COUNTRY:France
PAGE(S) :66-70
SURFACE :402 %
FREQUENCY :Monthly
CIRCULATION :(9763)
AVE :22,11 K€
► 1 July 2025 - N°906
Page Source

RECHERCHE

Les *stress-tests* sur le climat en sont-ils vraiment ?

Stéphane Loisel

Professeur du Cnam
Chaire actuariat et science du risque

Cnam, Efab, Lirsa, Paris, France

Étienne Raynal

Docteur en sciences de gestion
LSAF, Université Claude Bernard Lyon 1,Lyon, France

Galea et associés

Les instances de régulation et de supervision financière demandent aux institutions d'évaluer leur résilience aux risques liés à la crise climatique. À la base de tout, les trajectoires établies par le Network for Greening the Financial System (NGFS). En réalité, ces premiers exercices négligent de nombreux points de basculement. Pour être plus pertinents, ils devraient intégrer, entre autres, des scénarios beaucoup plus adverses et des objectifs non financiers...

En 2015, dans le rapport « Mobiliser les financements pour le climat, une feuille de route pour financer une économie décarbonée », Alain Grandjean et Pascal Canfin prescrivent de définir des méthodes afin d'élaborer des *stress-tests* climatiques pour les institutions financières. Deux ans plus tard, Battiston et ses coauteurs écrivent un article précurseur sur un exercice de *stress-test* climatique. Une analyse sectorielle des portefeuilles des acteurs financiers est effectuée. Les secteurs étudiés sont les plus concernés par les politiques climatiques, principalement du fait de leurs émissions de gaz à effet de serre (GES). Des chocs sont appliqués pour connaître l'ampleur des pertes directes et indirectes induites par les politiques climatiques. Il s'agit donc d'une analyse du risque de transition si l'on reprend la terminologie rendue célèbre par le discours Mark Carney, alors patron de la Banque d'Angleterre, au Lloyd's en 2015.

Le risque climatique et les risques environnementaux sont maintenant abordés en distinguant selon la manière dont ils se matérialisent. D'abord, les risques physiques mesurent les incidences directes sur les engagements d'assurance et la valeur des actifs financiers des événements liés au climat et aux conditions météorologiques causant la destruction d'actifs et/ou la perturbation des opérations, des routes commerciales, des chaînes d'approvisionnement et des mar-

All rights reserved

COUNTRY:France
PAGE(S) :66-70
SURFACE :402 %
FREQUENCY :Monthly
CIRCULATION :(9763)
AVE :22,11 K€
► 1 July 2025 - N°906

chés. Ils peuvent être classés en deux catégories : les risques physiques chroniques liés à des évolutions lentes, les risques physiques aigus liés à des événements extrêmes.

Une approche *forward looking* impérative

Ensuite, les risques liés à la transition vers une économie à faibles émissions de carbone, aux politiques et aux changements de réglementations, aux développements de nouvelles technologies et aux modifications des préférences des consommateurs. Enfin, les risques juridiques ou de responsabilité. Ils correspondent aux conséquences qui pourraient survenir si les parties qui ont subi des pertes ou des dommages cherchent à obtenir une compensation de la part de ceux qu'elles considèrent comme responsables.

Fin 2017, le Network for Greening the Financial System (NGFS) est créé. Son travail consiste notamment en la construction de scénarios climatiques intégrant des projections sur l'évolution non seulement du climat, mais aussi des évolutions politiques, technologiques, économiques, et sociétales. On parle d'approche *forward looking* car ces *scénarios* ne reposent pas seulement sur la base des données historiques. Sur le climat, les données historiques ne permettent pas d'appréhender différents éléments (*voir encadré*).

En actuariat, l'usage de scénarios climatiques fait rentrer l'ensemble des modèles utilisés, pour la construction et l'exploitation de ces scénarios, dans le spectre du Model Risk Management. Cette gestion du risque de modèle doit s'inscrire dans une gestion plus holistique du processus global de gestion des risques. Utilisons désormais l'Enterprise Risk Management (ERM) afin de mettre en évidence les points faibles et les atouts de l'utilisation de ces modèles et de préconiser des améliorations possibles dans la modélisation, les hypothèses et l'utilisation de ces outils.

En 2020, les scénarios du NFGS font un tabac

Pour mémoire, le processus ERM correspond au processus par lequel les institutions évaluent, contrôlent, exploitent, financent et surveillent les risques, définis par les effets de l'incertitude sur les objectifs stratégiques, financiers et non financiers, quelles que soient les sources de cette incertitude, et en intégrant les parties prenantes.

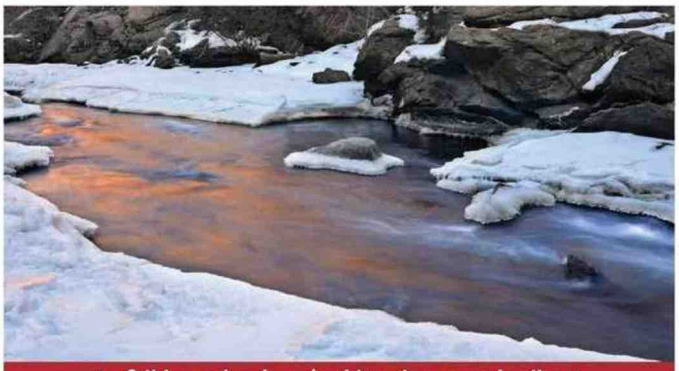
Jusqu'alors, les scénarios disponibles pour projeter une activité d'assurance à long terme en intégrant le réchauffement climatique étaient essentiellement ceux de GIEC et de l'Agence internationale pour l'énergie en français. Ces scénarios étaient peu adaptés pour des acteurs financiers. En 2020, le NGFS publie en 2020 un premier lot de scénarios ayant pour objectif « *un point de départ commun pour l'analyse des risques climatiques pour l'économie et le système financier* ». Cette nouvelle manière d'appréhender le risque climatique par des scénarios est plébiscitée par les superviseurs et les régulateurs. Selon un rapport d'octobre 2022, 67 exercices d'analyse du risque climatique basés sur des scénarios avaient été effectués ou étaient prévus à la date de la publication. C'est par exemple le cas de la Banque des règlements internationaux (BRI) ou encore de l'European Insurance and Occupational Pensions Authority (EIOPA). Elle recommande l'usage d'au moins deux scénarios climatiques dans l'évaluation interne des risques et de la solvabilité (ORSA).

> « Une nouveauté du stress-test 2023 était l'ajout d'un scénario court terme. Il diffère par construction des scénarios long terme, ne reposant pas sur la base proposée par le NGFS. »

Les trois blocs du *stress-test* ACPR

En France, l'Autorité de contrôle prudentiel et de résolution (ACPR) a proposé un second exercice de *stress-test* aux assureurs, orchestré de juillet à décembre 2023. Le cadre analytique en trois blocs permettant de passer du scénario du NGFS aux données des fichiers d'hypothèses de l'ACPR est décrit dans un article d'Allen et de ses co-auteurs.

Le premier bloc consiste en l'analyse



La faiblesse des données historiques sur le climat

La désintégration de la calotte glaciaire du Groenland, la fonte des calottes glaciaires de l'Antarctique ou l'extinction de la forêt amazonienne sont des points de bascule parmi d'autres, ces seuils critiques à partir desquels une perturbation minime peut modifier qualitativement l'état ou l'évolution d'un système, de manière souvent irréversible.

Occultées aussi, les boucles de rétroactions, ces processus par lesquels un changement initial qui provoque un réchauffement entraîne un autre changement se traduisant par un réchauffement encore plus important. Exemple : les feux de forêts. Sans oublier les effets en cascade qui, comme des dominos, se déclenchent les uns les autres.

All rights reserved

REVUE BANQUE

COUNTRY: France
PAGE(S): 66-70
SURFACE: 402 %
FREQUENCY: Monthly

CIRCULATION: (9763)
AVE: 22,11 K€

► 1 July 2025 - N°906

des principaux facteurs macroéconomiques issus des scénarios du NGFS. Ces facteurs sont ensuite détaillés et régionalisés avec le modèle NiGEM. Le deuxième bloc est l'utilisation d'un modèle statique d'équilibre général multi-pays et multi-secteurs ayant pour objectif la sectorisation des variables économiques. Enfin, le troisième bloc consiste en l'utilisation, sur les résultats macroéconomiques et sectoriels, du modèle de cotation de la Banque de France. Il intègre les informations financières des entreprises pour générer des probabilités de défaut au niveau sectoriel. Un modèle d'actualisation des dividendes est calibré sur les résultats macroéconomiques et les probabilités de défaut afin d'estimer des chocs sur les valeurs ajoutées par secteur par zone géographique, servant de base pour le choc sur les actions. Pour les obligations, l'estimation et les projections des structures à terme des taux d'intérêt sans risque (RFR) de l'EIOPA sont basées sur un modèle mathématique à partir des variables macroéconomiques. Les prix pour l'immobilier sont repris des données du NGFS, mais adaptés pour intégrer l'impact possible de la loi « Climat et résilience ».

> « D'autres incertitudes émergent lorsque l'on exploite les résultats d'un modèle climatique à une échelle régionale. »

Une nouveauté du stress-test 2023 était l'ajout d'un scénario court terme. Il diffère par construction des scénarios long terme, ne reposant pas sur la base proposée par le NGFS. Car les projections à long terme aboutissent à des chocs très limités sur les actifs et ne conduisent pas les assureurs à procéder à des réallocations de portefeuille, la perte totale de valeur des placements étant dans le pire des cas de -3.5 % par rapport au scénario de référence.

Le GIEC, base de la réflexion du NGFS

Rentrer dans le détail de la fabrication de ces scénarios permet de mieux comprendre ces résultats. Les scénarios climatiques sont des projections socio-économiques et climatiques dans lesquels l'ensemble des variables évoluent conjointement de manière plausible. Les scénarios du GIEC sont la brique de base des scénarios du NGFS. Ces derniers ont deux composantes complémentaires : les *Representative Concentration Pathways* (RCP) et les *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP). Les SSP fournissent des récits décrivant des développements socio-économiques, ces scénarios reposent sur des hypothèses sur la population, la croissance économique, la technologie et l'amélioration de l'efficacité énergétique. Les RCP quant à eux décrivent des évolutions de concentrations de GES dans l'atmosphère.

Quatre principales sources d'incertitudes sont identifiées lors de la construction de ces scénarios. Primo, les incertitudes liées aux forçages radiatifs, liées aux émissions futures qui dépendent des choix sociétaux récents, actuels et futurs. Fixer un cadre narratif d'un SSP permet de se placer dans l'immensité des futurs possibles. Secundo, les incertitudes relatives à la réponse du climat à des forçages radiatifs particuliers. Même pour une concentration de GES donnée, la réaction du système climatique est incertaine. Ces incertitudes sont liées aux modèles climatiques. Il est toutefois estimé que la version actuelle des projections (CMIP6) sur lesquels reposent les travaux du sixième rapport d'évaluation du GIEC, est jugée suffisamment complète pour couvrir l'intervalle de confiance de [5 % ; 95 %] de l'incertitude relative à la réaction du système climatique. Les potentielles réactions extrêmes du système Terre ne sont donc pas prises en compte. Tercio, les variations internes et naturelles du système climatique, qui peuvent être quelque peu prévisibles. Enfin, les interactions entre ces sources d'incertitude.

Sept scénarios, mais tous « middle of the road »

D'autres incertitudes émergent lorsque l'on exploite les résultats d'un modèle climatique à une échelle régionale. Les modèles de correction de biais, permettant de rendre cohérentes les observations en stations météorologiques et les données numériques des projections, induisent une incertitude de modèle : elle doit également être intégrée dans le processus de gestion des risques.

Des méthodes ont été proposées pour évaluer la pertinence d'un scénario et plus particulièrement d'un jeu de scénario. Car un scénario unique ne permet pas d'appréhender la diversité des futurs possibles. La méthode Scenario Diversity Analysis (SDA) permet une évaluation quantitative pour comparer la diversité d'un ensemble de scénarios. Les auteurs plaident pour une plus grande diversité des scénarios. Cependant, les sept scénarios proposés par le NGFS reposent tous sur le scénario SSP2 du GIEC. Il s'agit du scénario Middle of the Road : le monde suit une trajectoire avec des tendances sociales, économiques et technologiques ne s'écartant sensiblement pas des tendances historiques. Dans ce scénario, le réchauffement se stabilise, mais les efforts d'atténuation et d'adaptation sont limités. Le NGFS décline ensuite ce scénario SSP2 en 7 scénarios en s'appuyant sur 3 modèles dits intégrés.

Comprendre les modèles IAM

Les modèles d'évaluation intégrée (IAM pour Integrated Assesment Model) combinent les connaissances de deux domaines ou plus dans un cadre unique. En pratique, les IAM sont des simulations informatiques avec souvent un très grand nombre de variables. Ils peuvent considérablement varier tant dans leur structure et leur détail, que dans le type de questions politiques qu'ils sont censés aborder. Hourcade et ses co-auteurs parlent de la « jungle » des IAM.

Une manière classique pour faire le lien entre l'économie et le climat dans ce type de modèle est de passer par une fonction de dommage. Le Produit intérieur brut (PIB) est abattu par un terme, fonction de la température. La dépendance entre l'abattement est la température est souvent une fonction

All rights reserved

COUNTRY:France
PAGE(S) :66-70
SURFACE :402 %
FREQUENCY :Monthly
CIRCULATION :(9763)
AVE :22,11 K€
► 1 July 2025 - N°906

quadratique de la température annuelle moyenne. C'est par exemple le cas de la fonction de dommage proposée par Kalkuhl et Wenz reprise dans les scénarios du NGFS.

Des améliorations ont depuis été proposées les variabilités journalières ainsi que les extrêmes. Selon la fonction retenue par le NGFS, un réchauffement de +2,5 °C se traduit par une baisse de 10 % du PIB par rapport à un scénario sans réchauffement. Plusieurs articles montrent l'incapacité de ce type de modèle à intégrer des disruptions profondes. Cela est dû premièrement à la presque impossibilité d'établir une évaluation solide des dommages économiques futurs sur la base seule de quelques statistiques agrégées de PIB et de données climatiques. Sans oublier la non prise en compte des points de bascule et des boucles de rétroaction positives du système climatique, mais aussi du déploiement très rapide des technologies bas carbone.

L'équation de Kaya appliquée aux données du *stress-test* ACPR permet de voir que le principal moteur de la décarbonation est lié à la réduction très rapide, dès les premières années de projection, de l'intensité carbone de l'énergie. L'équation de Kaya permet d'établir le lien entre les émissions de gaz à effet de serre, l'économie, l'intensité énergétique, et la population. Cette équation s'écrit : GES = GES E x E PIB x PIB POP x POP, avec GES la quantité d'émissions de gaz à effet de serre, E la quantité d'énergie utilisée, PIB la production intérieure brute, et POP la taille de la population.

Wilson et ses co-auteurs proposent une méthode d'évaluation des IAM[7]. Selon les auteurs, les IAM représentent des systèmes complexes caractérisés par trois types d'incertitudes : les incertitudes sont épistémiques (ignorance), paramétriques (inexactitude) et sociétales (valeurs). Ils proposent une évaluation des IAM selon quatre critères d'évaluation : l'adéquation, l'interprétabilité, la crédibilité et la pertinence. Ils proposent également de tester les modèles sur six points spécifiques.

« Les stress-tests climatiques se concentrent pour l'instant sur les risques de marché, incluant les risques de crédit, et sur les risques de souscription. Les impacts devraient aussi être évalués sur la liquidité et sur l'opérationnel. »

Quel taux d'actualisation sur les modèles financiers ?

Ces modèles IAM sont couplés avec des modèles économiques et financiers dans l'objectif d'obtenir des variables utilisables pour des *stress-tests* en assurance. Le modèle NiGEM est, par exemple, systématiquement couplé aux IAM pour les scénarios du NGFS. Il est composé de modules pour chaque pays ou zone géographique représentés, pour les principales économies. Chaque module national est composé de modèles décrivant les dynamiques des ménages, des entreprises, des gouvernements et d'une autorité en termes de politique monétaire qui fixe le taux d'intérêt nominal à court terme. Il contient environ 7 000 variables et plus de 10 000 équations de modèle. Le risque de modèle dans un tel cas est donc important.

D'autre part, se pose la question du taux d'actualisation. Dans NiGEM, les ménages fondent leurs décisions de consommation sur l'espérance des flux actualisés du revenu personnel réel disponible au cours d'une vie. Fixer le taux d'actualisation est jugé comme « *The most critical single problem with discounting future benefits and cost* ». Il y a par exemple une différence de 1 à 20 entre les évaluations respectives de Nordhaus et de Stern sur la valeur actuelle des dommages liés aux émissions de GES. Nordhaus utilise un taux de 4,5 %, et Stern de 1,4 %. Cette différence explique plus de la moitié de l'écart entre les deux résultats. Le choix de ce paramètre relève plus de considérations éthiques et politiques que de calculs techniques. Ces considérations doivent être intégrées au processus de gestion des risques, a minima dans la compréhension des choix subjectifs des personnes ayant construit les scénarios utilisés.

Ces autres éléments à impérativement prendre en compte

Autre sujet : les *stress-tests* climatiques se concentrent pour l'instant sur les risques de marché, incluant les risques de crédit, et sur les risques de souscription. Les impacts devraient aussi être évalués sur la liquidité et sur l'opérationnel. De plus, il est nécessaire de tenir compte des effets indirects du risque climatique. L'effondrement de la biodiversité est de plus en plus reconnu comme une source de risque systémique pour nos économies et le réchauffement climatique est l'une des causes de cet effondrement. Des *stress-tests* avec une meilleure prise en compte du risque climatique doivent donc ainsi être des *stress-tests* intégrant l'interaction avec les autres risques environnementaux. La carence d'outils pour appréhender globalement ces risques est identifiée par le

All rights reserved

COUNTRY:France
PAGE(S) :66-70
SURFACE :402 %
FREQUENCY :Monthly
CIRCULATION :(9763)
AVE :22,11 K€
► 1 July 2025 - N°906

NGFS, mais leur conception est encore à faire. Les déstabilisations géopolitiques et les conflits armés peuvent également impacter considérablement la capacité d'un organisme d'assurance à exercer son activité.

En 2022, Kemp et ses co-auteurs ont publié en 2022 un article examinant des scénarios catastrophiques et argumentant sur la nécessité d'une telle étude dans le cadre de la gestion des risques. Selon eux, les scénarios extrêmes doivent être envisagés, y compris l'effondrement de la société et l'extinction de l'humanité, au regard de l'incertitude radicale concernant l'évolution du climat et la possibilité physique d'emballements climatiques aux conséquences encore trop peu étudiées. Les scientifiques et les économistes doivent évaluer la probabilité que les scénarios les plus pessimistes du changement climatique se réalisent, fournir des informations sur ces pires scénarios climatiques et construire de possibles réactions associées.

> « Tant que les effets du changement climatique seront minorés, les décisions de contrôle du risque ne seront pas à la hauteur. »

Le risque extrême mérite d'être quantifié

Des scénarios de décroissance commencent à être étudiés avec des IAM. Nieto et ses co-auteurs ajoutent à leur modèle l'intégration de contraintes biophysiques : en s'appuyant sur la dynamique des systèmes, ils construisent un modèle qui considère des limites à la disponibilité d'énergie, facteur limitant de la production. D'autres études ont introduit des contraintes sur un niveau maximum de consommation à chaque pas de temps, et ont modifié la fonction d'utilité de telle sorte qu'elle ne soit plus croissante monotone. Un prochain exercice de *stress-test* basé sur des scénarios devrait intégrer au moins un tel scénario de décroissance ou *a minima* de croissance frugale, et aussi un scénario de récession brutale lié à un effondrement économique.

Dans le cadre des modèles macroéconomiques classiques, la fonction d'utilité est une fonction de consommation de biens monétisables à maximiser. Mais de nombreux travaux se sont intéressés à des fonctions d'utilité, avec pour objectif d'arbitrer entre différentes formes de valeurs, parfois non financières. Par exemple, Garner et ses co-auteurs utilisent un IAM simplifié pour mettre en évidence les compromis liés à l'utilisation d'une fonction à quatre dimensions qui intègre : la productivité économique mondiale, une stabilisation de la température, les dommages climatiques ainsi que les coûts liés à la réduction des pressions sur l'environnement. L'algorithme évolutionnaire multi-objectif de Borg (Borg-MOEA) est utilisé pour rechercher la surface optimale de Pareto complexe dans l'espace lié aux quatre objectifs utilisés.

Autre élément à prendre en compte : les entreprises, et les organismes d'assurance en particulier, se dotent d'objectifs de durabilité. De plus, le processus ERM doit être considéré du point de vue de toutes les parties prenantes, et donc du point de vue des assurés. Cela amène à une vision en double matérialité des risques où l'on regarde non seulement les impacts de l'environnement sur l'assurance, mais également les impacts de l'assurance sur l'environnement. Des systèmes de comptabilité écologique, le cadre des objectifs de développement durable des Nations unies ou encore le concept de solvabilité planétaire sont des outils pour cartographier les incidences, positives comme négatives, d'une activité d'assurance.

Tant que les effets du changement climatique seront minorés, les décisions de contrôle du risque ne seront pas à la hauteur. Les scénarios sont également trop « lisses » puisque la moyenne est projetée, ce qui peut faire sous-estimer aux décideurs la difficulté de réagir de manière appropriée et d'anticiper des alternances d'années avec désastres, d'années de « fausses alertes » et d'années plus classiques dans un contexte de dégradation de long terme en présence de risques extrêmes aggravés. Les conséquences potentiellement désastreuses du changement climatique posent la question de l'assurabilité de certains risques et des méthodes pour transférer, atténuer ou éviter ces risques. Les *Cat Bonds* sont un exemple d'essai de transfert de risque au-delà de la réassurance. Les organismes d'assurance peuvent aussi réduire les risques en mobilisant l'épargne pour l'atténuation ou l'adaptation, ou encore en développant des pratiques de prévention. Une bonne gestion des risques passe aussi par la mise en place d'une gouvernance adaptée : formation des équipes de direction, responsabilités clairement définies, implication des équipes métiers.

Le *stress-test* : utile outil à perfectionner

Les actuaires et les gestionnaires de risque doivent donc intégrer dans leur démarche ERM la très grande incertitude liée à la modélisation climatique et à ses impacts économiques sur l'activité d'assurance. Les organismes d'assurance vie, de par leurs engagements à long terme, se voient dans l'obligation d'avoir des processus de gestion des risques intégrant le risque climatique, dans toutes ses composantes : risques physiques, de transition, juridiques et de réputation. Les *stress-tests* climatiques restent à un stade relativement précoce de développement, mais leur usage, de plus en plus massif, montre bien à la fois l'intérêt qu'ils peuvent avoir, tout comme la nécessité d'avoir des scénarios qui reflètent bien le risque, sans le sous-estimer. Les développements récents comme les *stress-tests* court-terme ou encore les *stress-tests* sur les risques environnementaux dans leur ensemble sont des avancées qui vont dans le sens de la meilleure prise en compte du risque. Il manque cependant encore des scénarios vraiment disruptifs à plus long terme. En effet, dans une perspective de gestion des risques, les scénarios du pire ne sont pas d'abord à redouter, mais à prévoir. ■

Cet article est une synthèse d'un manuscrit plus détaillé disponible en suivant le lien : https://hal.science/hal-05128073

All rights reserved