

RISQUE CLIMATIQUE EN ASSURANCE VIE: EXEMPLES D'OUTILS ACTUARIELS POUR SON APPRÉHENSION

Anani OLYMPIO (CNP Assurances)

José GARRIDO (Université Concordia, Montréal)

Xavier MILHAUD (Université Aix-Marseille)

QUELQUES POINTS CLEFS

- Les modèles climatiques (vision long-terme) sont **différents** des modèles météorologiques (vision court-terme).
- Le risque climatique correspond dans le jargon commun au réchauffement climatique, mais il a en réalité des **conséquences bien plus importantes et variées** (biodiversité, montée des eaux, migration de populations, ...).
- S'intéresser aux impacts du changement climatique sur l'activité d'assurance nécessite de s'intéresser à une **multitude de risques**: le risque physique (« physical risk »), le risque environnemental (« environmental risk »: exposition de l'assureur à des activités affectées par la dégradation de l'environnement), le risque de dettes (« liability risk »: évolution des engagements de l'assureur), et le risque de transition (« transition risk »: modification de l'économie (ex: moteur thermique), ...).

- L'impact du réchauffement climatique sur la fréquence et la sévérité de certains types de catastrophes naturelles (ouragans, tornades, ...) est étudié depuis longtemps maintenant, et une vaste littérature existe.
- Cet impact sur la sinistralité en assurance non-vie est traitée en général avec les mêmes outils que ceux utilisés en modélisation CAT NAT, avec une forme d'adaptation propre à chaque compagnie (pas de best practice claire, mais ceci a l'avantage de minimiser le risque systémique...)
- **Peu d'études** sont consacrées aux **impacts du changement climatique sur la santé humaine** (hormis sur la mortalité).
- **Peu d'études quantitatives** ont été menées concernant les impacts de ce changement climatique sur le bilan d'un assureur vie.
- Beaucoup d'études sur l'aléa (risque physique), et les modules de fréquence et de coût moyen, mais **pas de réflexion de fond sur l'évolution du module de vulnérabilité** (adaptabilité, ...).

RISQUE LONG-TERME: FOCUS SUR LE RISQUE CLIMATIQUE (CHAIRE DIALOG)



<https://chaire-dialog.fr>



Fondation du Risque (ILB)



Objectif: mieux appréhender l'impact du réchauffement climatique sur la mortalité et la morbidité en assurance.

SOMMAIRE

1. Éléments bibliographiques
2. Focus sur le risque de vagues de chaleur (version risque physique)
3. Indices actuariels du climat
4. Projections de mortalité adaptées au changement climatique

1. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE (NON-EXHAUSTIVE!)

Risque climatique, assurance, réglementation

- IPCC (GIEC), Sixth Assessment Report, Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires, https://report.ipcc.ch/ar6syr/pdf/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- Climate Change Risk Assessment for the Insurance Industry : https://www.genevaassociation.org/sites/default/files/climate_risk_web_final_250221.pdf
- SOA Research Institute, Catastrophe & Climate; <https://www.soa.org/programs/catastrophe-climate/>
- Fédération Française de l'Assurance, Mission Risques Naturels, https://www.mrn.asso.fr/wp-content/uploads/2018/05/etude_changement_climatique_et_assurance_a_lhorizon_2040.pdf
- Autorité de Contrôle Prudentiel et de Résolution (ACPR), Principaux résultats de l'exercice pilote climatique, <https://Franceanque-france.fr/les-principaux-resultats-de-lexercice-pilote-climatique-2020> (2021)
- Application Paper on the Supervision of Climate-related Risks in the Insurance Sector, IAIS (2021)
- 2022 IORP Climate Stress Test, EIOPA (2022) (impacts à l'actif)
- The Climate Change Adaptation Gap: An Actuarial Perspective (2023)

Risque climatique et lien assurance IARD

- Heranval, A., Lopez, O. & Thomas, M. Application of machine learning methods to predict drought cost in France. *Eur. Actuar. J.* (2022). <https://doi.org/10.1007/s13385-022-0France>
- Météo France, Rapport sur les catastrophes naturelles impact sécheresse ; <https://meteofrance.fr/sites/meteofrance.fr/files/files/editorial/Rapport-catnat-secheresse-2020.pdf>
- Charpentier, A. and James, M. and Ali, H., Predicting drought and subsidence risks in France, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22 (2022), 7, pp 2401-2418
- Ecoto G, Bibaut A, Chambaz A (2021) One-step ahead sequential super learning from short times series of many slightly dependent data, and anticipating the cost of natural disasters. arXiv preprint [arXiv:2107.13291](https://arxiv.org/abs/2107.13291)
- Modélisation de l'impact du changement climatique sur le risque catastrophes naturelles causées par les inondations, *Mémoire d'actuariat de Claire Brousse*, Dauphine (2021)
- ...

Risque climatique et lien assurance vie

- Miljkovic, T., Miljkovic, D. & Maurer, K. Examining the impact on mortality arising from climate change: important findings for the insurance industry. *Eur. Actuar. J.* **8**, 363–381 (2018).
- X. Song et al., Impact of ambient temperature on morbidity and mortality: an overview of reviews (2017) - <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.212>
- Di Napoli, C., Pappenberger, F. & Cloke, H.L. Assessing heat-related health risk in Europe via the Universal Thermal-Climate Index (UTCI) (2018) - <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1518-2>
- Bouchama A, Dehbi M, Mohamed G, Matthies F, Shoukri M, Menne B. Prognostic factors in heat wave related deaths: a meta-analysis. *Arch Intern Med.* (2007) **12**; 167(20):2170-6. doi: 10.1001/archinte.167.20.ira70009
- Kim, D.-W., Deo, R.C., Chung, J.-H., Lee, J.-S., 2016. Projection of heat wave mortality related to climate change in Korea. *Nat. Hazards* **80**, 623–637.
- Mémoire de PC Fall, CEA 2020, Intégration de facteurs liés à la température dans modélisation du risque de mortalité.

⇒ Peu (aucune?) de recommandations (réglementaires) sur la prise en compte du changement climatique dans le bilan (actif et passif) d'un assureur vie : les réflexions sont très « haut niveau » et posent plus de questions qu'elles n'amènent de réponses...

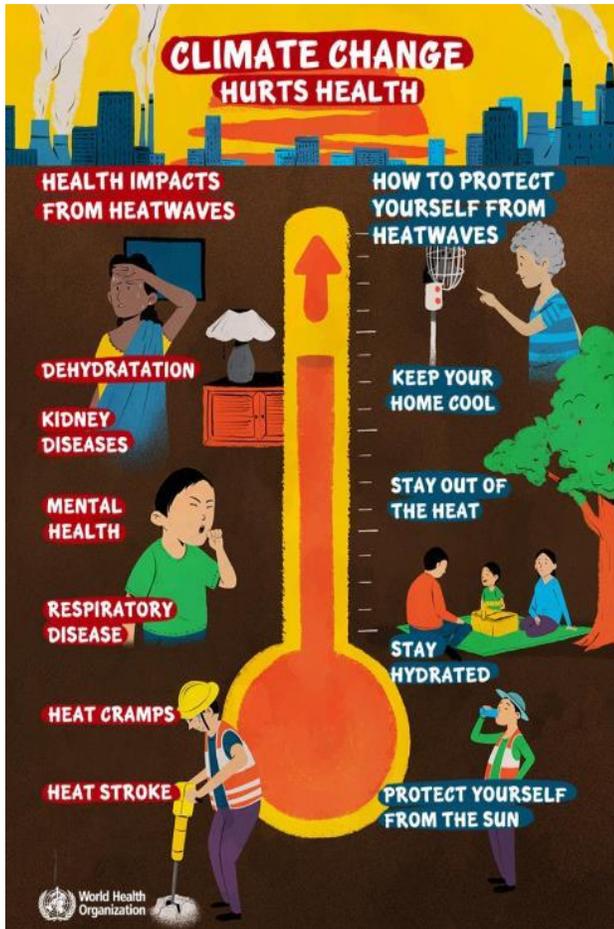
⇒ Les travaux sont la plupart du temps qualitatifs à défaut d'être quantitatifs.

⇒ **Aucun article scientifique** sur les conséquences du risque climatique pour un assureur vie, très peu en non-vie.

2. MODÈLE CLIMATIQUE ET EXEMPLE DES VAGUES DE CHALEUR

Pourquoi s'y intéresser?

IMPACTS DES VAGUES DE CHALEUR SUR LA SANTÉ



World Health Organization

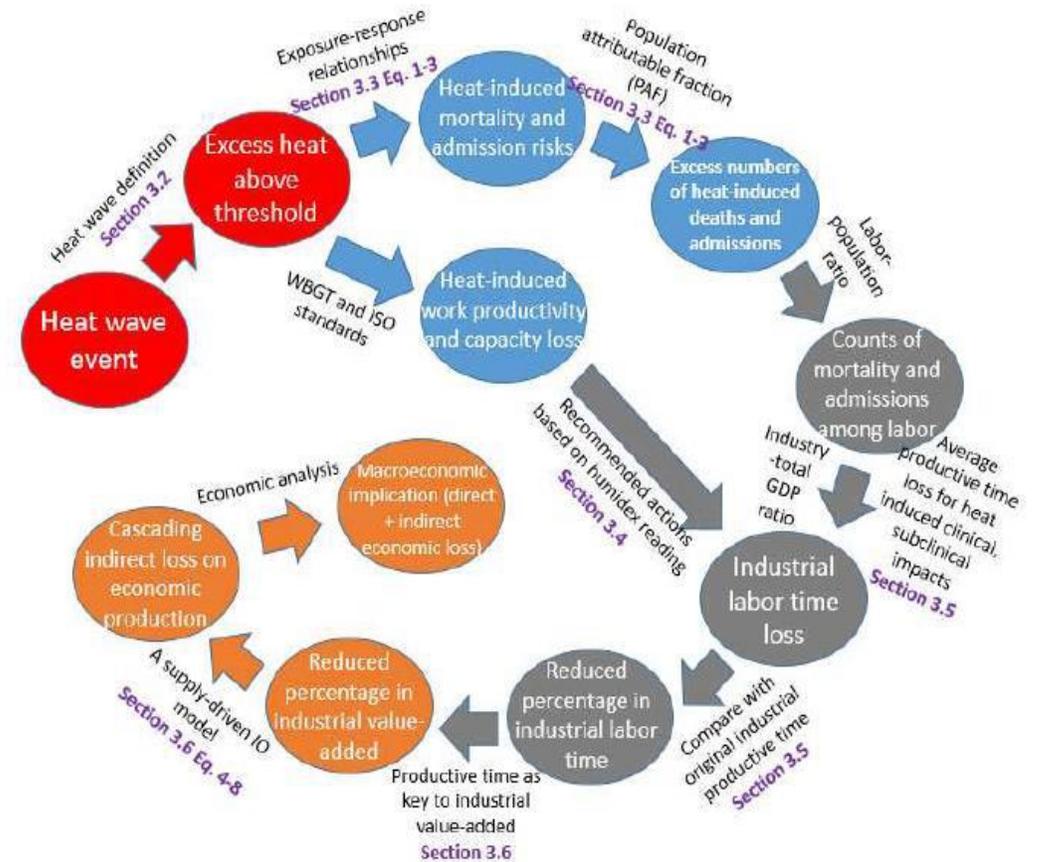
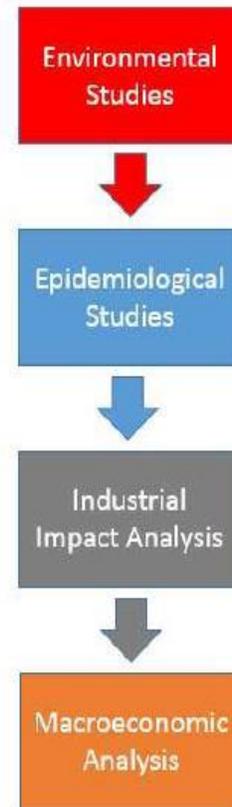


Figure 1. Methodological framework

Yin et al. 2017, Journal of Cleaner Production, doi:10.1016/j.jclepro.2017.10.060

=> Effets directs et indirects

What is weather ?

Properties, events and phenomena in the atmosphere

What?

at a particular place or in a region

Where?

that describe the current state or the evolution over short time periods up to a few day.

Time-scale?

What is climate ?

STATISTICS (mean, variability etc.) over long time-periods ranging from months, to years (typically thirty years), to millions of years

Time-scale?

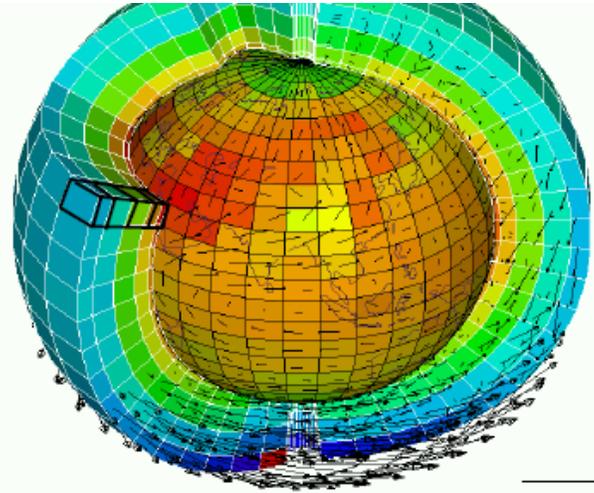
of atmospheric, oceanic, land-surface and sea-ice properties, events and phenomena

What?

at a particular place, in regions or on the entire Earth.

Where?

CARACTÉRISATION D'UN MODÈLE CLIMATIQUE



- Mass conservation
 $D\rho/Dt + \rho \operatorname{div}\underline{U} = 0$
- Potential temperature conservation
 $D\theta / Dt = 0$
- Momentum conservation
 $D\underline{U}/Dt + (1/\rho) \operatorname{grad}p - g + 2 \underline{\underline{\Omega}} \wedge \underline{U} = 0$
- Secondary components conservation
 $Dq/Dt = 0$

Note: These equations are derived from physical principles, with specific approximations to model the motions of a fluid on a rotating sphere.

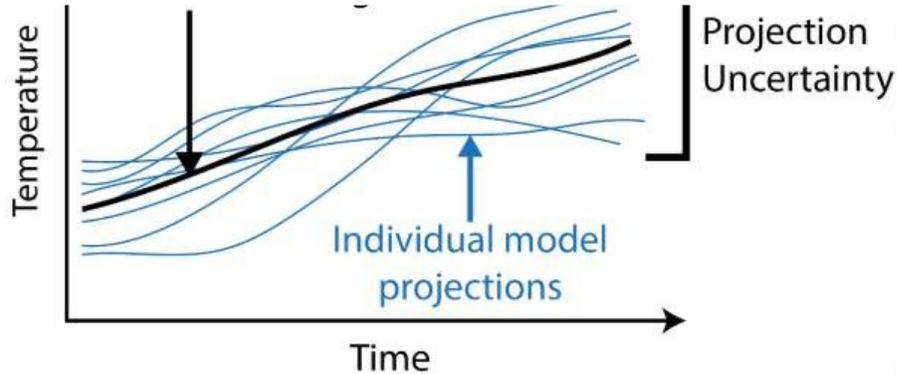
Primitive equations of meteorology

- Thin layer approximation
- Hydrostatic approximation (**valid down to 10-20 km**)

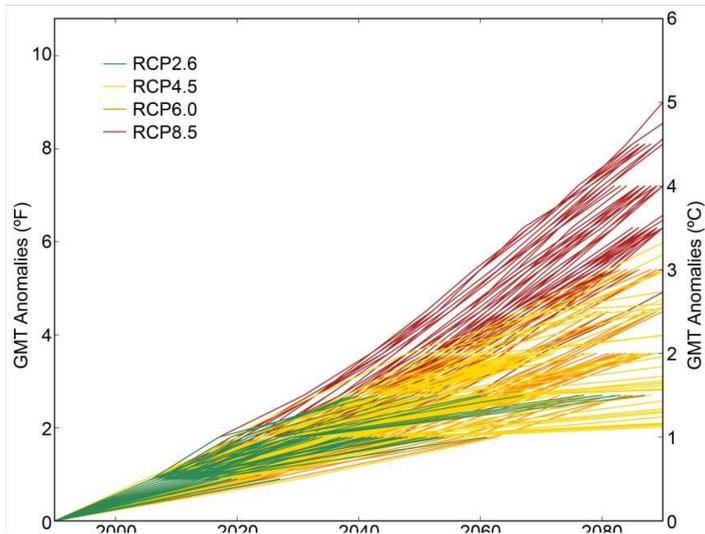
From physics to numerics :

- Grid point or spectral models

Source: https://lmdz.lmd.jussieu.fr/pub/Training/Presentations/LMDZ_Formation_Intro_202301.pdf



Source : <https://www.lancaster.ac.uk/data-science-of-the-natural-environment/blogs/how-to-use-ensembles-of-climate-models>



- Investigating time periods without observational references, adds additional uncertainties to climate simulations.
- In the absence of a reference, the model biases is unknown.
- A method to estimate the uncertainty is by using the spread produced in the simulations.
- Sometimes individual models are weighted differently, based on their performance relative to observations during the reference period.
- However, weighting different models differently is also not without problems. This is because models are “tuned” to represent the reference period as well as possible.
- Models are tuned by picking the combination of values of parameters within observational constraints that yield the best results relative to a predefined target.

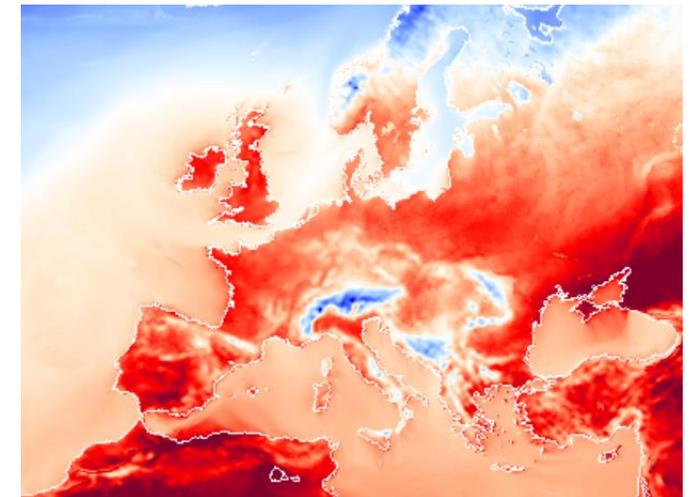
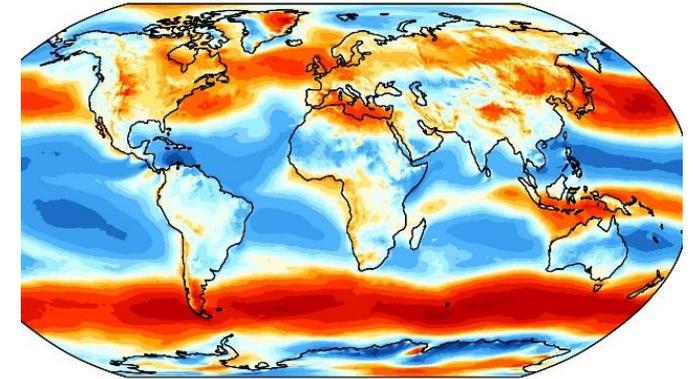
ERA5 du ECMWF pour les variables climatologiques

- Données auto-cohérentes et considérées l'état de l'art.
- Résolution horizontale de 28 km x 28 km à l'équateur.
- Données globales (le même jeu de données peut être réutilisé dans différentes géographies).

Sorties des simulations du climat CORDEX

- Simulations régionales forcées par les simulations du changement climatique réalisées pour le rapport du GIEC (CMIP5).
- Résolution de 12 km x 12 km sur l'Europe (25 km x 25 km sur l'Amérique du Sud).
- Données auto-cohérentes et considérées l'état de l'art.
- Données disponibles sur tous les continents.

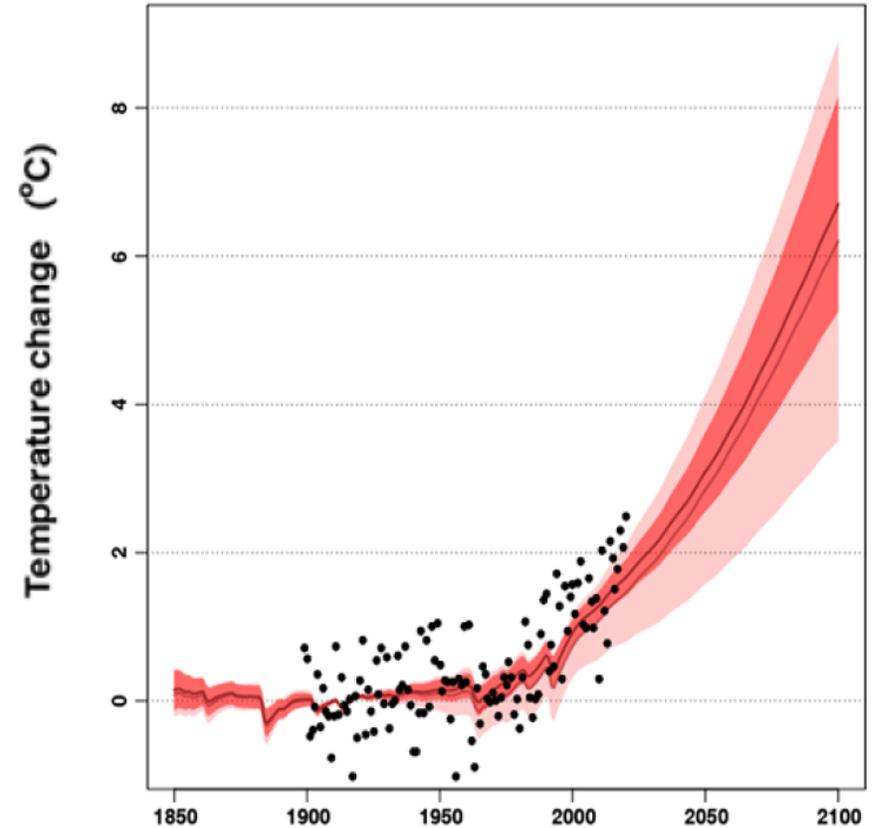
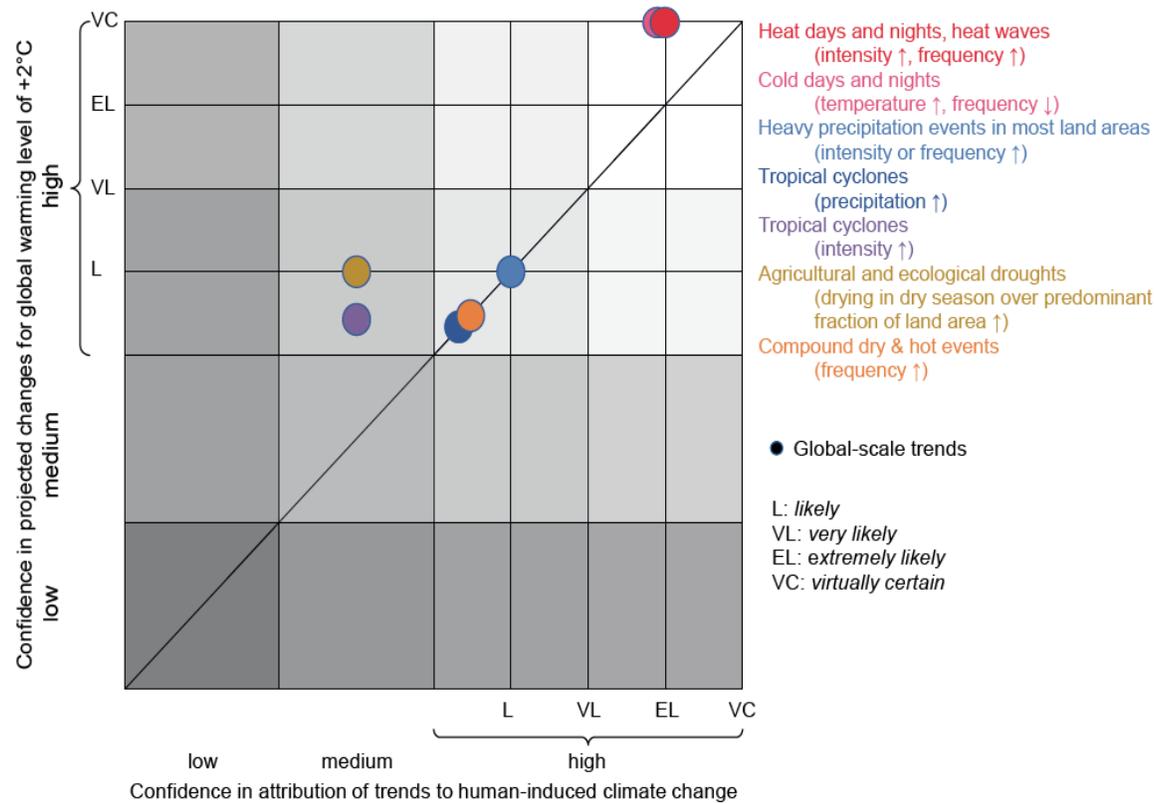
A5 Monthly Mean U Wind Component at 100m Above Surface - January 2019



VAGUES DE CHALEUR EN FRANCE

La France verra une augmentation de la température importante.

Changement des températures moyennes en France, Projection SSP 5 8.5



[IPCC \(2021\). AR6 WGI Chapter 11](#)

3. INDICES ACTUARIELS CLIMATIQUES

3.1 Indice Nord Américain

3.2 Indice Australien

3.3 Indice Ibérique

3.1 INDICE NORD AMÉRICAIN

- L'Indice actuariel climatique™ (IAC) est un indice des risques climatiques, à l'exemple de l'indice des prix à la consommation qui marque les variations du prix d'un panier de biens et services au fil du temps.
- Les actuaires mesurent et gèrent divers types de risques. L'IAC mesure les risques climatiques sur la base d'un **panier d'événements climatiques extrêmes et de variations du niveau de la mer.**
- **L'augmentation des valeurs de l'indice indique un nombre croissant d'événements climatiques extrêmes.**

L'IAC, C'EST QUOI?

- L'IAC **n'explique pas les causes** des changements climatiques ni **ne prévoit les changements à venir**. Il s'appuie sur des données historiques réelles qui remontent jusqu'à 1961 et qui ont été obtenues de sources fiables.
- Il offre, d'une façon neutre et factuelle, un contexte analytique pour explorer différentes conséquences de changements climatiques récents en se concentrant sur les risques en plus de la hausse des températures.
- Il **mesure les événements climatiques extrêmes**, plutôt que la moyenne; les extrêmes semblent avoir plus d'impact sur les assurés et leurs biens.

QUE POUVONS-NOUS APPRENDRE DE L'IAC?

- Le climat se définit sur de longues périodes, vu qu'il y a toujours des fluctuations à court terme, mais **ces dernières années, ces fluctuations ont été souvent vers le haut plus que vers le bas.**
- La méthode qui sous-tend l'IAC utilise une période de référence de 30 ans, comprise entre 1961 et 1990; durant cette période la valeur moyenne de l'indice est calibrée à zéro. Les valeurs mensuelles ou saisonnières, donnent une mesure quantifiée des variations des risques, soit pour l'IAC ou pour chacune de ses six composantes.

QUE POUVONS-NOUS APPRENDRE DE L'IAC?

- La **moyenne mobile sur cinq ans**, qui assure le lissage des fluctuations mensuelles et saisonnières, **a lentement augmenté au fur et à mesure que l'on s'éloigne de 1990**.
- L'utilisateur peut observer que les risques climatiques ont des effets multiples, qui varient selon les **régions**, les **composantes** et/ou les **saisons**, permettant ainsi de faire des comparaisons et des analyses instructives.

HISTORIQUE DE L'IAC

Avril 2019, version 1.0 de l'IAC, version actuelle 1.1:

- <https://actuariesclimateindex.org/home-fr/>
- L'IAC est un outil pédagogique pour informer les actuaires, les décideurs et le grand public des tendances climatiques et conséquences potentielles des changements climatiques aux É-U et au Canada.
- Une mesure objective des variations observées des événements météorologiques extrêmes et des niveaux de la mer.
- Un outil de surveillance des tendances climatiques, mis à jour **sur une base trimestrielle**.

COMPOSANTES

Sponsors: American Academy of Actuaries (AAA), Canadian Institute of Actuaries (CIA), Casualty Actuarial Society (CAS) et Society of Actuaries (SOA)

Les **six composantes** de l'IAC :

1. Hautes températures
2. Basses températures
3. Pluies abondantes
4. Sécheresse (jours secs consécutifs)
5. Vents forts
6. Niveau de la mer

CALCUL DE L'IAC

$$IAC = \text{moyenne} (T90_{std} - T10_{std} + P_{std} + D_{std} + W_{std} + S_{std})$$

Températures:

Variation de la fréquence des températures chaudes supérieures au 90^e percentile (T90)  positif
et des températures froides < au 10^e percentile (T10)  négatif

Précipitations:

Accumulation maximale de pluie sur 5 jours consécutifs (P) dans un mois  mesure le **risque d'inondation**.
et (D) nombre maximal de jours consécutifs dans une année avec des précipitations quotidiennes < 1 mm  mesure de **sécheresse**

par rapport à la **période de référence 1961-1990**.

CALCUL DE L'IAC

$$IAC = \text{moyenne} (T90_{std} - T10_{std} + P_{std} + D_{std} + W_{std} + S_{std})$$

Vents:

Mesures quotidiennes de vitesse du vent converties en puissance éolienne (W), proportionnelle au cube de la vitesse du vent.

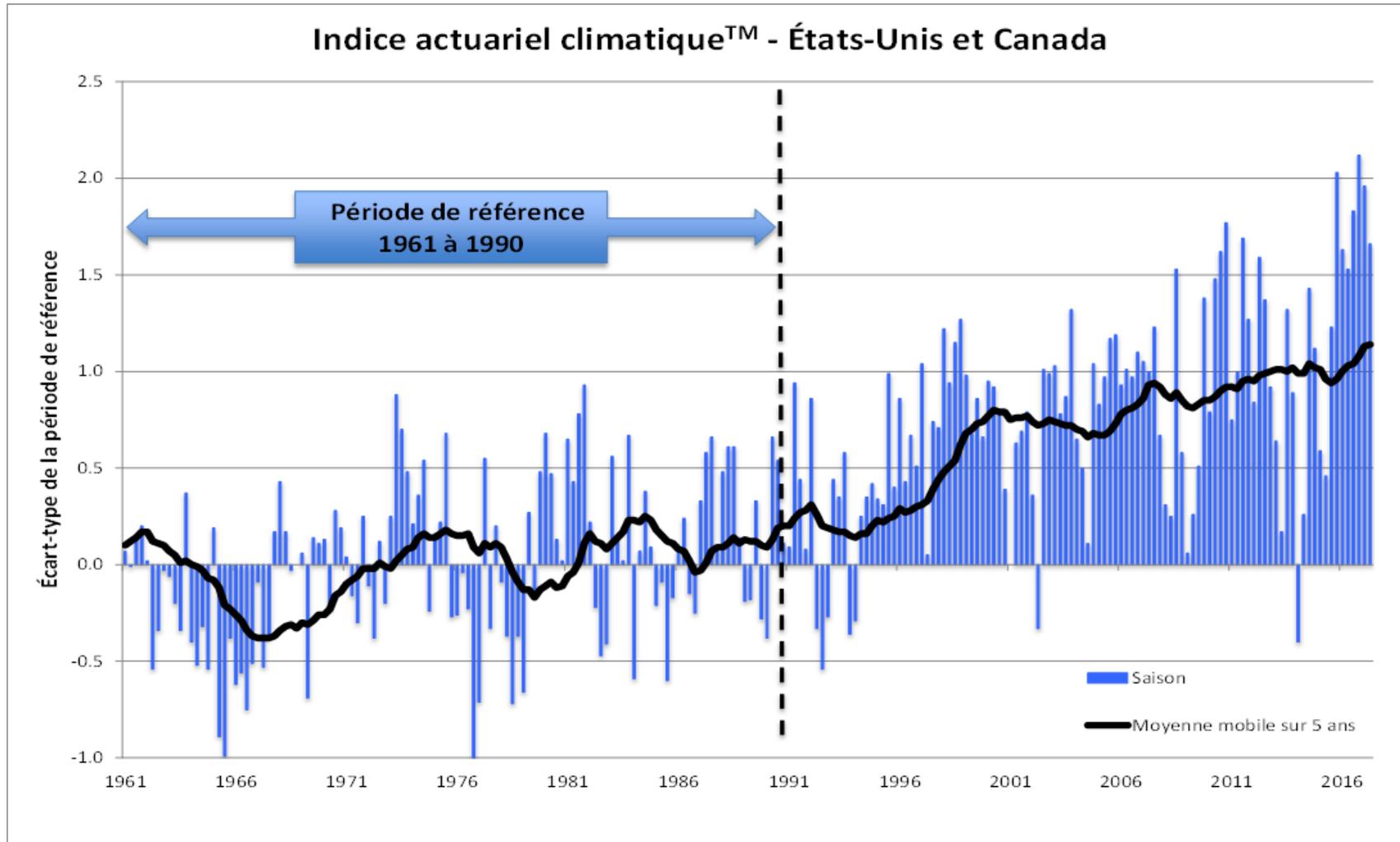
90^e percentile de la **puissance éolienne pour chaque mois** ou chaque saison moins celle de la période de référence

Niveaux de la mer:

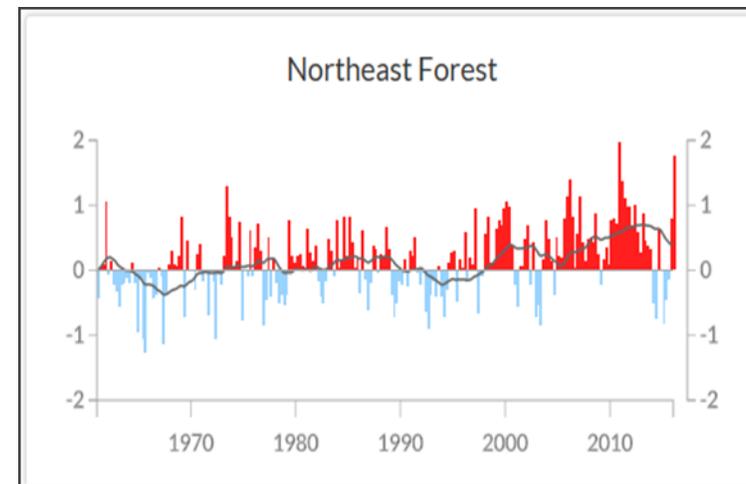
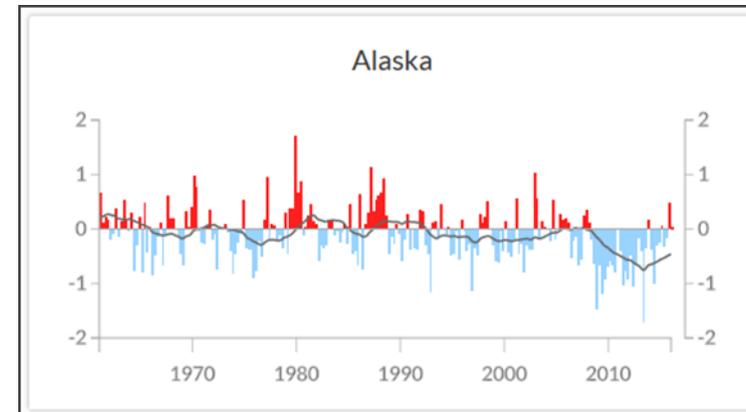
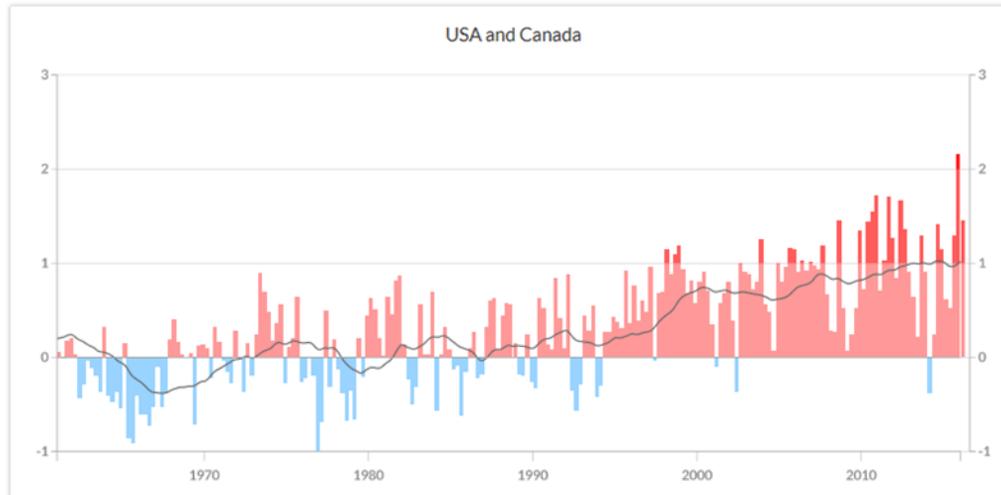
Mesures mensuelles (S), marégraphes de stations côtières permanentes au Canada et aux É-U, par rapport à la croûte terrestre  mesure l'effet combiné sur les côtes des **mers montantes** et de l'élévation ou **abaissement des terres**

par rapport à la **période de référence 1961-1990**.

Les valeurs de l'indice comparées à la période de référence

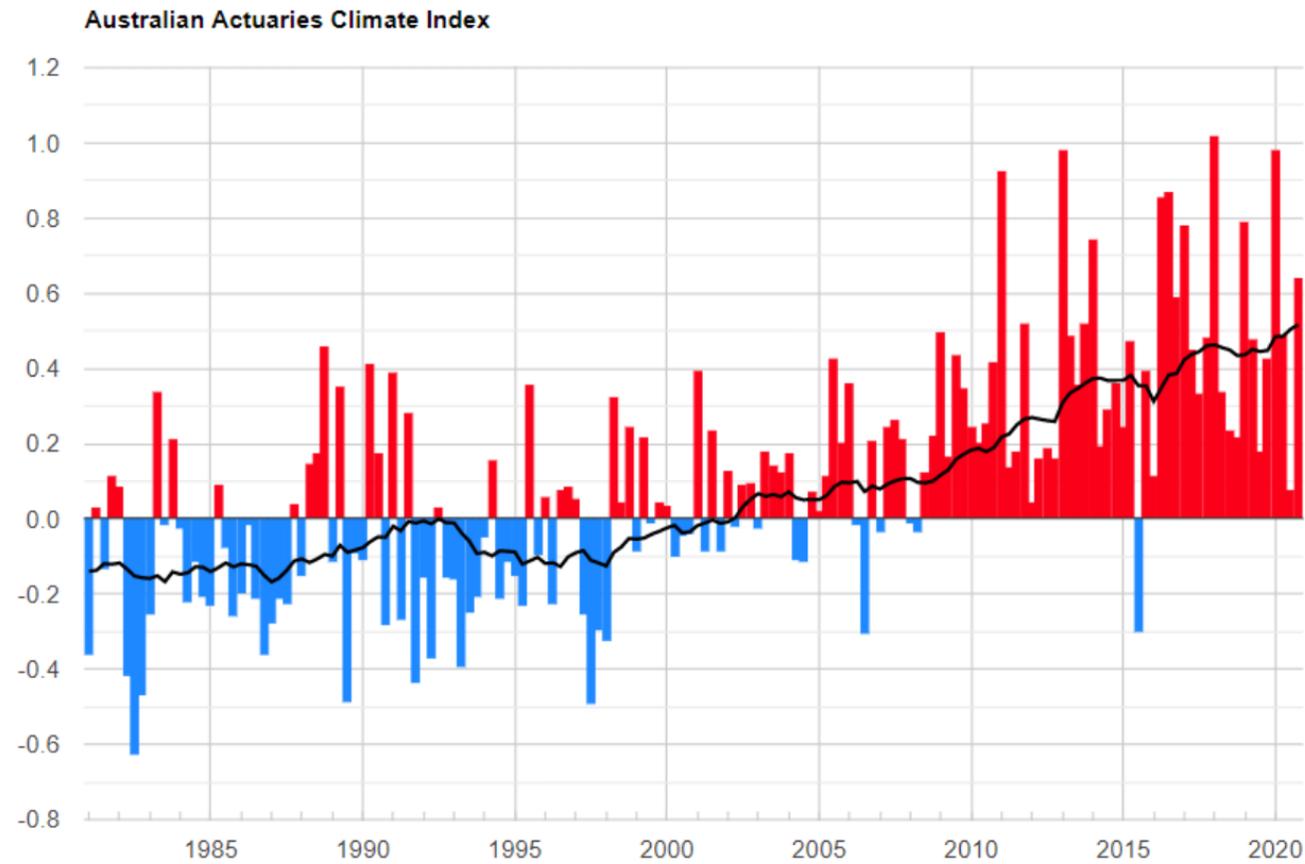


Écrans É-U et Canada réunis, et IAC régionaux



À noter que l'IAC pour les É.-U. et le Canada n'équivaut pas à une moyenne pondérée de l'IAC des deux pays. Les écarts-types doivent être calculés sur la totalité des données disponibles pour le lieu choisi. L'ensemble de données pour les É.-U. et le Canada réunis étant plus important que celui des É.-U. ou du Canada séparément, il produit des écarts-types plus faibles. La même remarque s'applique à un groupe de régions. Un plus faible diviseur produit des anomalies standardisées plus élevées. De même, la valeur pour le Canada ou pour les É.-U. n'équivaut pas à la moyenne pondérée des valeurs de leurs régions.

3.2 VALEURS DE L'IAC AUSTRALIEN (IACA)

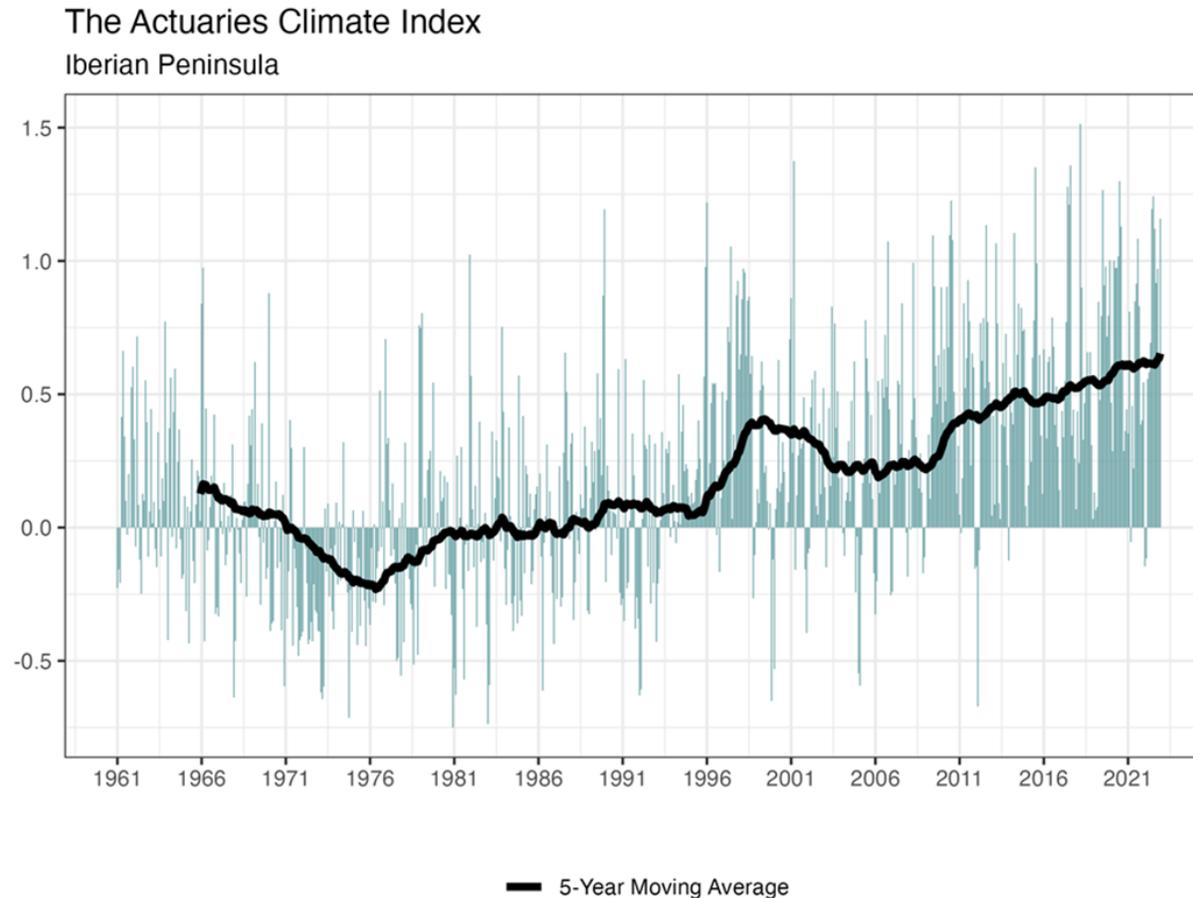


CALCUL DE L'IACA

Novembre 2018, sponsor: Actuaries Institute Australia

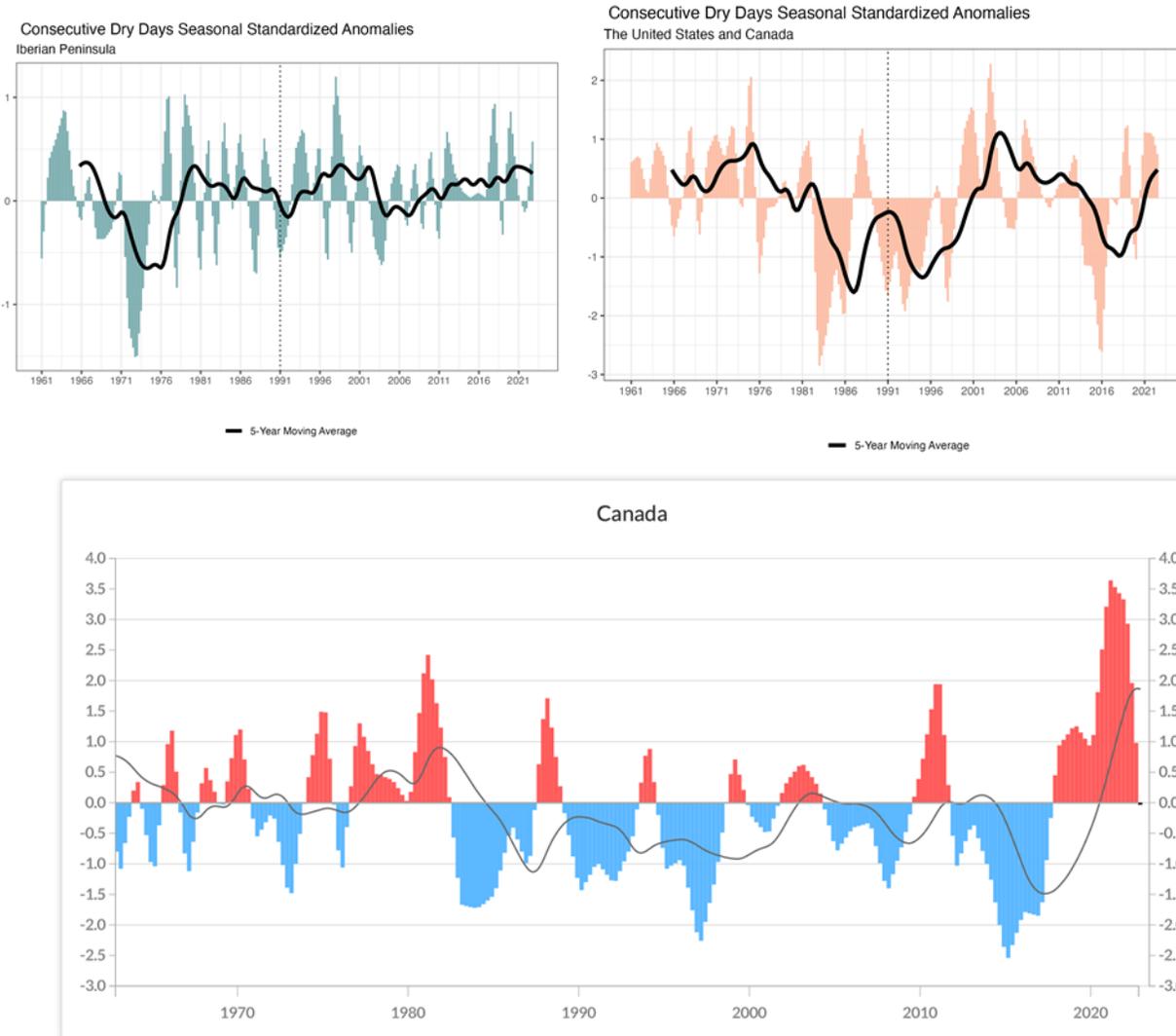
- <https://www.actuaries.asn.au/microsites/climate-index/>
- $IACA = \text{moyenne} (T_{std} + P_{std} + S_{std})$:
 - T_{std} : fréquence des températures chaudes > 99 percentile (standardisées).
 - P_{std} : fréquence de 5 jours consécutifs de pluie > 99 percentile (standardisées).
 - S_{std} : Niveau maximum mensuel de la mer (standardisés).

3.3 VALEURS DE L'IAC IBÉRIQUE (IACI)



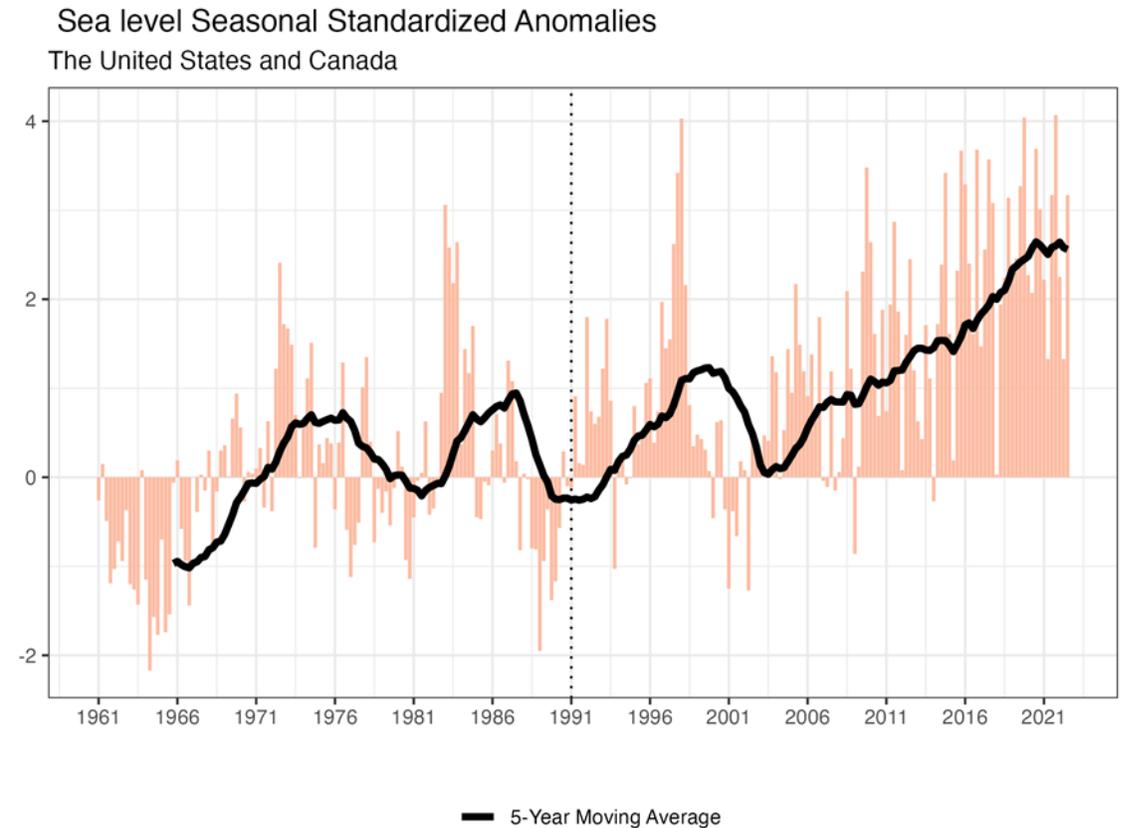
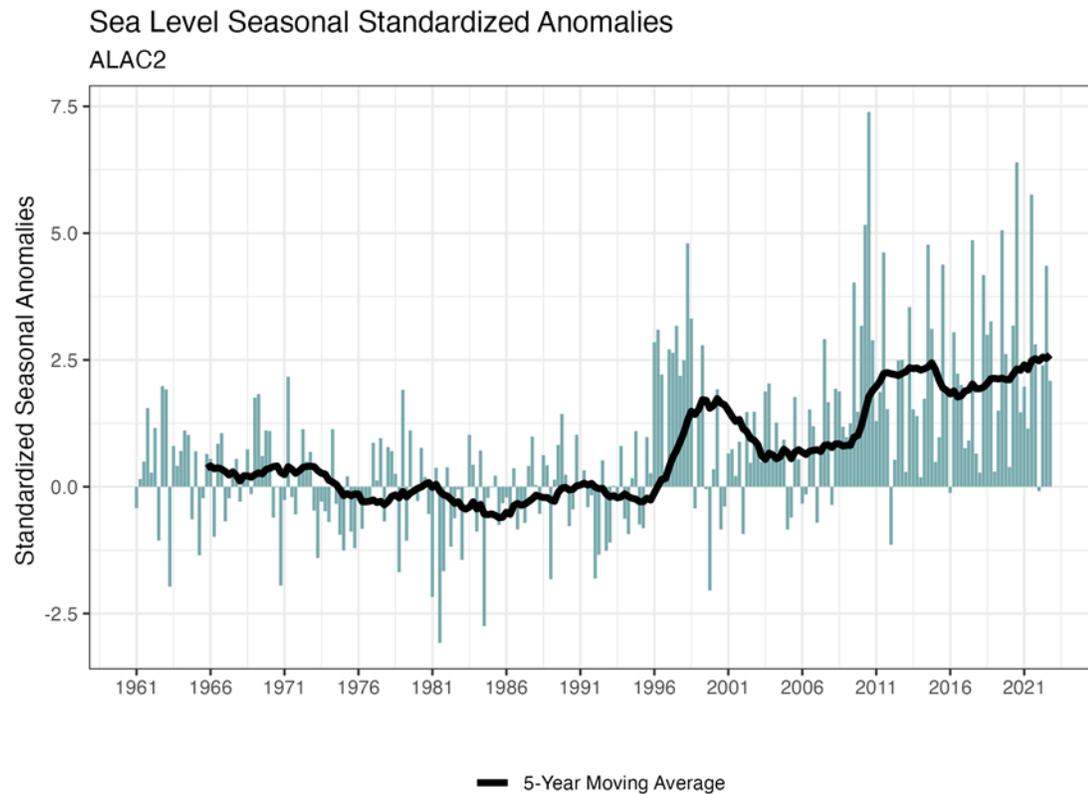
Source: Garrido, Heras, Vilar-Zanón, Zhou (2023, preprint)

SECHERESSE (IACI VS ACI)



Source: Garrido, Heras, Vilar-Zanón, Zhou (2023, preprint)

NIVEAU DE LA MER (IACI VS ACI)



Source: [Garrido, Heras, Vilar-Zanón, Zhou \(2023, preprint\)](#)

Commentaires:

- L'ICA peut-être jumelé à des scénarios climatiques pour faire des prédictions de valeurs futures.
- Les applications visées sont d'abord en **assurances dommages, en assurance agricole ou en réassurance**.
- Notre projet se centre sur l'effet du changement climatique sur la **mortalité et la morbidité**.
- Malgré ces différents objectifs, nous prévoyons l'utilisation d'indices climatiques et de leurs composantes dans nos mesures d'impact en assurances vie et santé.

4. ETUDE DE CAS : EFFETS DE LA TEMPERATURE SUR LA LONGÉVITÉ

4.1 Objectifs de l'étude

4.2 Outils et données

4.3 Modèles proposés

4.4 Modèles avec effets de la température

4.4 Résultats et analyses

4.1 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

- Utiliser des données climatiques dans les modèles de projection de la mortalité/longévité
- Mise a jour d'étude de place (1)
- Proposer modèles alternatifs

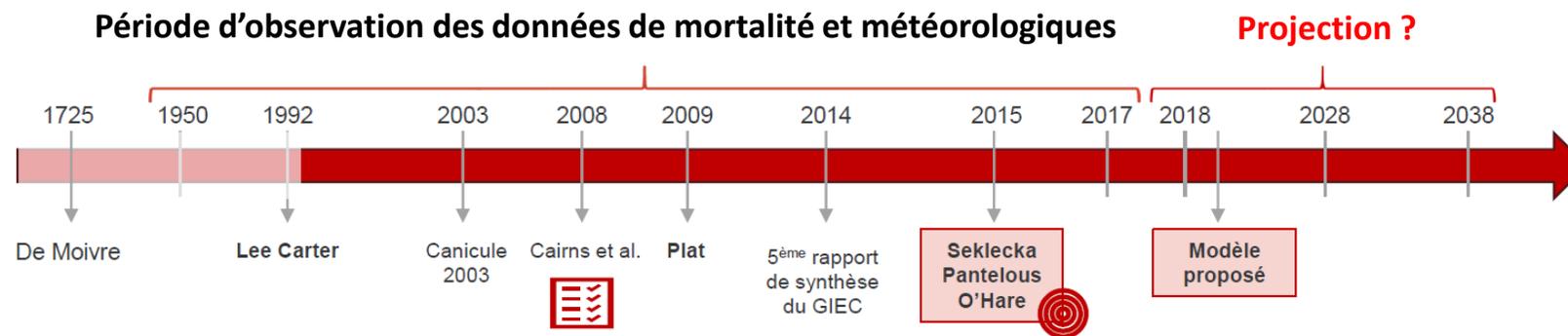


Figure 1 : Evolution des modèles de mortalité

4.2 OUTILS ET DONNEES

- **Base de données sur la mortalité** : Human Mortality Database (<https://www.mortality.org/>)
- **Données météorologiques** : Goddard Institute for Space Studies (data.giss.nasa.gov/gistemp/).

- **Historique de données** – mise à jour 1816 – 2018 (vs 2017 dans l'étude initiale)
- Historique de calibrage : 1950 à 2018
- Taux de mortalité : France par âge / année (Homme et Femme)
- Tranche d'âge : 0 à 100

- **Package R** pour récupérer les données : library (demography)
- R CORE TEAM (2018) intégrant le package StMoMo, pour « Stochastic Mortality Modelling », publié par ANDRES VILLEGAS ET AL (2017).

- **Critère de sélection du meilleur modèle** : Akaike Information criterion (AIC) et Bayesian Information Criterion (BIC)

4.3 MODELÉS PROPOSÉS

- Période de calibrage sur historique **1950-2017**
- Choix du meilleur modèle suivant les critères AIC et BIC (comparaison avec l'étude initiale)

Résultat étude période initiale (1950-2017) :								
HOMME					FEMME			
Modèle	LC	APC	PLAT	OAL	LC	APC	PLAT	OAL
AIC	130618	167553	93775	91329	98334	130406	82089	91411
BIC	132 450	169 835	96 967	94 521	100166	132 689	85 281	94603
Résultat étude CNP sur la période initiale (1950-2017) :								
HOMME					FEMME			
Modèle	LC	APC	PLAT	OAL	LC	APC	PLAT	OAL
AIC	130579	167063	93679	91251	99188	128577	81749	91140
Taux de similitude de l'AIC avec étude initiale	99,97%	99,7%	99,90%	99,91%	99,1%	98,60%	99,59%	99,7%
BIC	132411	169345	96871	94442	101019	130860	84940	94332
Taux de ressemblance de BIC avec étude initiale	99,97%	99,71%	99,90%	99,92%	99,2%	98,62%	99,60%	99,7%
Résultat étude CNP sur la nouvelle période (1950-2018) :								
HOMME					FEMME			
Modèle	LC	APC	PLAT	OAL	LC	APC	PLAT	OAL
AIC	133676	171326	95147	92635	101666	132189	83126	92856
Taux de ressemblance de l'AIC avec étude initiale	97,71%	97,80%	98,56%	98,59%	96,7%	98,65%	98,75%	98,4%
BIC	135518	173627	98373	95861	103508	134489	86352	96082
Taux de ressemblance de BIC avec étude initiale	97,74%	97,82%	98,57%	98,60%	96,8%	98,66%	98,76%	98,5%

Tableau 1 : choix des modèles sur la période initiale (1950-2017) et sur la nouvelle période (1950-2018)

4.3 MODELÉS PROPOSÉS

- Période de calibrage sur historique mis à jour **1950-2018**
- Comparaison avec l'étude initiale (modèles LC, APC, PLAT AOL),
- Vérification de la cohérence des résultats et des performances
- Test de trois nouveaux modèles (RH, CBD et M7)

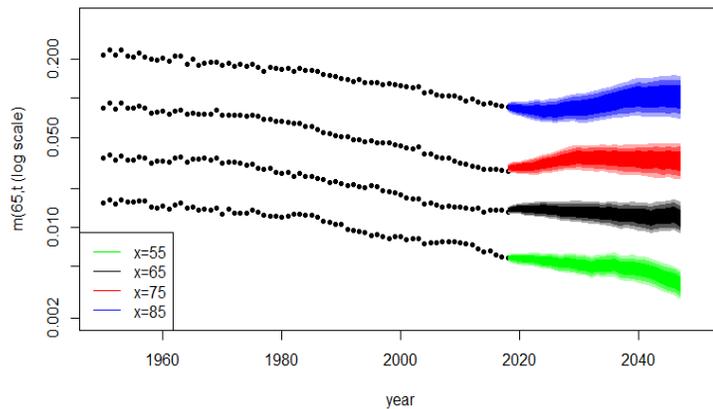
Résultat étude CNP sur la période initiale (1950-2017) :							
HOMME							
Modèle	LC	APC	PLAT	OAL	RH	CBD	M7
AIC	130579	167063	93679	91250	98056	3909117	1689794
BIC	132411	169345	96871	94 442	101029	3910047	1692316
FEMME							
Modèle	LC	APC	PLAT	OAL	RH	CBD	M7
AIC	99187	128577	81748	91140	76659	4233286	1178966
BIC	101019	130860	84 940	94332	79 632	4234215	1181488
Résultat étude CNP sur la nouvelle période (1950-2018) :							
HOMME							
Modèle	LC	APC	PLAT	OAL	RH	CBD	M7
AIC	133676	171326	95147	92635	99749	3929821	1697968
BIC	135518	173627	98373	95 861	102742	3930767	1700522
FEMME							
Modèle	LC	APC	PLAT	OAL	RH	CBD	M7
AIC	101666	132189	83126	92856	77639	4261650	1185471
BIC	103508	134489	86 352	96082	80 633	4262595	1188026

Tableau 2 : Trois nouveaux modèles / sélection des modèles basés sur les normes AIC et BIC

4.3 MODELÉS PROPOSÉS

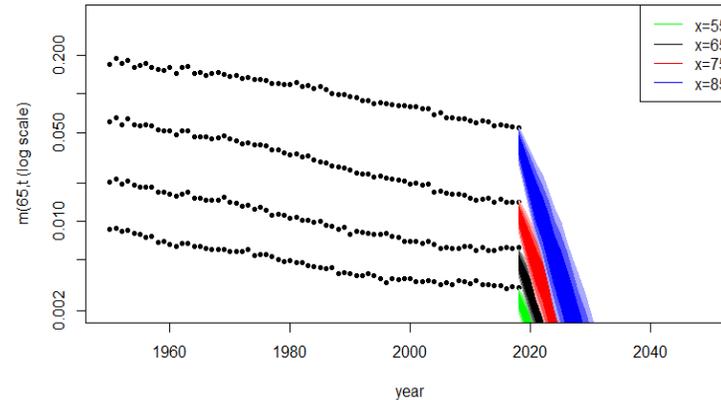
- Période de calibrage sur historique mis à jour **1950-2018**
- Validation des modèles sur projection de long terme : projection sur 30 prochaines années

Projection de la mortalité des hommes sur 30 ans pour différents groupes d'âges



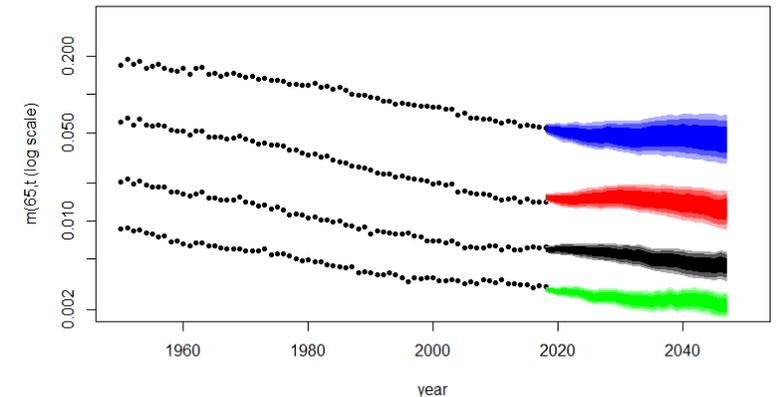
Le **modèle OAL** pour prédire le taux de mortalité des **hommes** sur 30 ans (2018-2048) pour différents groupes d'âges

Projection de la mortalité des femmes sur 30 ans selon différents âges



Le **modèle RH** pour prédire le taux de mortalité des **femmes** sur 30 ans (2018 - 2048) pour différents groupes d'âges

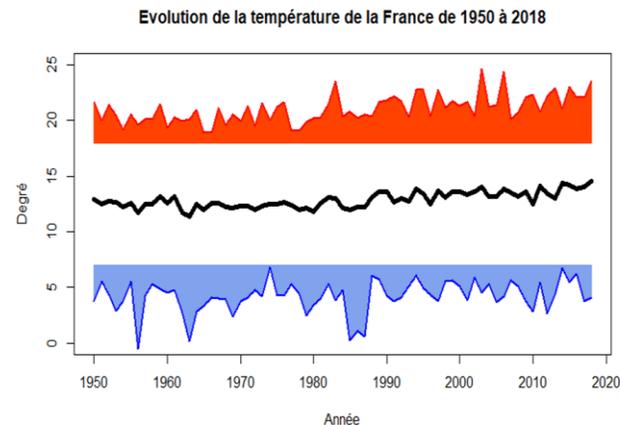
Projection de la mortalité des femmes sur 30 ans selon différents âges



Le **modèle PLAT** pour prédire le taux de mortalité des **femmes** sur 30 ans (2018 - 2048) pour différents groupes d'âges

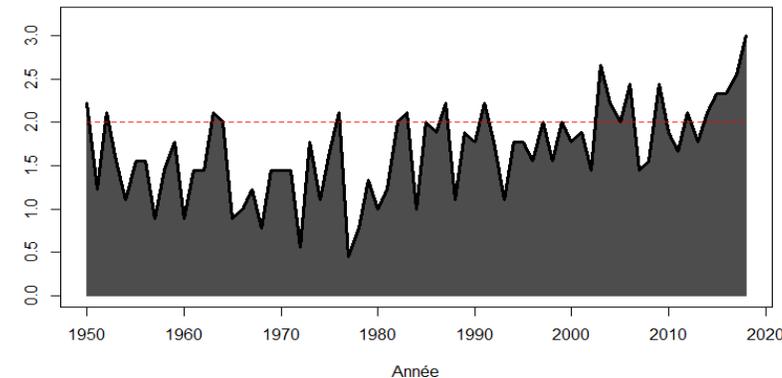
4.4 MODELE AVEC EFFETS DE LA TEMPÉRATURE

- Estimation de la **température** (maximale, minimale, moyenne) : agrégation des données par région
- Estimation du **nombre de mois** avec une température supérieure à 20°C ou inférieur à 0°C



Evolution de la température de la France de 1950 à 2018

Nombre de mois en moyenne où l'on observe des températures > à 20°C ou < à 0°C



Evolution du nombre de mois en moyenne où l'on observe des températures supérieures à 20°C ou inférieures à 0°C

Données de température :

Plateforme de données de température moyenne mensuelle de 1950 à 2018 : Goddard Institute for Space Studies (GISS)

Ville française : Amiens, Bordeaux, Brest, Lyon, Marseille, Nice, Paris, Strasbourg et Toulouse

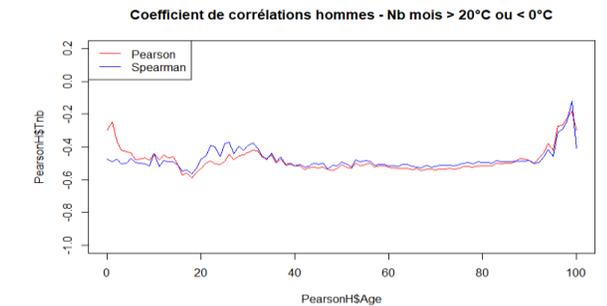
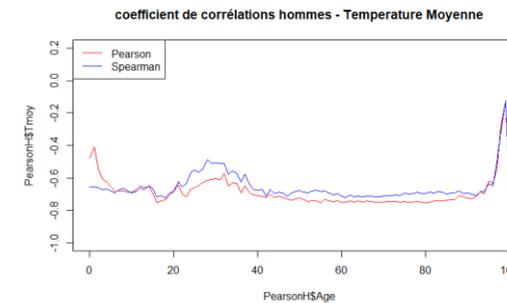
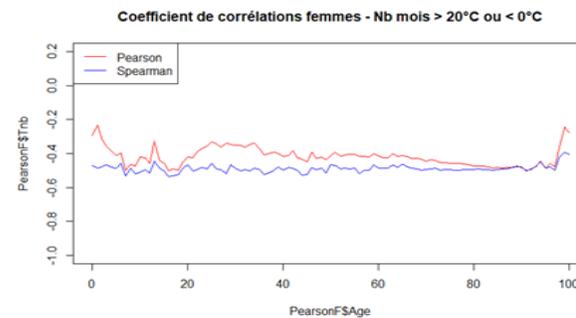
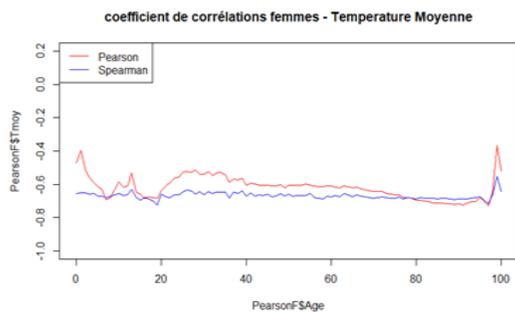
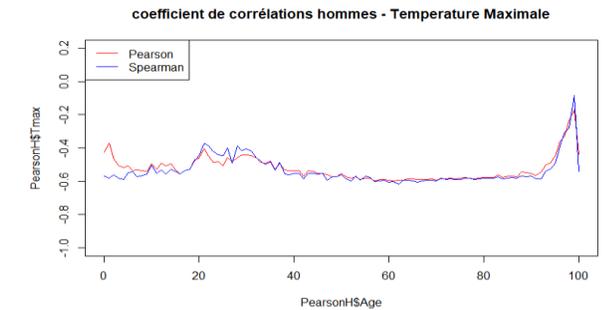
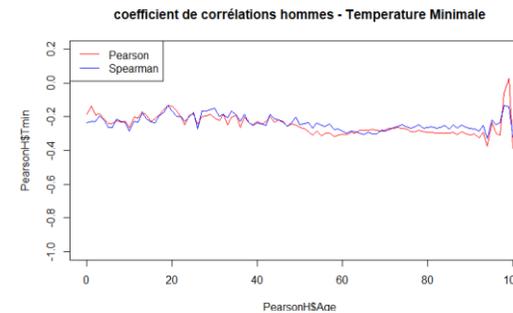
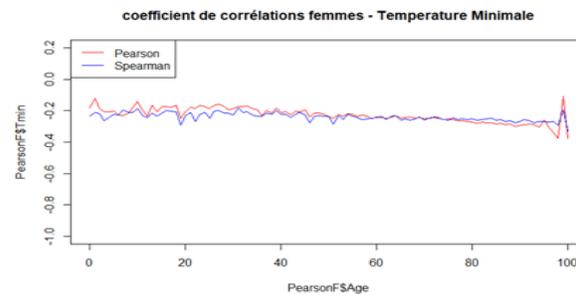
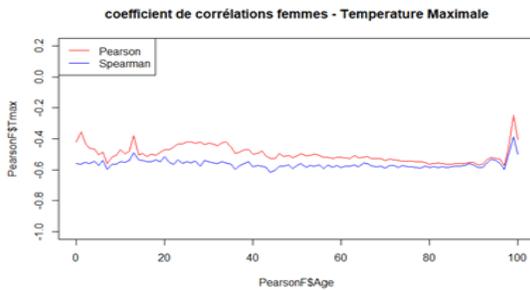
Sources complémentaires : Météo France

4.4 MODELE AVEC EFFETS DE LA TEMPÉRATURE

- Evolution de la corrélation entre la température et la mortalité avec les méthodes de Spearman et Pearson

Corrélation température-mortalité population féminine

Corrélation température-mortalité population masculine



4.4 MODELE AVEC EFFETS DE LA TEMPÉRATURE

- Période de calibrage sur historique **1950-2018**.
- Le modèle de **Seklecka – Pantelous – O’Hare** (modèle SPO) a été créé en 2015 comme extension du modèle de PLAT.
- Il intègre les trois nouveaux paramètres.

$$\ln(m_{x,t}) = \alpha_x + k_t^{(1)} + (\bar{x} - x)k_t^{(2)} + (\bar{x} - x)^+ k_t^{(3)} + [(a - x)^+ + C_x(x - a)^+]^2 k_t^{(4)} + \gamma_{t-x} + E_{x,t}$$

un âge à partir de laquelle on considère que la température peut avoir un effet sur la mortalité

un coefficient de corrélation entre la température et la mortalité

un processus stochastique qui permet d’exprimer l’évolution de la mortalité en fonction de la température

4.5 RÉSULTATS ET ANALYSES

- **Population masculine**, le modèle **SPO température moyenne** (vs résultat initial retenant SPO température maximale).
- **Population féminine**, le modèle **SPO température maximale** (vs résultat initial retenant SPO température Nb mois $>20^{\circ}\text{C}$ ou $< 0^{\circ}\text{C}$).

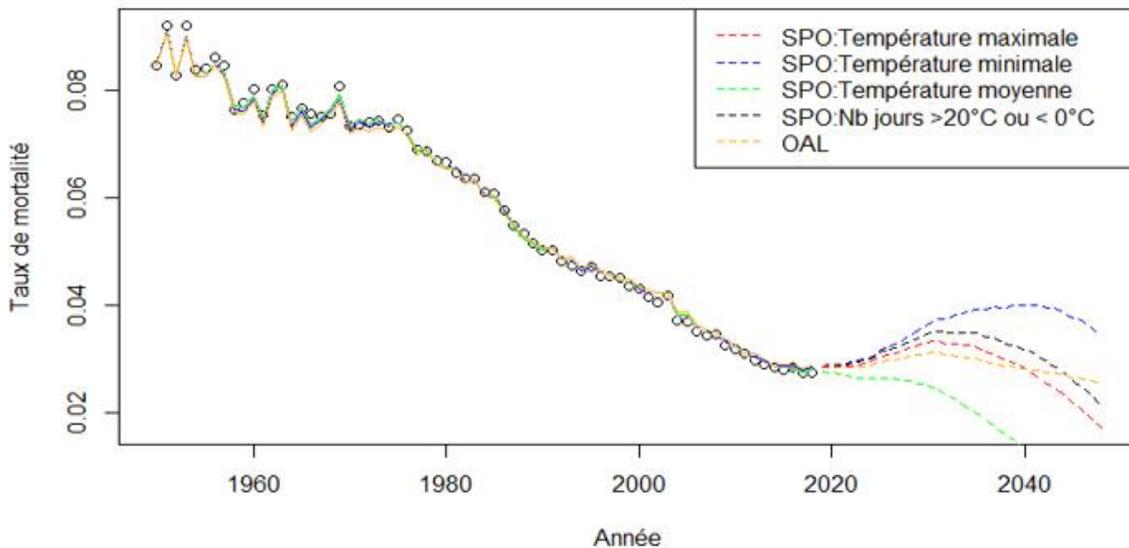
Homme	SPO Température maximale	SPO température minimale	SPO température moyenne	SPO NB jours $>20^{\circ}\text{C}$ ou $<0^{\circ}\text{C}$
AIC	81830,25	83125,44	81530,72	81928,86
BIC	85521,99	86817,18	85222,45	85620,6
Femme	SPO Température maximale	SPO température minimale	SPO température moyenne	SPO NB jours $>20^{\circ}\text{C}$ ou $<0^{\circ}\text{C}$
AIC	75363,74	76753,95	75596,66	75409,33
BIC	79055,47	80445,69	79288,39	79101,06

Evaluation de la qualité d'ajustement pour les modèles SPO selon le critère AIC et BIC

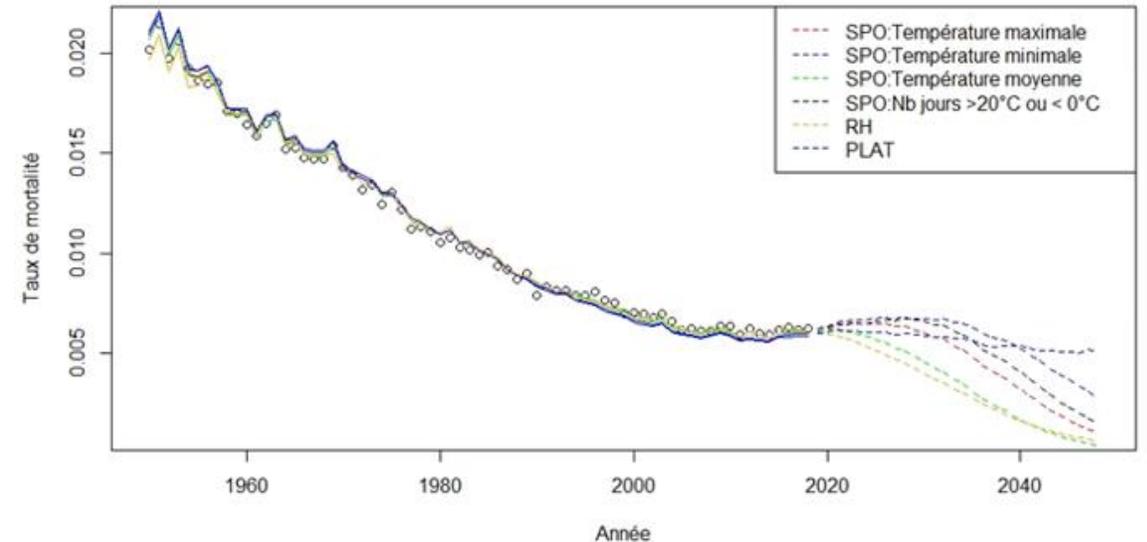
4.5 RÉSULTATS ET ANALYSES

- Projection long terme (2018 à 2050) de la mortalité masculine et féminine à l'âge de 65 ans

Projection du taux de mortalité homme à 65 ans



Projection du taux de mortalité Femme à 65 ans



Conclusion : tester d'autres modèles/stratégies s'avère indispensable...

MESSAGES PRINCIPAUX

- On ne peut nier de nouvelles tendances climatiques fortes depuis quelques années, et cela s'accroîtra.
- L'actuaire a un rôle important à jouer.
- L'actuaire a besoin d'autres expertises avec lui pour mener à bien ces travaux.
- Un modèle reste faux par définition : les modèles ne suffiront pas, la prospective reste une approche indispensable sur ce risque.