



**HAL**  
open science

## Impact du changement climatique sur la sinistralité due au retrait-gonflement des argiles

Sébastien Gourdier, Emmanuelle Plat

### ► To cite this version:

Sébastien Gourdier, Emmanuelle Plat. Impact du changement climatique sur la sinistralité due au retrait-gonflement des argiles. Journées Nationales de Géotechnique et Géologie de l'Ingénieur (JNGG) 2018, Jun 2018, Champs-sur-Marne, France. hal-01768395

**HAL Id: hal-01768395**

**<https://brgm.hal.science/hal-01768395v1>**

Submitted on 17 Apr 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA SINISTRALITE DUE AU RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

## IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON CLAIMS DUE TO THE SHRINKAGE AND SWELLING OF CLAY SOILS

Sébastien GOURDIER<sup>1</sup>, Emmanuelle PLAT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> BRGM, Direction Risques et Prévention, Orléans, France

<sup>2</sup> BRGM, Département Prévention Sécurité Minière, Gardanne, France

**RÉSUMÉ** – En France, le coût total du RGA depuis 1990 dépasse les 8,5 milliards d'euros. Les modèles climatiques récents s'accordent à prédire une augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses au cours du siècle. Le BRGM a développé un modèle de coûts des dommages liés au RGA tenant compte du changement climatique pour évaluer son impact sur la sinistralité et les bénéfices qu'apporterait une politique d'adaptation.

**ABSTRACT** – In France, the total cost of shrink–swell soils since 1990 exceeds 8.5 billion euros. Recent climate models agree to predict an increase in the frequency and intensity of droughts over the century. BRGM has developed a climate change-related damage cost model to assess its impact on claim rates and the benefits of an adaptation policy.

### 1. Introduction – Contexte

En France, le coût total des sinistres liés au phénomène de retrait-gonflement des formations argileuses, indemnisés depuis 1989 dans le cadre de la procédure sur les catastrophes naturelles, est évalué à plus de 8,5 milliards d'euros par la Caisse Centrale de Réassurance (estimation de novembre 2015 pour la période 1990-2013 ; fig. 1). Ainsi, près de 8 500 communes ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pour la sécheresse géotechnique, avec un peu plus de 23 000 arrêtés pris depuis 1989.

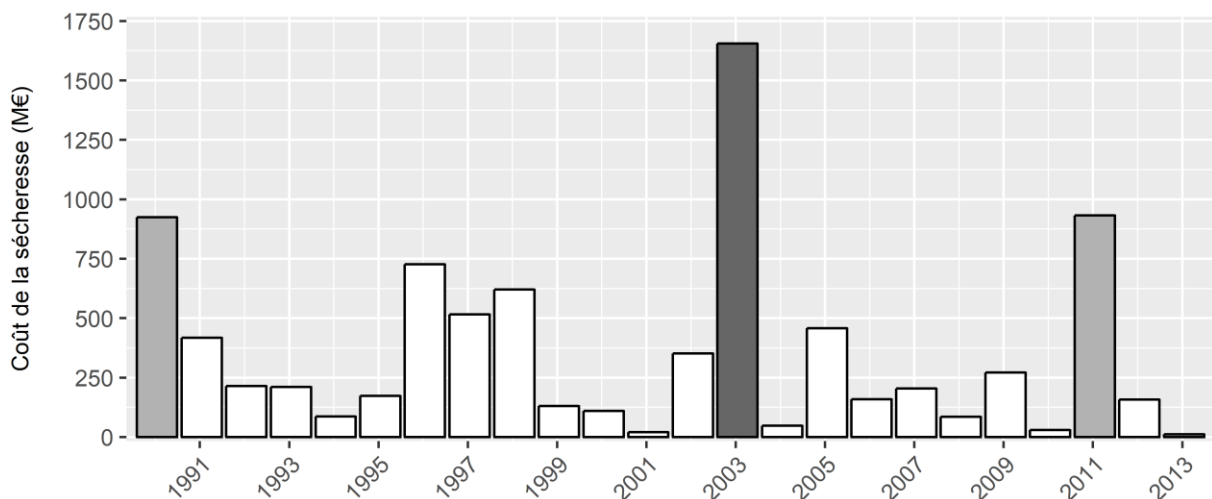


Figure 1. Coûts annuels du RGA pour le régime d'indemnisation des Catastrophes Naturelles entre 1990 et 2013 (source CCR, novembre 2015)

Les travaux récents sur le changement climatique, en particulier le projet ClimSec conduit par Météo-France (Vidal et al., 2010 ; Soubeyroux et al. 2011), ont montré que la

fréquence et l'intensité des vagues de chaleur et des sécheresses allaient inévitablement augmenter au cours du siècle sur le territoire français.

Ainsi, les principaux résultats des simulations, basées sur les projections climatiques des modèles du Quatrième Rapport d'Évaluation (*4<sup>th</sup> Assessment Report, AR4*) du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC, 2007), montrent qu'au cours du premier tiers du siècle, la probabilité de sécheresse agricole s'accroît ; au milieu du siècle apparaissent des sécheresses inhabituelles en termes d'expansion spatiale ou d'intensité et touchent des régions qui ne connaissaient pas ces phénomènes auparavant (zones montagneuses en particulier) ; à la fin du siècle les sécheresses du sol pourraient devenir extrêmes (par comparaison au climat actuel) sur la majeure partie du territoire : un été sur trois, voire un été sur deux, serait au moins aussi chaud que l'été 2003 en métropole.

L'Association Française de l'Assurance estime, sur la base du scénario RCP (*Representative Concentration Pathways*) 8.5 de l'AR5 du GIEC (GIEC, 2014 ; fig. 2), qu'à l'horizon 2040, le coût assurantiel de la sécheresse géotechnique devrait quasiment tripler (AFA, 2015). 60% de cette augmentation seraient à imputer au changement climatique. Les travaux menés par la CCR et Météo-France (CCR, 2015) montrent, à partir des projections climatiques du scénario RCP 4.5 de l'AR5 du GIEC (fig. 2), que les dommages annuels consécutifs aux événements climatiques devraient doubler d'ici 2050 : le changement climatique seul en expliquerait 20%. Concernant plus spécifiquement la sécheresse, le coût du phénomène devrait doubler : l'essentiel de cette évolution serait dû à l'augmentation de la vulnérabilité, moins de 5% seraient causés par le changement climatique.

Les premières estimations de l'impact du changement climatique sur la sinistralité liée au phénomène de retrait-gonflement des argiles (RGA), s'appuyant sur des hypothèses différentes, tant en termes de projections climatiques qu'en termes de modèles d'endommagement, aboutissent à des résultats disparates.

Il est donc apparu nécessaire de poursuivre les travaux qui avaient été conduits dans le cadre du groupe de travail Risques Naturels, Assurance et Changement Climatique (Plat et al., 2009) pour bâtir un modèle de coûts des dommages liés au RGA qui permette d'évaluer l'impact du changement climatique et les incertitudes associées. En outre, le modèle cherche à estimer les bénéfices qu'apporterait une politique d'adaptation se traduisant par une amélioration de la qualité de la construction, via des contraintes réglementaires sur les constructions neuves, par exemple.

## **2. Prise en compte du changement climatique**

### **2.1. Indicateur d'humidité du sol**

L'intégration du changement climatique dans le modèle est basée sur les résultats des simulations hydrologiques effectuées par Météo-France avec la chaîne de modélisation Safran-Isba-Modcou (SIM), à partir de projections climatiques issues des travaux du GIEC (AR4), dans le cadre du projet ClimSec. Safran est un système d'analyse permettant de reconstruire des profils verticaux de l'atmosphère sur une grille régulière de 8 km, à partir d'observations au sol et de modèles de circulation générale à grande échelle. Safran a été exécuté sur la période 1958–2008 pour disposer d'une référence climatologique, à partir de laquelle les modèles Isba et Modcou ont calculé l'humidité du sol à haute résolution spatio-temporelle sur la France entière.

Plusieurs indicateurs standardisés de sécheresse ont été calculés sur les cinquante ans de la réanalyse pour déterminer les caractéristiques moyennes des sécheresses en métropole, notamment leur durée et intensité, et mettre en évidence les événements majeurs rencontrés en France depuis 1958. Ces indicateurs ont été calculés en climat

futur, à partir des simulations réalisées sur la période 1961-2100 avec le modèle Arpège–Climat, utilisant, à partir de l’an 2000, trois scénarios de concentration de gaz à effet de serre : B1 (durabilité environnementale globale), A1B (croissance économique rapide) et A2 (développement économique avec une orientation régionale ; GIEC, 2007 ; fig. 2).

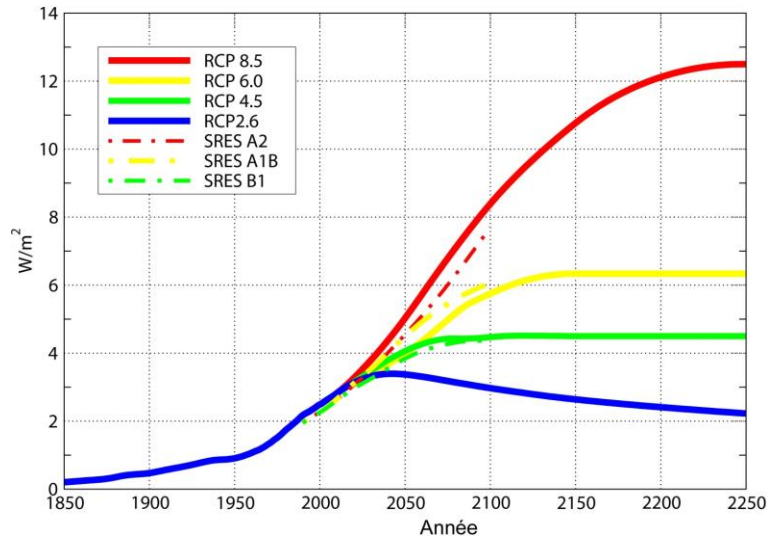


Figure 2. Évolution du bilan radiatif de la terre en  $W/m^2$  sur la période 1850–2250 selon les différents scénarios, AR4 en tireté et AR5 en trait plein (source Météo-France)

L'humidité du sol est caractérisée par l'indicateur SWI (*Soil Wetness Index*), calculé à partir de la teneur en eau intégrée sur la profondeur du sol, la teneur en eau au point de flétrissement et la teneur en eau à la capacité au champ. Cet indicateur est standardisé par projection de la distribution statistique de cette variable sur une distribution normale centrée réduite, pour obtenir le *Standardized SWI* ou SSWI, qui permet d'identifier des événements aussi bien hivernaux qu'estivaux, indépendamment de la valeur absolue de l'humidité du sol.

## 2.2. Événements de référence

Une analyse en première approche des coûts annuels du RGA pour le régime d'indemnisation des Catastrophes Naturelles entre 1990 et 2013 (fig. 1) nous amène à distinguer deux types d'événements de référence en matière de sécheresse : les années 1990 et 2011, avec un coût moyen de l'ordre de 900 m€ et l'année 2003, avec un coût qui dépasse 1,6 Mds €. Le coût moyen annuel du RGA pour une année « normale » s'élève tout de même à 240 m€. A partir de ce constat, on considère que la période de retour d'un événement « type 2003 » est de 24 ans et celle d'un événement « type 2011 » est de 12 ans. On détermine alors, sur la période de référence 1961-2000, les seuils de SSWI qui respectent ces probabilités d'occurrence des événements. Ces seuils sont ensuite appliqués aux projections climatiques pour déterminer les années qui font l'objet d'une sécheresse géotechnique.

Les simulations réalisées pour le scénario B1 indiquent qu'un événement « type 2003 » surviendrait une année sur trois entre 2020 et 2050, une année sur deux entre 2050 et 2080 et deux années sur trois entre 2080 et 2100. Les scénarios A1B et A2 donnent, sur ce point, des résultats similaires et plus pessimistes : un événement « type 2003 » surviendrait une année sur deux entre 2020 et 2050 et serait la norme à partir de 2050.

## 3. Evolution du parc immobilier

Pour évaluer au mieux l'évolution au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle de la sinistralité liée à la sécheresse dans un contexte de changement climatique, il est nécessaire de disposer de

projections d'évolution du parc immobilier, en particulier les maisons individuelles, principaux enjeux du retrait-gonflement des argiles.

Pour ce faire on s'appuie sur les deux scénarios de prospective socio-économique et démographique développés par le BIPE (MEDDE, 2012) dans le cadre du projet Explore 2070 dont l'objectif était l'estimation des impacts du changement climatique sur la ressource en eau. Le premier scénario fait l'hypothèse d'une concentration relative de l'habitat : l'augmentation de la population se traduit par une concentration plus forte de l'habitat dans les zones déjà occupées par des activités économiques et des logements. Le deuxième scénario suppose une accélération de l'étalement de l'habitat avec une multiplication par deux de la superficie artificialisée en métropole d'ici 2070.

Ces deux scénarios reposent sur les prévisions de croissance démographique de l'INSEE qui prévoient une hausse de la population en France métropolitaine de 13 millions d'habitants, ce qui porterait la population à 75 millions d'habitants en 2070. Cette population se déplace progressivement vers la façade atlantique et vers le sud, ce qui implique une relative stabilité de la population de certaines régions, et une forte augmentation des besoins en logement dans d'autres régions (MEDDE, 2012).

Ces scénarios ont été traduits en termes d'évolution du nombre de logements neufs et anciens à l'échelle régionale. Au niveau national, en 2010, on comptait environ 18 millions de maisons individuelles. On en dénombrait, en 2100, entre 22 (concentration) et 27 millions (étalement). Ce bilan net serait le résultat de la destruction 10 à 11 millions de maisons anciennes et la construction de 14 à 19 millions de maisons neuves au cours du siècle (fig. 3).

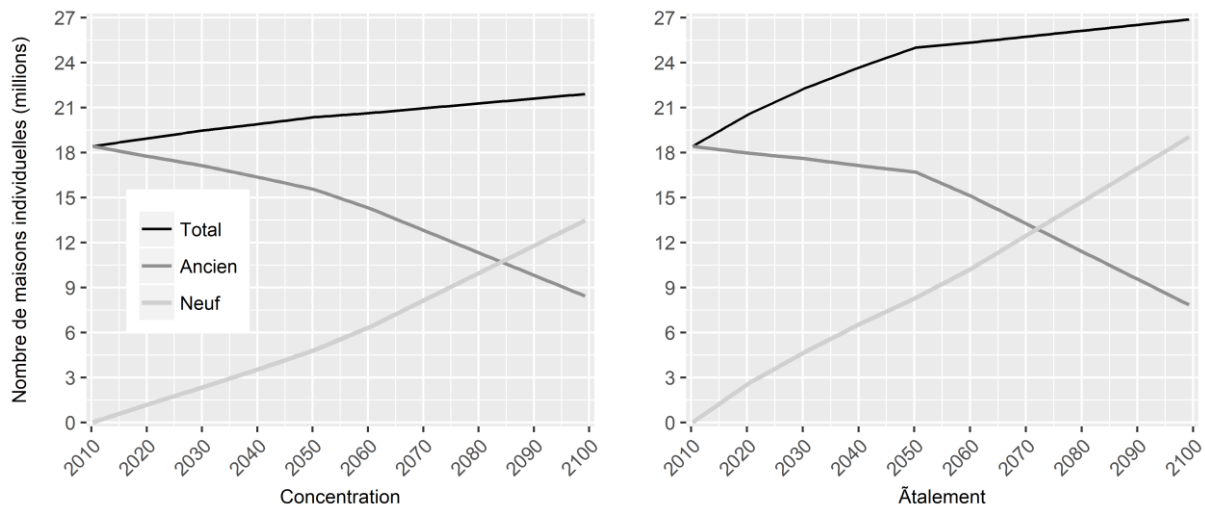


Figure 3. Évolution du parc de maisons individuelles entre 2010 et 2100 selon deux scénarios

#### 4. Coût de la sinistralité

Dans le cadre du régime d'indemnisation des dommages causés par un phénomène naturel, CCR délivre aux assureurs une couverture de réassurance illimitée, bénéficiant de la garantie de l'État, pour les risques de catastrophes naturelles en France. Par ailleurs, CCR est chargée de la gestion comptable et financière du Fonds de Prévention des Risques Naturels Majeurs dit Fonds Barnier.

Ces deux missions lui ont permis de rassembler de nombreuses données concernant la sinistralité liée au retrait-gonflement des argiles. Ces données de sinistres nous renseignent, pour chaque département, sur le nombre de sinistres enregistrés entre 1990 et 2013, leur répartition par niveau d'aléa et leur coût moyen unitaire.

A titre d'exemple, le coût moyen d'un sinistre à l'échelle nationale est de 19 k€, mais on observe des disparités régionales notables : en Ile-de-France le coût moyen est de 26 k€,

en région PACA il atteint quasiment 28 k€, tandis qu'en Aquitaine il est de 17 k€ et en Midi-Pyrénées 16 k€.

On estime la sinistralité engendrée par chacune des trois années types identifiées – deux événements de référence et l'année « normale » – à partir des coûts annuels des événements passés (fig. 1) : l'année 2003 est responsable de 19% des sinistres, les années 1990 et 2011 de 11% chacune en moyenne et chaque année « normale » en cause 3%.

Pour chaque département on connaît la répartition actuelle du bâti individuel en fonction du niveau d'aléa. On fait l'hypothèse que les constructions neuves ne privilégient aucun niveau d'aléa : la répartition reste inchangée au cours du siècle.

Par croisement de la distribution géographique des maisons individuelles et du nombre de sinistres provoqués par un événement climatique type, on obtient les taux de bâti individuel sinistré par département, par niveau d'aléa et par année type.

Le coût de la sinistralité ainsi évalué ne tient compte ni de l'inflation (on raisonne en euro constant) ni de l'évolution de la valeur des biens immobiliers, qui peut avoir une influence sur les montants d'indemnisation consentis par les assurances.

## 5. Résultats

Les projections en climat futur de l'humidité des sols, issues du projet ClimSec de Météo-France, ont permis de déterminer les années de sécheresse géotechnique à venir, classées selon les événements de référence établis à partir des statistiques de sinistralité recueillies entre 1990 et 2013.

Les coûts induits par chaque événement de référence ont été estimés suivant les coûts enregistrés sur la même période et les projections démographiques et socio-économiques ont fourni une estimation de l'évolution du parc immobilier au cours du siècle.

Plusieurs hypothèses sur les données d'entrée ont été testées et combinées entre elles pour fournir une estimation de l'impact du changement climatique sur la sinistralité liée au RGA et évaluer les incertitudes associées.

### 5.1. Impact du changement climatique

Comme décrit précédemment, les coûts ont été évalués suivant trois scénarios de changement climatique (B1, A1B et A2), auxquels on a ajouté trois scénarios fictifs destinés à fournir des points de comparaison.

Le premier d'entre eux, dénommé par la suite « scénario de référence », est basé sur le scénario B1, pour lequel on considère que les périodes de retour des événements de référence restent inchangées au cours du siècle, à la différence de ce qui a été décrit au § 2.2, il s'agit donc d'un scénario à climat actuel. Les deux autres scénarios fictifs servent principalement à borner les estimations : le premier, appelé « bruit de fond », est constitué d'une succession d'années normales uniquement, le second d'années « type 2003 » uniquement.

Le coût total de la sinistralité liée au RGA, calculé par le modèle entre 2020 et 2100 suivant le scénario de référence, est de l'ordre de 45 Mds € (fig. 4A), soit un coût annuel moyen de 563 m€, à comparer au coût annuel moyen de 355 m€ enregistré entre 1990 et 2013. La différence est expliquée, d'une part, par l'augmentation du parc immobilier (ici, avec un scénario de concentration urbaine) et, d'autre part, par le fait que les sécheresses projetées, si elles ne sont pas plus fréquentes, touchent une plus grande surface du territoire métropolitain.

En intégrant le changement climatique dans le calcul, le coût total est estimé entre 104 Mds € (scénario B1) et 122 Mds € (scénario A2), soit un coût environ 2,5 fois supérieur à celui estimé suivant le scénario de référence.

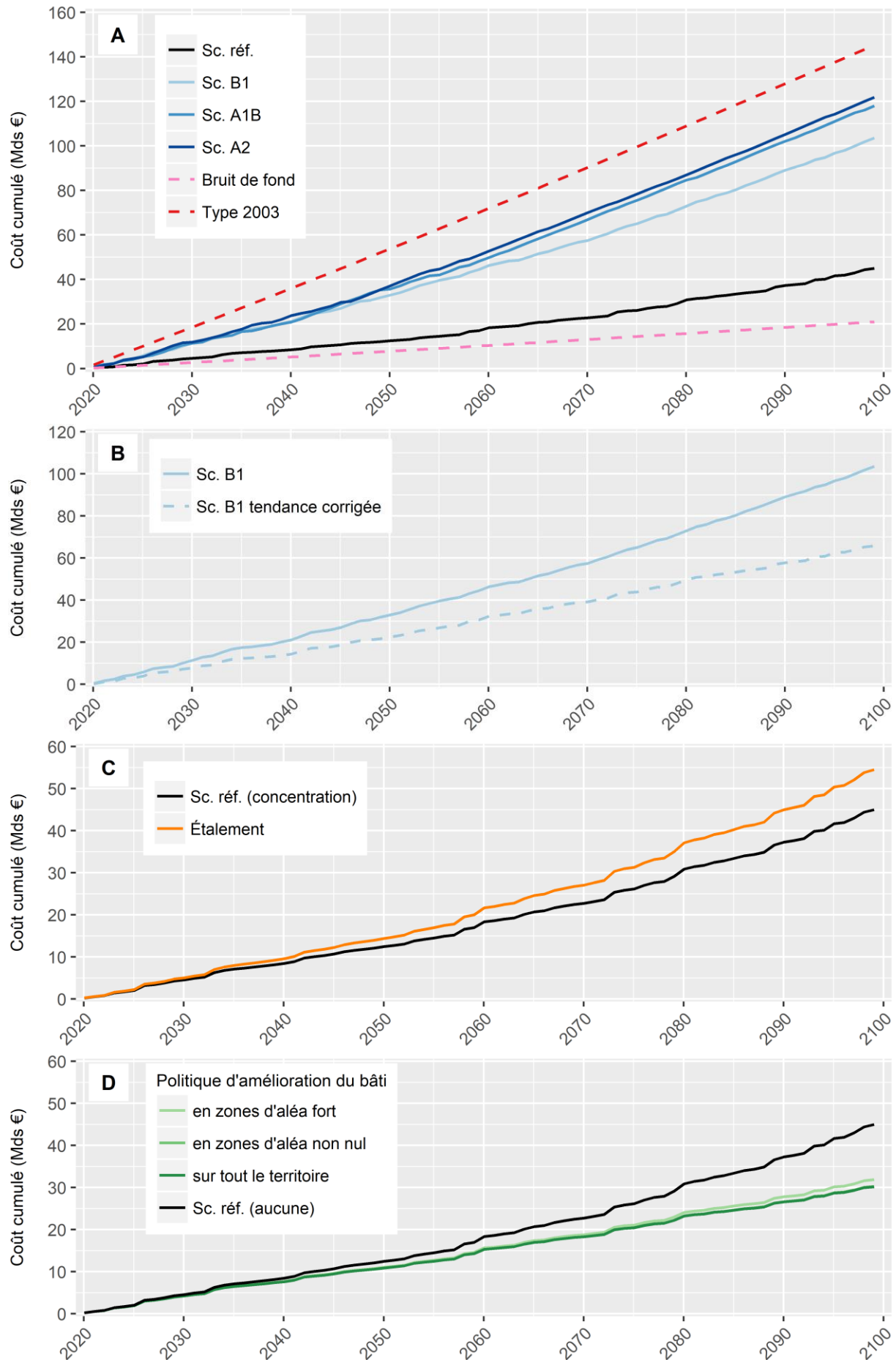


Figure 4. Résultats du modèle d'estimation du coût de la sinistralité liée au RGA

De façon générale, quel que soit le scénario de changement climatique et pour toutes les régions, les chroniques de SSWI simulées montrent une tendance à la baisse plus ou moins marquée au cours du siècle. L'humidité moyenne des sols décroissant, il est envisageable que les seuils de déclenchement des événements de sécheresses exceptionnelles diminuent de façon proportionnelle : le caractère exceptionnel de l'événement est déterminé sur une période de référence glissante.

Cette hypothèse a été testée sur le scénario B1 (fig. 4B) : le coût total diminue de 36%, passant de 104 Mds € à 66 Mds €. Le coût total de la sinistralité due au changement climatique, suivant cette hypothèse, serait 1,5 à 1,7 fois supérieur à celui estimé suivant le scénario de référence.

### **5.2. Influence du mode d'urbanisation**

Le scénario de référence est basé sur une hypothèse de concentration de l'habitat. Dans l'hypothèse d'une accélération de l'étalement urbain, le coût total de la sinistralité liée au RGA serait de l'ordre de 55 Mds € (fig. 4C), soit un surcoût d'environ 20% par rapport à une limitation de la superficie artificialisée en métropole (concentration).

### **5.3. Mise en œuvre d'une politique d'adaptation**

L'adaptation au changement climatique passerait par une politique d'amélioration du bâti s'appliquant sous forme de prescriptions pour les nouvelles constructions de maisons individuelles, à l'image de ce qui se fait actuellement pour les Plans de Prévention des Risques, en cohérence avec les résultats du projet ARGIC (Vincent et al., 2009) qui visait à déterminer comment prévenir de manière économique les risques de retrait-gonflement pour les constructions individuelles.

La mise en œuvre de ces nouvelles contraintes constructives se traduit dans le modèle par des taux de sinistralité réduits sur les constructions neuves, dans les zones où elles s'appliquent. On teste trois hypothèses de zonage réglementaire : l'effort est porté en zone d'aléa de niveau fort uniquement, en zone d'aléa non nul ou sur l'ensemble du territoire métropolitain.

Le coût total de la sinistralité est estimé entre 30 Mds € (territoire entier) et 32 Mds € (zone d'aléa fort) à comparer au scénario de référence (45 Mds €, fig. 4D) pour lequel aucune politique n'est mise en place. La réduction du coût de la sinistralité, suite à la mise en œuvre d'une politique d'adaptation, est de l'ordre de 30%. Une telle politique se montre efficace dès sa mise en place en zone d'aléa de niveau fort.

## **6. Conclusions**

Le BRGM a développé un modèle de coût des dommages liés au retrait-gonflement des argiles qui intègre les projections climatiques effectuées par Météo-France sur la base des scénarios du GIEC (projet ClimSec) ainsi que les prospectives démographiques et socio-économiques publiées lors du projet Explore 2070.

Selon ce modèle, l'impact du changement climatique sur la sinistralité causée par la sécheresse géotechnique se traduirait par une multiplication du coût des dommages par 1,5 à 2,5 selon les hypothèses prises en compte.

En outre, le modèle a aussi permis d'évaluer les bénéfices qu'apporterait la mise en œuvre d'une politique d'adaptation au changement climatique. L'amélioration de la qualité de la construction en zone d'aléa de niveau fort, objectif visé par une telle politique, se traduirait par une réduction du coût total des dommages d'environ 30%.

Depuis la fin du projet ClimSec, de nouveaux scénarios de changements climatiques ont été publiés par le GIEC et les modèles d'humidité des sols ont évolué. Le modèle de



coût est prêt à intégrer d'éventuelles nouvelles projections de sécheresse qui en découleraient.

Par ailleurs, le modèle étant bâti sur le maillage SAFRAN de Météo-France, il est capable de travailler à plus grande échelle, régionale ou départementale, pour préciser les impacts du changement climatique sur les zones à fort enjeu.

## 7. Références bibliographiques

- Association Française de l'Assurance (2015). Risques Climatiques : quel impact sur l'assurance contre les aléas naturels à l'horizon 2040 ? <https://www.ffa-assurance.fr/file/236/download?token=X87PB64y>
- CCR – Service R&D modélisation, Département des Etudes Techniques, Direction des réassurances publiques (2015). Modélisation de l'impact du changement climatique sur les dommages assurés dans le cadre du régime Catastrophes Naturelles. <https://www.ccr.fr/documents/23509/29230/Etude+climat.pdf/18d0afb3-0a2c-40a7-a5ca-8a10c570168e>
- GIEC (2007). Changements climatiques 2007: Rapport de synthèse. Contribution du Groupe de travail I, II, III au quatrième Rapport d'évaluation du GIEC. [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. and Reisinger, A.]. GIEC, Genève, Suisse, 104 p. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf)
- GIEC (2014). Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Meyer, L.A.]. GIEC, Genève, Suisse, 161 p. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_fr.pdf)
- Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (2012). Explore 2070 Eau et changement climatique, prospective socio-économique et démographique, pressions anthropiques. [http://www.onema.fr/sites/default/files/pdf/RE\\_Explore2070\\_Prospective\\_Etude.pdf](http://www.onema.fr/sites/default/files/pdf/RE_Explore2070_Prospective_Etude.pdf)
- Plat E., Vincent M. et Lenôtre N. (BRGM), Peinturier C., Poupat B. et Dorelon P. (MEEDDAT/CGDD), Chassagneux P. (Météo-France), Kazmierczak J.-B. (INERIS), Salagnac J.-L. (CSTB), Gerin S., Nussbaum R. et Chemitte J. (MRN) (2009). Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France pour le risque de sécheresse géotechnique (retrait-gonflement des sols argileux). Rapport final du Groupe de Travail Risques Naturels, Assurances et Changement Climatique. BRGM/RP-56771-FR, 62 p., 28 ill.
- Soubeyroux J.-M., Vidal J.-P., Najac J., Kitova N., Blanchard M., Dandin P., Martin E., Pagé C., Habets F. (2011). Projet ClimSec : Impact du changement climatique en France sur la sécheresse et l'eau du sol. Rapport final du projet. [https://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/2011\\_fmaif\\_rapport\\_final\\_v2.2.pdf](https://www.umr-cnrm.fr/IMG/pdf/2011_fmaif_rapport_final_v2.2.pdf)
- Vidal J.-P., Martin E., Franchistéguy L., Habets F., Soubeyroux J.-M., Blanchard M., Baillon M. (2010). Multilevel and multiscale drought reanalysis over France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological suite. Hydrology and Earth System Sciences, 14(3), 459-478. DOI : 10.5194/hess-14-459-2010.
- Vincent M., Cojean R., Fleureau J.-M., Cui Y. J., Jacquard C., Kazmierczak J.-B., Masrouri F., Tessier D., Alimi-Ichola I., Magnan J.-P., Blanchard M., Fabre D., Pantet A., Audiguier M., Plat E., Souli H., Taibi S., Tang A.-M., Morlock C., Maison T., Mrad M., Bréda N., Djeran-Maigre I., Duc M., Soubeyroux J.-M., Denis A., Proust D., Geremew Z., Le Roy S., Dumont M., Hemmati S., Nowamooz H., Coquet Y., Pothier C., Makki L., Chrétien M., Fontaine C. (2009). Rapport de synthèse final du projet ARGIC (Analyse du retrait-gonflement et de ses Incidences sur les Constructions). Projet ANR-05-PRGCU-005. Rapport BRGM/RP- 57011-FR.