

Impact prospectif de la pollution de l'air en assurances de personne

Baptiste Allaire

Optimind, Part of Accenture
Consultant

Paul Garat

AON, Courtier en
réassurance vie

Yann Cueff

Optimind, Part of Accenture
Manager consultant

Sommaire

01

Assurance, changement climatique et pollution de l'air

02

Approche exploratoire : estimation du facteur de risque

03

Élaboration du module prospectif : utilisation de scénarios

04

Quantification du support de risque, focus sur le risque mortalité

05

Applications en réassurances : cas illustratif ?

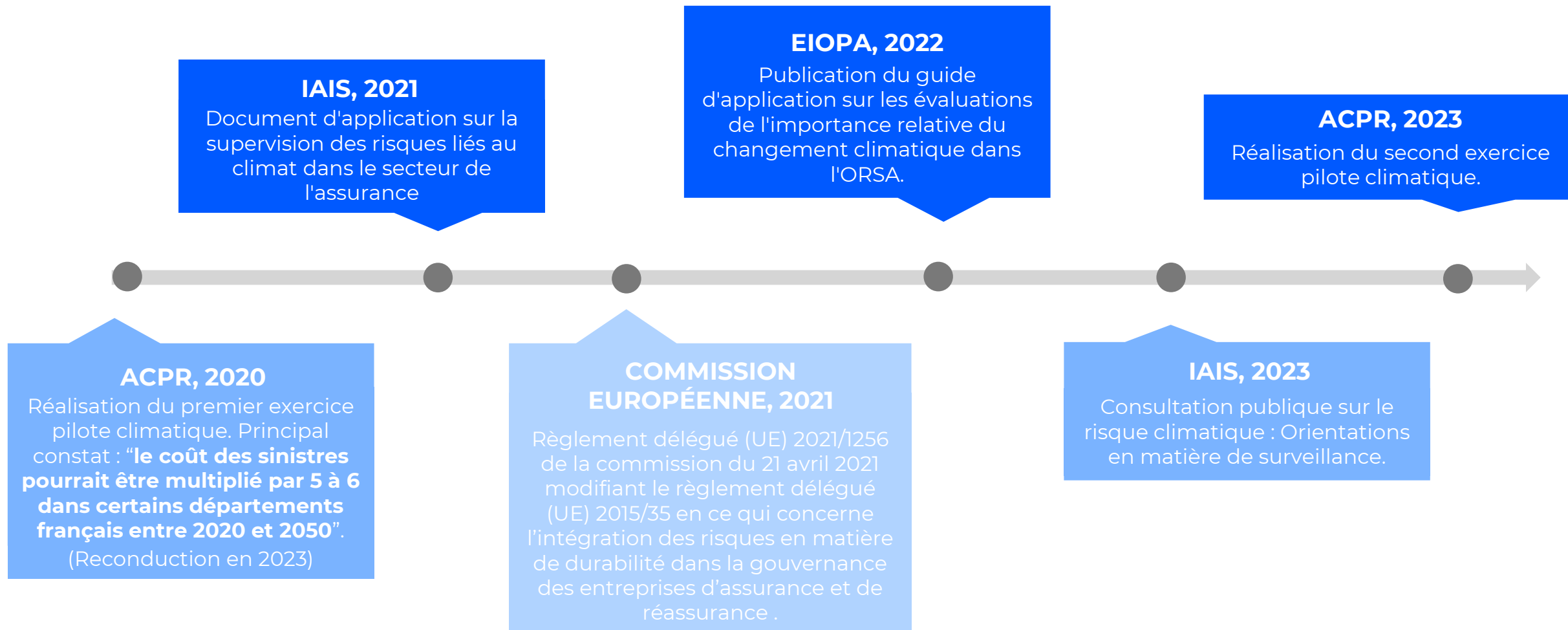
06

Conclusion

01

Assurance, changement climatique et pollution de l'air

Assurance et changement climatique



Focus sur l'assurance de personnes



Pour les [exercices climatique](#) l'ACPR a retenu, pour le périmètre de [l'assurance de personnes](#), trois périls distincts

- [L'essor des pandémies de maladies à transmission vectorielles](#) à l'instar du virus Zika ou de la Dengue
- L'impact du changement climatique sur [la pollution atmosphérique](#) à l'origine de l'aggravation de pathologies existantes dont l'asthme, les SRAS ...
- les [conséquences des vagues de chaleur sur la mortalité](#)

ESSOR DES PANDÉMIES DE MALADIES À TRANSMISSION VECTORIELLES

- Risques : Frais de soins, ITT, Mortalité
- Résultats : tables de dérives additionnelles et multiplicatives de mortalité, de frais de soins et d'ITT
- Granularité : Tranches d'âges, géographie (par région)

CONSÉQUENCES DES VAGUES DE CHALEUR SUR LA MORTALITÉ

- Risques : Frais de soins, ITT, Mortalité
- Résultats : tables de dérives proportionnelles en mortalité, en frais de soins et en ITT
- Granularité : Tranches d'âges, géographie (par département)

L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

- Risques : Frais de soins, ITT, Mortalité
- Résultats : tables de dérives additionnelles de mortalité, de frais de soins et d'ITT
- Granularité : Tranches d'âges, géographie (globale et déclinée selon 9 grandes agglomérations françaises)

Pollution de l'air et assurances de personnes

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS) la pollution de l'air se caractérise par « la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par tout agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère ».



LA POLLUTION DE L'AIR

- 9 % de la mortalité annuelle en France
- 48 000 décès prématurés en 2016 (*Santé publique France*)
- 92 % de la population mondiale exposée (*OMS, 2016*)



BRANCHES D'ASSURANCES IMPACTÉES

- Accidents
- Maladies
- Vie-Décès



TYPES DE CONTRATS ET GARANTIES

- Contrats type assurance santé-prévoyance individuelle ou collective
- Contrats d'assurance sur la vie



IMPACTS POUR L'ASSUREUR

- Dérives de sinistralité
- Hausse de consommation en santé
- Perturbations des tables de mortalité
- Effets sur la solvabilité

PROBLÉMATIQUE

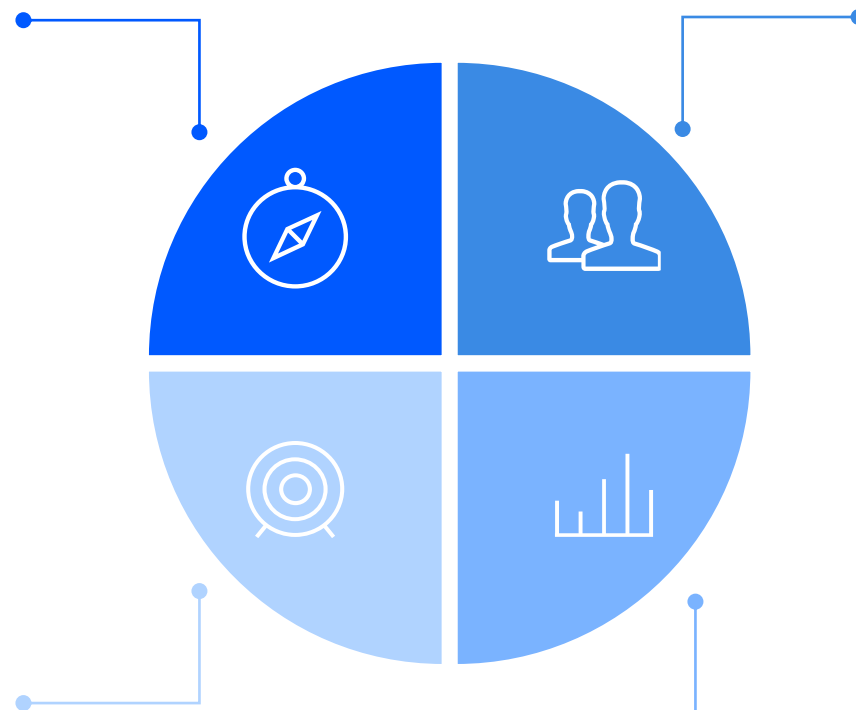
Dans quelle mesure peut-on appréhender le risque **prospectif** de pollution de l'air en assurance de personnes ?

02

Approche exploratoire : construction du module exposition

Objectifs des travaux

EXPLORER LES DÉFIS
CONTEMPORAINS LIÉS À LA
POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE
PROSPECTIVE



COMPRENDRE LES RETOMBÉES
SUR LA QUALITÉ DE
L'ENVIRONNEMENT DE VIE DES
ASSURÉS ET SUR LE SECTEUR
ASSURANTIEL

ÉLABORER UNE APPROCHE
INNOVANTE À FINE GRANULARITÉ
AFIN D'ÉVALUER L'IMPACT DE LA
POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE SUR
LA MORTALITÉ

COMPLÉTER LES HYPOTHÈSES
PRÉSENTÉES PAR L'ACPR AU
SEIN DE SES EXERCICES
PILOTES CLIMATIQUES

Données

BASE CARROYÉE DE L'INSEE



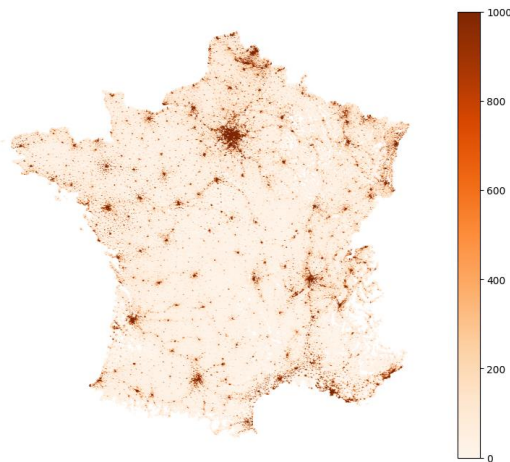
REPRÉSENTATION SPATIALE

- Grille régulière de carrés de surface unitaire de 1 km²
- 371 821 carreaux
- Projection Lambert 93 ou EPSG 2154 (référentiel français)



DONNÉES IMPUTÉES AU CARREAU

- Nombre d'individus (2017)
- Répartition par tranches d'âges
- Autres variables socio-économiques



BASE GÉOD'AIR



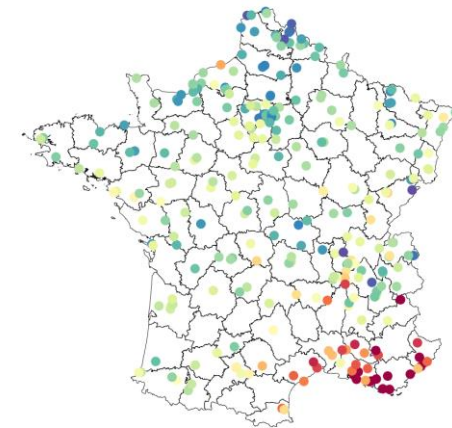
CARACTÉRISTIQUES

- 550 stations de mesures
- 4 polluants retenus (PM2.5, PM10, O3, NO2)
- Profondeur historique 2013-2022

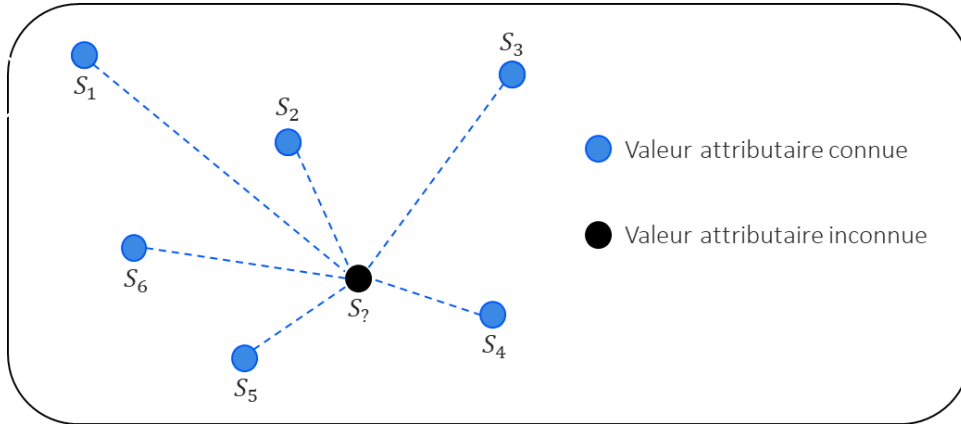


DONNÉES IMPUTÉES À LA STATION

- Valeur de concentration annuelle
- Type de pollution
- Couverture temporelle de la mesure
- Coordonnées géographiques de la station



Interpolation spatiale : Krigeage



DÉFINITION

- Méthode pour estimer les valeurs d'une variable « régionalisée » à des points non échantillonnés
- Les données échantillonnées sont les mesures de concentration aux stations de mesures.



KRIGEAGE

- Méthode géostatistique
- Prise en compte la structure spatiale
- Modèles largement utilisés pour des applications à la pollution atmosphérique



ANALYSE VARIOGRAPHIQUE

- Approche type Machine Learning
- Automatisation de la calibration des modèles (Grid Search)
- Procédure itérative pour gagner en précision et en temps

Validation du modèle (1)



MÉTRIQUES : DÉFINITION

- Mesures pour évaluer la performance d'un modèle
- Traduit de la précision des prédictions par rapport aux données réelles
- Permet de comparer les modèles entre eux
- Objectif de validation



VALIDATION

- Utilisations de plusieurs métriques pour évaluer les modèles obtenus
- Couple biais-variance
- Précision globale (MAE, RMSE)
- Qualité d'ajustement (Corrélation et r^2)

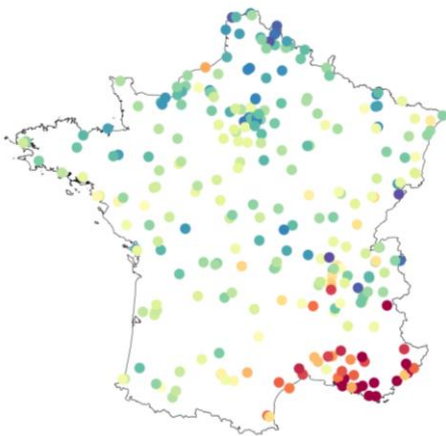
Polluant	Val. Moyenne	r^2	Corrélation	MAE	Biais	Variance	RMSE
NO2	16,22	0,43	0,68	3,84	0,07	25,91	5,09
PM2.5	10,63	0,14	0,37	1,46	0,03	3,81	1,95
PM10	16,95	0,38	0,62	1,59	0,02	4,87	2,21
SOMO35	12,28	0,71	0,84	1,56	-0,01	4,69	2,17

Validation du modèle (2)

EXTRACTION DU SUPPORT DU RISQUE

La résolution spatiale correspond aux points géographiques de l'échantillon des stations historiques retraitées

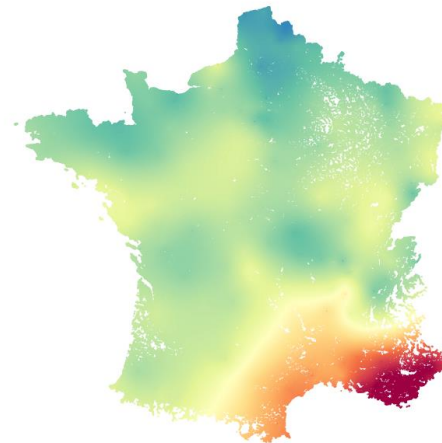
01



INTERPOLATION SPATIALE

Chaque pixel de la base carroyée se voit attribuer une valeur estimée de la variable régionalisée

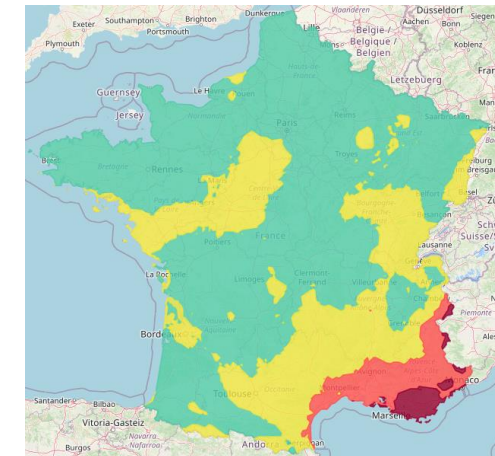
02



VALIDATION À L'AIDE DE DONNÉES EXTERNES

La structure géospatiale du modèle est validée par l'utilisation et la visualisation de données externes (INERIS)

03



03

Élaboration du module prospectif : utilisation de scénarios

Scénarios démographique



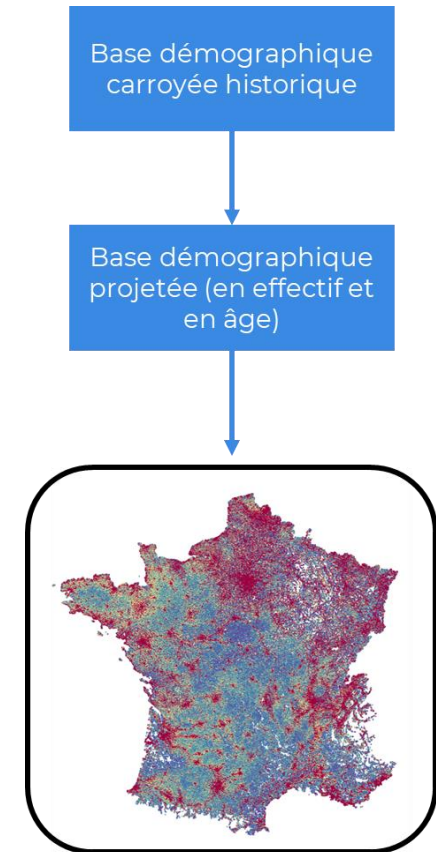
PROJECTION EN EFFECTIF

- Hypothèse : chaque carreau évolue selon la tendance du département auquel il appartient
- Récupération du scénario central de l'INSEE
- Obtention des coefficients d'évolution de la population par département à chaque année de projection



PROJECTION EN ÂGE

- Hypothèse : chaque carreau évolue selon la tendance du département auquel il appartient
- Obtention des structures d'âges en 2018 et 2070
- Interpolation linéaire : obtention des coefficients d'évolution des classes d'âges par année de projection
- *Matching* des classes d'âges



Scénarios prospectifs de pollution

UTILISATION DE VARIABLES EXOGÈNES

- Double étude [causalité-corrélation](#)
- Indexation des concentrations historiques sur des [variables exogènes](#)
- Utilisation des [données nationales d'émissions](#) pour les PM2.5, PM10 et NO2
- Utilisation de [données de températures moyennes annuelles](#) pour l'O3

EXTRACTION DE SCÉNARIOS

- Extraction des [scénarios GEA pour les émissions](#) (scénarios adaptés, car prenant en compte les législations actuelles de pollution de l'air)
- Extractions [des scénarios climatiques RCP et SSP pour les données de températures](#)

MÉTHODOLOGIE

- Évolution de la [concentration moyenne historique aux stations](#) selon [l'index](#) suivant :

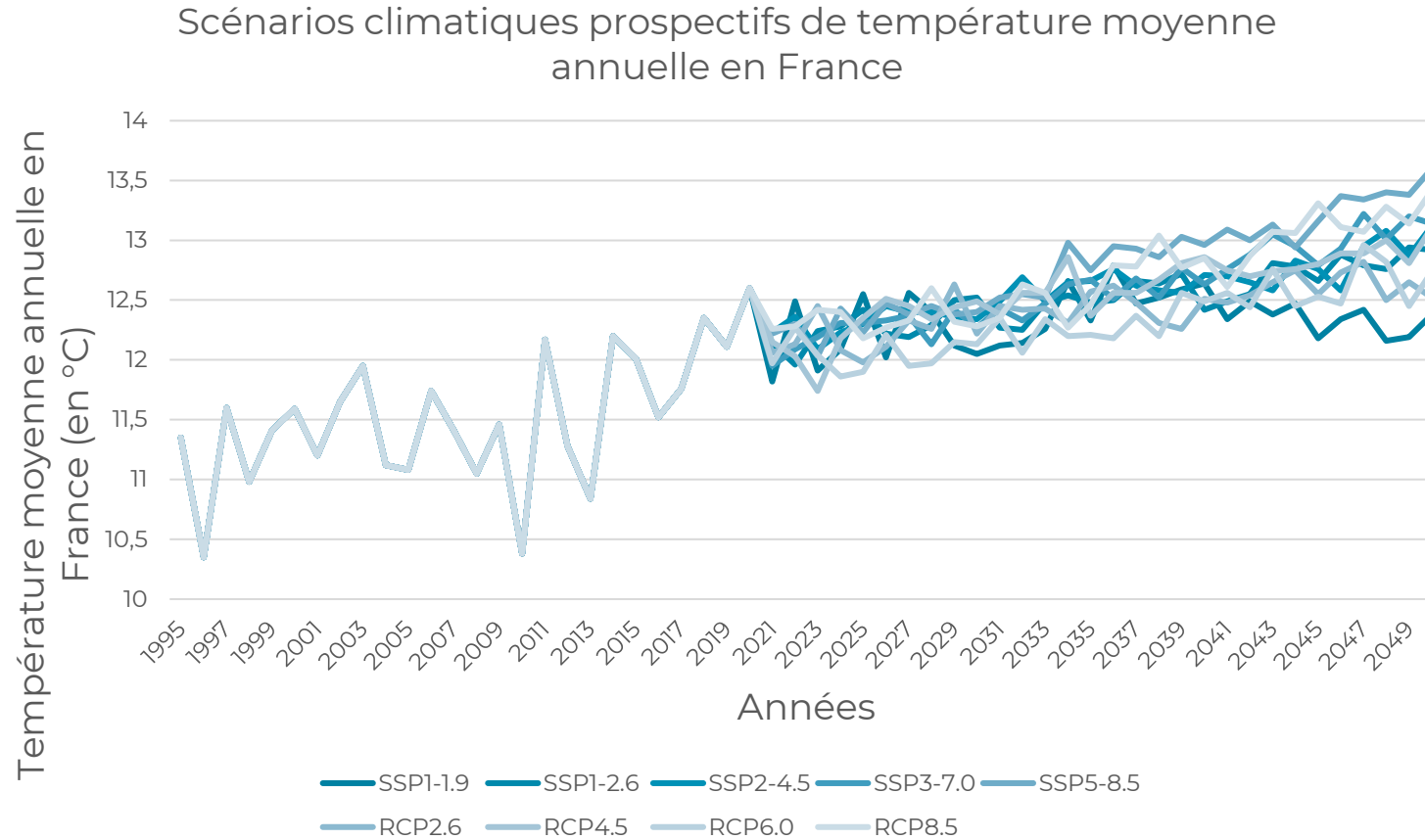
$$I(p, n) = \frac{E(p, n)}{E(p, 0)}$$

- $E(p, n)$ la valeur de la variable exogène pour le polluant p et l'année de projection n .
- $E(p, 0)$ la valeur moyenne historique de la variable exogène

HYPOTHÈSES SOUS-JACENTES

- [Pollution transfrontalière](#) négligée
- Comportement historique représentatif du futur
- Scénarios [GEA](#) à préférer aux scénarios climatiques pour les données d'émissions

Scénarios climatiques



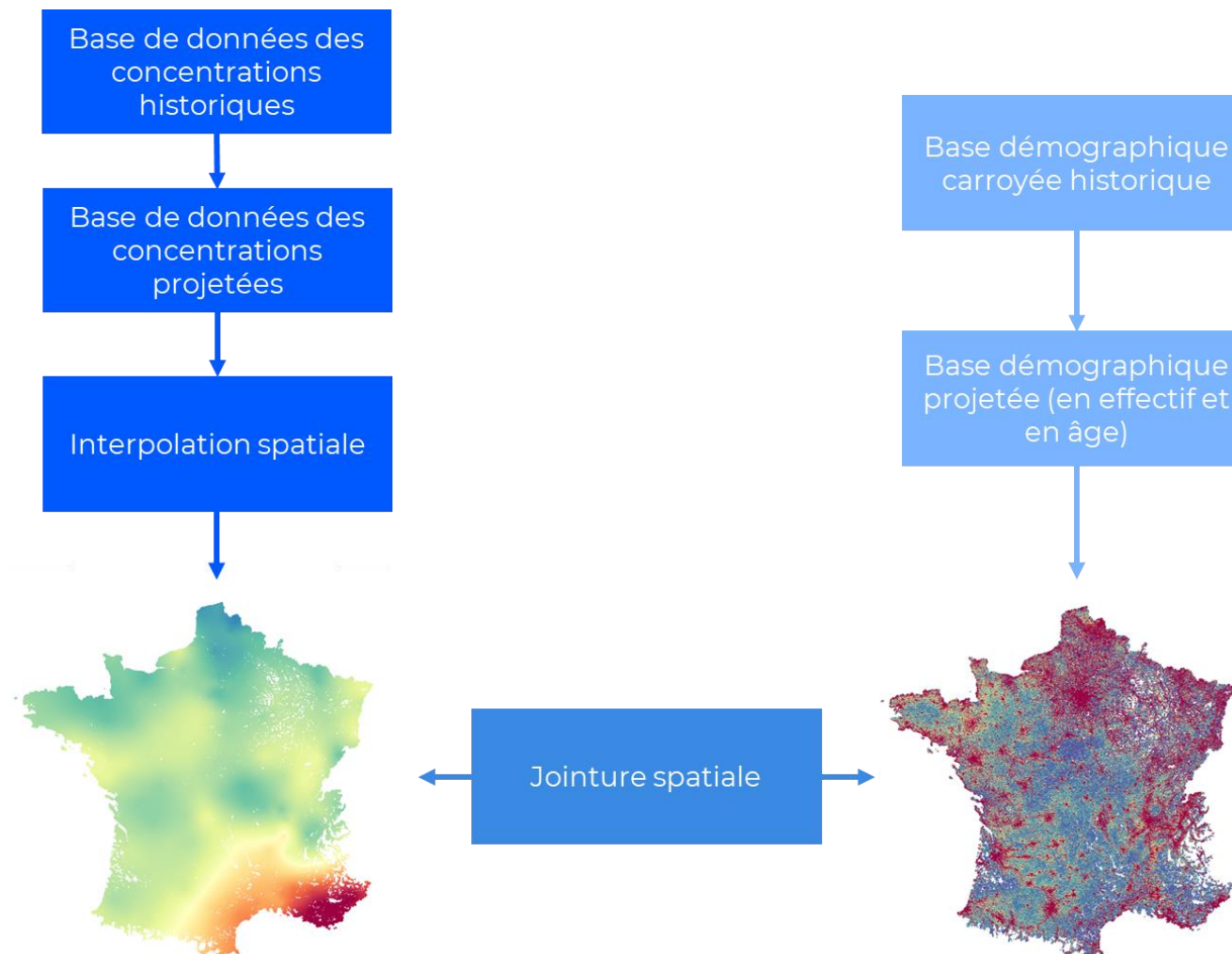
SCÉNARIOS RCP

- Trajectoire d'émissions des GES
- Niveau de forçage radiatif
- Traduction en hausse annuelle de température
- Issus du 5ème rapport du GIEC

SCÉNARIOS SSP

- Complètent les RCP
- Introduction d'une composante socio-économique
- Issus du 6ème rapport du GIEC

Synthèse du module prospectif



04

Quantification du support de risque, focus sur le risque mortalité

Notion de chocs additionnels



RISQUE RELATIF

- Mesure statistique pour évaluer l'association entre une exposition x à un facteur de risque spécifique et l'occurrence d'une maladie ou d'un décès

$$RR_x = e^{\beta \cdot (x - x_0)}$$



PART ATTRIBUABLE

- Mesure qui estime la part décès qui pourrait être évitée si l'exposition au facteur de risque était éliminée.

$$PA_x = \frac{RR_x - 1}{1 + (RR_x - 1)}$$



NOMBRE DE CAS ATTRIBUABLES

- Mesure qui estime le nombre de décès qui pourraient être évités si l'exposition au facteur de risque était éliminée.

$$D_k = \frac{PA_x \cdot q_k \cdot p_k}{100\ 000}$$



FACTEUR ADDITIONNEL

- Exprime l'impact supplémentaire d'un facteur de risque (tel qu'une exposition à un polluant) sur le taux de mortalité.

$$F_k = \frac{D_k - D_0}{p_k}$$

Scénarios prospectifs de pollution

		Valeur centrale		
Scenario		2030	2040	2050
Résultats tous âges	RCP2.6	0,002	0,0046	0,0053
	RCP4.5	0,0024	0,0051	0,0062
	RCP6.0	0,0019	0,0046	0,0056
	RCP8.5	0,0021	0,0051	0,0067
	SSP1-1.9	0,0018	0,0048	0,0051
	SSP1-2.6	0,0024	0,0045	0,0059
	SSP2-4.5	0,0022	0,0049	0,0062
	SSP3-7.0	0,0021	0,0048	0,0062
	SSP5-8.5	0,0023	0,0053	0,0069

		Valeur centrale		
Scenario		2030	2040	2050
Résultats +65 ans	RCP2.6	0,003	0,0126	0,0177
	RCP4.5	0,0044	0,0145	0,0208
	RCP6.0	0,0026	0,0125	0,0188
	RCP8.5	0,0033	0,0144	0,0225
	SSP1-1.9	0,0022	0,0133	0,0169
	SSP1-2.6	0,0045	0,0122	0,0198
	SSP2-4.5	0,0036	0,0137	0,0209
	SSP3-7.0	0,0033	0,0133	0,021
	SSP5-8.5	0,0039	0,015	0,0234

Scénario Exercice Pilote Climatique 2020
Scénario Exercice Pilote Climatique 2023



INTERPRÉTATIONS

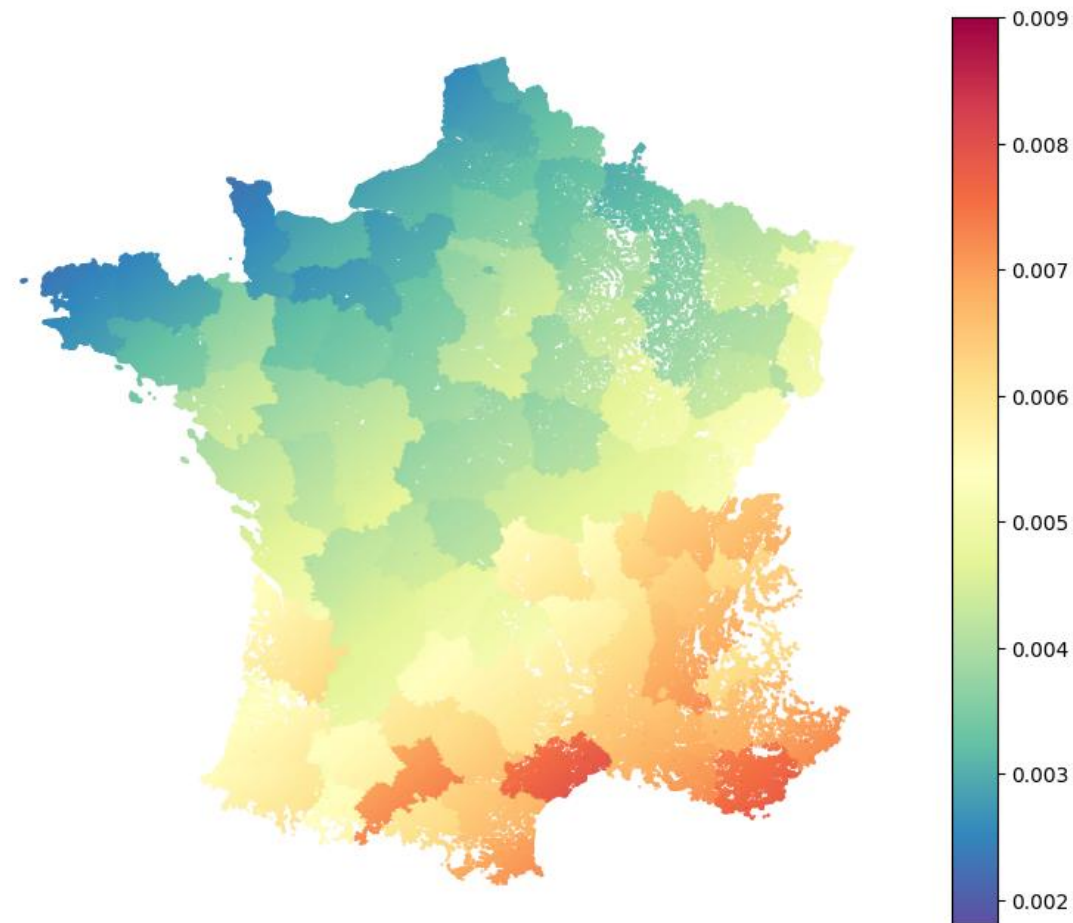
- Adversité du scénario climatique augmente la valeur du facteur additionnel
- Horizon de temps augmente la valeur du facteur additionnel
- Focus sur la tranche + de 65 ans particulièrement exposée
- Résultats tangibles en concordance avec l'ACPR

Résultats de chocs additionnels – Zonier



GRANULARITÉ FINE : LEVIER DU RÉSULTAT

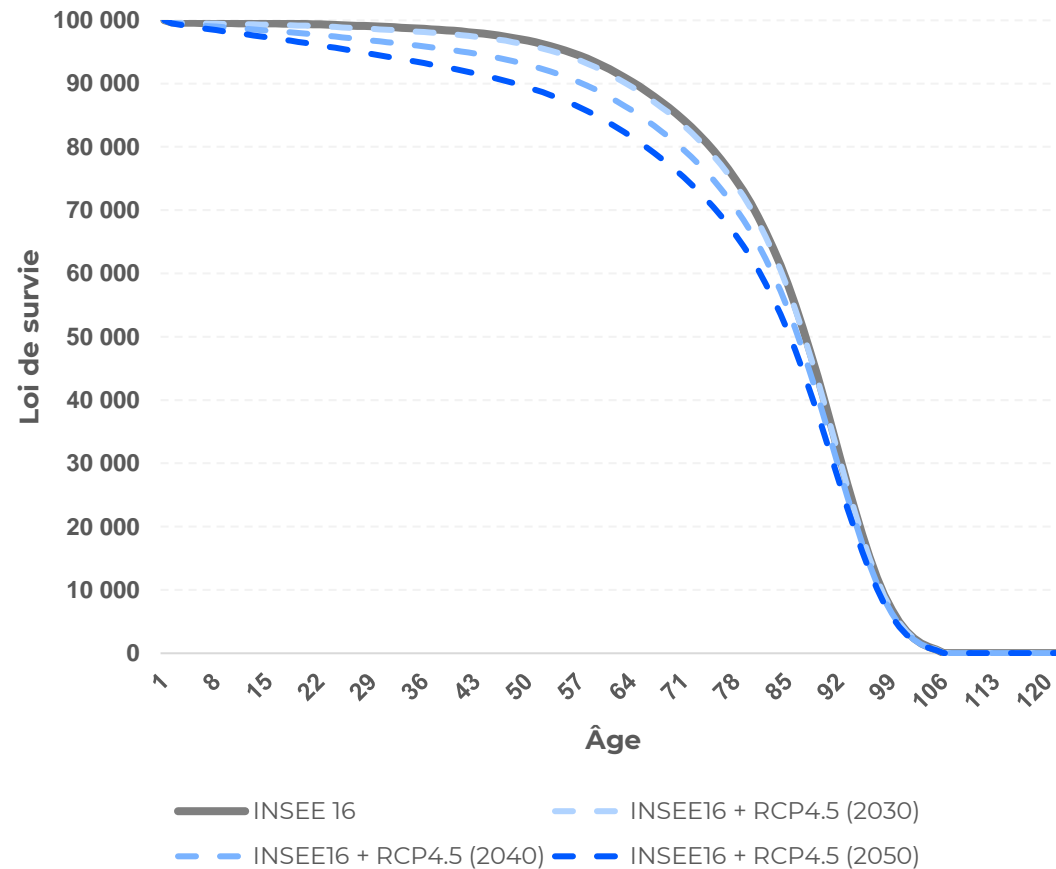
- Précision accrue : Les données granulaires fournissent des résultats plus précis, minimisant les erreurs de généralisation
- Permet une prise de décision éclairée
- Personnalisation améliorée : recommandations et actions plus ciblées pour les assureurs.
- Possibilité de s'affranchir des limites géographiques conventionnelles : les zones administratives



05

Application en réassurances : cas illustratif

Surmortalité liée à la pollution de l'air à l'horizon 2050



Les impacts prospectifs de surmortalité viennent modifier les paramètres techniques de tarification et de provisionnement.

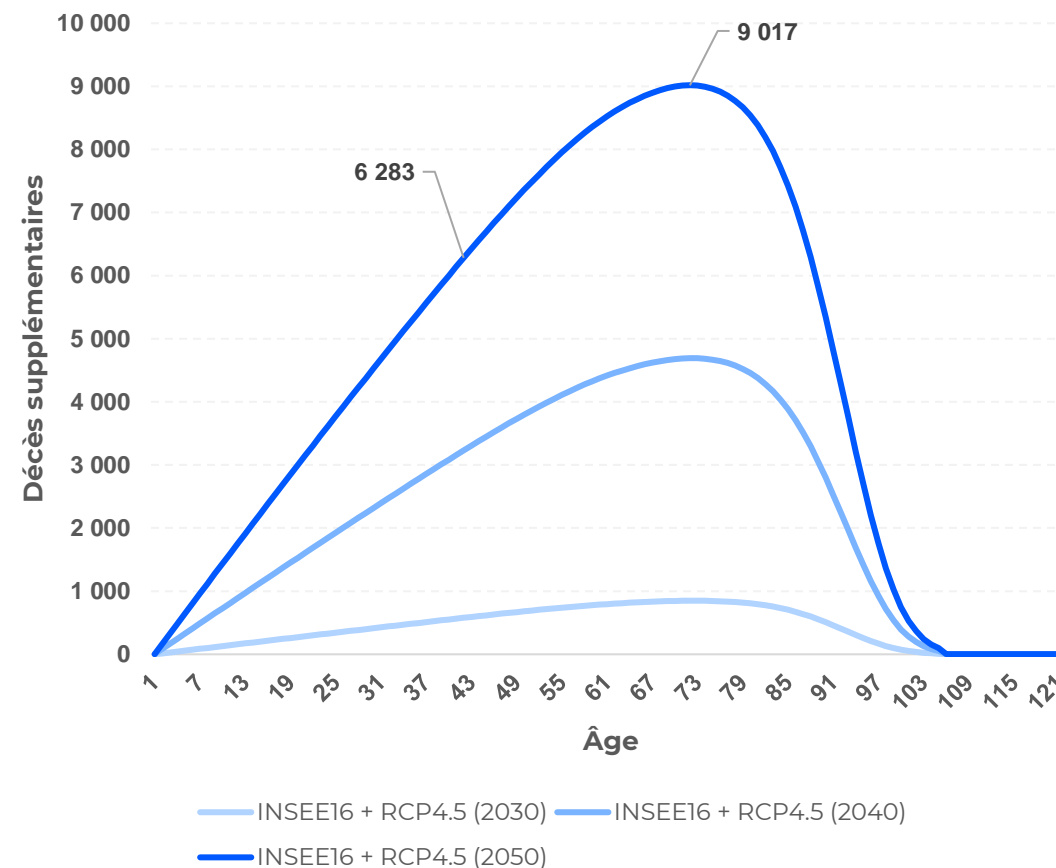
Cette vue illustre la manière dont le scénario RCP 4.5 vient déformer la table de mortalité INSEE 2016.

Influence de la surmortalité sur les couvertures d'assurance vie



La mesure des écarts (en nombre de décès) entre la table INSEE 16 et les tables stressées illustre **le nombre théorique de décès supplémentaires**.

Comparativement aux modèles de surmortalité utilisés en réassurance vie, la surmortalité à l'horizon 2050 est semblable à **un épisode de grippe supplémentaire**, chaque année, dont la période de retour est d'environ **1/30 ans**.

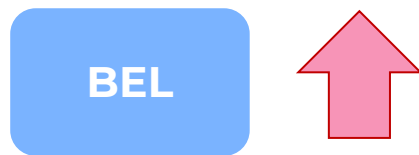


Impacts sur les provisions techniques

Engagements en cas de vie



Arrêts de travail




Engagements en cas de décès



Frais de soin

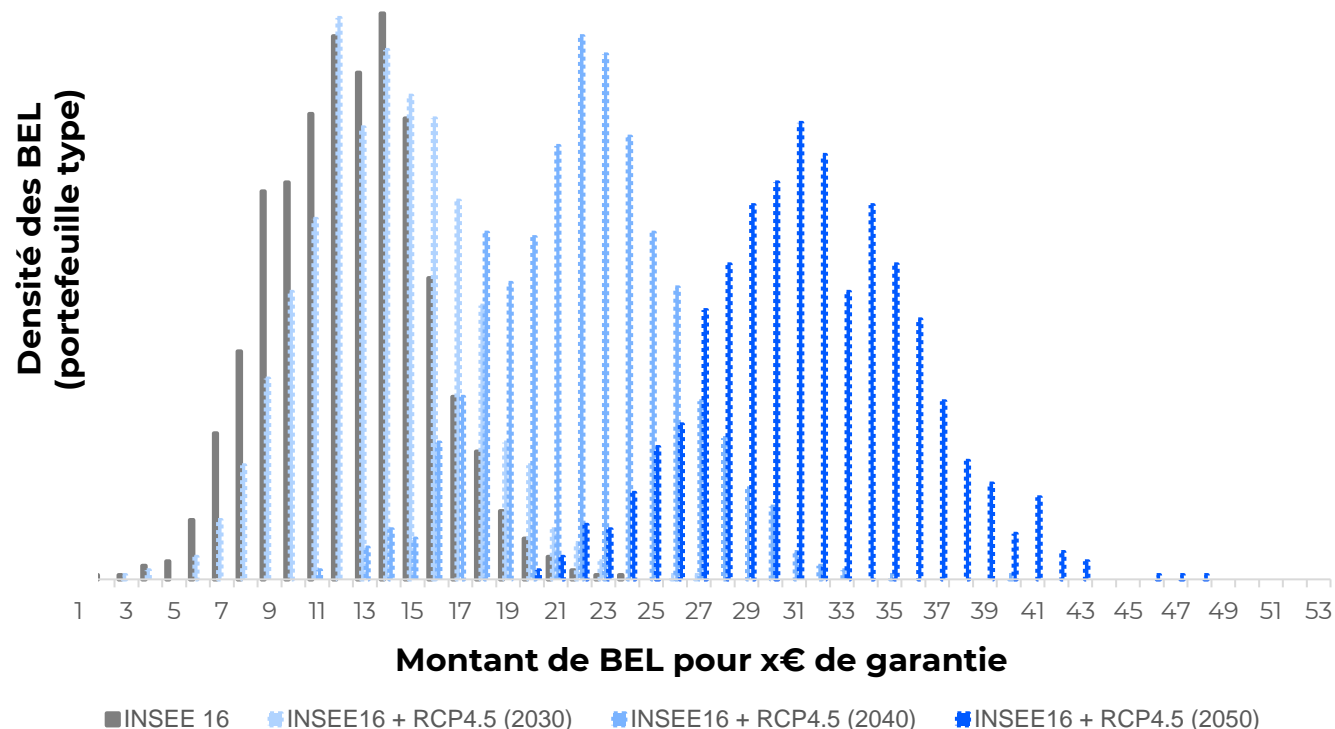


Garantie Vie entière

		INSEE 16	INSEE 16 + RCP 4.5	
VAP Vie Entière 1€ versé au décès Taux tech. : 1,0%	30 ans	0,5930	0,6092	+2,7%
	60 ans	0,7778	0,7828	+0,6%
 Quels que soient l'âge des assurés, le cout des garanties augmentent.				

Contrats Temporaire décès

Mortalité stochastique



ANALYSE

- Augmentation progressive des BEL à l'horizon 2050 en ligne avec l'augmentation de la mortalité

Conséquence importante de l'augmentation de la volatilité des BEL

- **Ces phénomènes seront d'autant plus forts qu'ils toucheront des populations urbaines (plus âgées, mieux couvertes).**

Couvrir ces phénomènes par la réassurance

Objectifs

Nécessité de couvertures de réassurance mieux calibrées sur les risques de pointes

Dispositifs proportionnels

Financement



En réponse aux contraintes, la réassurance peut venir financer la mise à jour des bases techniques et l'ensemble des actions permettant une gestion pilotée des risques dans ce nouvel environnement

Economie de capital



La Quote-Part est le moyen le plus simple d'optimiser les effets de diversifications des risques

Dispositifs non proportionnels

/ tête / évènement



Définir un niveau adapté de rétention de risque au regard de l'exposition d'un portefeuille, à un moindre cout. Se couvrir contre des phénomènes inédits pouvant frapper les portefeuilles assurés

Mortalité extrême

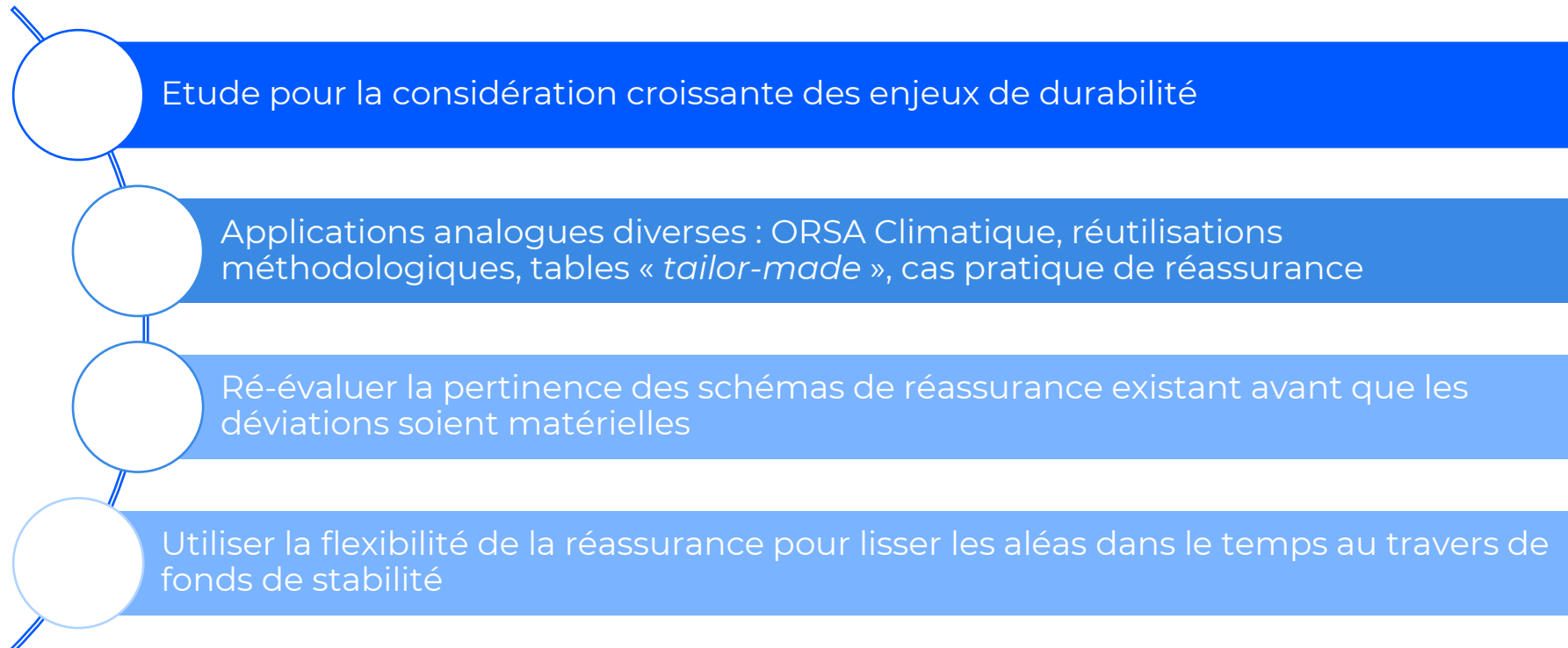


Définir un niveau adapté de rétention de risque au regard de l'exposition d'un portefeuille, à un moindre cout.

06

Conclusion

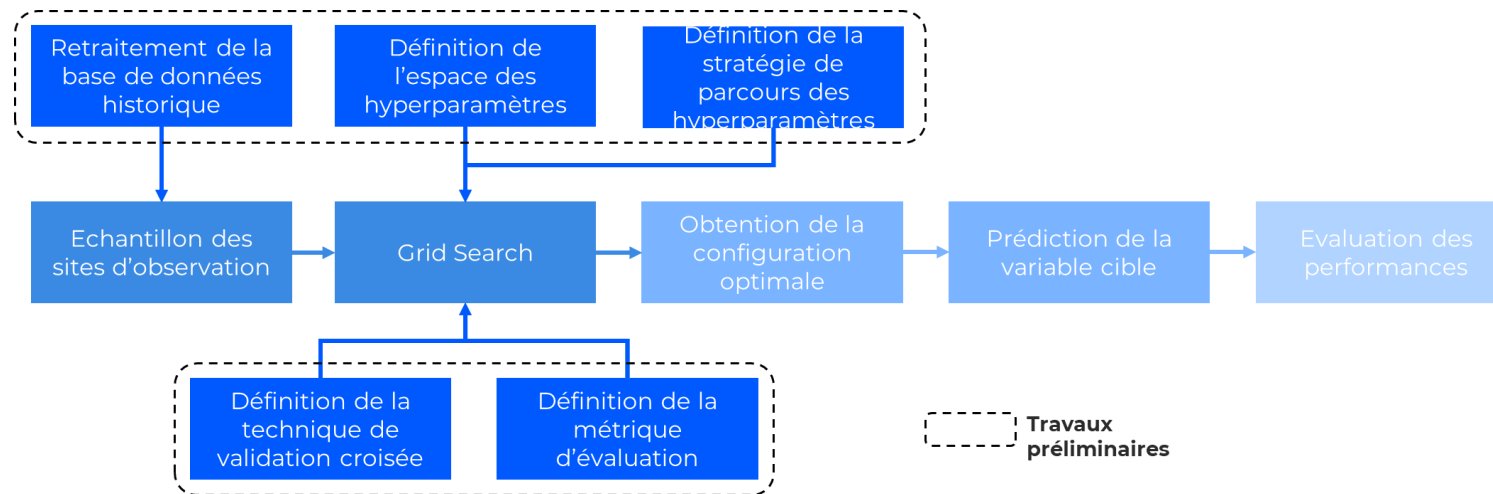
Conclusion



07

Annexe

Hyperparamétrage : procédure *Grid Search*



ESPACE DES HYPERPARAMÈTRES

- Identification et définition des vecteurs m_i de paramètres à tester
- On définit l'espace des hyperparamètres comme le produit cartésien suivant:

$$H = m_1 \times m_2 \times \dots \times m_n$$



MÉTRIQUE D'ÉVALUATION

- Choix de la RMSE (stabilité, interprétation intuitive et mesure informative)
- Objectif à minimiser dans la procédure de sélection du modèle optimal.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n (\hat{z}(\vec{s}_i) - z(\vec{s}_i))^2}$$

Validation croisée: Méthode *Leave-One-Out*



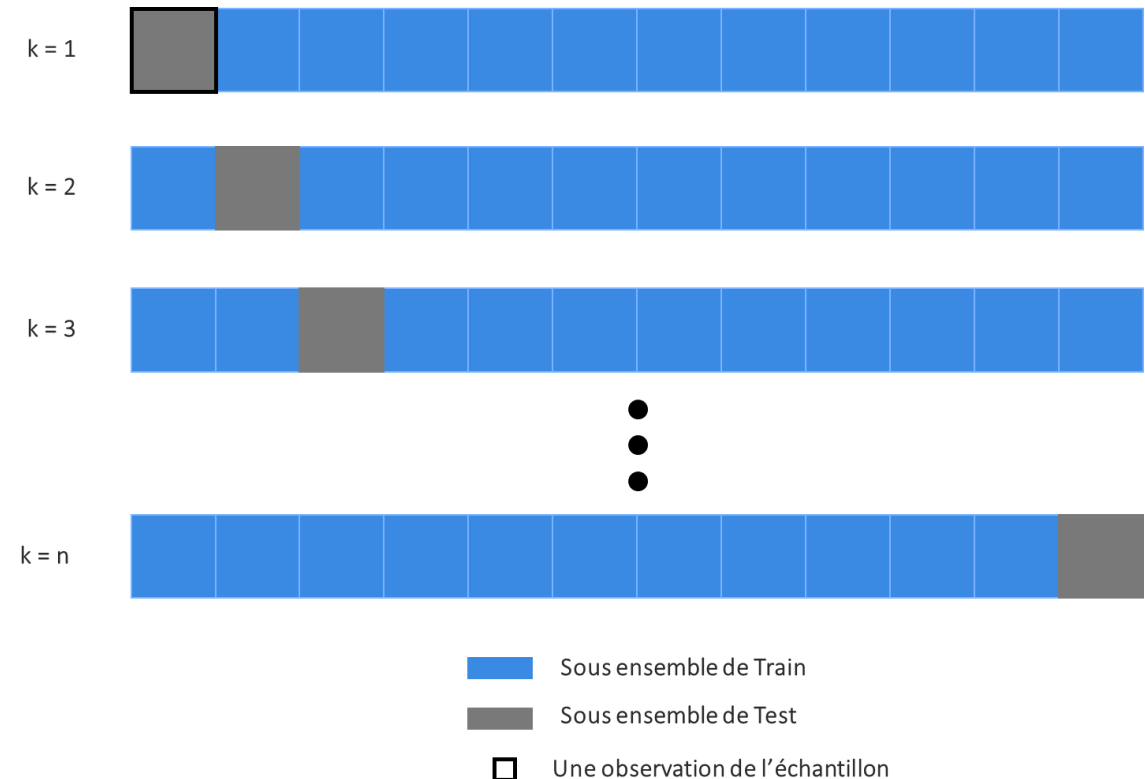
VALIDATION CROISÉE

- Technique pour évaluer les performances d'un modèle
- Division de l'échantillon de données disponible en plusieurs sous-ensembles
- Chaque sous-ensemble est utilisé pour l'entraînement et la validation



MÉTHODE *LEAVE-ONE-OUT*

- Procédure itérative
- Exclusion séquentielle de chaque point de l'échantillon pour valider le modèle qui est entraîné sur les données restantes.
- Variante extrême de la méthode *K-Folds*
- Coûteuse en temps de calcul



Hyperparamétrage : procédure *Grid Search*

➤ GRID SEARCH

- Procédure itérative systématique d'exploration
- Teste l'entièreté des combinaisons de paramètres h , un vecteur comportant une modalité de chaque m_i .
- Retourne un score pour chaque itération

➤ PARAMÈTRES OPTIMAUX : DÉFINITION

- Définis comme les paramètres minimisant l'erreur d'apprentissage ($RMSE$)
- h^* la combinaison optimale de paramètres tels que :

$$h^* = \operatorname{argmin}_h(RMSE(h))$$

- Obtenue à l'issue du *Grid Search*

Migration d'AirQ+ vers Python



AIRQ+

- Logiciel *Open-Source* de l'OMS
- Permet de quantifier le fardeau de la pollution de l'air
- Fondé sur des études épidémiologiques menées dans les pays du Nord, et sur les EQIS



CONVERSION EN OUTIL PYTHON

- Problématique opérationnelle de l'outil AirQ+
- Démarche d'optimisation
- Conservation de la maille fine par pixel
- Ré-implémentation et audit des résultats

