

Séminaire Chaire PARI

17/03/2026

USAGE DES SCÉNARIOS CLIMATIQUES DANS UN CADRE DE GESTION DES RISQUES EN ASSURANCE

Etienne RAYNAL

Consultant

Galea & Associés

Stéphane Loisel

Professeur du CNAM,

Titulaire de la chaire Actuariat et Science du Risque,

Laboratoire LIRSA,

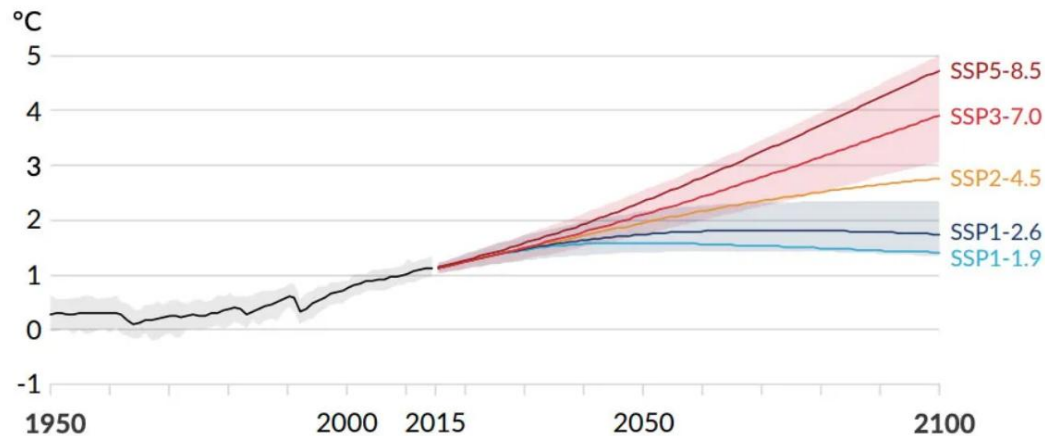
Conservatoire National des Arts et Métiers

PLAN DE LA PRÉSENTATION

1. Contexte et motivations
2. La perspective ERM
3. La “boite noire” de la modélisation climatique
 - 3.1 Les étapes de construction des modèles
 - 3.1 L’incertitude dans les projections
 - 3.2 Les fonctions de dommages dans les IAM
 - 3.3 Le biais techno-solutionniste
 - 3.4 Modélisation économique et taux d’actualisation
4. Extension du jeu de scénarios
5. Conclusion et perspective

CONTEXTE ET MOTIVATIONS

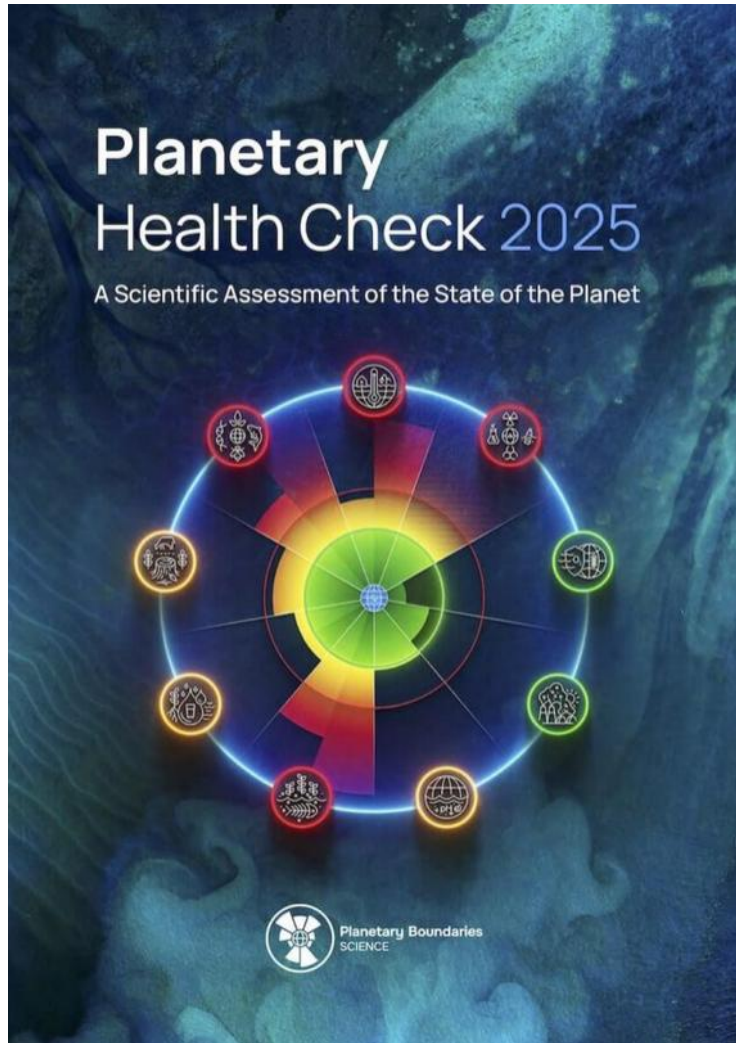
- // Les autorités de réglementation financière exigent des institutions qu'elles évaluent leur résilience face aux risques climatiques.
- // Utilisation de scénarios (variables climatiques et macroéconomiques) pour projeter les impacts sur les bilans.
- // Le Réseau pour le verdissement du système financier (NGFS) fournit les scénarios de référence. Généralisation progressive de l'utilisation des tests de résistance basés sur des scénarios.
- // Objectif : Analyser ces tests de résistance selon une approche de gestion des risques d'entreprise (ERM) afin d'identifier leurs limites et de proposer des améliorations.



Changement de température selon les scénarios (Source : GIEC)

"L'objectif de ces scénarios n'est **pas de prédire l'avenir**. Ils visent plutôt à aider leurs utilisateurs à **mieux appréhender les incertitudes** et **l'éventail des résultats possibles** afin de **prendre les décisions les plus éclairées**. Par souci de simplicité, les scénarios sont représentés par une courbe, appelée « scénario », qui retrace l'évolution d'une mesure au fil du temps. Cette trajectoire est souvent complétée par un intervalle de confiance. Un scénario comprend généralement **un narratif** présentant les impacts associés et les facteurs pertinents qui décrivent les états futurs du monde jusqu'à une date cible."

CONTEXTE ET MOTIVATIONS



Source : PIK Potsdam

“We are hurtling toward climate chaos.”

“A dangerous hothouse Earth trajectory may now be more likely due to accelerated warming, self-reinforcing feedbacks, and tipping point.”

The 2025 state of the climate report: a planet on the brink (Ripple et al, 2025)

CONTEXTE ET MOTIVATIONS

- // ACPR 2020 : Exposition globale « modérée » des banques et compagnies d'assurance françaises.
- // ACPR 2024 : Ce deuxième test de résistance climatique révèle une exposition « significative » pour les organismes d'assurance.
- // Banque d'Angleterre 2021 : Les coûts de la transition vers la neutralité carbone semblent absorbables par les banques et les assureurs, sans impact direct préoccupant sur leur solvabilité.
- // IORP 2022 : Les situations financières se sont donc légèrement dégradées, tandis que les ratios de financement ont diminué d'environ 2,5 points de pourcentage.

Ces résultats reflètent-ils clairement le « chaos climatique » décrit dans les scénarios les plus pessimistes de la littérature scientifique ?



Qu'est ce que l'ERM?

- // Définition : The ERM process is the process by which institutions assess, control, exploit, finance and monitor risks from all sources with the aim of increasing the short- and long-term value of the organisation for its stakeholders. (CAS, 2003) .
- // Un processus holistique, intégré et prospectif pour gérer l'ensemble des risques et des opportunités.
- // Le risque en gestion des risques d'entreprise : l'impact de l'incertitude sur les objectifs.

Questions soulevées par l'usage des stress tests climatiques basés sur des scénarios (STCBS) dans une perspective ERM :

- // Les STCBS sont-ils alignés sur les objectifs stratégiques de la compagnie d'assurance ?
- // Les risques couverts par ces STCBS reflètent-ils l'ensemble des risques liés aux changements climatiques ?
- // Les impacts des changements climatiques sont-ils correctement évalués par ces STCBS ?
- // Permettent-ils de prendre les décisions appropriées pour faire face aux risques climatiques ?

LES ÉTAPES DE CONSTRUCTION DES MODÈLES

Modèles intégrés (IAM)

Objectif :

- // Simulation de la dynamique de l'économie mondiale.

Points faibles et incertitudes :

- // Fonction de dommage ne reposant pas sur des bases théoriques ou empiriques.
- // Utilisation d'hypothèses très fortes.
- // Non intégration de points de bascule et de points de rupture climatiques ou économiques.

Modèles climatiques

Objectif :

- // Modélisation du système biophysique Terre.

Points faibles et incertitudes :

- // Limite dans le nombre de simulations pouvant être effectuées. Utilisation sur un nombre restreint de trajectoires d'émissions.
- // Queues de distribution des trajectoires climatiques ne sont pas couvertes, même avec plusieurs modèles.
- // Données biaisées à une échelle locale.

Modèles économiques et financiers

Objectif :

- // Traduction des sorties des deux blocs précédents en données financières.

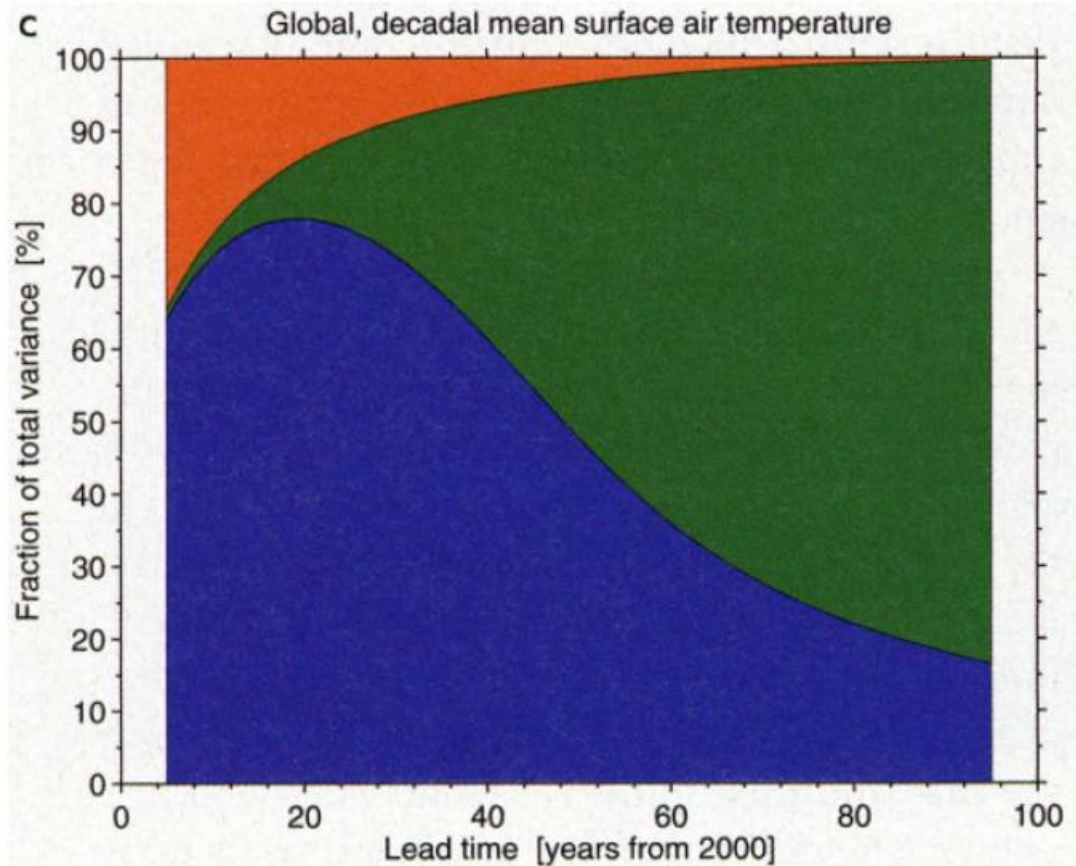
Points faibles et incertitudes :

- // Modèles économiques empiriques qui peinent à représenter la complexité du réel.
- // Importance déterminante des taux d'actualisation pour lesquels fixer leur valeur dépasse de simples considérations techniques.

Causes

Effets

L'INCERTITUDE DANS LES PROJECTIONS



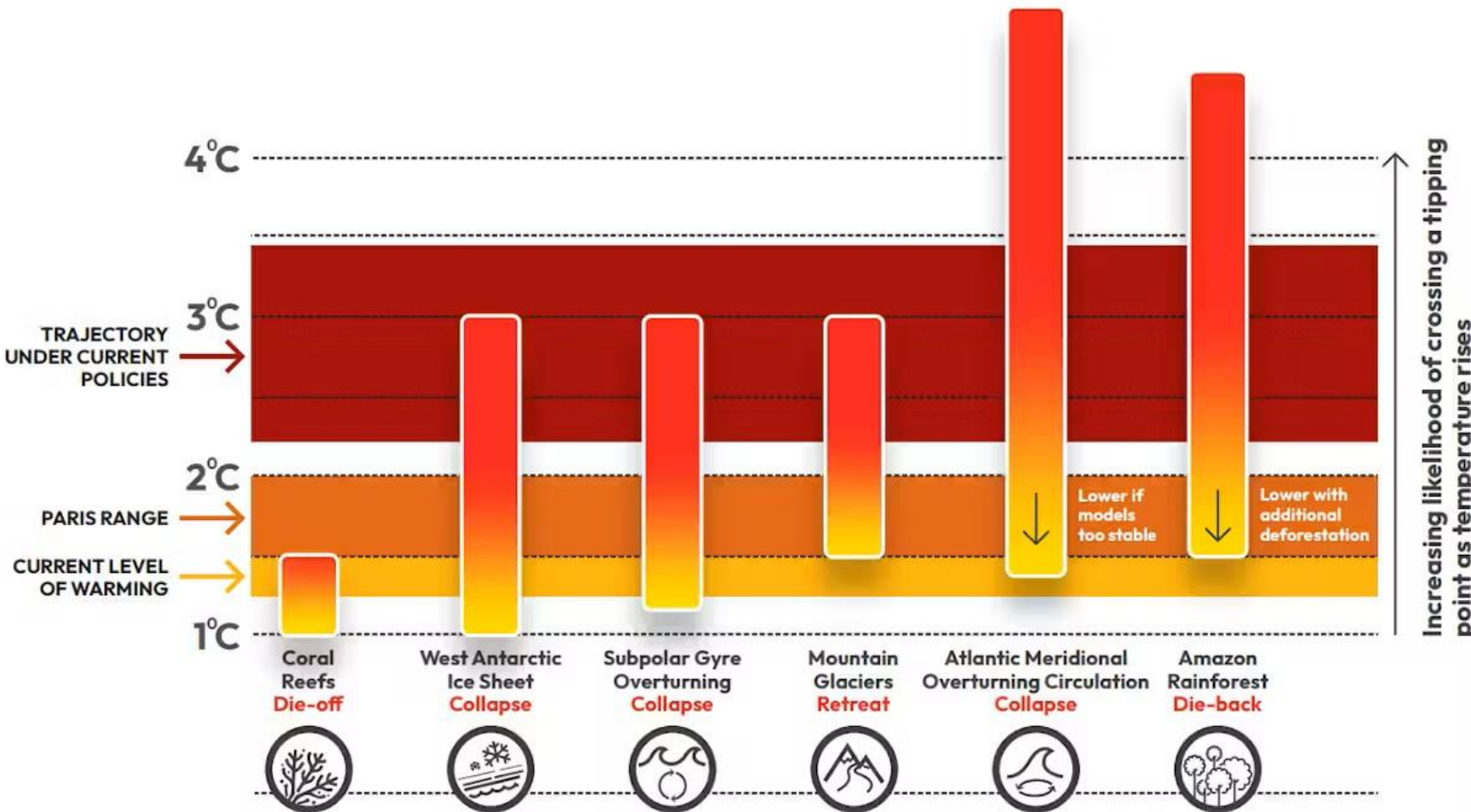
Source : Hawkins et Sutton, 2009

Fraction de la variance totale des prévisions décennales de température moyenne de l'air en surface expliquée par les trois composantes de l'incertitude totale pour la température moyenne mondiale de l'air en surface (Hawkins et Sutton, 2009).

- En orange : part d'incertitude liée aux variations internes et naturelles du système climatique.
- En bleu : part d'incertitude liée aux modèles climatiques.
- En vert : part due aux scénarios climatiques.

L'ensemble des modèles de la phase 6 du CMIP (CMIP6) (Eyring et al., 2016), sur lesquels repose le sixième rapport d'évaluation du GIEC (AR6), est considéré comme suffisamment complet pour couvrir l'intervalle de confiance de [5 % ; 95 %] de l'incertitude de la réponse du système climatique.

L'INCERTITUDE DANS LES PROJECTIONS



The Global Tipping Points Report 2025

Sources d'incertitude dans les modèles climatiques :

- Forçage radiatif (émissions futures).
- Sensibilité climatique (réaction de la Terre).
- Variabilité naturelle.
- Points de bascule : Les modèles actuels ne détectent souvent pas les « points de bascule », ces zones où de petites perturbations entraînent des changements irréversibles du système (par exemple, l'effondrement d'une calotte glaciaire).
- Boucles de rétroaction : Risque d'auto-renforcement du réchauffement (par exemple, les feux de forêt qui libèrent davantage de carbone).

LES FONCTIONS DE DOMMAGES DANS LES IAM

Les modèles d'évaluation intégrée (comme REMIND-MAGPIE) alimentent les scénarios du NGFS.

La plupart des études intègrent les dommages climatiques dans une fonction Cobb-Douglas ou similaire.

$$Y_t = (1 - D(T_t))A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$$

A_t productivité, K_t capital, L_t travail, D fonction de dommage.

La fonction de dommage, calibrée dans l'article (Kalkuhl et Wenz (2020)), est une fonction quadratique :

- Les fonctions quadratiques supposent une augmentation régulière et continue (convexe) des dommages avec la température.
- Le choix de la forme quadratique est arbitraire et peu justifié.

Pas de capital naturel → la nature n'est pas nécessaire pour produire.

Pas de capital humain → ignore les effets sur la santé et le travail.

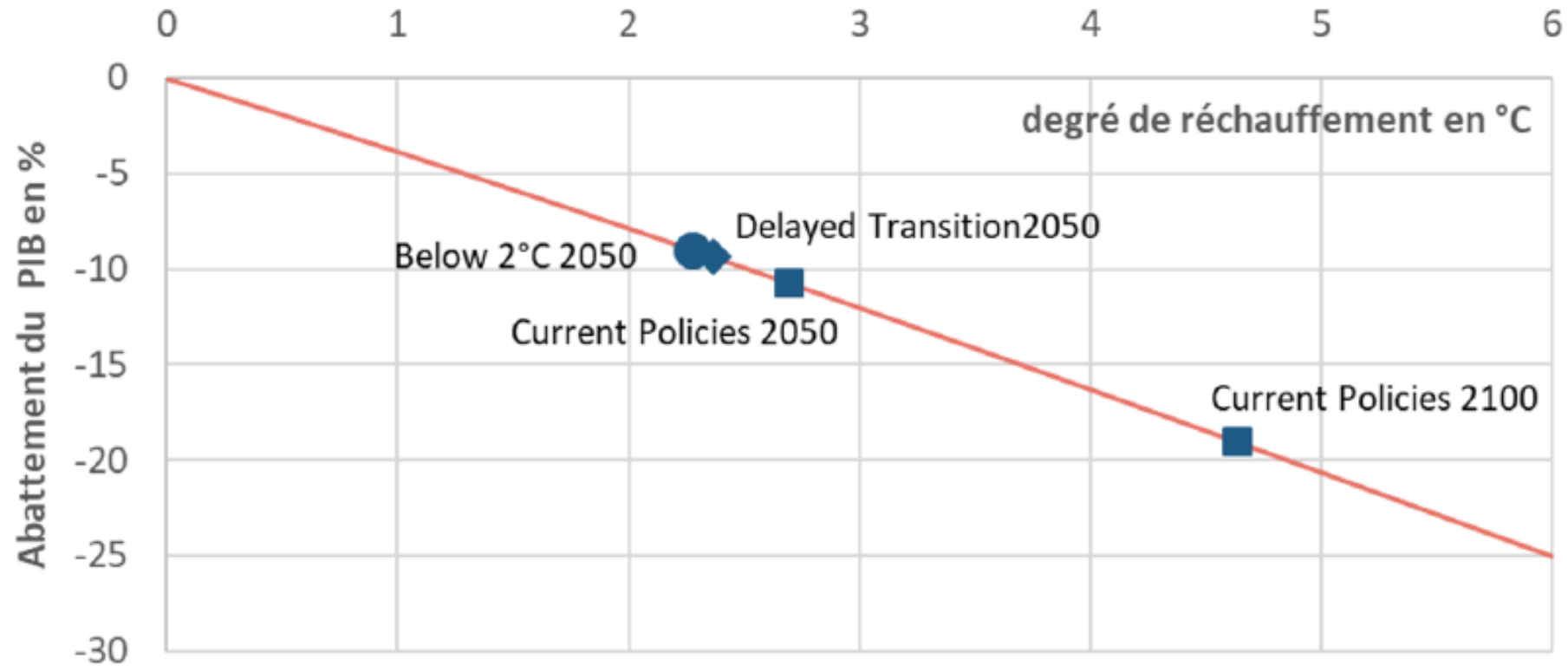
Suppose que le capital peut remplacer les écosystèmes (substituabilité infinie).

Impose que les dommages soient progressifs et faibles (absence de points de bascule).

Absence de structure sectorielle → masque les défaillances en cascade.

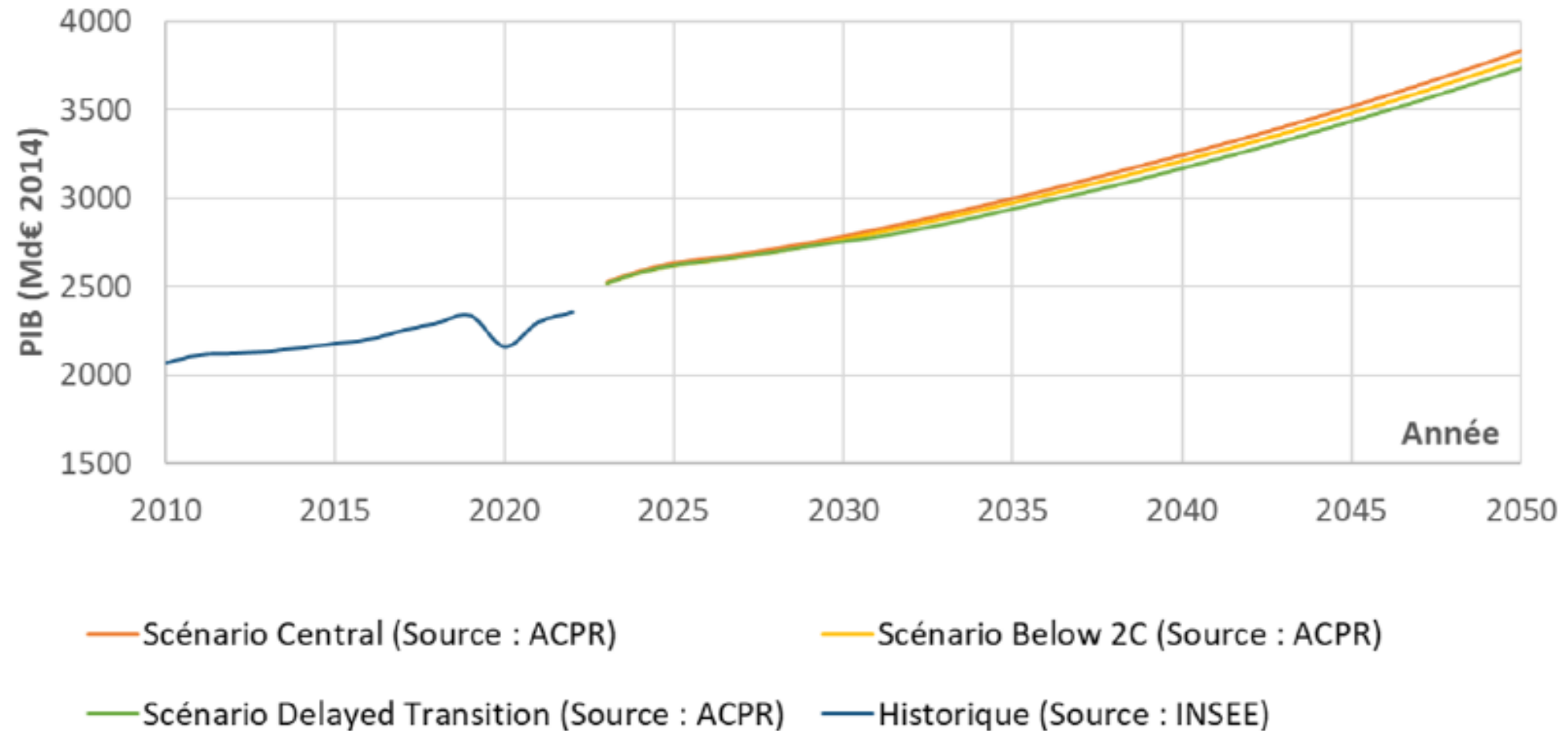
La production ne s'effondre jamais → résilience irréaliste.

LES FONCTIONS DE DOMMAGES DANS LES IAM



Baisse du PIB dans les scénarios NGFS pour intégrer les risques physiques associés au réchauffement climatique (sur la base du quantile à 95 % de la distribution du réchauffement)

LES FONCTIONS DE DOMMAGES DANS LES IAM

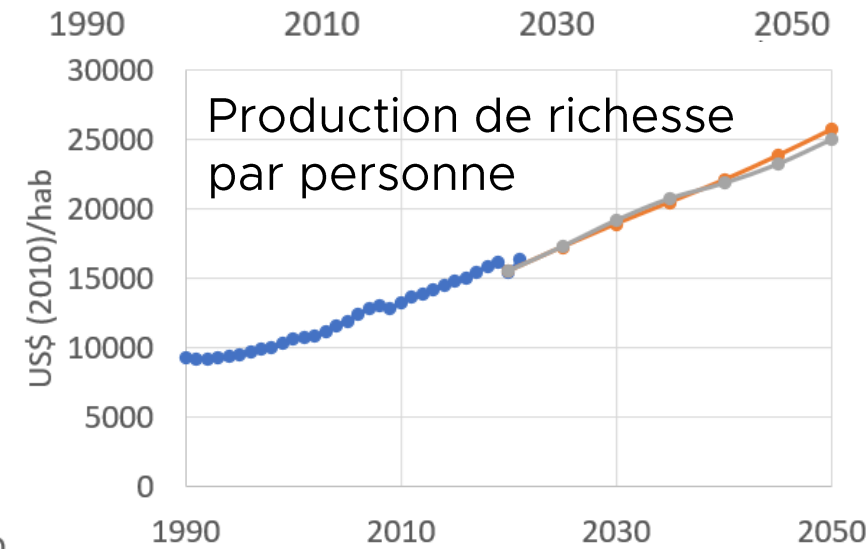
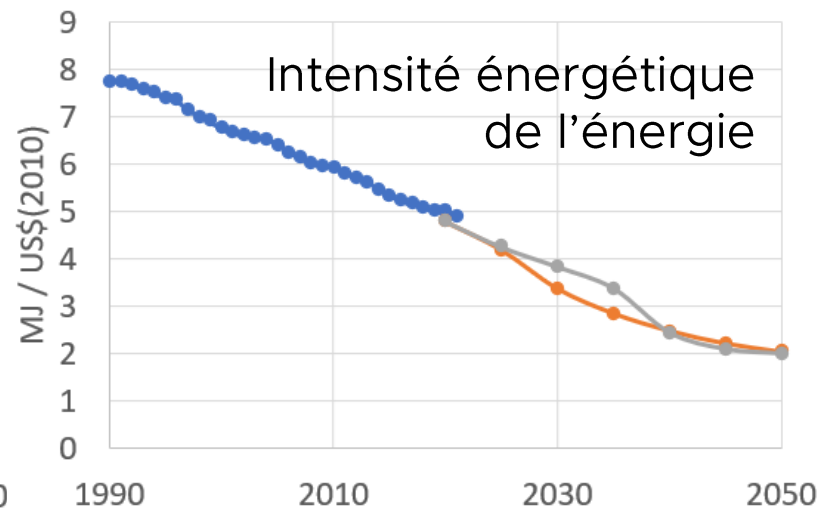
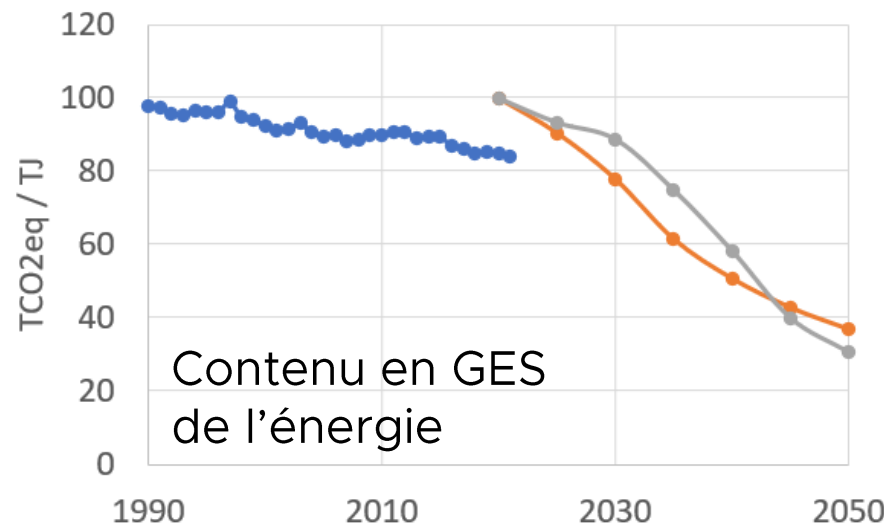
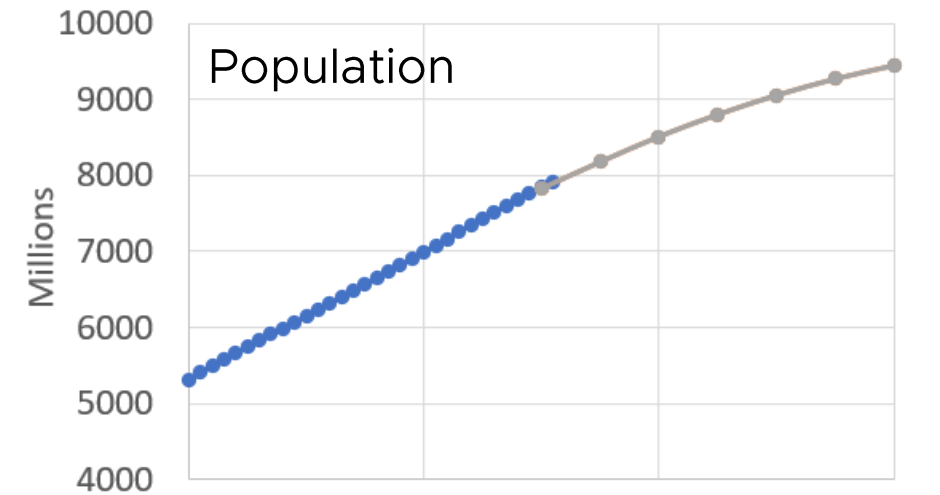


Evolution du PIB en France dans les scénarios du stress test ACPR

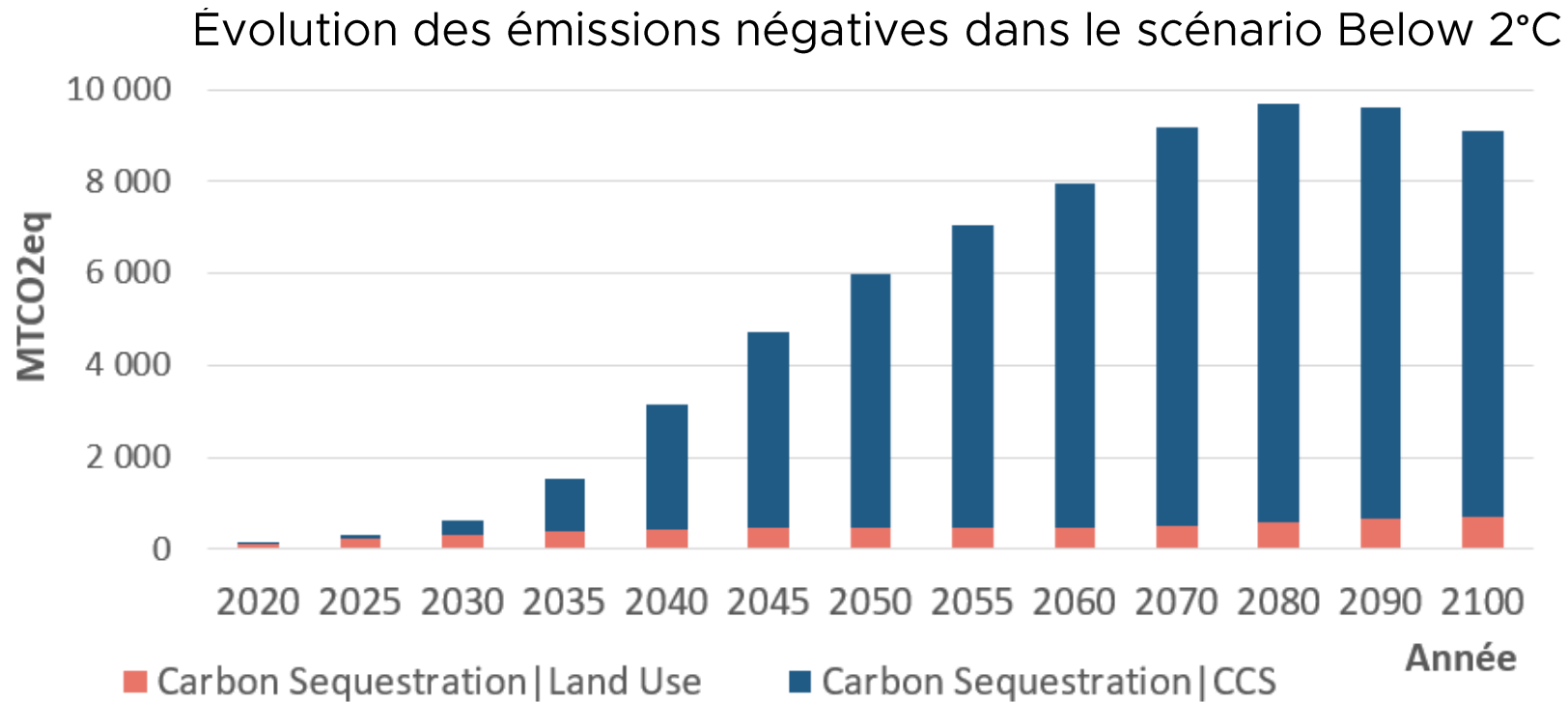
LE BIAIS TECHNO-SOLUTIONNISTE

L'équation de Kaya appliquée aux scénarios du stress test climatique de l'ACPR

$$GHG = \frac{GHG}{E} \times \frac{E}{GDP} \times \frac{GDP}{POP} \times POP$$



Historique
 B2C
 DT



- // Capture du carbone : Les scénarios reposent largement sur les technologies d'émissions négatives (TEN).
- // Hypothèse : Les modèles tablent sur une réduction de 100 à 1 000 GtCO₂ d'ici 2100.
- // Risque : La faisabilité est très incertaine. Si ces technologies ne parviennent pas à se développer à grande échelle, les projections de température ne seront plus valides.

MODÉLISATION ÉCONOMIQUE ET TAUX D'ACTUALISATION

// La formule de Ramsey : $\delta = \rho + \eta g$

// ρ préférence immédiate par rapport à un bien être identique dans le futur

// η l'élasticité de l'utilité marginale de consommation

// g le taux de croissance réel de la consommation par habitant

// Implications éthiques :

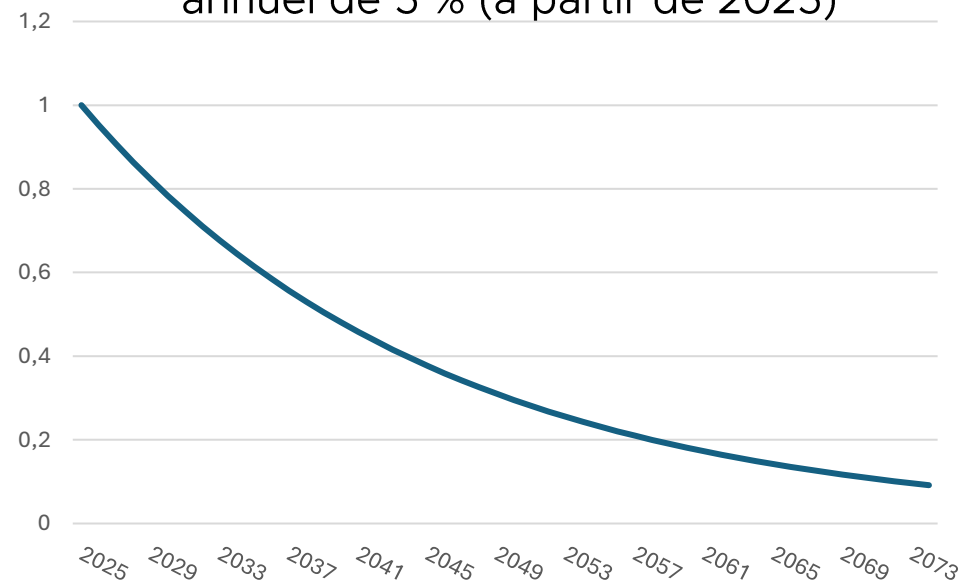
// Nordhaus (4.5%) vs. Stern (1.4%): Un taux plus élevé fait paraître les catastrophes futures peu graves en valeur actuelle..

// Dans le modèle REMIND, $\rho = 3\%$, $\eta = 1$, $g = 2 - 3\%$, $\delta = 5 - 6\%$

// Subjectivité : Les paramètres dépendent de conceptions philosophiques (équité intergénérationnelle) plutôt que purement technique.

// Les actuaires doivent remettre en question les choix éthiques implicites des modèles économiques.

Facteur d'actualisation au fil du temps avec un taux annuel de 5 % (à partir de 2025)



Propositions

- // Prévoir un test de résistance opérationnelle : évaluer la matérialisation des risques climatiques sur les sites stratégiques de l'organisme d'assurance : lieux de travail, centres de données, etc.
- // Intégrer les effets indirects du réchauffement climatique : perte de biodiversité, dépréciation des actifs directement dépendants de l'environnement.
- // Inclure des scénarios de perturbation :
 - // scénario de crise systémique : forte volatilité des marchés,
 - // scénario d'effondrement,
 - // scénario de décroissance.
- // Prendre en compte les objectifs extra-financiers.
- // Intégrer de nouveaux outils et modèles pour mieux identifier, mesurer et suivre les risques.

$$\{S_1, S_2, \dots, S_N\}$$

Construction de S_i

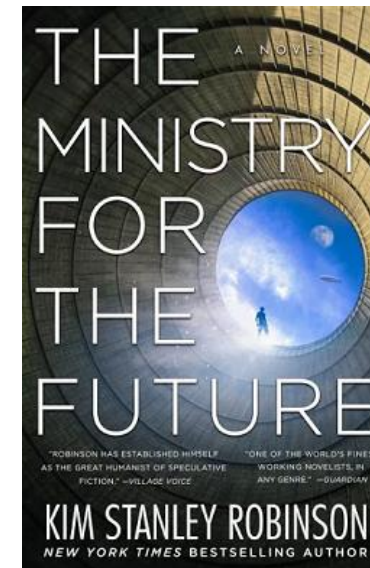
- // Critères : plausibilité, créativité, transparence, efficacité, cohérence interne, utilité finale
- // Scénarios « rugueux »
- // Combinaison des risques
- // Management actions
- // Approche systémique

Construction de S_j sachant $S_{i,i \neq j}$

- // *Scenario Diversity Analysis* (Carlsen, et al. 2024)
- // Tests de résistance inversés pour identifier les scénarios manquants
- // Complémentarité des scénarios « ordonnés », « retardés/désordonnés » et « extrêmes/non linéaires » (contamination, effets de second tour, points de bascule).

CONCLUSION ET PERSPECTIVE

- // Les stress tests actuels, basés sur des scénarios, constituent un bon point de départ, mais restent insuffisants pour une véritable résilience.
- // L'impératif de l'ERM : nous devons passer d'une approche de conformité à une vision stratégique qui intègre l'incertitude radicale.
- // Les actuaires doivent envisager non seulement les tendances probables, mais aussi les scénarios de rupture afin de garantir la viabilité à long terme de l'assurance et de contribuer aux 17 objectifs de développement durable.
- // Intégrer des récits qualitatifs (science-fiction/fiction) pour aider à imaginer des futurs « inédits ».



// Merci pour votre écoute !

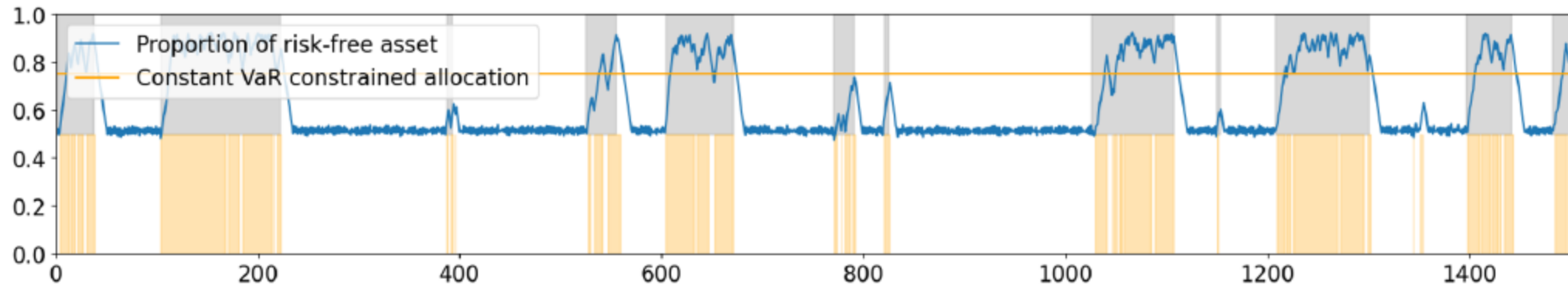
// Lien vers le papier :

// Les stress-tests sur le climat en sont-ils vraiment ?, Revue banque, 2025 <https://www.revue-banque.fr/regulation-et-risques/supervision/les-stress-tests-sur-le-climat-en-sont-ils-vraiment-HF24471688>

// Une analyse ERM des stress tests climatiques basés sur des scénarios en assurance, HAL, <https://hal.science/hal-05128073/>

// Annexes

Annexes



// Hidden regime market model to generate non-smooth scenario in “*Risk averse asset allocation in a context of climate change with reinforcement learning and hidden markov models*”, Raynal and Loisel (pre-print)

Annexes

// “Mortality modelling for short term climate stress test in France : impact of extreme heat” , Raynal and Loisel (pre-print)

Average of daily mean temperatures over the entire summer period

Historic data

Climate scenarios

Physics-based heatwave scenario generators



	Stress test ACPR	Methode 1	Methode 3	Methode 2 + 3
Heat-related excess mortality (on the scope of the study)		4.83%	11.27%	11.33%
Annualized heat-related excess mortality on the whole population	0.43%	1.40%	3.26%	3.28%