

# Perspectives sur les scénarios climatiques de mortalité

Stéphane Loisel

Adeline Stephan

Eve Titon

Rayane Vigneron

# Le changement climatique, un enjeu de plus important pour les assureurs Vie

- Le changement climatique pourrait avoir des conséquences significatives sur les portefeuilles d'assurance de personnes dont on commence à observer les effets.
- Déformation des profils de risque → quel impact sur les résultats à moyen et long terme?
- Prise en compte du risque climatique:
  - Non couvert par la formule standard
  - Pas de consensus sur l'évolution des conditions climatiques, d'où l'émergence de scénarios différents selon les acteurs
- En France, trois principaux facteurs climatiques impactent la mortalité: les températures élevées, la pollution de l'air et les maladies vectorielles.
- Exercices ACPR 2020: quantification de l'impact de la pollution de l'air et des maladies vectorielles sur la mortalité
- De nombreuses compagnies d'assurance travaillent actuellement à l'élaboration de scénarios de stress, dans le cadre de leurs exercices ORSA

## Problématiques abordées dans cet atelier

- Quelles sont les tendances des principaux facteurs de risques climatiques impactant la mortalité en France?
- Quels sont les enjeux de modélisation associés à chacun de ces facteurs de risques, et comment sont-ils traités dans les scénarios ACPR?
- Quelles sont les caractéristiques souhaitables des scénarios climatiques, et quels sont les principaux défis associés?

## SOMMAIRE

---

### INTRODUCTION

#### I. CARTOGRAPHIE DES RISQUES CLIMATIQUES IMPACTANT L'ASSURANCE DE PERSONNES

- Risques directs, risques indirects
- Cartographie

#### II. ENJEUX DE MODÉLISATION DE L'IMPACT DES DIFFÉRENTS FACTEURS CLIMATIQUES SUR LA MORTALITÉ

- Vagues de chaleur – une approche stochastique
- Pollution de l'air – risque attribuable et risque relatif
- Maladies vectorielles – modélisation via des modèles compartimentaux

#### III. SCÉNARIOS CLIMATIQUES

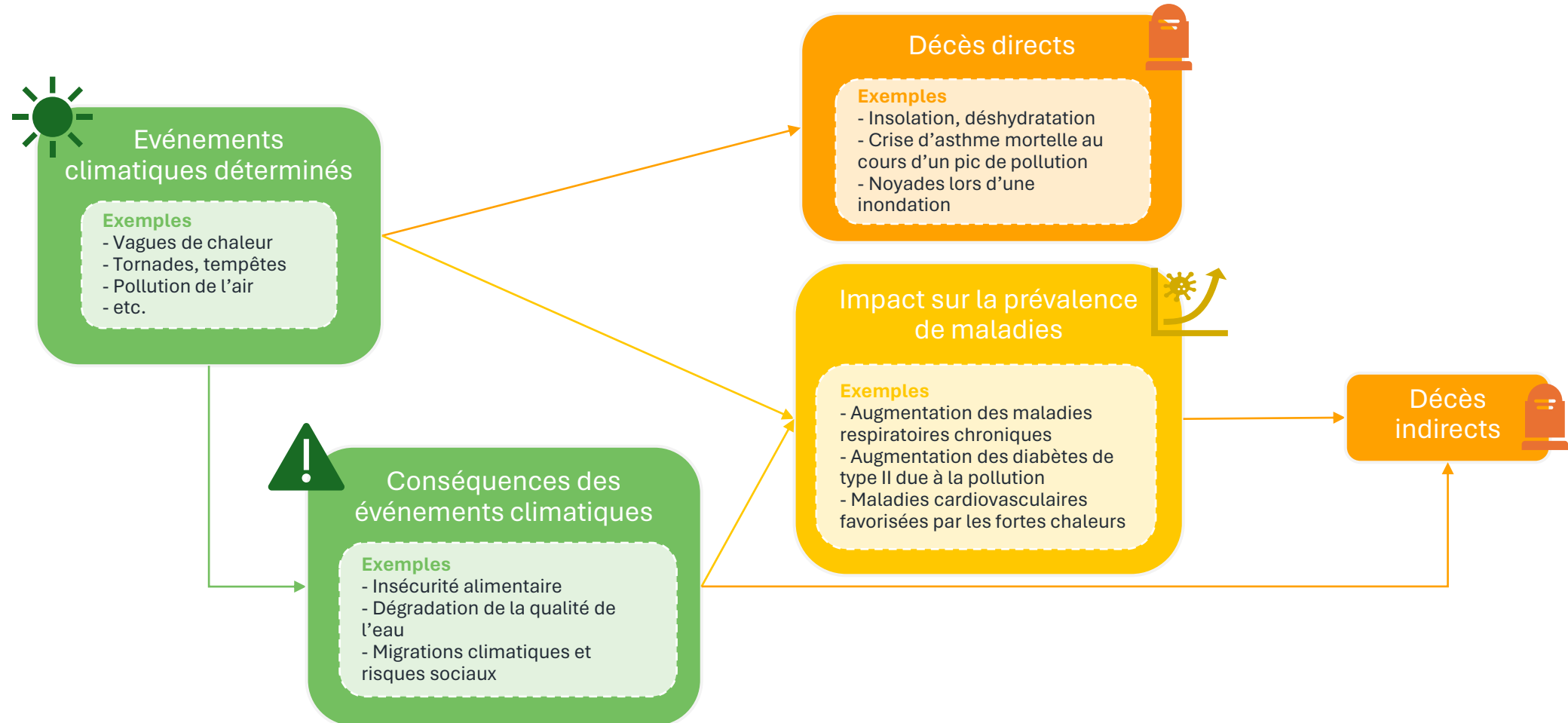
- Introduction aux données utilisées
- Construction de scénarios non-lisses
- Scénarios et événement combinés
- Risque long terme et importance des management risk action
- Méthodologie du GIEC et risque de sur confiance

### CONCLUSION

# Cartographie des risques climatiques impactant l'assurance de personnes en France

# Les différents types d'impacts du changement climatique sur la mortalité

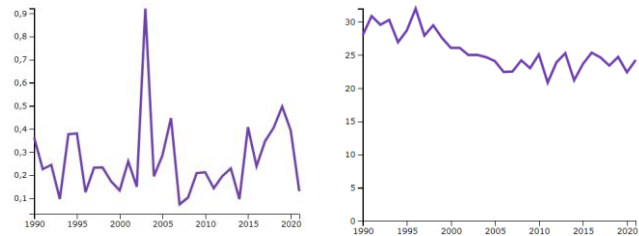
## Décès directs, décès indirects



# Evolution du nombre de jours de vague de chaleur, et impact sur la mortalité

## Changement et volatilité de la température

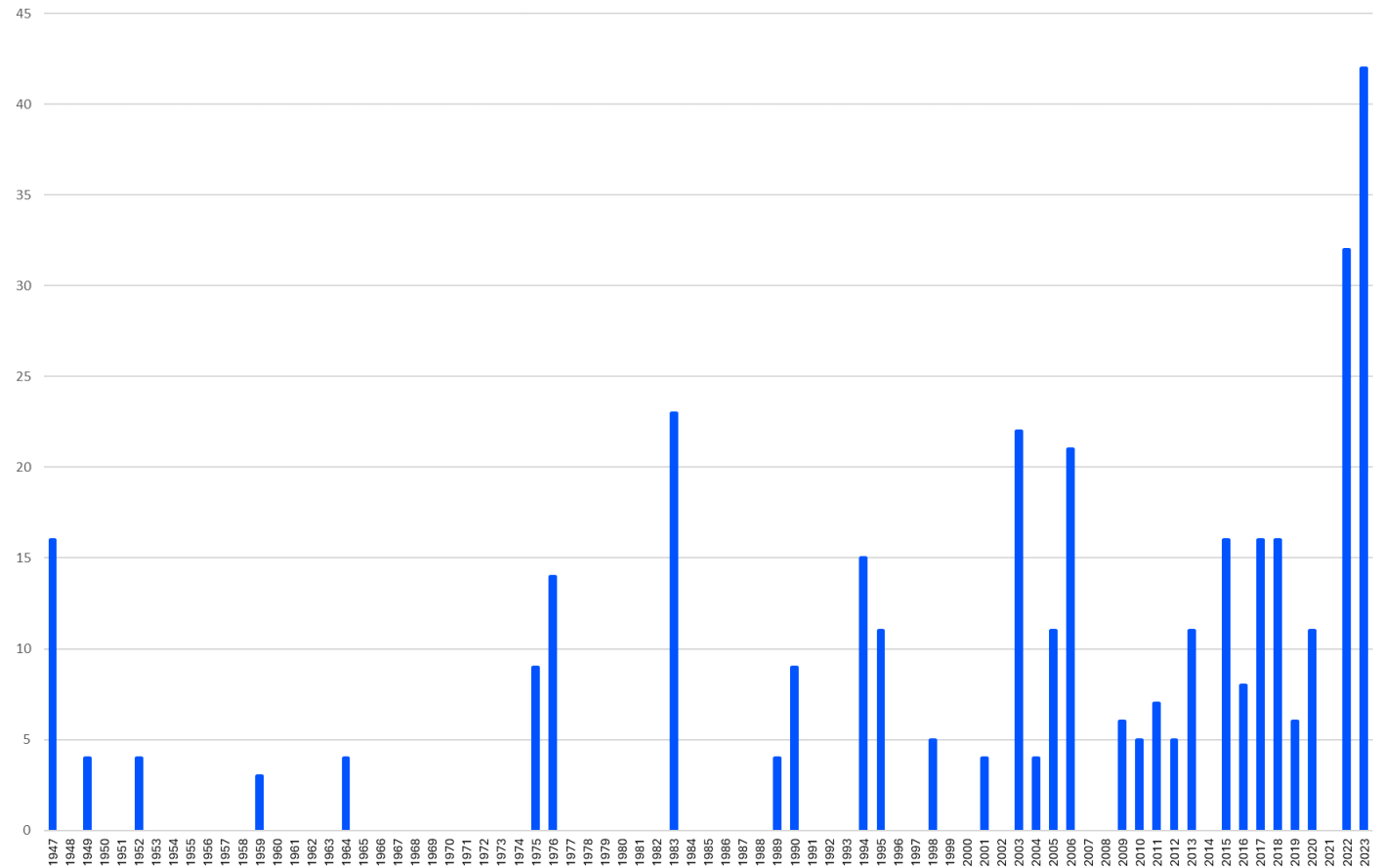
- Vagues de chaleur
  - Mortalité directe (insolation, déshydratation, etc.)
  - Mortalité indirecte (détérioration d'organes vitaux, principalement chez les individus âgés)
- Vagues de froid



Taux de décès (pour 100000 hab) dus aux températures hautes (gauche) et basses (droite) France

Source: Global Burden of Disease 2021

Nombre de jours de canicule annuel entre 1947 et 2023



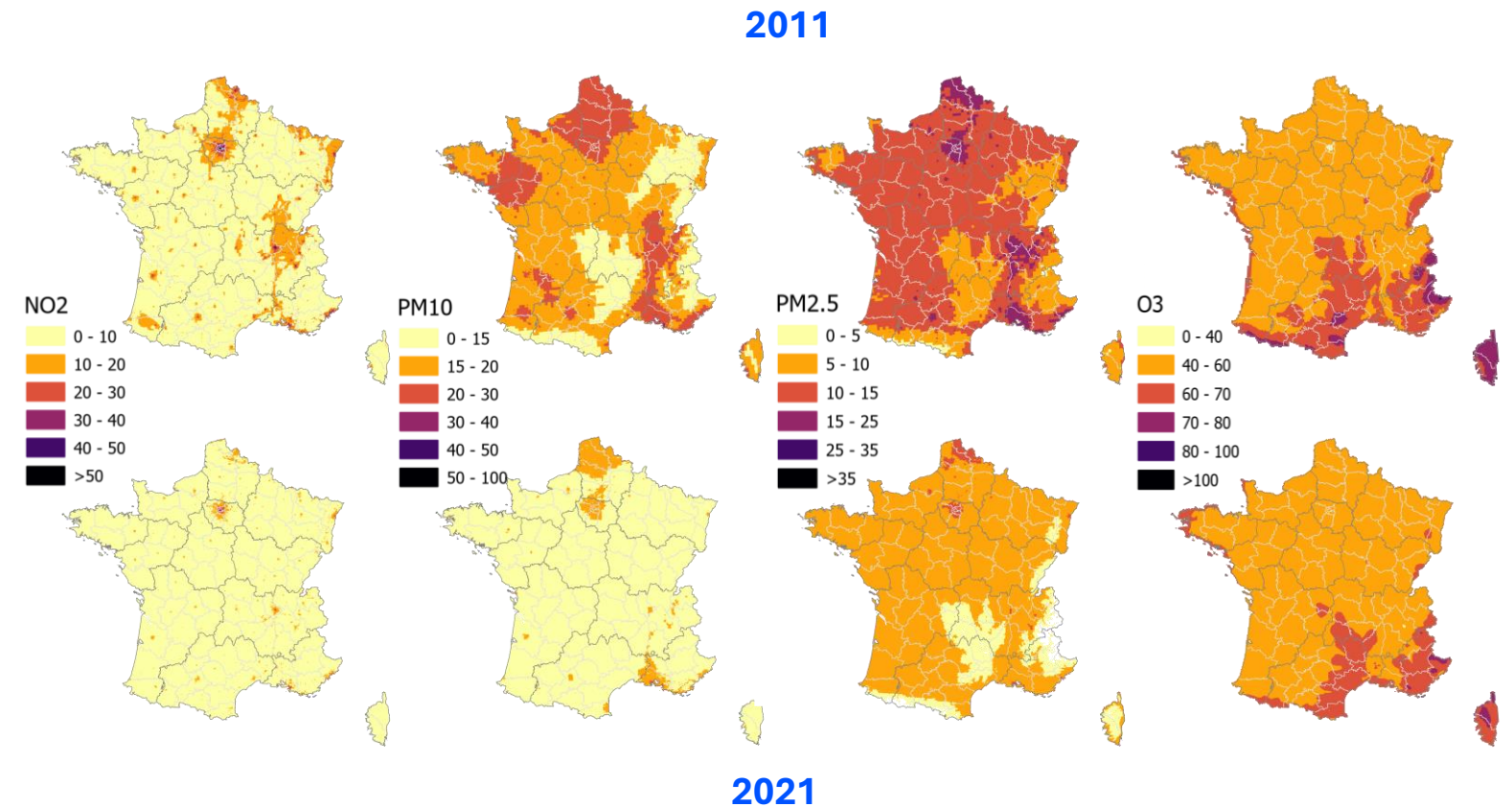
Source: Météo France

# Evolution des concentrations en polluants, et impact sur la mortalité

**Pollution de l'air et augmentation des allergènes**

- Asthme, maladies respiratoires, maladie pulmonaire obstructive chronique
- Cancer de la trachée, des bronches et des poumons
- Maladie cardiaque ischémique, AVC
- Diabète de type 2

Taux de décès (pour 100000 hab) dus à la pollution de l'air  
France  
Source: Global Burden of Disease 2021



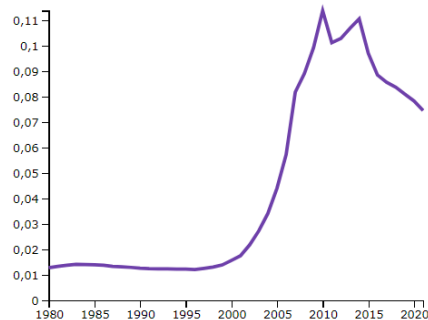
Sources: Ineris / European Environment Agency

# Evolution des cas de maladies vectorielles, et impact sur la mortalité

## Changements dans le Vecteur Ecologie

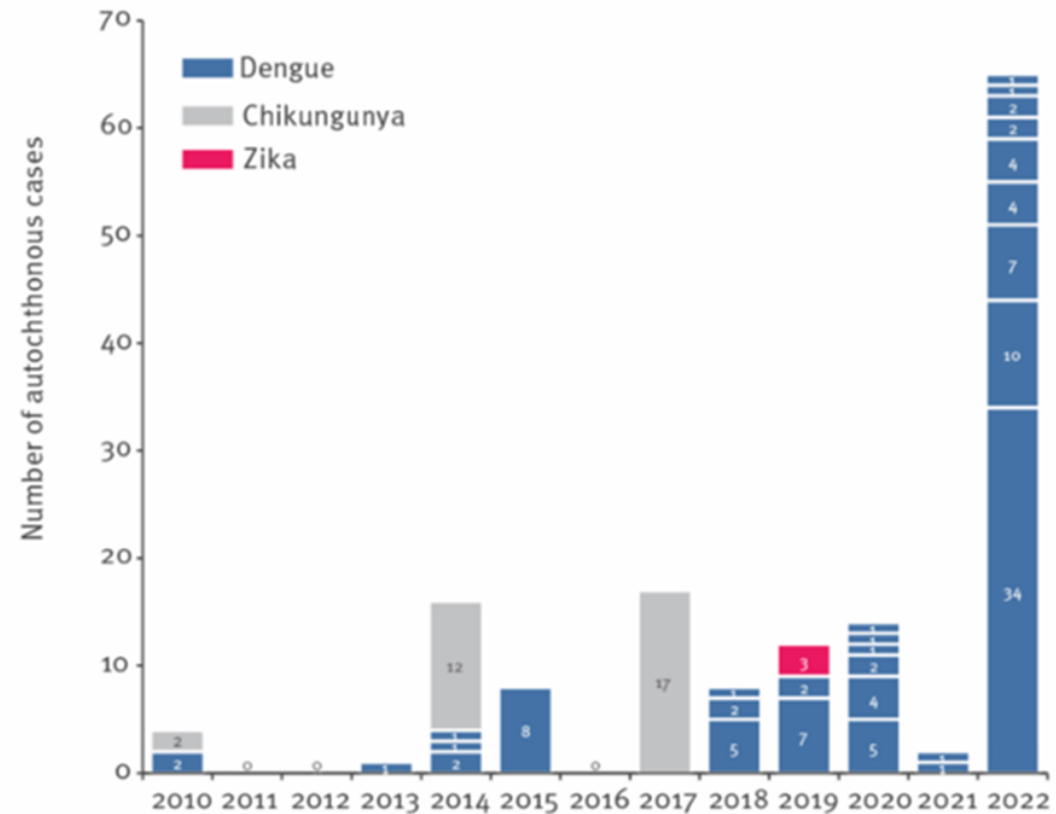


- Paludisme, dengue, maladie de Lyme, virus Zika, autres maladies transmises par les moustiques
- Nombre de décès croissant, mais reste faible
- Modélisation de type SIR



Estimation du nombre de décès dus à la dengue  
France

Source: Global Burden of Disease



Source: [eurosurveillance.org](https://eur01.safelinks.org/organization/eurosurveillance)

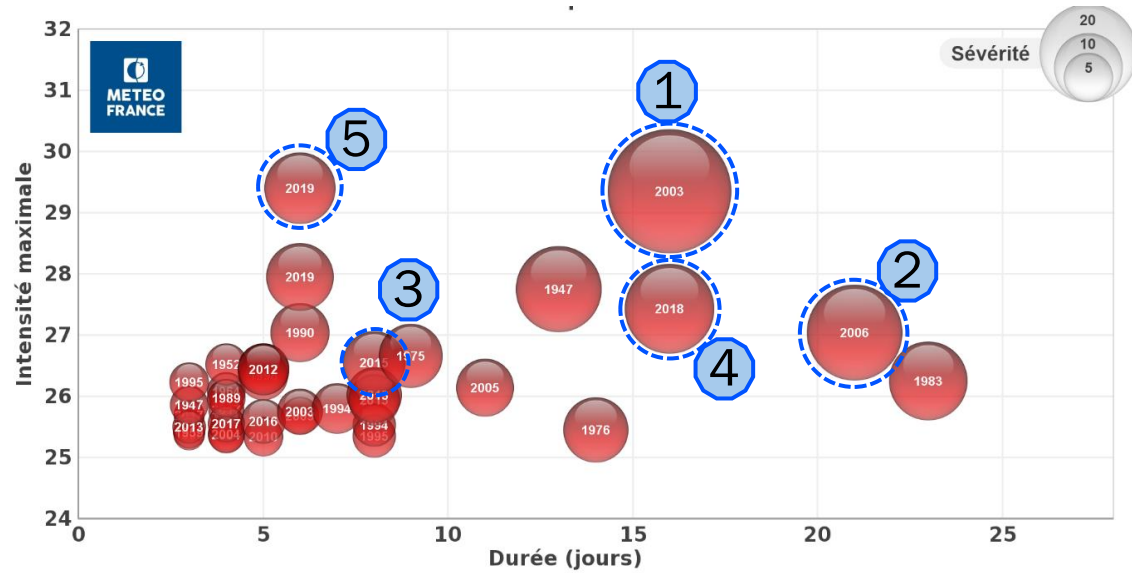


# Enjeux de modélisation de l'impact des différents facteurs climatiques sur la mortalité

# Modélisation de l'impact des vagues de chaleur

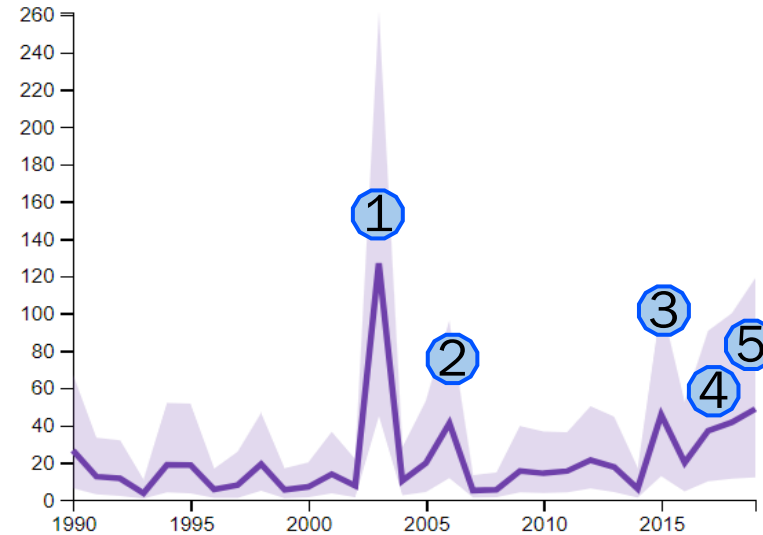
## Des décès directement observés après une vague de chaleur

Vagues de chaleur observées en France  
De 1947 à 2019: 41 épisodes identifiés



Source: Météo France

Nombre de décès dus à l'exposition à des températures élevées  
Population d'âge 55+, tous sexes



Source: Global Burden of Disease study

# Modélisation de l'impact des vagues de chaleur

## Une approche possible: la modélisation stochastique

Référence:

Milliman White Paper, 2022

[Modeling the impact of climate risks on mortality](#)

### Enjeux

- Disponibilité des données de mortalité par cause de décès
- Fréquence des événements climatiques extrêmes relativement faible
- Les données climatiques et les données de mortalité doivent être disponibles à la même maille et sur un historique suffisamment profond

### Spécifications du modèle

- Proposition d'un modèle permettant de capturer la mortalité relative à des causes de mortalité.
- Découpage en classes d'âges : Jeunes (0-25 ans), Actifs (25-65 ans), Retraités (65 ans et plus)

#### Modèle de Lee-Carter Classique

$$\ln(\mu_{x,t}) = \alpha_x + \beta_x \kappa_t$$

- $\alpha_x$  : coefficient qui décrit la structure d'âge statique de mortalité au cours du temps.
- $\kappa_t$  : dynamique temporelle, décrit l'évolution générale de la mortalité.
- $\beta_x$  : coefficient qui mesure la sensibilité de  $\ln(\mu_{x,t})$  pour chaque âge  $x$  par rapport à la dynamique temporelle des  $\kappa_t$ .  
Le terme  $\beta_x \kappa_t$  capture la tendance conjointe des taux de mortalité par âge qui évoluent dans le temps.

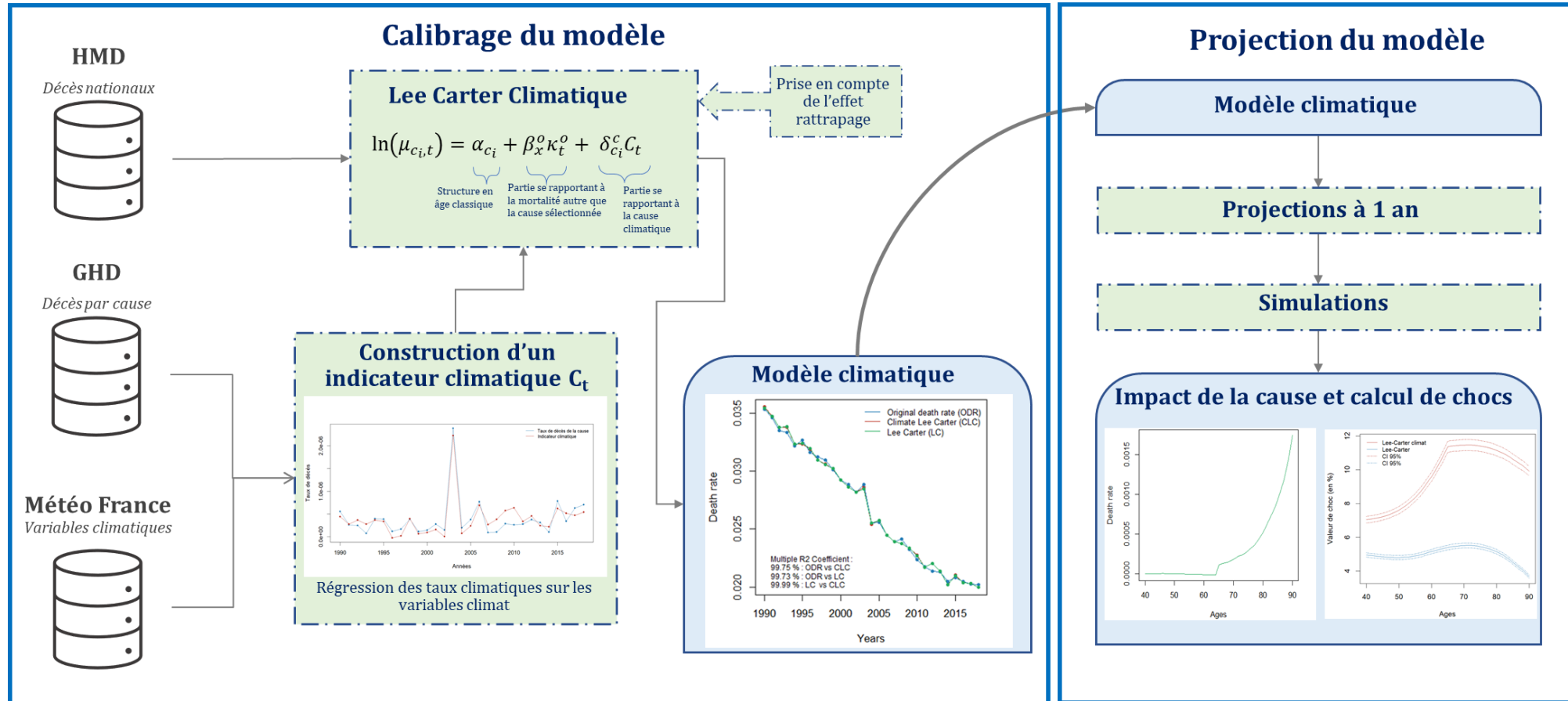
#### Modèle de Lee-Carter climatique

$$\ln(\mu_{x,t}) = \alpha_x + \beta_x^o \kappa_t^o + \delta_x^c C_t$$

- $\mu_{x,t}$  : la mortalité totale.
- $C_t$  : indicateur relié aux variables climatiques.
- La notation  $c$  est relative à la cause climatique étudiée.
- La notation  $o$  est relative aux autres causes que celle considérée et notée par  $c$ .

# Modélisation de l'impact des vagues de chaleur

Une approche possible: la modélisation stochastique



Légende : Bases de données Modélisation Résultats

# Modélisation de l'impact de la pollution de l'air

## Un impact complexe à appréhender et à modéliser

### Décès court terme

- Peu de décès directement observés après un pic de pollution
- Modélisation directe via le modèle stochastique précédent
  - Globalement, les résultats sont un peu moins bons que le Lee-Carter adapté aux vagues de chaleur
  - Ne fonctionne pas sur toutes les géographies (pas de lien identifié entre les variables climatiques et la mortalité ou modèle de Lee-Carter classique non adapté à la population)
  - Pas d'effet rattrapage observé d'une année sur l'autre
- Modélisation infra-annuelle
  - Modélisation et projection des vagues de chaleur sur le long terme
  - Permet de réaliser un effet rattrapage au sein d'une même année

### Décès long terme

- **Déclinaison de scénarios de prévalence de maladies**
  - Identification des maladies impactées
  - Etude de la prévalence de ces maladies: scénarios climatiques de morbidité
  - Taux de décès de la population exposée (base GBD)  
→ Ces éléments permettent d'obtenir des scénarios de mortalité climatique
- **"Approche OMS" (outil AirQ+) utilisée dans les scénarios ACPR <https://www.who.int/tools/airq>**
  - Etude des interactions polluants/températures, et des effets combinés
  - Pistes d'amélioration:
    - Quels sont les polluants retenus dans les stress tests ACPR?
    - Réflexion autour du calibrage du modèle
    - Application d'un choc adapté à la population du portefeuille considéré (par géographie/âge notamment)

# Modélisation de l'impact de la pollution de l'air

## Approche utilisée par l'ACPR: AirQ+ (OMS) – méthodologie générale

### Risque Relatif (RR)

Illness	Exposure		Total
	Not-exposed	Exposed	
Healthy	a	b	a + b
Affected	c	d	c + d
Total	a + c	b + d	n

- Parmi les  $(b + d)$  exposés, le risque est égal à  $R_e = \frac{d}{b+d}$
- Parmi les  $(a + c)$  non exposés, le risque est égal à  $R_0 = \frac{c}{a+c}$
- Le rapport entre ces deux risques exprime le risque de la personne exposée par rapport à la personne non exposée : Risque Relatif  $RR = R_e/R_0$

### Risque Attribuable (AR)

- Le risque attribuable (RA) ou la fraction attribuable (FA) est une mesure de la proportion de l'occurrence de la maladie qui peut être attribuée à un certain facteur de risque.
- Le risque attribuable peut être exprimé en estimant l'excès de risque  $R_e - R_0$  divisé par le risque pour les personnes exposées au facteur,  $R_e$ , i.e.

$$AR = \frac{R_e - R_0}{R_e}$$

- Cela donne la proportion de l'excès de risque de maladie qui peut être attribuée à l'exposition au facteur en question.
- En substituant le risque relatif à l'équation du risque attribuable, on obtient  $AR = \frac{RR - 1}{RR}$

### Nombre de cas attribuables au facteur de risque

- L'estimation de la surmortalité attribuable au facteur de risque est définie comme suit:
  - $\Delta D = \text{Pop} * y_0 * AR$
  - Pop: Population exposée
  - $y_0$ : taux de mortalité de référence

### Facteur additif

- Impact d'un facteur de risque sur le taux de mortalité selon un scénario futur  $F = \frac{\Delta D^* - \Delta D}{\text{Pop}}$ 
  - $\Delta D^*$ : nombre de décès prématurés évalués selon le scénario projeté
  - $\Delta D$ : nombre de décès prématurés évalués dans une situation de référence
  - Pop: Population exposée

Référence: Research methodology in the medical and biological sciences, Chapter 9, Dag S.Thelle and Petter Laake

# Modélisation de l'impact de la pollution de l'air

## Approche utilisée par l'ACPR: AirQ+ (OMS)

### Quantification du risque relatif RR

- Le risque de mortalité dans une population en raison de l'exposition à la pollution atmosphérique est représenté par la fonction concentration-réponse (CRF), qui est basée sur les estimations des risques relatifs (RR) dérivées d'études épidémiologiques :

$$RR = \exp(\beta * \Delta C)$$

- $\beta$  : le facteur concentration-réponse (CRF ; c'est-à-dire la pente estimée de la relation log-linéaire entre la concentration et la mortalité, souvent appelée coefficient bêta d'une étude épidémiologique qui mesure le risque d'un effet sur la santé dû à une variation d'une unité de la concentration d'un polluant atmosphérique)
  - $\Delta C$  : la variation de la concentration
- La fraction de la charge de morbidité attribuable au facteur de risque, la fraction attribuable (AF), a été définie comme suit

$$AR = \frac{RR - 1}{RR} = 1 - \exp(-\beta * \Delta C)$$

- La surmortalité attribuable à la pollution atmosphérique est estimée en multipliant AR par le taux de mortalité de référence  $y_0$  et la taille de la population exposée **Pop**.

$$\Delta D = y_0(1 - \exp(-\beta * \Delta C)) Pop$$

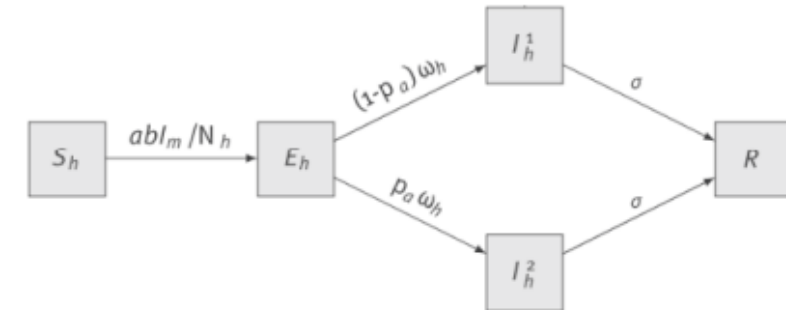
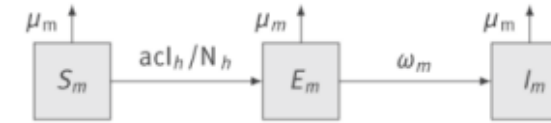
### Références :

- Quantifying the Public Health Benefits of Reducing Air Pollution: Critically Assessing the Features and Capabilities of WHO's AirQ+ and U.S. EPA's Environmental Benefits Mapping and Analysis Program—Community Edition (BenMAP—CE) <https://www.mdpi.com/2073-4433/11/5/516>
- Yannick Drif, Palmira Messina<sup>2</sup>, Pierre Valade. Conséquences du changement climatique sur la pollution de l'air et impact en assurance de personnes. 2020. fhal-02998527f [https://hal.science/hal-02998527f](https://hal.science/hal-02998527v1/document)

# Modélisation de l'impact du changement du vecteur écologie

## Approche utilisée par l'ACPR: modèles compartimentaux

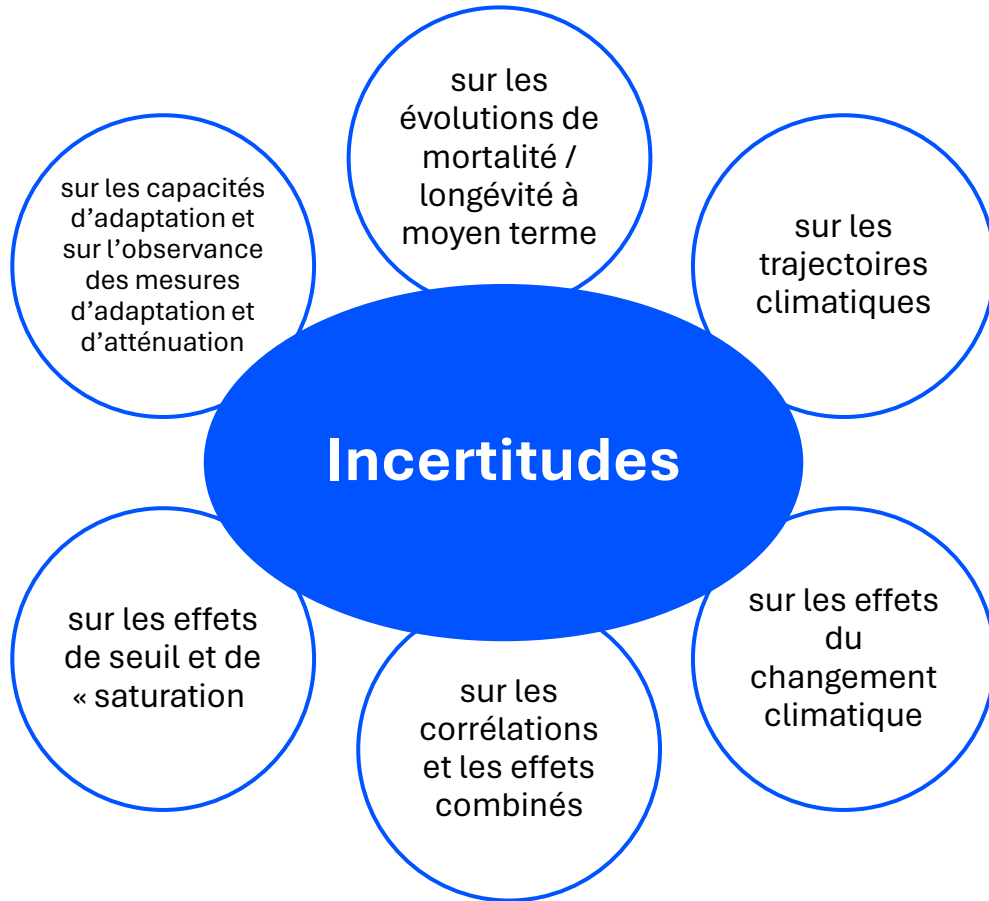
- **Spécificités du problème de modélisation**
  - Très peu de cas d'infection, encore moins de cas de décès
  - Propagation au sein de deux populations (moustiques et humains) qui interagissent entre elles
- **Modèles compartimentaux**
  - Modèle comportant relativement beaucoup de paramètres, difficiles à calibrer au vu des données disponibles
- **Pistes d'amélioration pour les projections**
  - Calibrage plus fin – issu d'une revue de littérature
  - Association d'un scénario de changement climatique futur à un modèle de maladie vectorielle qui a été validé à l'aide de données historiques.
  - Possibilité d'intégration de scénarios pour des facteurs non climatiques tels que les déplacements, les facteurs socio-économiques ou les progrès en matière de santé publique.





# Scénarios climatiques

# Incertitudes, Incertitudes, Incertitudes...



- Tout cela rend l'exercice très difficile
- Pour une entreprise d'assurance, incertitude sur sa situation dans 3-5 ans (retour participants exercice stress test climatique ACPR 2023)  
Quid de la situation à horizon 20 ans?
- Très tentant de s'en tenir au minimum et de continuer à piloter avec une vision myope dans le temps
- Quels objectifs pour les scénarios climatiques des entreprises d'assurance ?

## Message 0 : Données + Imagination

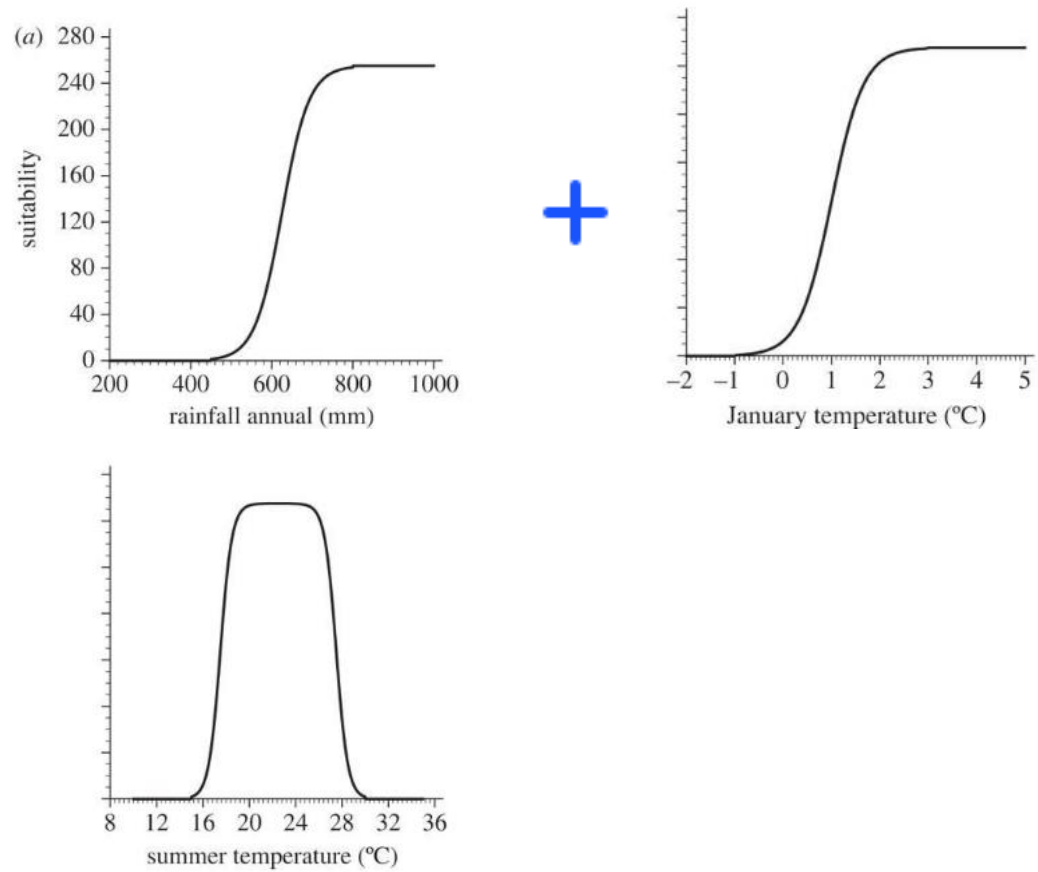
Le choix des données de calibrage et des données nécessaires à la projection des modèles de mortalité tenant compte des facteurs climatiques n'est pas trivial: il découle d'une combinaison de choix basés sur les données, sur notre imagination, et sur notre expertise métier.

- Quelles données utiliser pour le risque d'épidémies autochtones de dengue en France métropolitaine?
  - 4 souches de dengue principales
  - Des moustiques différents selon les continents
  - Afrique sub-saharienne, Asie du sud-est, Amérique, Europe, France métropolitaine?
  - Singapour, Floride, France
  - Où simuler les premières épidémies autochtones en France métropolitaine?
  
- Imagination nécessaire en complément des données passées

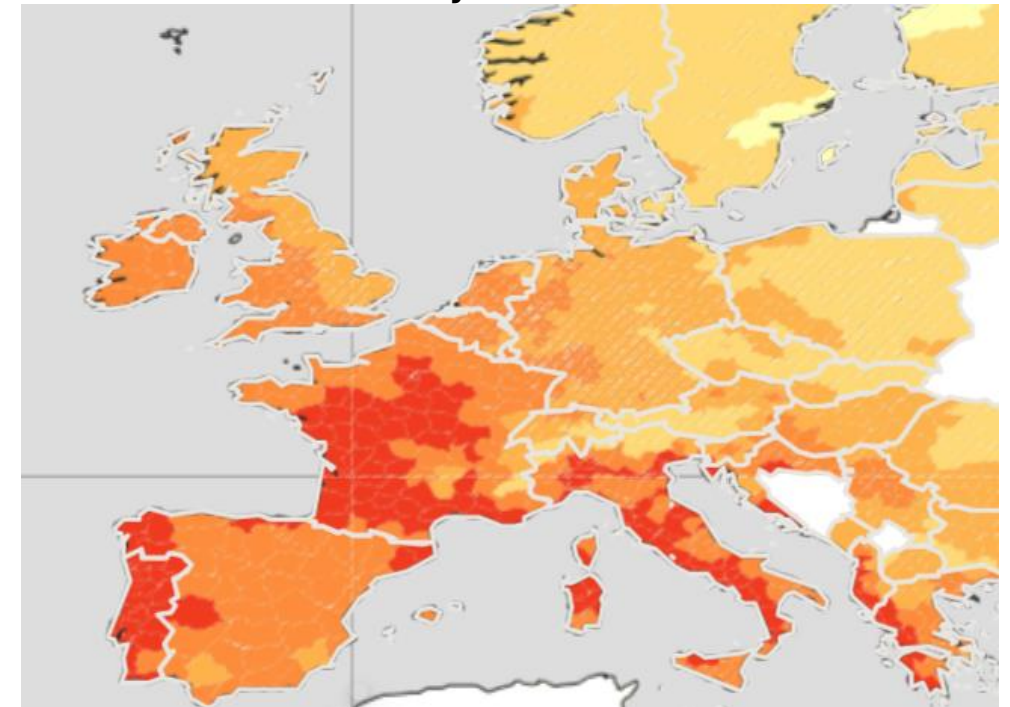
→ Actuarial judgment = data + imagination + professionalism

# Scénarios de prédiction des maladies vectorielles

## Carte de prédiction du suitability index selon RCP 4.5



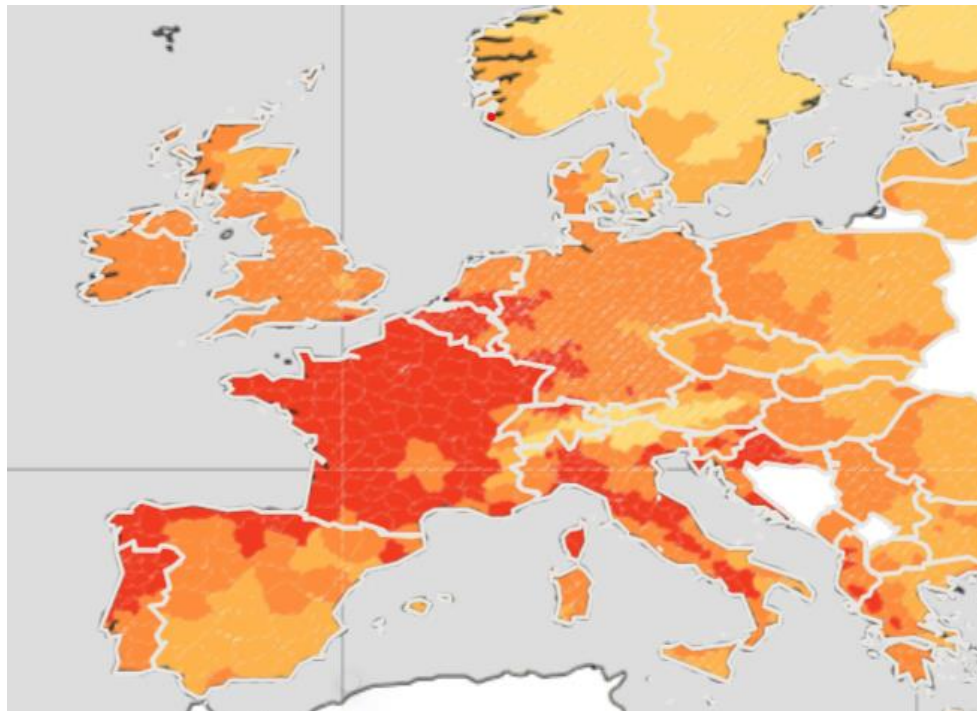
Suitability index en 2024



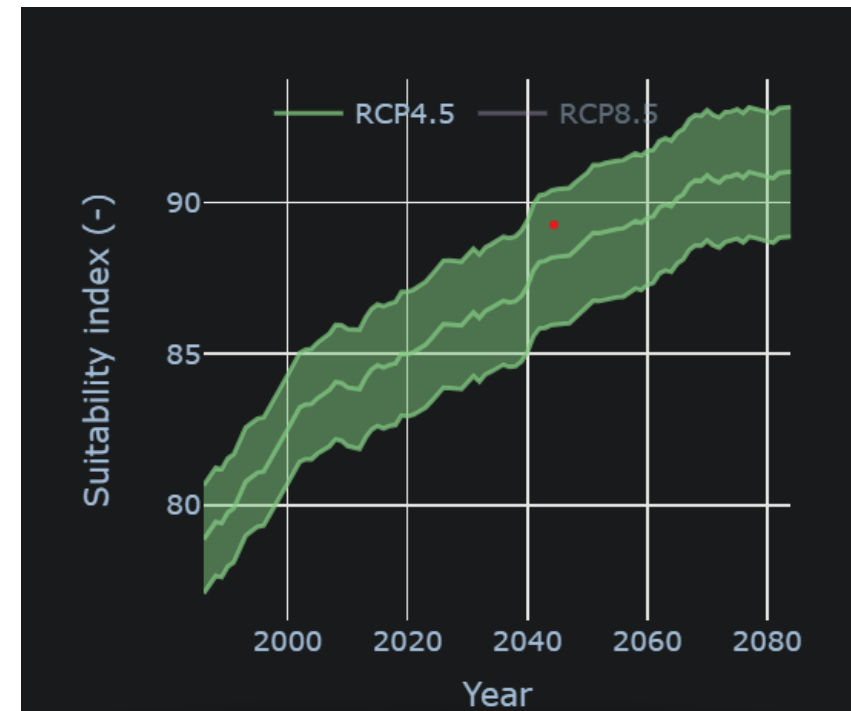
# Scénarios de prédiction des maladies vectorielles

Carte de prédiction du suitability index selon RCP 4.5, horizon 2060 sur la France

Suitability index en 2060



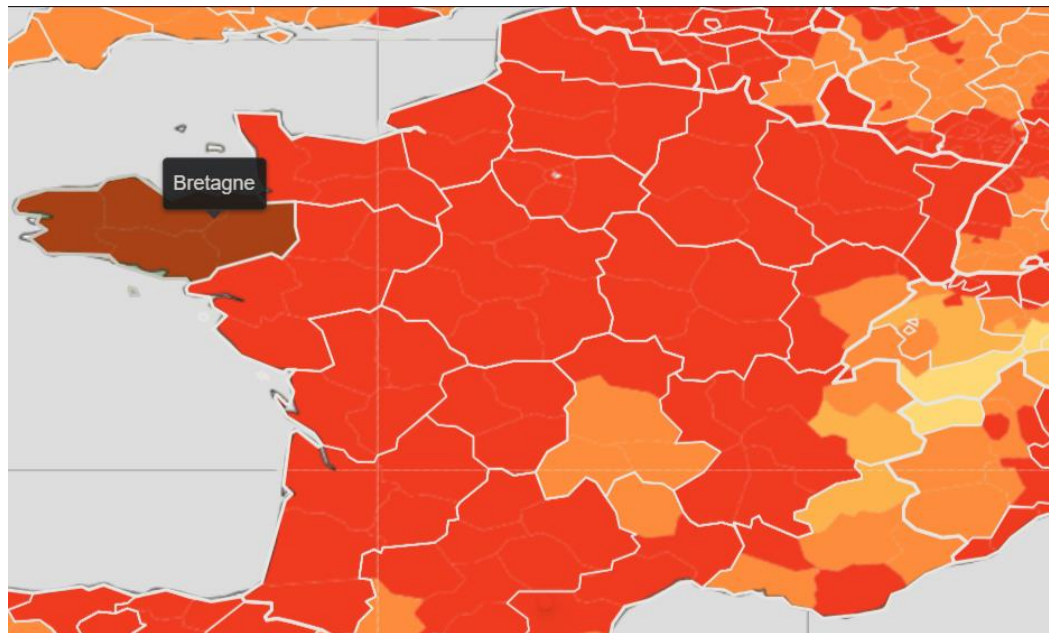
Evolution de l'index en France



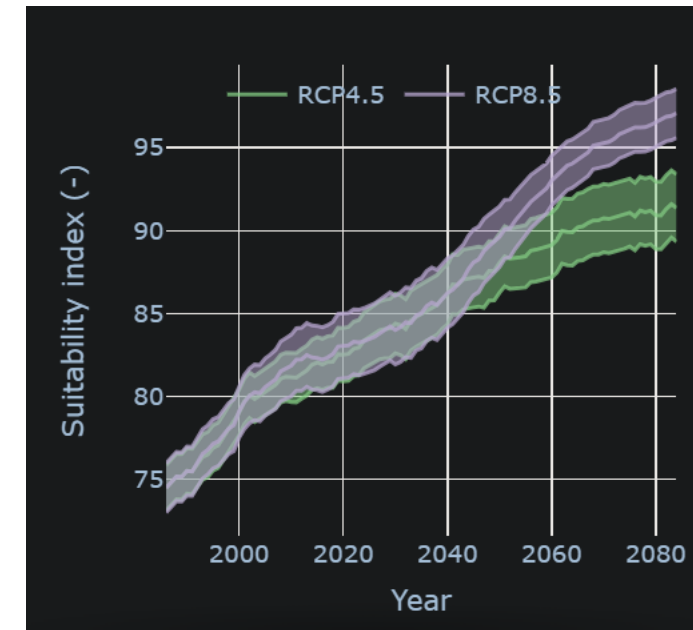
# Scénarios de prédiction des maladies vectorielles

Carte de prédiction du suitability index selon RCP 4.5, horizon 2060 en Bretagne

Suitability index en 2060



Evolution de l'index en Bretagne





# Impact des îlots de chaleur urbains (ICU)

## Indice de vulnérabilité en Ile-de-France

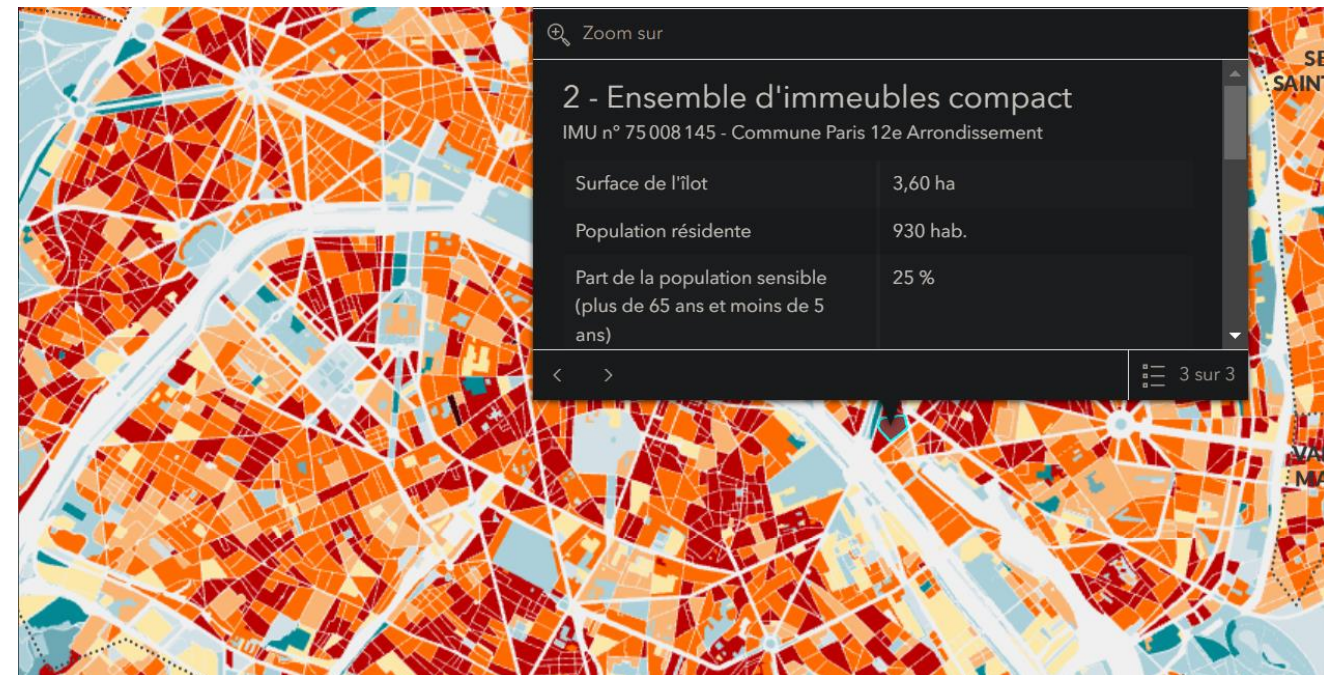
### ■ Effet de l'ICU

- Nombre de surfaces bâties
- Ventilation de l'îlot
- Densité végétale
- Propriétés thermiques des matériaux
- Présence ou proximité d'eau dans l'îlot
- Réfléchissement de la lumière (albédo)
- Chaleur anthropique (transports, énergie, industrie)

### ■ Sensibilité des habitants

- Part de la population sensible par classe d'âge (<5 ans, <65 ans)
- Part des ménages composés d'un seul individu
- Présence de maison de retraite
- Densité d'habitants
- Densité d'occupation des logements
- Densité d'emplois
- Indicateur approché des logements énergivores ou logements à faible performance énergétique (DPE)
- Qualité de l'air
- Proximité aux urgences hospitalières

## Vulnérabilité diurne sur Paris



## Message 1 : Construction de scénarios moins lisses

- **Constat**

La plupart des scénarios climatiques sont relativement « lisses »: augmentation « en moyenne » de  $x\%$  par an, ou de  $x_t\%$  chaque année  $t$ , avec une courbe relativement lisse

**Tout scénario réaliste devrait incorporer une série d'épidémies autochtones contrôlées de gravités disparates (et non strictement croissante au cours du temps), puis une rupture avec une perte de contrôle.**

- **Éléments de justification**

- Une fois que le moustique *aedes albopictus* s'installe suffisamment longtemps et sur un territoire vaste, la probabilité d'avoir une épidémie hors de contrôle augmente très fortement
- L'arrivée des épidémies de dengues en France métropolitaine ne se produira pas de manière lisse, on ne peut circonscrire que des « petites » épidémies.
- Une succession d'années à épidémies graves et d'années sans épidémie majeure est le scénario le plus probable

- **Importance du caractère non-lisse**

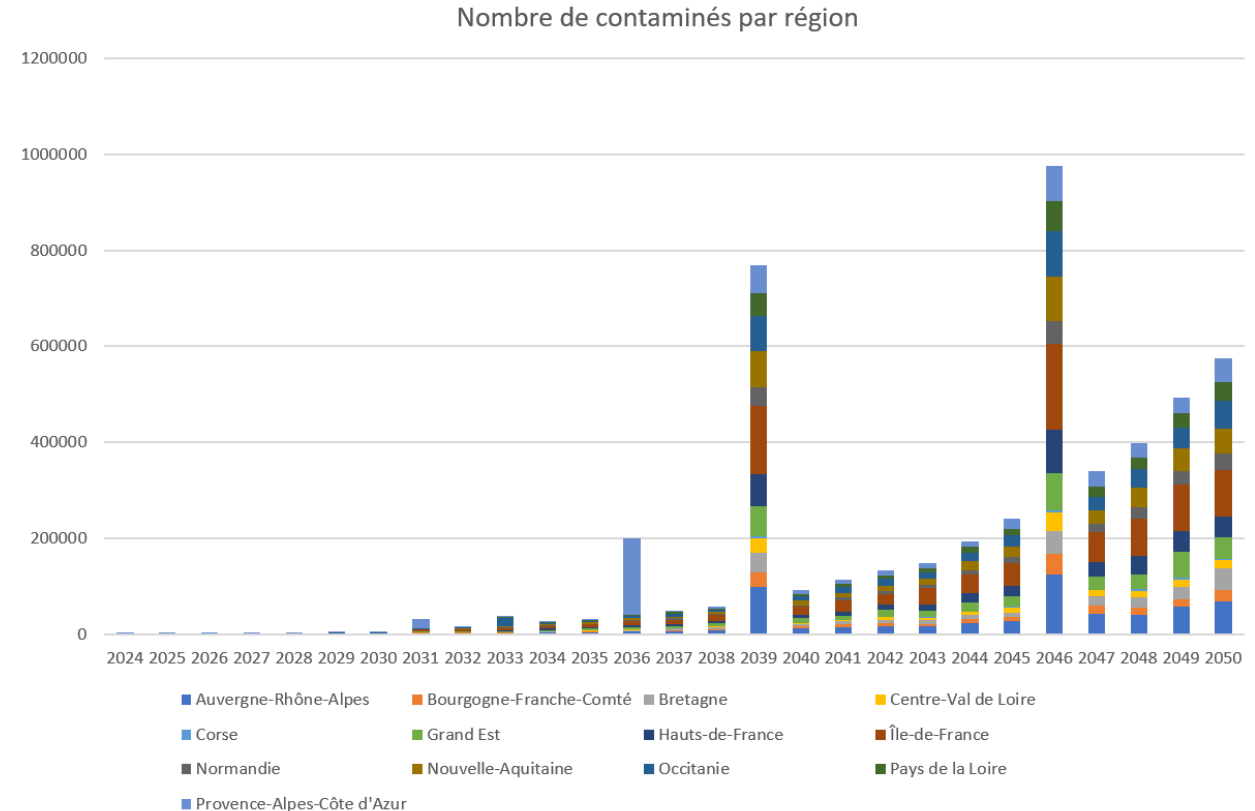
- Caractère non lisse important pour illustrer notamment la difficulté pour les assureurs, les pouvoirs publics, les régulateurs et la société de détecter et de quantifier l'aggravation, et d'y apporter la réponse la plus appropriée
- Risque de sur-réaction, puis de sous-estimation du risque (expériences grippe aviaire puis covid)
- Nécessité d'inclure des management actions (très incertaines et pas forcément optimales) qui vont avoir un impact majeur



# Scénarios de prédiction des maladies vectorielles

## Application du modèle de contamination avec des événements extrêmes

- **Construction du modèle épidémiologique**
  - Modèle de type Susceptible-Infected-Recovered (SIR) compartimental
  - Ajout d'événements extrêmes tirés selon une GEV
  - Echelle des contaminations: communales, départementales, régionales et nationales
- **Résultats de la simulation**
  - 2031: Nice 5% de la population
  - 2033: Montpellier 5% de la population
  - 2036: Paca 5% de la population
  - 2039: France 1% de la population
  - 2046: France 1% de la population 2ème infection (type DENV-1 puis DENV-4).



## Importance du caractère non lisse et approche ERM

- Risques: événements → circonstances.
- Wikipedia: « L'ERM comprend les méthodes et les processus utilisés par les organisations pour gérer les **risques** et saisir les **opportunités** liées à la réalisation de leurs objectifs. L'ERM fournit un cadre pour la gestion des **risques**, qui implique généralement l'identification **d'événements ou de circonstances** particulières en rapport avec les objectifs de l'organisation (risques et opportunités), leur évaluation en termes de probabilité et d'ampleur de l'impact, la définition d'une stratégie de réponse et le suivi des progrès accomplis. En identifiant et en traitant de manière proactive les risques et les opportunités, les entreprises protègent et créent de la valeur pour leurs parties prenantes, y compris les propriétaires, les employés, les clients, les régulateurs et la société dans son ensemble. »

## Message 2 : Scénarios « événements combinés »

Création et utilisation de scénarios « événements combinés », permettant de prendre en compte les effets d'événements probablement concomitants, aggravant / atténuant le risque.





- « **Combined event scenarios** » : largement utilisés par les assureurs par le passé (exemple: pandémie → mortalité + chute marché actions)
- **Illustration sur le cas des vagues de chaleur**
  - Risque de mortalité démultiplié si saturation ou désorganisation des urgences.  
→ Événement combiné pertinent: panne de courant massive et vague de chaleur (USA, Inde)
  - En complément de l'étude des vagues de chaleur type 2003 (effet moisson, prévention, ...) et des évolutions « Lee-Carter climatique » (Eve Titon), il convient de prendre en compte des événements combinés
  - Du fait du changement climatique, les vagues de chaleur de 3-4 mois en été seront très probable. Cet événement devient alors une circonstance.
  - Conséquence: tout autre risque survenant en été donne automatiquement un scénario combiné (auparavant il aurait fallu que les événements soient concomitants)

## Une variable très impactante : taux d'équipement en climatisation des ménages et capacité à l'utiliser






- Changement climatique + transition + AI → nécessité d'optimiser utilisation de l'eau et de l'énergie
- Mise en réseau, interconnexions de réseaux **qui n'étaient pas forcément prévus pour cela initialement**
- **Risque cyber** accru
- Aspects géopolitiques pouvant être exacerbés par le changement climatique
- Possibilité d'avoir des périodes étendues **sans recours possible à la climatisation** et/ou **accès à l'eau compliqué**
- **Effet décuplé** des canicules dans ce type de scénario combiné

## Prévention

### Stratégies de prévention contre la DENV et le CHIKV

-  Utilisation d'insecticides tels que le DEET ou la Permethrin
-  Vêtements protecteurs, manches longues
-  Evacuation des eaux stagnantes ou introduction de poisson comme le Gambusia Affinis se nourrissant d'œufs et larves d'insectes (-> biodiversité!)
-  Vaccination Dengvaxia CYD-TDV

### Végétalisation pour réduire les risques et impact des vagues de chaleur

-  Evapotranspiration
-  Ombrage
-  Absorption du CO2
-  Stratégie d'irrigation adaptée
-  Efficacité de la végétalisation
  - À Göteborg (Suède), la différence de température maximale entre un parc et son environnement construit a été mesurée à 5,9 °C
  - À Mexico, l'effet de rafraîchissement d'un parc a été observé jusqu'à 2 km
  - À Hong Kong, la végétalisation a permis d'abaisser de 1 °C la température de l'air à 1,50 m des toitures

Références: Luan K, West AJ, McCord MG, DenHartog EA, Shi Q, Bettermann I, Li J, Travanty NV, Mitchell RD 3rd, Cave GL, Strider JB, Wang Y, Neumann F, Beck T, Apperson CS, Roe RM. Mosquito-Textile Physics: A Mathematical Roadmap to Insecticide-Free, Bite-Proof Clothing for Everyday Life. *Insects*. 2021 Jul 13;12(7):636. doi: 10.3390/insects12070636. PMID: 34357296; PMCID: PMC8306269.

DAHMANA, Handi et MEDIANNIKOV, Oleg. Mosquito-borne diseases emergence/resurgence and how to effectively control it biologically. *Pathogens*, 2020, vol. 9, no 4, p. 310.

CHANDRA, G., BHATTACHARJEE, I., CHATTERJEE, S. N., et al. Mosquito control by larvivorous fish. *Indian Journal of Medical Research*, 2008, vol. 127, no 1, p. 13-27.

Références: <https://www.netafim.fr/blog/villes-vertes--reduire-les-ilots-de-chaleur-grace-au-vegetal-et-a-lirrigation/>

## Message 3 : Risques de long terme, importance de l'aspect dynamique et des « management actions »

Prise en compte des *management actions* qui peuvent avoir des effets bénéfiques sur certains objectifs et négatifs sur d'autres, ou sur les mêmes à une autre échelle de temps

- **Exemple sur le cas de la pollution de l'air**
  - Pollution: **co-bénéfices** de la lutte contre le changement climatique sur la santé (qualité de l'air, exercice physique, ...)
  - MAIS **moins de pollution** → **démasque le réchauffement**, qui est « accéléré » (en fait moins ralenti par la pollution qu'avant)
- **Bien connu en ERM:** objectifs interdépendants, une action d'atténuation pour avoir des effets bénéfiques sur des objectifs et des effets négatifs sur d'autres, ou sur les mêmes à une autre échelle de temps
- Complexité pour la **communication au grand public** (similaire au cas adaptation/atténuation)
- Diminution de l'activité physique pendant les canicules et conséquences (Laura Temime)
- Risque de focalisation sur les émissions de carbone en **oubliant la biodiversité et les aspects sociaux**

## Message 4 : Interprétation de la méthodologie du GIEC et risque de surconfiance

Mise en garde contre le risque de surconfiance en les scénarios du GIEC, qui servent de base à la plupart des exercices de stress test climatiques : il faut être conscient des risques réellement pris en compte dans ces scénarios.

- Il est logique de ne pas chercher à « réinventer la roue » ... et donc d'utiliser la méthodologie du GIEC
  - ☹ Sans lire toutes les petites lignes (comme pour les données de mortalité)
  - ☹ Risque d'impression de prendre en compte une très grande partie de l'incertitude en considérant 3 scénarios RCPs différents, voire d'avoir une approche de « stress-test » en prenant le RCP 8.5
- En réalité, de nombreux risques sont moyennés ou neutralisés dans ces scénarios (effondrement de la biodiversité, guerres, cyber-guerre, épidémies, points de basculement)
- Points de basculements potentiels: grands courants océaniques / vents, acidité des océans, biodiversité, résistance aux antibiotiques ...
- Retour des représentants de l'AAI sur les impressions dominantes des participants des dernières COPs :
  - The bad news...we are almost certain to exceed 1.5C of warming - the Paris targets will not be met; this means that adaptation is going to be critical, particularly in developing countries
  - The good news...the range of warming outcomes is narrowing; the most extreme scenarios are unlikely

Source: Rade Musulin, at the General Insurance Forum, Seoul, mai 2024

## Message 4 : Interprétation de la méthodologie du GIEC et risque de surconfiance - penser en termes de système!



### Systems thinking

- Wikipedia defines systems thinking as “... *the interdisciplinary study of systems. A system is a cohesive conglomeration of interrelated and interdependent parts which can be natural or human-made. Every system is bounded by space and time, influenced by its environment, defined by its structure and purpose, and expressed through its functioning.*”
- Practitioners developing scenarios need to consider the interconnectedness inherent in complex systems like a modern economy, such as political fragility, the economic and legal landscape, the state and quantity of natural resources, mitigation and adaptation efforts underway, and the environment
- For example:
  - How might the system react to the actions of a firm or government?
  - Are countries dependent on the actions of others?
  - Are systems fragile and subject to catastrophic failure from “black swans”?
- System thinking requires actuaries to operate in multidisciplinary teams which contain diverse expertise in fields such as climate, macroeconomics, or social science





## Message 5 : Attitudes face au risque puissance 1000

Le choix du ou des scénarios dépend fortement de l'attitude de chacun face au risque: on préconise d'inclure des scénarios variés incluant des management actions, et présentant des ruptures. La liste des hypothèses et risques ignorés doit être présentée explicitement.

- **Différentes personnes → différentes attitudes face au risque**
  - « On trouvera bien une solution, on a déjà fait face avec succès à des situations très compliquées par le passé »
  - Anxiété climatique
  - Qui choisir, un actuaire engagé ou un actuaire « neutre »?
  
- **Choix du scénario**
  - Scénario trop complexe: aucune adhésion
  - Scénario trop simple: adhésion potentiellement forte mais sous-estimation des effets combinés et de « système »
  
- En pratique: se limiter à deux ou trois périls principaux mais inclure des scénarios combinés et proposer une ou deux déclinaisons avec des management actions différentes et des ruptures pour s'assurer que l'incertitude et la complexité ne sont pas sous-estimées.
  
- En complément d'une liste des hypothèses et des risques ignorés, donner un exemple parlant avec un test de sensibilité parlant (au risque de décrédibiliser l'ensemble auprès de certaines personnes)

# Conclusion

## Conclusion

---

# Wrap-up

- Données + imagination + professionnalisme = « *actuarial judgment* »
- Les scénarios ne doivent pas être lisses
- Scénarios combinés nécessaires. Risques: événements → circonstances
- Management actions
- Risque de surconfiance, projection GIEC vs réel « stress test » : quel type de scénario climatique?
- Impact des attitudes face au risque décuplé sur le long terme en présence de multiples sources d'incertitude

**Stéphane LOISEL**  
stephane.loisel@lecnam.net

**Adeline STEPHAN**  
adeline.stephan@guycarp.com

**Eve TITON**  
eveelisabeth.titon@milliman.com

**Rayane VIGNERON**  
rayanevigneron@yahoo.fr