations

a. Description du modèle

Le modèle d'inondation développé par CCR simule deux types d'aléas et leurs dommages consécutifs (Fig. 14) :

- Le ruissellement : il s'agit de calculer les débits qui s'écoulent en surface à partir de la pluviométrie issue des données de Météo-France. Le modèle de ruissellement CCR est un modèle pluie-débit 2D spatialisé sur une grille de 25m (MNT de l'IGN) à un pas de temps de 30 secondes qui prend en compte la topographie et l'occupation du sol avec les données Corine Land Cover ;
- Le modèle de débordement permet d'estimer le débit des cours d'eau à partir des sorties du modèle pluie-débit et d'un modèle de propagation 1D en rivière. En cas de dépassement d'un seuil, la zone inondée est déterminée sur le MNT de 25m.

Ces deux modèles sont complémentaires : les données de sinistralité des cédantes de CCR ont montré qu'une large proportion de dommages aux biens n'est pas localisée dans la zone de débordement des cours d'eau principaux, mais peut être causée par des cours d'eau mineurs ou intermittents ou encore par des phénomènes de ruissellement (ou écoulements de surface)¹⁹. A ce jour, les inondations provoquées par les échanges entre les eaux de surface et les eaux souterraines, tels que les réseaux karstiques et les remontées de nappes, ne sont pas prises en compte dans la modélisation.

¹⁹ Moncoulon D., Labat D., Ardon J., Leblois E., Onfroy T., Poulard T., Aji S., Rémy S., Quantin A. (2014), « Analysis of the french insurance market exposure to floods : a stochastic model combining river overflow and surface runoff », *Natural Hazards and Earth System Science*, 14, p. 2469-2485

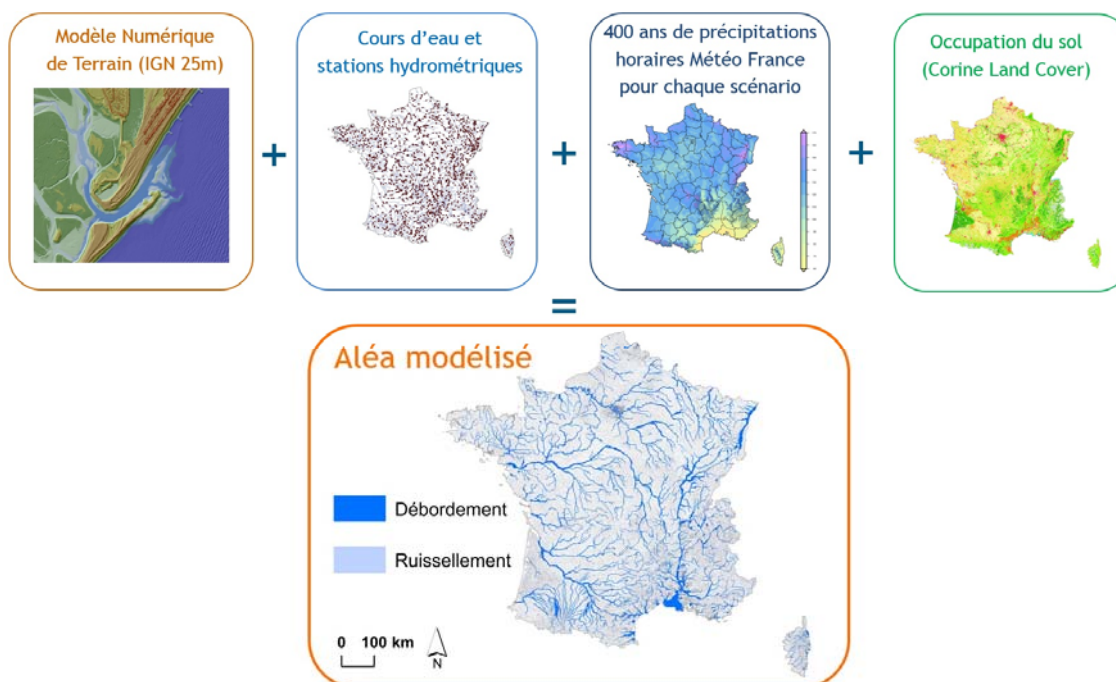


Figure 14 : Données utilisées dans le modèle inondation CCR et résultats de modélisation des aléas débordement et ruissellement

b. Simulation des événements pour chaque scénario climatique

La modélisation CCR repose sur un catalogue d'un millier d'événements fictifs simulés à partir des 400 ans de précipitations issues du modèle climatique Météo France²⁰ à climat constant actuel et selon le scénario RCP 8.5 pour le climat futur. Les événements sont définis par dépassement d'un seuil de pluviométrie décennal sur les bassins versants.

Les données de Météo-France s'appuient sur un modèle de circulation atmosphérique global bénéficiant d'une descente d'échelle sur l'Europe. Celui-ci est basé notamment sur la base SAFRAN (réanalyse des précipitations quotidiennes en France métropolitaine depuis 1958) pour calibrer la climatologie. Les événements du catalogue d'événements fictifs sont simulés à partir des modèles de ruissellement et débordement.

La probabilité de survenance du débordement et du ruissellement est représentée par une cartographie des périodes de retour de l'aléa. A titre d'exemple, un secteur impacté l'aléa pour une période de retour de 20 ans sera inondé au moins tous les 20 ans.

Les travaux réalisés sur les données de Météo-France ont également permis de rendre compte de la variation du nombre d'événements entre climat actuel et climat futur. Ainsi sur la figure 15, l'on constate en 2050 un plus grand nombre d'événements causés par des épisodes de précipitations extrêmes dans le nord, l'ouest, le centre et l'est du territoire avec une hausse significative de plus de 75% dans les bassins de l'Escaut et de Bretagne et de plus de 50 % dans les bassins de la Loire aval, de la Vienne, de la Saône et de la Meuse. Dans les bassins Méditerranéens le nombre d'événements serait également plus important avec une hausse tout de même moins importante de l'ordre de 20% au maximum. Quant aux bassins de la Garonne, du Rhône aval et des Alpes du Nord, ces derniers connaîtraient moins d'événements extrêmes en 2050.

²⁰ *Modélisation de l'impact du changement climatique sur les dommages assurés dans le cadre du régime Catastrophes Naturelles*, Caisse Centrale de Réassurance, 2015, 32 p.

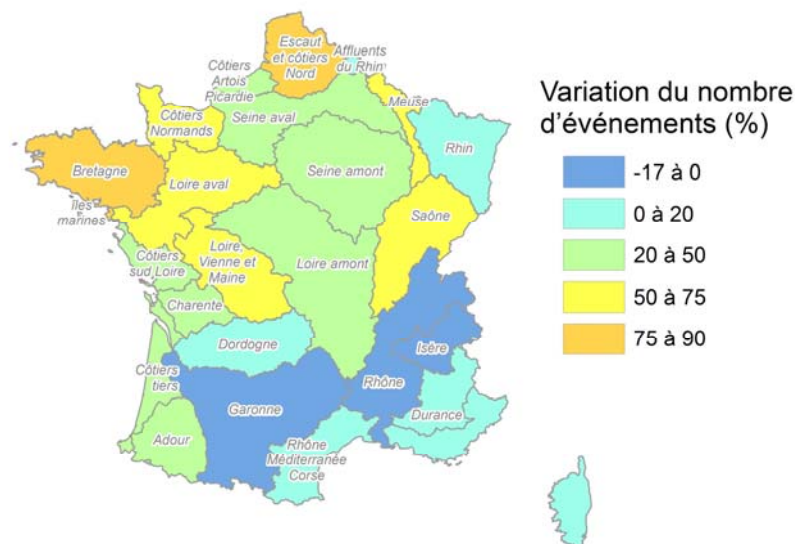


Figure 15 : Variation du nombre d'événements pour le péril inondation entre 2000 et 2050

4.2.2 Résultats

a. Aléa

Les résultats de la simulation des inondations montrent une extension des emprises inondées à climat futur dans les régions hydrographiques dont le régime des précipitations extrêmes devrait augmenter à l'horizon 2050. De manière générale, cette extension des surfaces inondées correspondant à l'évolution du régime des pluies est plus importante dans la moitié nord du pays, dans la majeure partie des départements de l'Ouest, dans l'Est ainsi que dans les régions montagneuses notamment dans les bassins limitrophes du Sud des Alpes et du Massif Central (Figure 16).

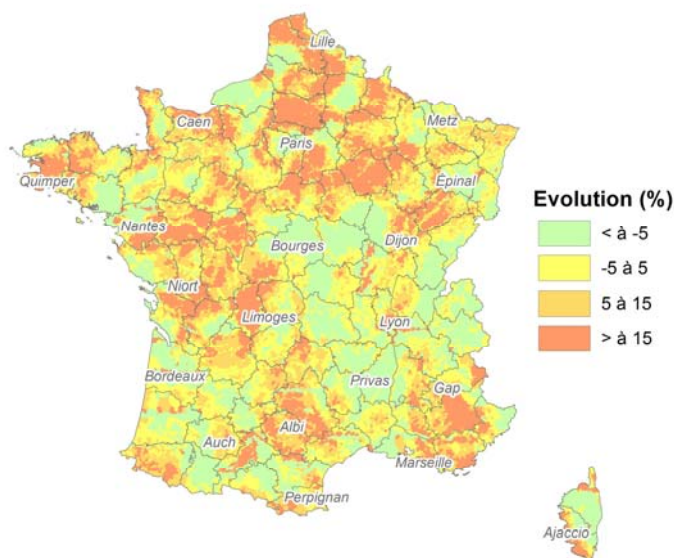


Figure 16 : Extension des surfaces inondées à l'horizon 2050

La figure 17 illustre l'extension des surfaces impactées par le ruissellement de surface sur un secteur de l'agglomération Lilloise. Pour l'aléa ruissellement la période de retour de 20 ans permet de distinguer l'évolution des emprises inondées à climat 2050. Cette modélisation ne prend pas en compte l'évolution de l'imperméabilisation des sols liée à l'augmentation des constructions en 2050.

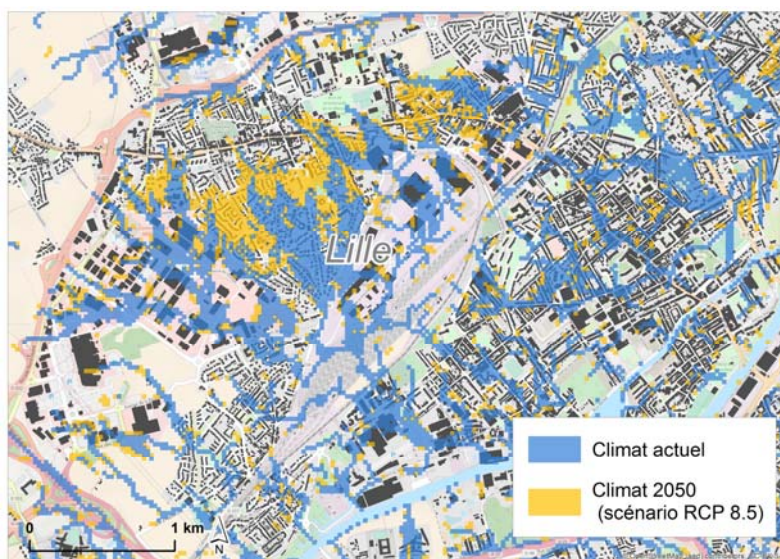


Figure 17. Comparaison des emprises impactées par le ruissellement pour une période de retour de 20 ans à Lille (Nord)

En ce qui concerne l'aléa débordement, l'évolution de la hauteur des crues sur les principaux cours d'eau entre 2000 et 2050 est notable sur des périodes de retour supérieures à 100 ans. La figure 18 montre cette évolution dans le cas de la Moselle au niveau de Metz et de Thionville (Moselle).

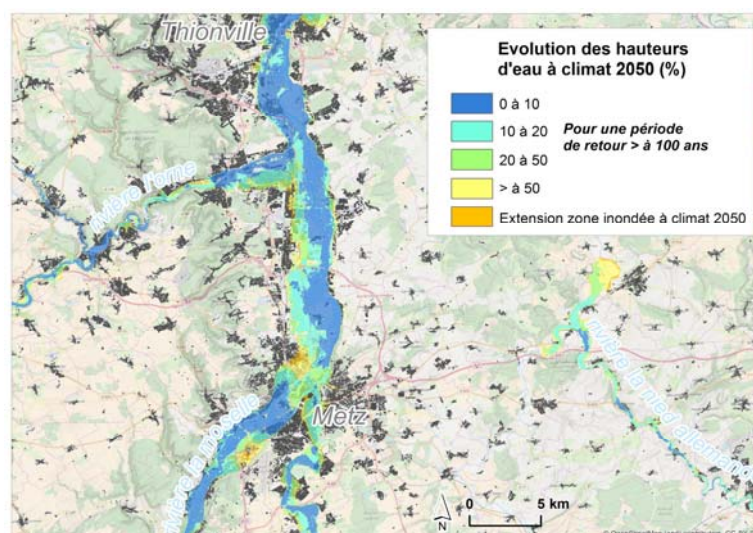


Figure 18. Evolution relative des hauteurs d'eau de la Moselle à climat 2050 pour une période de retour de 100 ans

b. Dommages assurés

Les coûts assurantiels dus aux inondations à charge du régime Cat Nat pourraient augmenter d'ici 2050 à l'échelle de la métropole (Figures 19a et 19b). Le changement climatique selon le scénario RCP 8.5 entraînerait à lui seul

une augmentation de **38%** des pertes annuelles moyennes à l'échelle de la métropole. L'augmentation serait de **50%** pour les pertes dues à l'aléa ruissellement et de **24%** pour le débordement.

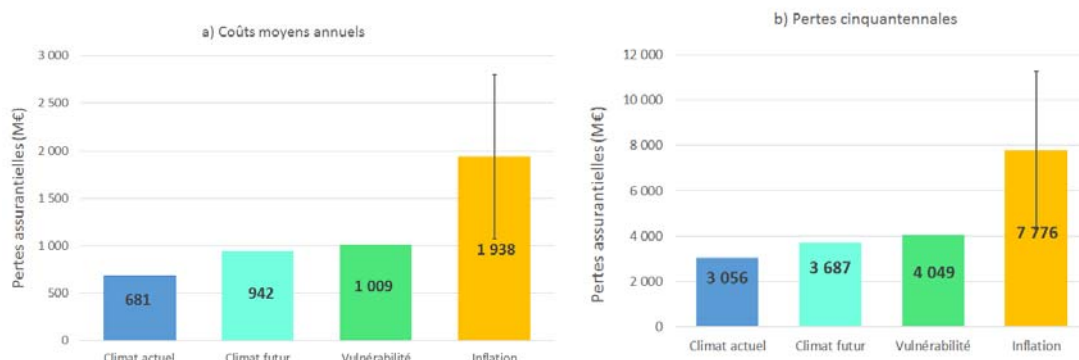


Figure 19 . Evolution des pertes assurantielles (moyennes en 19a et cinquantennales en 19b) dues aux inondations entre 2000 et 2050

Il existe cependant une disparité régionale en termes de dommages. Ainsi, les régions de la moitié nord du pays, la façade atlantique, les bassins versants de la Seine et de la Loire, et la plupart des départements du pourtour méditerranéen connaîtraient une augmentation significative des dommages, de 40 à plus de 60%. A l'inverse, les pertes seraient moins importantes en 2050 (de l'ordre -25% pour les baisses maximum) dans les départements du Massif Central, en aval du bassin de la Dordogne ainsi que dans les Alpes du Nord.

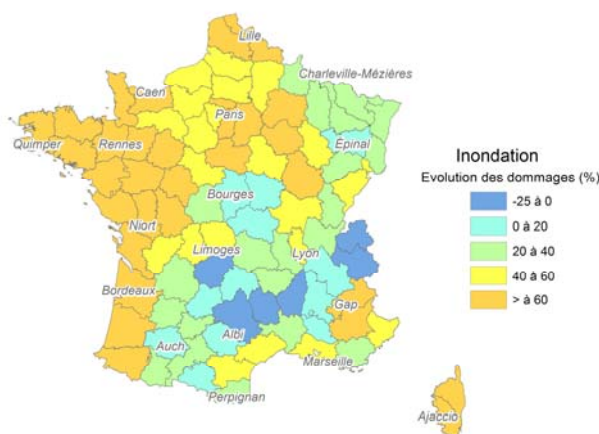


Figure 20. Evolution des pertes assurantielles dues aux inondations entre 2000 et 2050

4.3 La submersion

4.3.1 Modèle d'aléa submersion marine

a. Description du modèle

Les submersions marines correspondent à l'inondation de la zone côtière par la mer en raison de conditions météorologiques et marégraphiques sévères (fort coefficient de marées et/ou passage d'une dépression). Comme pour les autres périls, le modèle développé par CCR pour la submersion marine est constitué de trois composantes : l'aléa, la vulnérabilité et les dommages. Le modèle d'aléa est alimenté par les données météorologiques issues

du modèle Arpège Climat de Météo-France (partie 4); à savoir les champs de pression atmosphérique et de vitesses de vent et latitude et en longitude.

Ces champs, disponibles à un pas de temps de 3h et à une résolution spatiale de 0.5°, sont utilisés par le modèle Telemac 2D. Il s'agit d'un modèle hydrodynamique qui calcule la propagation des niveaux d'eau en mer sous l'effet de la marée et des conditions météorologiques²¹. En parallèle à l'estimation des niveaux d'eau en mer, une simulation des caractéristiques de vagues est réalisée à partir du modèle de propagation de vagues Tomawac. Les sorties du modèle de vagues permettent d'estimer le wave setup, c'est à dire l'augmentation du niveau moyen de l'eau à la côte due au déferlement des vagues.

Les niveaux d'eau résultants sont utilisés pour alimenter le modèle de submersion par débordement de la CCR²². Ce modèle, permet d'estimer l'extension de l'inondation et les niveaux d'eau associés²³. L'estimation des hauteurs d'eau maximales issues de ce modèle alimentent le modèle de dommages.

b. Élévation du niveau de la mer

Une des conséquences majeures du changement climatique est l'élévation du niveau de la mer. Celle-ci est susceptible d'impacter fortement les côtes en augmentant l'intensité et la fréquence des phénomènes de submersion marine. Afin d'évaluer l'ampleur du phénomène sur la France, les simulations réalisées pour le scénario RCP 8.5 sont associées à une hypothèse d'élévation de la mer. Selon le Giec,²⁴ le rythme de la hausse du niveau marin entre 2010 et 2050 sera comprise entre +4 et +5.5 mm par an pour le scénario RCP 4.5 et +4 et +7 mm par an pour le RCP 8.5. Ces taux sont similaires à l'accroissement moyen du niveau de la mer prévu à l'échelle du globe. Cette tendance conduit à une hausse de 20 cm pour le scénario RCP 4.5 et 23 cm pour le RCP 8.5. Afin de tenir compte de cette incertitude, une estimation avec une élévation de 10 cm et une seconde avec une estimation de 35 cm a été réalisée.

4.3.2 Résultats

a. Aléa

Les résultats obtenus pour la submersion marine peuvent être explorés à deux niveaux : l'aléa et les dommages. Tout d'abord, lorsqu'on superpose les zones inondées pour une même période de retour à climat actuel et à climat futur, on observe généralement que l'emprise inondée à climat futur est plus étendue. Comme le montre la figure 21, cette extension est d'autant plus visible dans les zones basses du littoral.

²¹ Hervouet, J.-M., et L. Van Haren. « TELEMAC2D Version 3.0 Principle Note ». Electricité de France. Chatou Cedex: Département Laboratoire National d'Hydraulique., 1996.

²² Naulin, J. P., D. Moncoulon, S. Le Roy, R. Pedreros, D. Idier, et C. Oliveros. « Estimation of Insurance-Related Losses Resulting from Coastal Flooding in France ». *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16, n° 1 (20 janvier 2016): 195-207. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-195-2016>.

²³ Horritt, M. S., et P. D. Bates. « Predicting Floodplain Inundation: Raster-Based Modelling versus the Finite-Element Approach ». *Hydrological Processes* 15, n° 5 (15 avril 2001): 825-842. <https://doi.org/10.1002/hyp.188>.

²⁴ IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

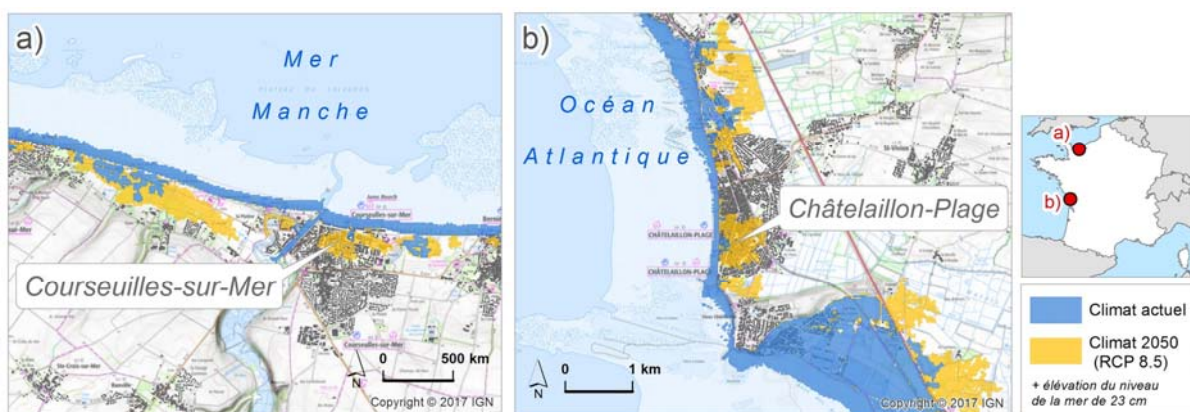


Figure 21. Comparaison des emprises submergées pour une période de retour de 100 ans dans la zone de Courseulles-sur-Mer (Calvados) et Châtelaiillon-Plage (Charente-Maritime)

Tableau 2 : Superficie des zones inondées par submersion marine en France métropolitaine

Période de retour	Climat Actuel	Climat futur			
	Superficie (km ²)	Superficie (km ²)	Taux d'évolution	Superficie (km ²)	Taux d'évolution
10	1185	1198	1%	1362	15%
50	1582	1528	-3%	1724	9%
100	1660	1606	-3%	1806	9%
Maximum	1865	1918	3%	2144	15%

Cette différence d'extension entre les zones submergées a été quantifiée dans le tableau 2. Le résultat obtenu pour le climat futur sans l'élévation de la mer est assez proche de l'emprise pour le climat actuel (-3% à +3%). L'évolution du climat seule semble donc peu impacter l'extension des zones inondées. En revanche, l'ajout de l'élévation de la mer entraîne un accroissement net des zones inondées allant de 9 à 15%.

b. Dommages assurés

Les dommages ont été calculés respectivement sur les événements des 400 années à climat actuel, 400 années à climat futur seul et 400 années à climat futur avec élévation de la mer de 23 cm. La figure 22 montre une comparaison entre les trois scénarios pour les pertes moyennes annuelles et pour les pertes cinquantennales. Ce résultat met en évidence que le changement climatique à horizon 2050 selon le scénario RCP 8.5 entraînerait à lui seul une augmentation des pertes de l'ordre de 25%. Si on met en parallèle ce résultat avec l'aléa, on observe en effet une légère augmentation des superficies inondées pour des périodes de retour élevées. L'impact de l'élévation de la mer est encore plus nette puisque le coût moyen annuel des submersions, estimé actuellement à 43 M€ passerait à 78 M€ au global soit une augmentation de 81%.

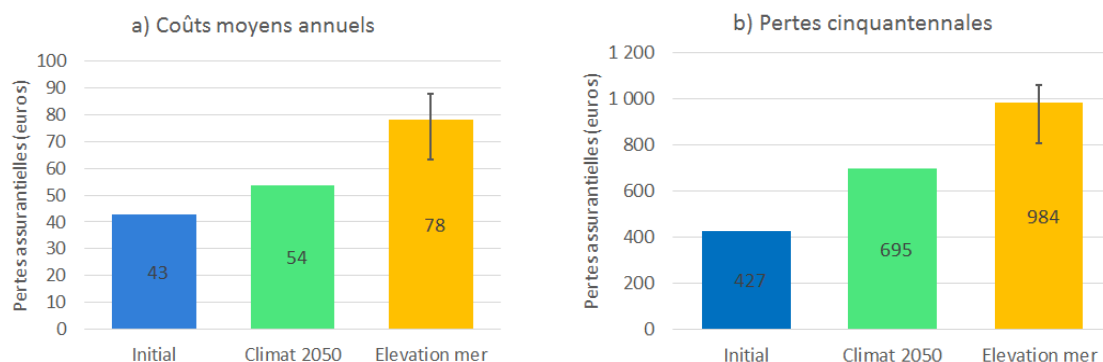


Figure 22. Impact du climat et de l'élévation de la mer sur les pertes assurantielles

L'intervalle de confiance représenté sur la figure 22 correspond aux pertes associées à une élévation de la mer de 10 cm (intervalle bas) et 35 cm (intervalle haut). Ces élévations correspondent à la plage d'incertitude autour de l'élévation de la mer prévue pour 2050. Cette fourchette met en avant la forte incertitude sur l'impact de l'élévation de la mer en termes de coûts, mais également le fait que même une élévation de 10 centimètres du niveau marin est susceptible d'avoir un impact sensible.

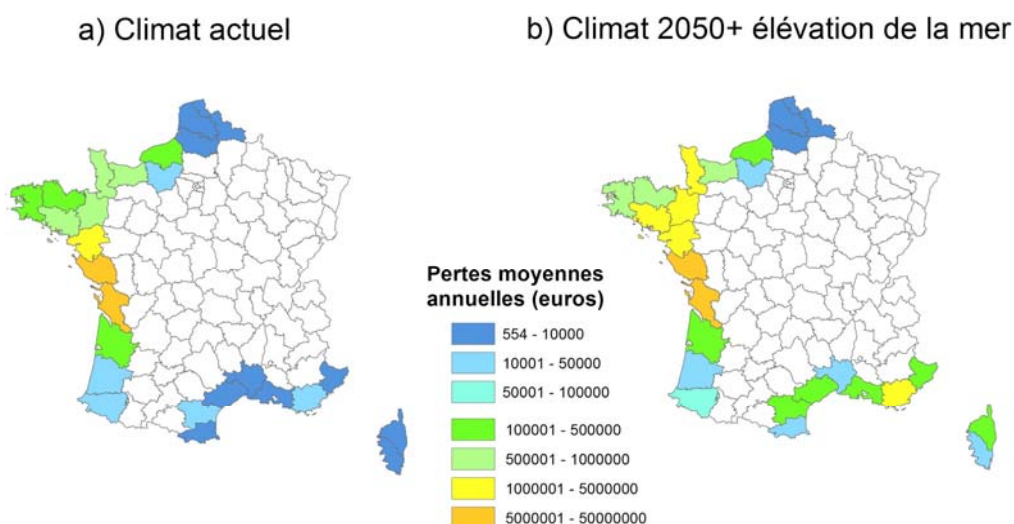


Figure 23. Impact du climat et de l'élévation de la mer sur les pertes annuelles moyennes

Afin d'analyser la répartition des dommages, les coûts moyens annuels par département ont été représentés dans la figure 23. La carte 23a montre que, d'après la chaîne de modélisation à climat actuel, les deux départements les plus exposés sont la Vendée et la Charente-Maritime. On peut noter qu'il s'agit des zones touchées par la tempête Xynthia. Les départements du Nord, fortement endigués, sont peu exposés d'après le modèle, de même que la Méditerranée où l'influence de la marée est faible. Le résultat obtenu souligne la limite de la non-prise en compte d'éventuelles ruptures de digues par le modèle actuel. Le résultat obtenu pour le climat futur (carte 23b) montre une évolution de l'exposition allant vers un accroissement des dommages plus marqué en Méditerranée et en Bretagne. Pour la Méditerranée, ce résultat s'explique aussi par la présence d'un événement exceptionnel dans le catalogue d'années simulées avec le scénario RCP 8.5.

L'évolution des enjeux assurés a été appliquée au cas de la submersion (cf. partie 3). Pour ce faire, les dommages ont été calculés sur les événements à climat futur en intégrant l'élévation de la mer à partir des portefeuilles d'assurance projetés en 2050. Les résultats présentés dans la figure 24 montrent que l'accroissement du nombre de biens entraînerait une hausse de 15% des coûts moyens annuels liés aux submersions marines. L'intervalle de confiance autour des estimations est faible puisqu'il est d'environ 5%.

Pour l'inflation, les résultats montrent que celle-ci peut avoir un impact très significatif sur le montant des dommages. Cet effet provient du fait que les valeurs assurées ont considérablement augmenté depuis la création du régime Cat Nat. C'est l'extrapolation de cette tendance qui entraîne cet accroissement important des dommages assurés. Il y a cependant une forte incertitude sur l'ampleur liée à cette hausse des valeurs assurées puisque l'intervalle présenté dans la figure est très large.

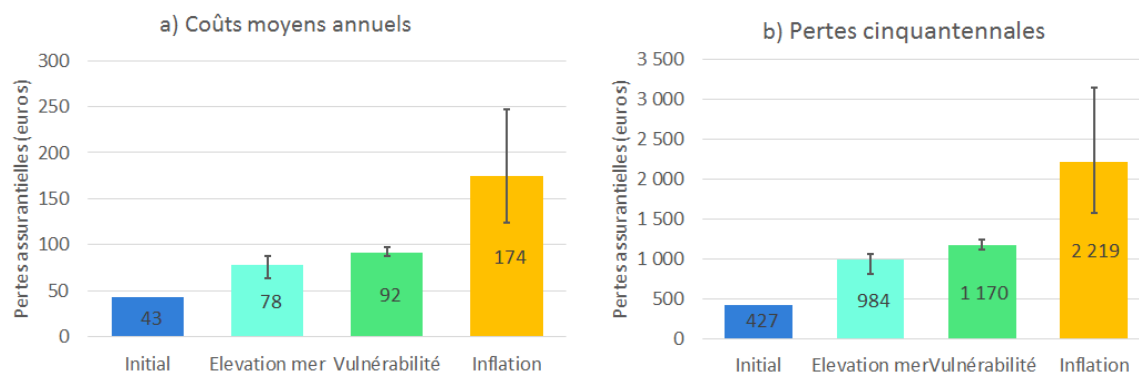


Figure 24. Impact de l'augmentation des valeurs assurées et du nombre de biens sur les pertes assurantielles

Les travaux réalisés dans cette étude mettent en avant l'impact du changement climatique sur les territoires littoraux. La hausse du niveau marin risque d'accroître la fréquence et la sévérité des phénomènes de submersion marine. L'augmentation des dommages assurés liés aux submersions pourrait atteindre plus de 80%. La densification de la population dans les zones à risque entraînerait également une hausse des dommages. Enfin, si elle n'est pas directement intégrée dans cette étude, la problématique de l'érosion constitue un facteur supplémentaire qui peut peser sur ces territoires.

4.4 La sécheresse

4.4.1 Le modèle d'impact de CCR

La sécheresse géotechnique – ou retrait-gonflement des argiles (RGA) – est un péril à déclenchement climatique du fait d'une anomalie du régime des précipitations mais avec un facteur de prédisposition en cas de présence d'argiles susceptibles de provoquer des mouvements du sol affectant les fondations et les structures des bâtis en surface.

Pour caractériser l'impact de ce péril, CCR a développé un modèle croisant des données de vulnérabilité telles que la géolocalisation des risques, l'estimation de leur valeur assurée ou l'historique de sinistralité sécheresse dans le cadre du régime Cat Nat ainsi que des données d'aléa caractérisant à la fois le sol via la cartographie de l'aléa RGA produite par le BRGM et le climat via un indice d'humidité des sols. Dans le cadre de notre étude, les données d'humidité des sols ont été produites par Météo-France pour les deux jeux de simulations à climat actuel et à climat futur.

Enfin, dans un souci de cohérence avec le traitement actuel des sécheresses, un critère d'éligibilité a été appliqué. Ce critère s'applique indépendamment sur chacun des trimestres et rend éligibles les régions où la période de retour de l'anomalie sur l'humidité des sols est au-delà du seuil de 20 ans. Cette période de retour correspond à la période de retour estimée de la sécheresse estivale de 2003, événement le plus marquant pour ce péril depuis 1982.

4.4.2 Aléa à climat futur

L'aléa simulé ne laisse guère de doute quant à la sévérité des sécheresses à climat futur comme l'illustre la figure 25 qui présente pour chaque trimestre l'évolution de l'humidité des sols entre le climat actuel et le climat futur.

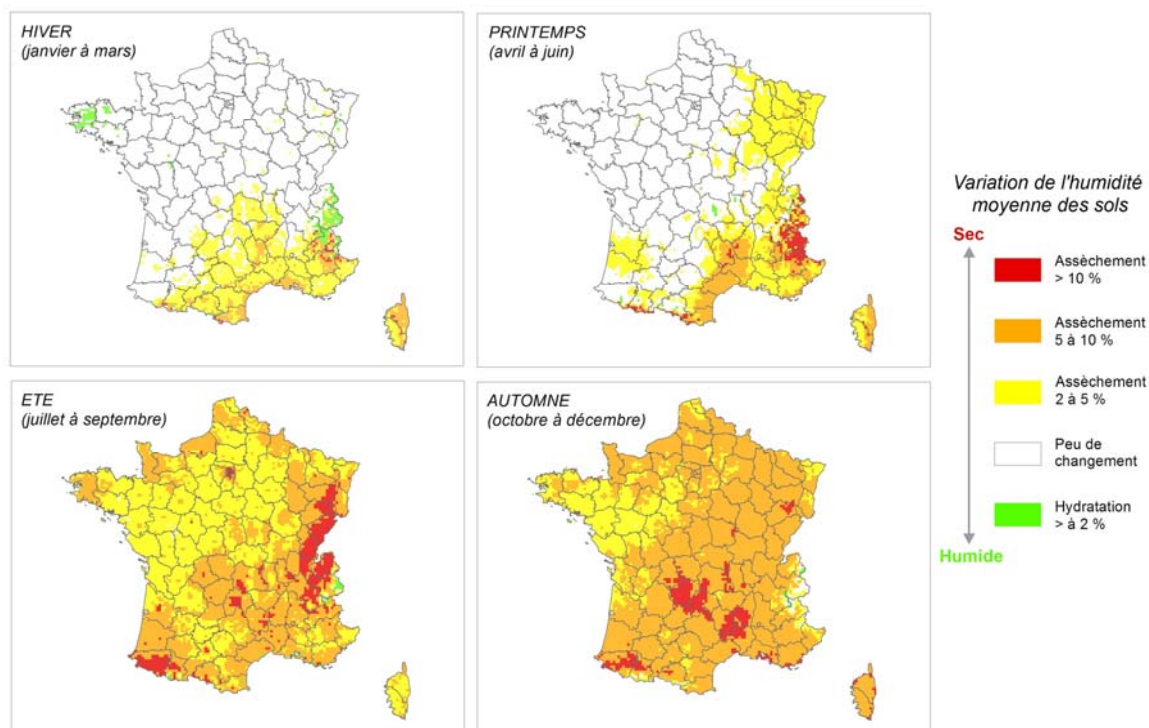


Figure 25. Evolution de l'humidité des sols à climat futur en comparaison du climat actuel

Durant le premier semestre, la moitié nord de la France ne devrait pas connaître de changement marqué même si les sols du Nord-Est présenteraient un léger assèchement au printemps.

En revanche, tout le territoire métropolitain serait durement affecté par un assèchement important des sols tout au long du second semestre. L'Île-de-France et l'Est seraient sévèrement touchés lors des étés alors que les régions Aquitaine, Occitanie et PACA le seraient de façon plus marquée en automne.

4.4.3 Résultats

Les dommages sont estimés en relatif entre le climat futur à exposition future et le climat actuel avec répartition actuelle des enjeux.

Les dommages consécutifs à la sécheresse géotechnique augmenteraient sur tout le territoire métropolitain à horizon 2050 notamment dans une large moitié sud du fait même de la sévérité accrue du phénomène mais aussi sur tout le littoral atlantique du fait cette fois de l'augmentation importante des biens assurés telle qu'envisagée dans les projections de vulnérabilité (Figure 26).

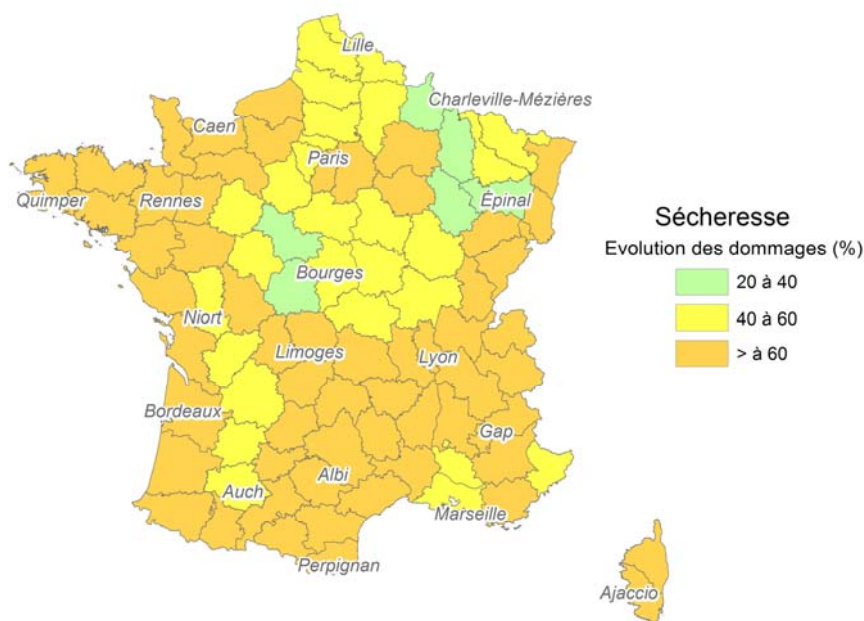


Figure 26. Evolution des dommages annuels moyens dus à la sécheresse à climat futur

Dans le détail, la contribution du changement climatique seul serait de + 23% sur les pertes annuelles moyennes et de + 60% sur les pertes cinquantennales (Figure 27). En comparaison, en utilisant un scénario de réchauffement climatique plus optimiste dans la version précédente de cette étude, le changement climatique n'avait un impact que de + 3% sur les pertes annuelles moyennes à l'échelle du territoire métropolitain avec des régions où le changement n'était pas significatif.

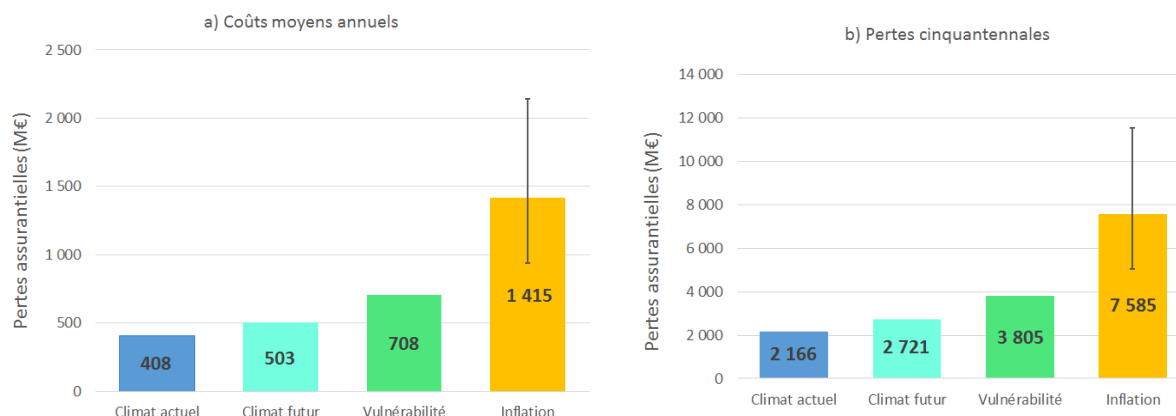


Figure 27. Contributions de l'aléa, de l'accroissement des biens assurés et de l'inflation sur les pertes annuelles moyennes et les pertes cinquantennales dues à la sécheresse

L'effet combiné du changement climatique et de l'accroissement des biens assurés avec certes des disparités régionales conduirait tout de même à une augmentation des pertes annuelles moyennes de l'ordre de + 75% y compris sur les pertes cinquantennales. Au final, la plus forte incertitude repose sur l'inflation à horizon 2050 qui devrait à minima entraîner un doublement des coûts liés à la sécheresse.

4.5 Autre péril non climatique modélisé à CCR : les tremblements de terre

Bien qu'il n'y ait pas de lien entre changement climatique et tremblements de terre, ce péril étant inclus dans l'actuel périmètre du régime d'indemnisation des Catastrophes Naturelles, il paraît intéressant de présenter l'impact de l'évolution des enjeux assurés à horizon 2050 en lien avec l'accroissement des biens assurés à cette échéance.

	Exposition actuelle	Exposition 2050	Exposition 2050 et inflation
Pertes annuelles moyennes	71 M€	92 M€	168 M€
Pertes cinquantennales	5,4 Mds €	7,2 Mds €	14,5 Mds €

Ces évolutions sont en cohérence avec l'évolution des biens assurés telle qu'elle est estimée dans cette étude. L'augmentation différentielle plus importante de l'exposition dans des départements de sismicité avérée tels que Pays-de-la-Loire, Pyrénées et Alpes contribue à augmenter plus sensiblement les pertes que l'accroissement de la population dans des zones asismique telle que le Bassin Parisien.

5. Conclusion

A quelques semaines de la publication du rapport du GIEC consacré à l'évaluation des conséquences globales d'une hausse de 1,5°C par rapport aux niveaux préindustriels, l'étude conjointe entre CCR et Météo-France propose une estimation des conséquences du changement climatique sur le montant des catastrophes naturelles.

À l'horizon 2050, le coût des catastrophes naturelles augmenterait de 50% avec le scénario RCP 8.5 du fait de l'augmentation de la fréquence et de la sévérité des événements, de l'élévation du niveau de la mer et de la concentration des populations dans les zones à risques. La part de l'aléa est estimée à 35% et celle de la concentration dans les zones à risques à 15%. Les précédents résultats portant sur le scénario RCP 4.5 montraient une augmentation des dommages due à l'aléa climatique estimée à 20%.

Au-delà l'évolution probable du coût des catastrophes naturelles, cette étude révèle que certains territoires seront plus fortement exposés aux risques naturels en raison des dynamiques démographiques et des effets du changement climatique (évolution des zones à risques). Ce phénomène renforcera le **besoin de mutualisation solidaire**.

Ces résultats constituent autant d'indicateurs permettant d'orienter les politiques de prévention sur les territoires qui concentrent le plus grand nombre d'enjeux mais également sur ceux où la récurrence de certains événements pourrait être forte.

Les politiques de prévention devront notamment tenir compte de la concentration de population dans les zones à risques nouvellement identifiées, face au défi de préserver les fondements du régime Cat Nat. Sans cela, le rapport sinistre / prime annuel devrait augmenter au minimum de 50% en 2050, soit 1,5% par an.

Les travaux de recherche conjoints entre CCR et Météo-France vont se poursuivre avec une étude des conséquences du changement climatique sur les territoires ultramarins français qui sont particulièrement exposés aux risques naturels, comme l'a rappelé l'ouragan Irma en 2017.

6. Principales références

Jouzel J. (dir), Ouzeau G., Déqué M., Jouini M., Planton S., Vautard R. (2014), *Le climat de la France au XXI^e siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : édition 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer*, Rapports Direction générale de l'énergie et du climat, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 64 p.

Jouzel J. (dir), Planton S., Le Cozannet G., Cazenave A., Costa S., Douez O., Gaufrès P., Hissel F., Idier D., Laborie V., Petit, V. Sergent P. (2015), *Le climat de la France au XXI^e siècle. Volume 5. Changement climatique et niveau de la mer : de la planète aux côtes françaises*, Rapports Direction générale de l'énergie et du climat, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, 71 p.

Guivarch C., Rozenberg J. (2013), "Les nouveaux scénarios socio-économiques pour la recherche sur le changement climatique", *Pollution atmosphérique, numéro spécial*, p. 40-49

Modélisation de l'impact du changement climatique sur les dommages assurés dans le cadre du régime Catastrophes Naturelles, Caisse Centrale de Réassurance, 2015, 32 p.

Moncoulon D., Labat D., Ardon J., Leblois E., Onfroy T., Poulard T., Aji S., Rémy S., Quantin A. (2014), « Analysis of the french insurance market exposure to floods : a stochastic model combining river overflow and surface runoff », *Natural Hazards and Earth System Science*, 14, p. 2469-2485

Naulin, J. P., Moncoulon D., Le Roy S., Pedreros R., Idier D. et C. Oliveros C. (2016), « Estimation of Insurance-Related Losses Resulting from Coastal Flooding in France ». *Natural Hazards and Earth System Sciences* 16, n° 1 (20 janvier 2016): 195-207. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-195-2016>.

OCDE (2016), *Les conséquences économiques du changement climatique*, mars 2016, 150 p.

Stocker T.F., Qin G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley, (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.



Equipe projet

CCR

David Moncoulon, dmoncoulon@ccr.fr

Jérémy Desarthe

Jean-Philippe Naulin

Thomas Onfroy

Pierre Tinard

Zi-Xiang Wang

Chadi Hajji

Météo-France

Marine Veysseire, martine.veysseire@meteo.fr

Michel Dequé

Fabienne Régimbeau

Contact presse

Isabelle Delval idelval@ccr.fr