

# Prospective, Actuariat et Data science en assurances

## Applications données de survie

26 octobre 2023

### Séminaire ISFA 3ème année 2023

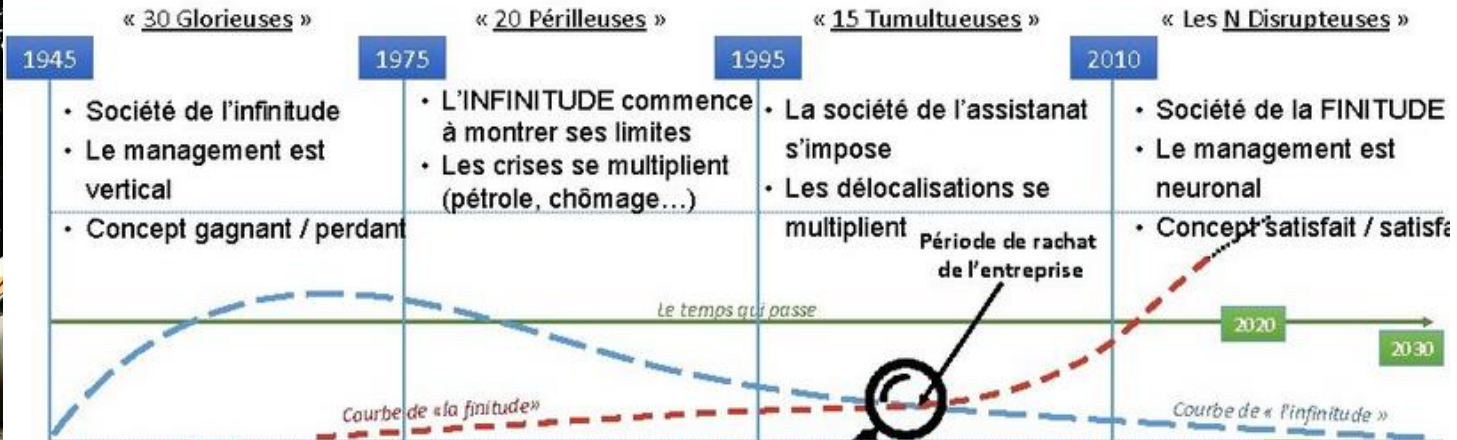
Intervention de Anani Olympio,  
PhD, MsBA, Actuaire certifié et expert ERM CERA  
Chercheur associé LSFA , Lyon 1 – Chaire DIALog  
Recherche et prospective stratégique groupe  
CNP Assurances

# Pas toujours facile de faire accepter les idées nouvelles

Changement de paradigme... d'un monde « volatile, incertain, complexe et ambigu » vers un monde « fragile, anxieux, non-linéaire et incompréhensible »!

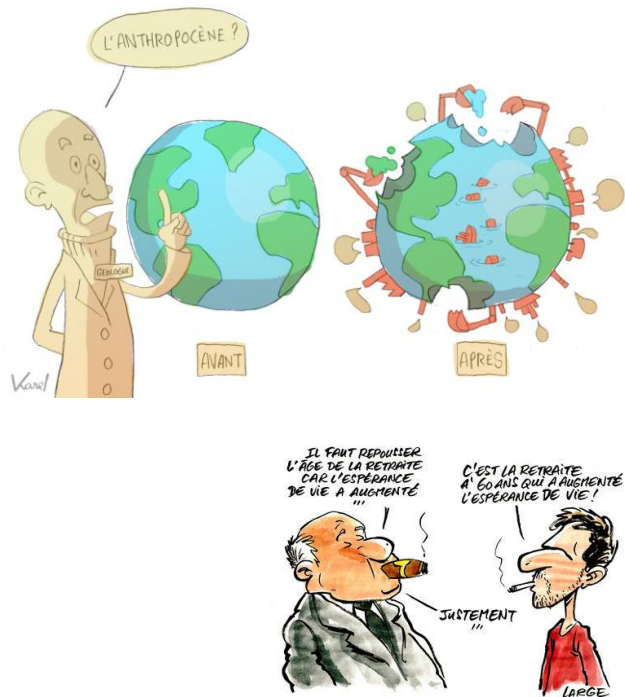
# Contexte historique après la 2ème guerre mondiale

Le monde est passé d'une vision de la l'infinitude des ressources à une vision de la finitude...



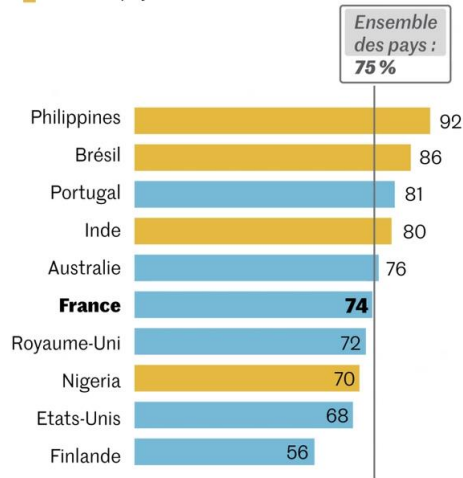
# Face à l'incertitude, à la complexité et à la multiplicité des attitudes face à l'avenir.

Optimistes, pessimistes, pragmatiques, réalistes...



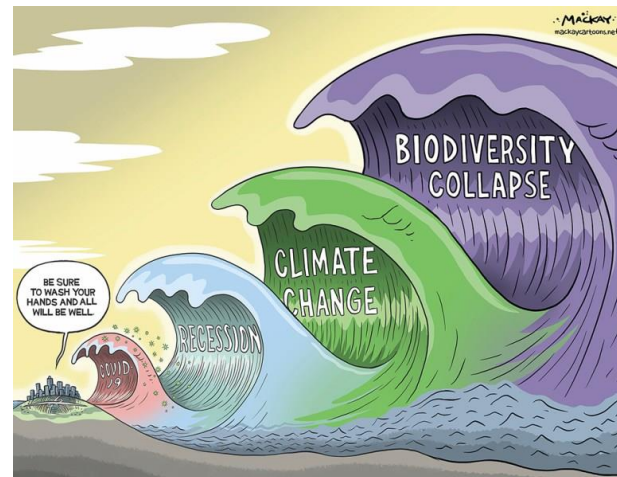
Part des jeunes interrogés qui pense que l'avenir est effrayant

- dans les pays du Nord
- dans les pays du Sud



Source : Sondage effectué auprès de 10 000 jeunes âgés de 16 à 25 ans, via la plateforme Kantar's LifePoints ; The Lancet, 2021

Infographie Le Monde



# Le recours aux experts : oui, mais....

Attention aux biais et aux erreurs!



Thomas WATSON sr.,  
Fondateur d'IBM,  
(1874-1956) - Photo IBM

« Je pense que la demande mondiale en ordinateurs n'excèdera pas cinq machines. »



Steve BALLMER,  
CEO Microsoft en 2007

"There's no chance that the iPhone is going to get any significant market share. » USA Today, 30/04/2007

**Balmer** prédisait qu'Apple n'obtiendrait que 2 à 3% des parts de marché sur les téléphones mobiles.

**En 2012, Apple disposait de 23% des parts de marché...**

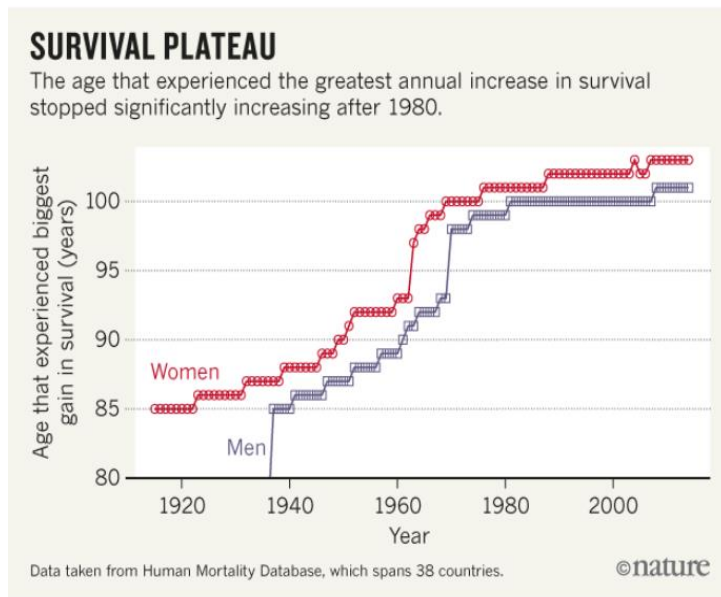
## Le recours aux modèles : oui, mais....

Les données historiques ne sont pas toujours suffisantes pour expliquer le futur... et nous ne disposons pas de données sur le futur !



## Le recours aux modèles : oui, mais....

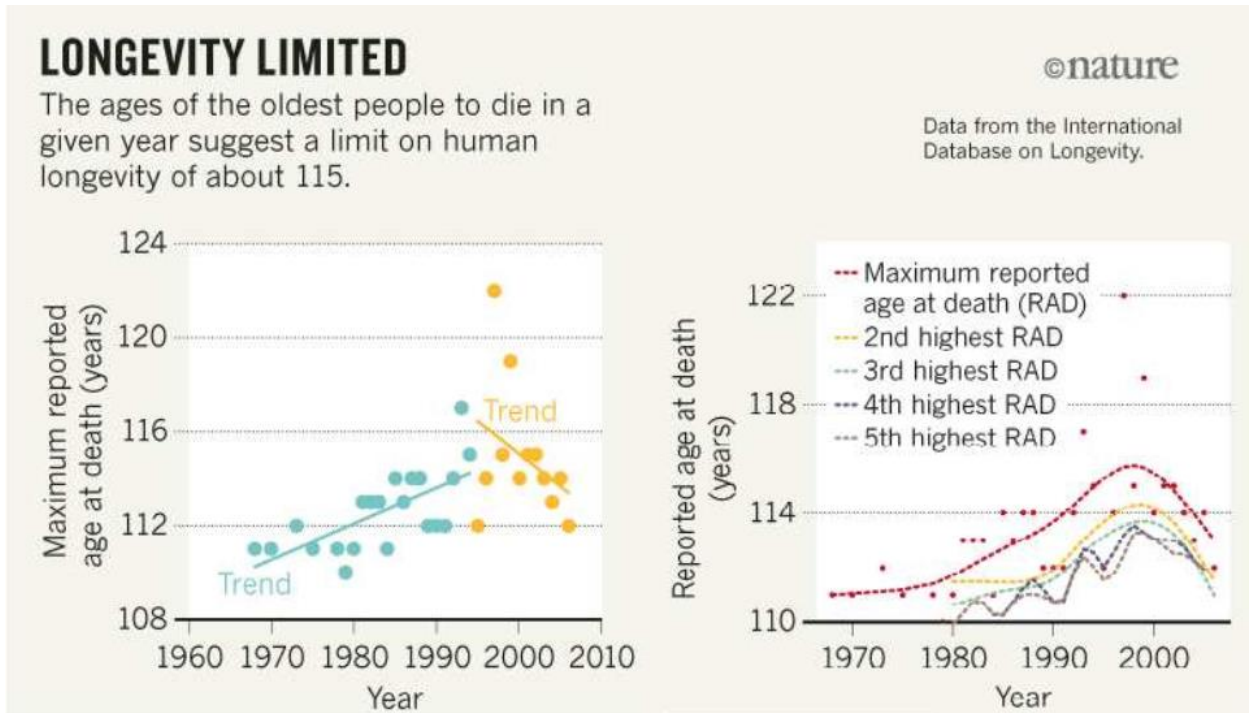
Les données historiques ne sont pas toujours suffisantes pour expliquer le futur... et nous ne disposons pas de données sur le futur !



Âge au moment du décès de la plus vieille personne au monde

## Le recours aux modèles : oui, mais....

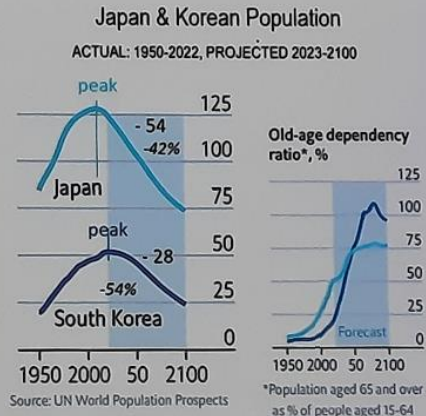
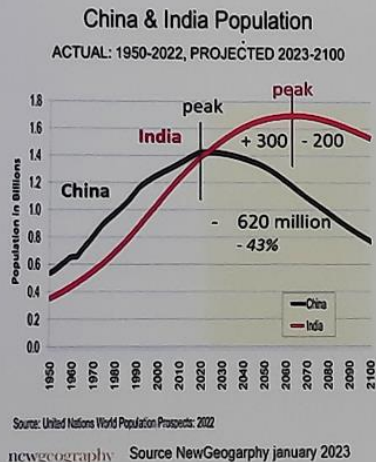
Les données historiques ne sont pas toujours suffisantes pour expliquer le futur... et nous ne disposons pas de données sur le futur !



# Le recours aux modèles : oui, mais....

Les données historiques ne sont pas toujours suffisantes pour expliquer le futur... et nous ne disposons pas de données sur le futur !

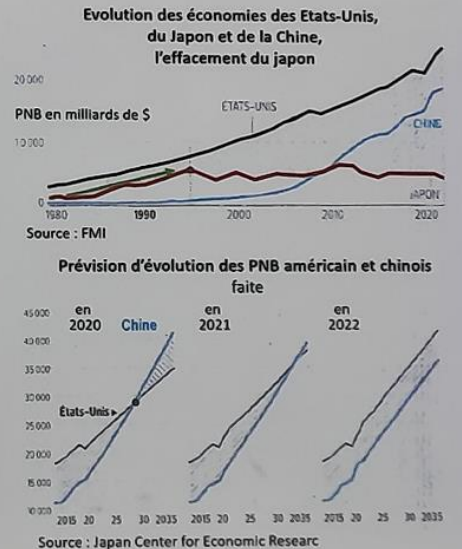
Le dynamisme économique asiatique confronté à l'effondrement démographique



L'impact déterminant de l'inversion démographique du Japon et de la Chine sur l'évolution économique

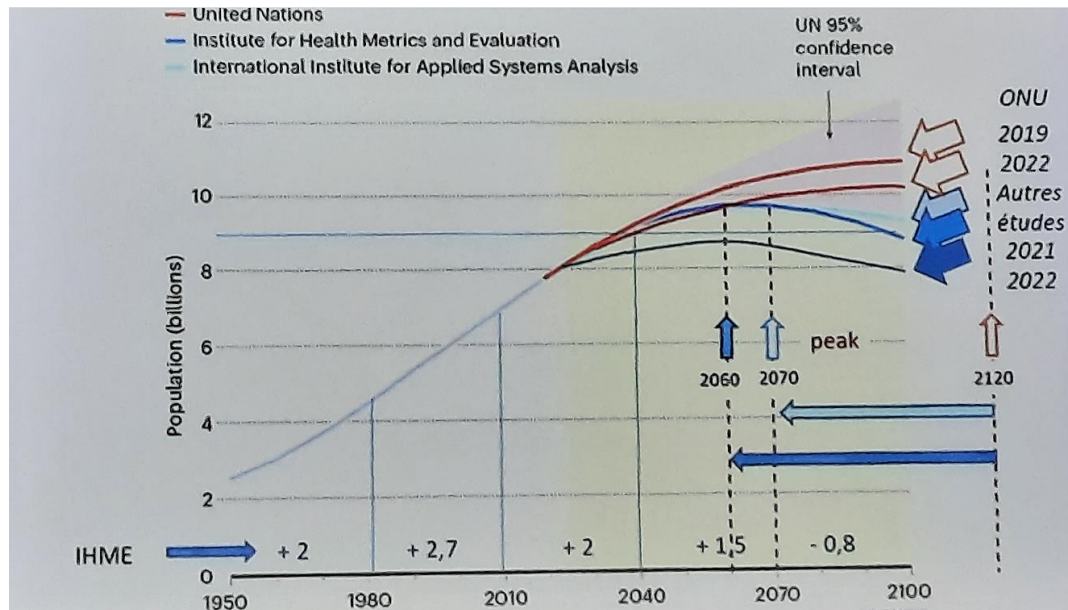
Et de la nécessité de recadrer régulièrement les anticipations

« Etre vieux avant d'être riche »  
Expression chinoise actuelle



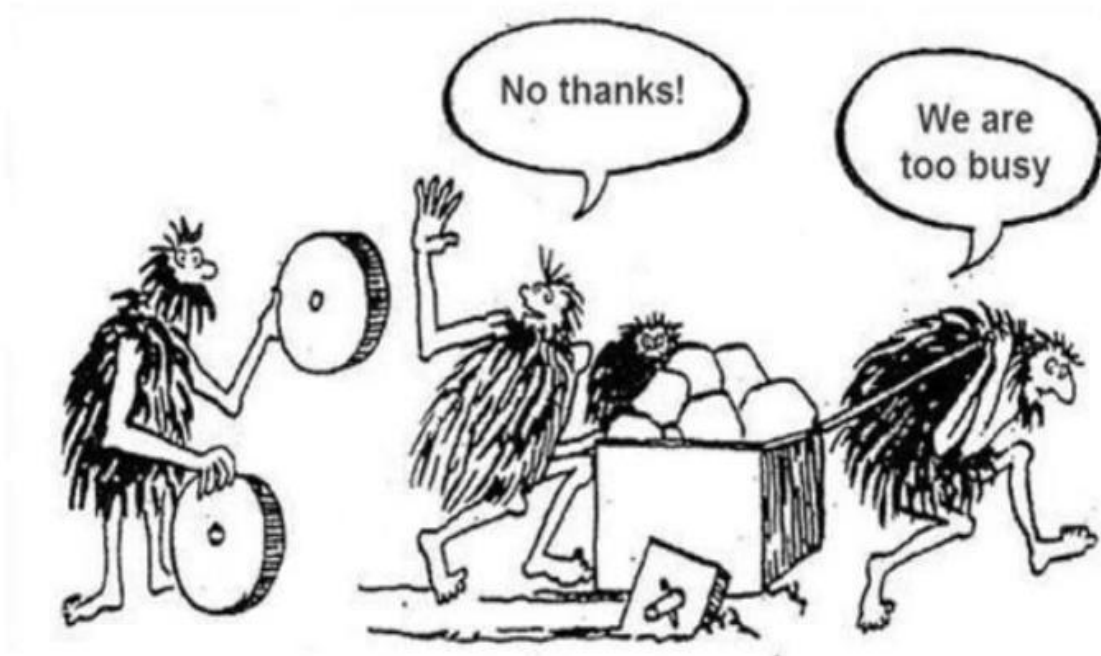
## Le recours aux modèles : oui, mais....

Les données historiques ne sont pas toujours suffisantes pour expliquer le futur... et nous ne disposons pas de données sur le futur !



# Souvent contraint par le court terme et ses réalités...

Pas toujours facile de faire accepter les idées nouvelles



# Sommaire

## 01

Prévisions sur du temps long et apports de la prospective stratégique aux réflexions actuarielles

## 02

Renforcer nos hypothèses et nos prévisions

## 03

Démarche pratique pour réussir un projet data

## 04

Applications aux données de survie

## 05

Bibliographie

# 01

**Prévisions sur du temps long et apports de la prospective aux réflexions actuarielles**

# Prospective stratégique

Alors quelles attitudes avoir face à l'avenir ?

« Demain ne sera pas comme hier.  
Il sera nouveau et dépendra de  
nous. Il est moins à découvrir qu'à  
inventer. »



Gaston Berger, (1896-1960)

# Prospective stratégique

## Quelques idées fondamentales de la prospective

Face aux incertitudes « des futurs possibles » l'on ne dispose que de points de vue, d'analyses, d'opinions, de représentations.

### Prospective, de quoi parle-t-on ?



**Une méthode** : analyser de **manière systémique**, explorer les possibles, créer des vues communes, innover et développer les capacités des acteurs.



**Un état d'esprit** : voir loin, large, prendre des risques et **libérer l'homme du fatalisme** (l'anti-fatalité) – *Gaston Berger, père de l'École de prospective française (1)*



La **bonne prospective** n'est pas celle qui prédit l'avenir mais celle qui conduit à **l'action adaptée**.

# Prospective stratégique

L'avenir est incertain et offre un champ de futurs possibles...



## TENDANCE LOURDE

- Phénomène à forte inertie à moyen-long terme, et très structurant
- Évolutions lentes mais susceptibles d'être infléchies.

Exemple : Le changement climatique ; la croissance de la dépendance liée au grand âge

## INCERTITUDE MAJEURE

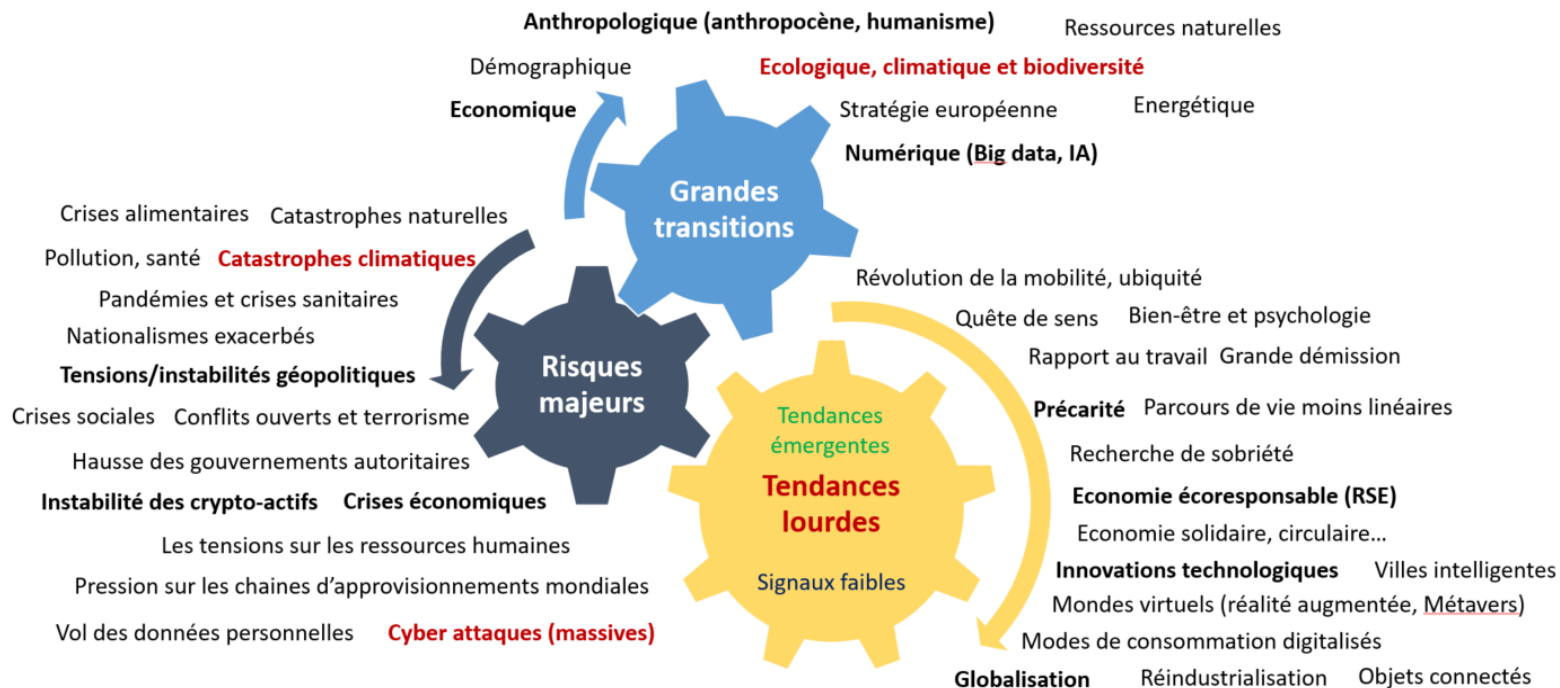
- Phénomène qui peut ou non se produire et qui est déterminant pour le sujet étudié, à l'horizon étudié.

## ÉMERGENCE

- Phénomène émergent qui peut entraîner une inflexion de tendance lourde, une discontinuité, ou la naissance d'une nouvelle tendance.

# Prospective stratégique

La démarche systémique proposée par le dispositif de Prospective permet de se faire une idée de la réalité qui se joue



# Prospective stratégique

**Face aux futurs possibles - Changer de paradigme... n'est pas une affaire facile!**

« Il n'y a pas de vent favorable pour celui qui ne sait pas où il va »  
(Sénèque)

« Le hasard ne favorise que les esprits préparés »  
(Louis Pasteur)

« Voir loin, large, profond, prendre des risques, penser à l'homme »  
(Gaston Berger 1958)

« Voir autrement, voir ensemble, utiliser des règles simples pour la rigueur collective »  
(Michel Godet)

# Prospective stratégique

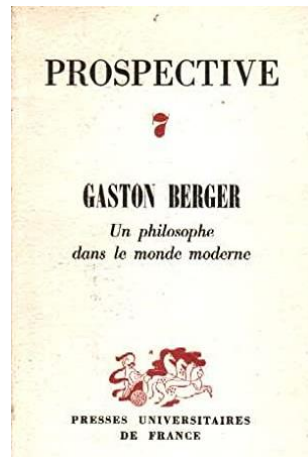
## Faces aux futurs possibles - Les apports de la Prospective

### ■ La Prospective est anticipation pour éclairer l'action

- ✓ Discipline intellectuelle (Pierre Massé),
- ✓ une démarche et un état d'esprit s'attachant à « voir loin, voir large et profond, prendre des risques, penser à l'homme » (Gaston Berger),
- ✓ mais aussi autrement (innovation) et ensemble (appropriation)

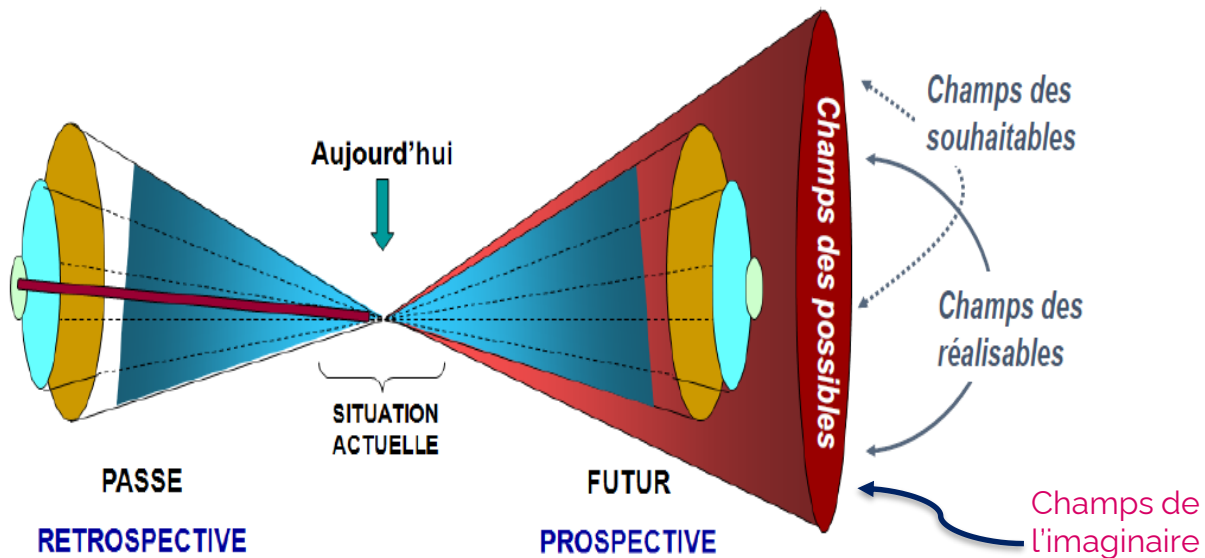
### ■ Donner du sens à l'action

- ✓ La vision globale, volontariste et long terme, s'impose pour donner un sens à l'action



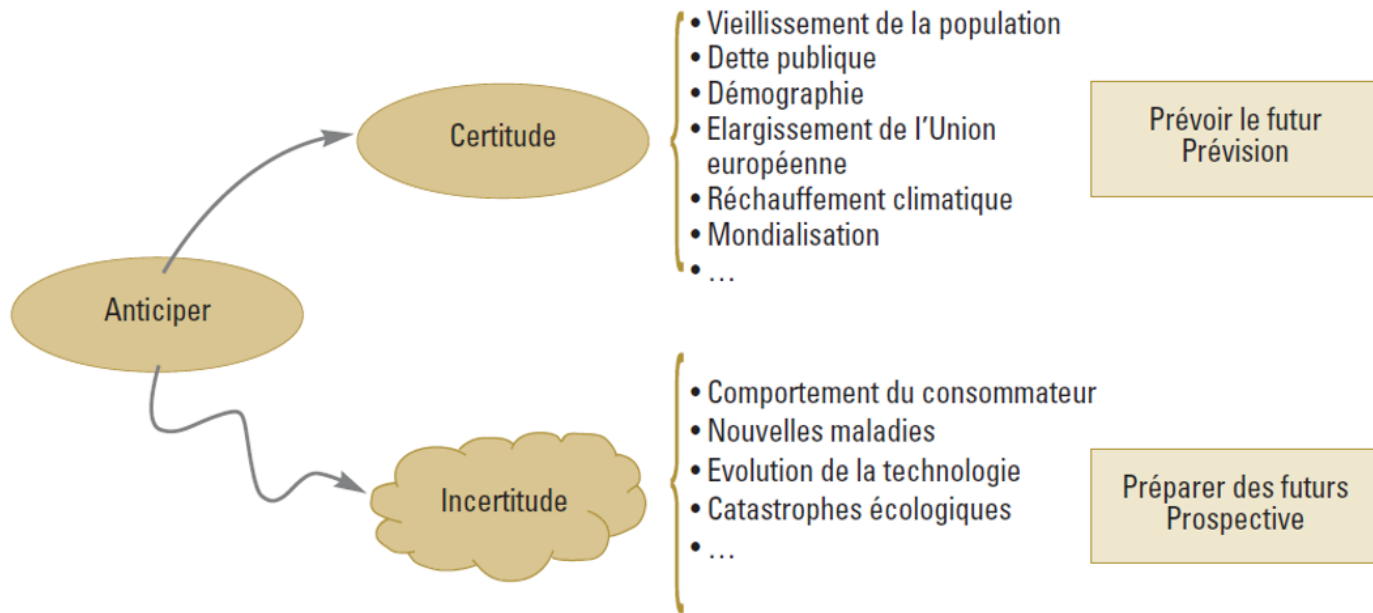
# Prospective stratégique

L'approche systémique, analytique et pluri disciplinaire de la prospective permet de proposer des scénarios des futurs possibles



# Prospective stratégique

Gestion des risques – prévoir et préparer les futurs possibles



# Prospective stratégique

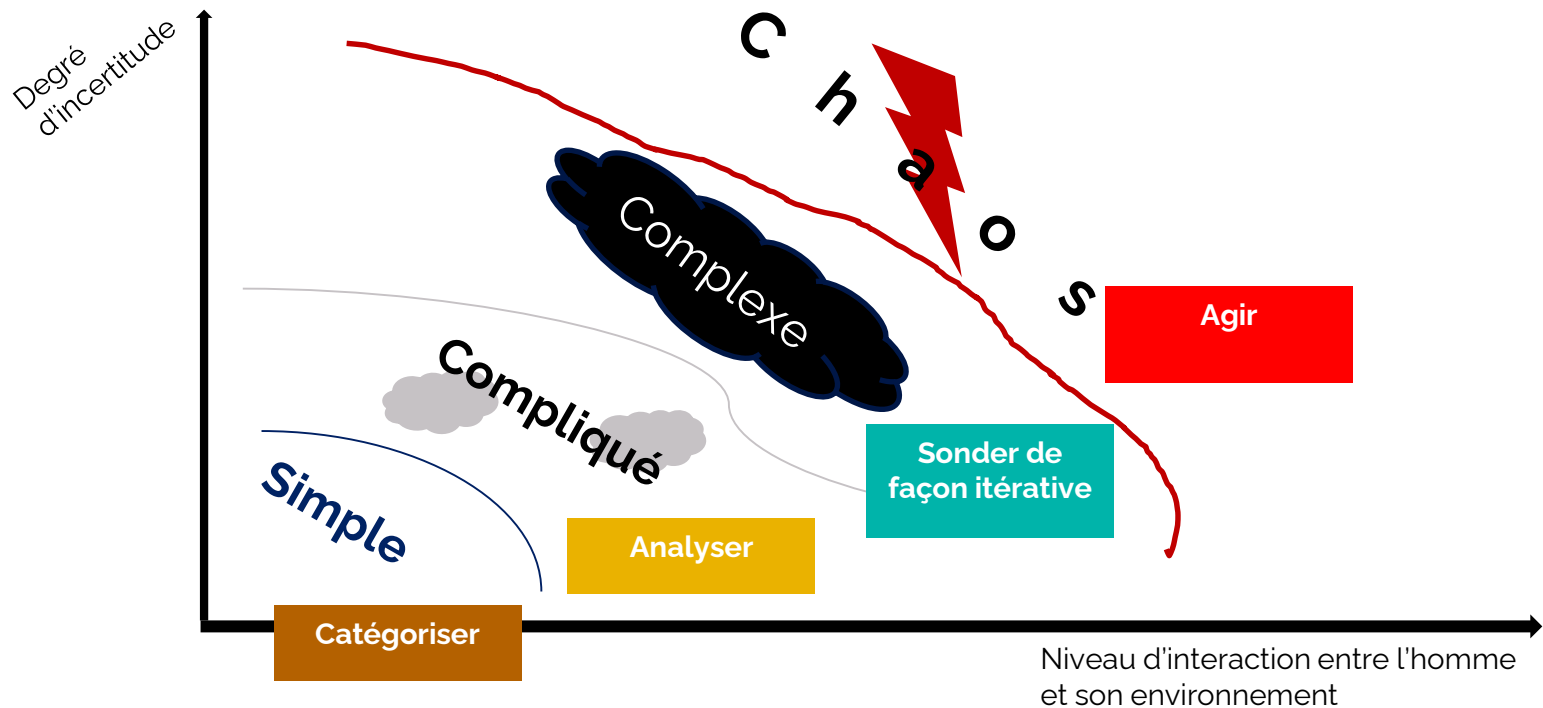
## Gestion des risques – outils et stratégie d'évaluation pour les actuaires

| Thématiques                                 | Prévisions                                                                                                                       | Stress tests (tests de résistance)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Prospective                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Question principale</b>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>De quoi demain sera-t-il fait?</li> </ul>                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Quel niveau de résistance après un choc?</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Quel avenir possible souhaitons-nous voir advenir?</li> </ul>                                                                                                                                                                     |
| <b>Préoccupation principale</b>             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ne pas faire d'erreur dans les prévisions</li> </ul>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ne pas faire d'erreurs sur les hypothèses du test</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>Ne pas subir notre futur</li> </ul>                                                                                                                                                                                               |
| <b>Approche</b>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Segmentation</li> <li>Réduction de dimension</li> <li>Simplification</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Scénario pouvant mettre en péril l'activité</li> <li>Test unidimensionnel</li> <li>Stress tests ponctuels sur des facteurs de risque spécifiques et non globaux</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Vision globale intégrant les interactions entre les variables</li> <li>Analyse retrospective (passé), present et prospective (futurs possibles)</li> <li>Multifactorielle et pluridisciplinaire</li> </ul>                        |
| <b>But visé</b>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Description de tendances probables</li> </ul>                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>L'objectif d'un test de résistance est double.</li> <li>En temps normal, il est destiné à identifier les vulnérabilités.</li> <li>En période de crise, les tests de résistances servent à orienter la gestion de crise et sa résolution.</li> </ul>                                                                                                                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Productions d'avenir souhaitables pour tous parmi l'ensemble des futurs possibles</li> <li>Hypothèses et scénarios possibles pour encadrer les incertitudes</li> </ul>                                                            |
| <b>Horizon</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Court et moyen termes</li> <li>Typiquement 3 ans (maximum)</li> </ul>                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Court et moyen termes</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Long terme (de 10 à 30 ans)</li> <li>Moyen terme (de 3 à 10 ans)</li> </ul>                                                                                                                                                       |
| <b>Méthode</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Etudes fondées sur des extrapolations de séries statistiques</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Un ensemble d'expositions au risque soumis à un choc adverse</li> <li>Un scénario (historique et hypothétique) , qui définit l'ensemble des chocs appliqués</li> <li>Un modèle, qui traduit le choc en un ensemble d'impacts et décrit leur propagation dans le système considéré</li> <li>Une estimation de l'impact sur une grandeur caractérisant la capacité de résistance de l'institution</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Créativité soutenue par des confrontations entre acteurs divergents</li> <li>Etudes spécifiques pour éclairer des scénarios alternatifs et de ruptures, dans le but de dégager des volontés partagées (vision commune)</li> </ul> |
| <b>Façon dont on se représente l'avenir</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>L'avenir est une extrapolation plus ou moins prévisible du passé et du présent</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>L'avenir est une extrapolation plus ou moins prévisible du passé et du présent soumis à un scénario de choc</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>L'avenir est à construire</li> <li>Les représentations qu'on se fait de l'avenir (et/ou l'absence de telles représentations) déterminent le présent</li> </ul>                                                                    |
| <b>Attitudes à l'égard de l'avenir</b>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction des incertitudes</li> <li>Survivorisation des risques</li> </ul>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Test de résistance / résilience</li> <li>Prise en compte de l'impact d'événements exceptionnels mais plausibles</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>Acceptation de l'incertitude</li> <li>Volontariste et tenant compte des conséquences sur l'humain et son environnement</li> </ul>                                                                                                 |

Source : Michel Godet

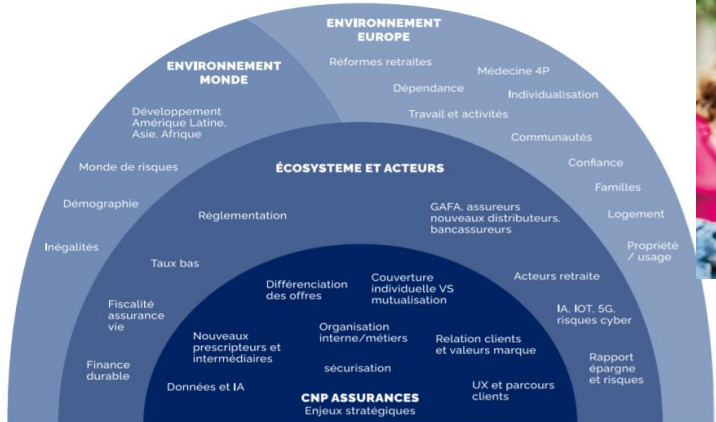
# Prospective stratégique

Gestion des risques - les apports de l'exploration prospective pour se préparer face aux incertitudes du futur



# Prospective stratégique

## Quelques illustration d'études prospectives



### Système prospectif d'un assureur



# 02

**Renforcer nos hypothèses et nos prévisions**

# Les hypothèses et leurs limites

Utiliser des hypothèses fixes revient à faire un pari singulier sur un avenir spécifique, souvent à l'exclusion de tout le reste.

Quelles implications de ces hypothèses si elles s'avèrent erronées?

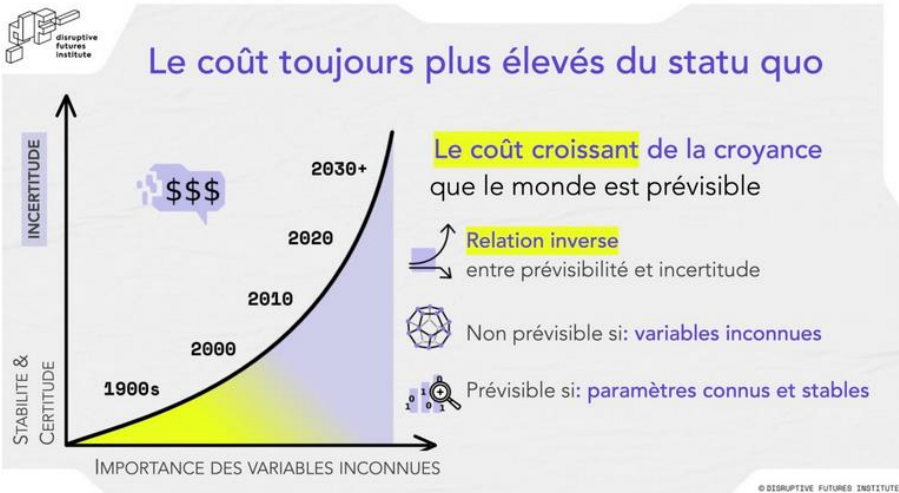
- Un biais inhérent aux hypothèses consiste à **tenir pour acquis que l'avenir ressemblera au passé**.
- La considération d'hypothèses n'est pas limitée aux entreprises, aux gouvernements ou aux décideurs ; **tout le monde fait des hypothèses**.
- Le facteur déterminant réside dans la mesure dans laquelle nous choisissons de nous fier à ces hypothèses et dans **ce que nous décidons d'imaginer – et d'accepter – au-delà des hypothèses elles-mêmes**.



Source de l'illustration: The Definitive Guide to Thriving on Disruption

# Les hypothèses et leurs limites

Le problème aujourd'hui est que le coût de la confiance dans ces hypothèses erronées augmente.



S'appuyer sur des prévisions quantitatives qui extrapolent des comportements futurs à partir d'un historique de données a des implications.

- Les prévisions économiques abondent, mais elles n'ont pas empêché le monde de se réveiller brusquement en 2022 avec les plus hauts niveaux d'inflation enregistrés depuis un demi-siècle.
- Dans le monde industriel, les hypothèses formulées par Blackberry, Blockbuster, Nokia et Palm (Pilot) ont toutes scellé leur avenir... pour rester dans le passé.

# Les hypothèses de projection démographique

## Le modèle de projection démographique Omphale (INSEE)

Le **modèle Omphale** permet de réaliser des projections (sur une période donnée entre T et T+n années) de population infra-nationales (sur toute zone géographique de plus de 50 000 habitants ) selon la méthode des composantes.

- L'évolution de la population d'un territoire dans le temps résulte de l'interaction entre trois composantes démographiques : les **naissances**, les **décès** et les **migrations**.
- Le modèle Omphale propose une modélisation de ces composantes à partir de l'observation récente des comportements démographiques.
- Il fait appel aux **populations par sexe et âge au 1er janvier T**, issues du recensement de la population.
- Les divers quotients sont calculés en T sur la zone. Par la suite, ils évoluent selon les hypothèses définies par l'utilisateur.
- Dans les scénarios standard, les quotients démographiques évoluent comme le niveau national qui prolonge les dernières tendances de fécondité et de mortalité. Les quotients de migrations internes sont maintenus constants.

**Ces projections ne peuvent s'assimiler à des prévisions car on ne peut associer une probabilité aux différents hypothèses.**

# Les hypothèses de projection démographique

## Le modèle de projection démographique Omphale (INSEE) : projection 2021

- Au 1er janvier  $n+1$ , le nombre d'habitants est égal à la population au 1er janvier de l'année précédente  $n$ , augmentée des naissances et du solde entre les entrées et les sorties de population sur le territoire au cours de l'année  $n$ , et diminuée des décès.

$$Pop_{1.1.n+1} = Pop_{1.1.n} + naissances_n - deces_n + SoldeMigratoire_n$$

# Les hypothèses de projection démographique

## Le modèle de projection démographique Omphale (INSEE) : projection 2021

- Au cours de l'année  $n$ , le nombre de décès de personnes de sexe  $s$  et d'âge  $a$  (atteint dans l'année) est donc calculé ainsi, si  $a > 0$  :

$$Deces_{n,s}^a = (Pop_{1.1.n,s}^{a-1} + SoldeMigratoire_{n,s}^a / 2) * QuotientMortalite_{n,s}^a$$

- Le nombre de décès de nouveau-nés est calculé, pour les garçons et les filles, en appliquant aux naissances de l'année les quotients de mortalité à l'âge 0, soit :

$$Deces_{n,s}^0 = naissances_{n,s} * QuotientMortalite_{n,s}^0$$

# Les hypothèses de projection démographique

## Le modèle de projection démographique Omphale (INSEE) : projection 2021

- Le nombre de naissances est calculé en appliquant à la population moyenne de l'année des femmes d'âges féconds (15-50 ans en âge atteint dans l'année) les taux de fécondité projetés par âge (atteint dans l'année).
  - ✓ Le nombre de naissances issues de femmes atteignant l'âge (a) au cours de l'année n est égal au taux de fécondité de ces femmes, multiplié par le nombre moyen de femmes de cet âge.
  - ✓ Ce nombre moyen est estimé par le nombre de femmes présentes au 1er janvier (d'âge a-1 donc au premier janvier) auquel est ajoutée la moitié du solde migratoire de femmes d'âge (a) et retirée la moitié des décès de femmes d'âge (a), pour tenir compte des variations d'effectifs en cours d'année suite aux échanges avec l'extérieur et aux décès, et être cohérent avec la définition des taux de fécondité établie par l'Insee dans la situation démographique (Beaumel, Papon, 2021).
  - ✓ Les naissances sont réparties entre garçons et filles (105 garçons pour 100 filles).
- Le nombre annuel de naissances est donc calculé ainsi :**

$$naissances = \sum_{a=15}^{50} (Pop_{1.1.n,Femmes}^{a-1} + (SoldeMigratoire_{n,Femmes}^a - deces_{n,Femmes}^a) / 2) * TauxFecondite_n^a$$

# Les hypothèses de projection démographique

## Le modèle de projection démographique Omphale (INSEE) : projection 2021

$$Pop_{1.1.n+1} = Pop_{1.1.n} + naissances_n - deces_n + SoldeMigratoire_n$$

- Au cours de l'année n, le nombre de décès de personnes de sexe s et d'âge a (atteint dans l'année) est donc calculé ainsi, si a>0 :

$$Deces_{n,s}^a = (Pop_{1.1.n,s}^{a-1} + SoldeMigratoire_{n,s}^a / 2) * QuotientMortalite_{n,s}^a$$

- Le nombre de décès de nouveau-nés est calculé, pour les garçons et les filles, en appliquant aux naissances de l'année les quotients de mortalité à l'âge 0, soit :

$$Deces_{n,s}^0 = naissances_{n,s} * QuotientMortalite_{n,s}^0$$

- Le nombre de naissances de nouveau-nés est calculé, pour les garçons et les filles, en appliquant aux naissances de l'année les quotients de mortalité à l'âge 0, soit :

$$naissances = \sum_{a=15}^{50} (Pop_{1.1.n,Femmes}^{a-1} + (SoldeMigratoire_{n,Femmes}^a - deces_{n,Femmes}^a) / 2) * TauxFecondite_n^a$$

# Les hypothèses de projection démographique

## Le modèle de projection démographique Omphale (INSEE) : projection 2021

- La population au 1er janvier de l'année n+1 par sexe et âge atteint au 1er janvier n+1 se déduit alors de la population par sexe et âge au 1er janvier n de la façon suivante :

$$Pop_{1.1.n+1,s}^a = Pop_{1.1.n,s}^{a-1} - Décès_{n,s}^a + Solde migratoire_{n,s}^a + Ajust.^a_{n,s} \quad \text{pour } a>0$$

$$Pop_{1.1.n+1,s}^0 = Naissances_{n,s} - Décès_{n,s}^a + Solde migratoire_{n,s}^a + Ajust.^a_{n,s} \quad \text{pour } a=0$$

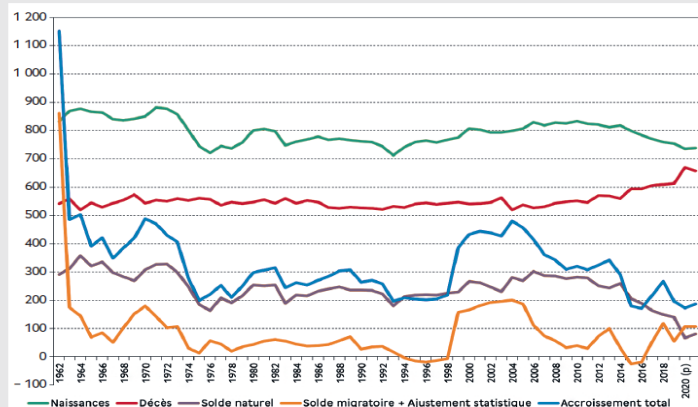
où Ajust représente la composante liée à l'ajustement, les années pour lesquelles il a été introduit

# Les hypothèses de projection démographique

## Analyse rétrospective des incertitudes sur l'évolution des jeux d'hypothèses pour la projection démographique

En 2016, lorsque l'INSEE élabore ses projections de population 2013-2070 pour la France, les diverses tendances (évolutions de la fécondité et de la mortalité réelles) sont fermement établies.

Graphique 1. Évolution des mouvements de la population en France, de 1962 à 2021 (en milliers)



Modèles de projection démographique Omphale de l'INSEE utilise 3 paramètres (3 hypothèses):

- Fécondité (natalité)
- Mortalité (décès)
- Migration (solde migratoire)

# Les hypothèses de projection démographique

## Des incertitudes sur l'évolution des jeux d'hypothèses pour la projection démographique

Les préoccupations autour de la fécondité restent un sujet d'avenir, un enjeu démographique, social et économique...

### Un vieux sujet



Source : INSEE

Champ : France hors Mayotte jusqu'en 2013 et y compris Mayotte à partir de 2014.

### Mais un vieux sujet d'actualité

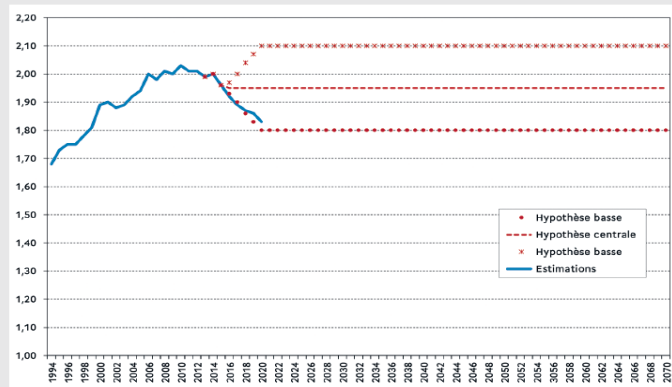
|      | INDICE CONJONCTUREL DE FÉCONDITÉ | ÂGE MOYEN DES MÈRES |
|------|----------------------------------|---------------------|
| 2000 | 1,89                             | 29,3                |
| 2010 | 2,03                             | 29,9                |
| 2015 | 1,96                             | 30,4                |
| 2016 | 1,92                             | 30,5                |
| 2017 | 1,89                             | 30,5                |
| 2018 | 1,87                             | 30,6                |
| 2019 | 1,86                             | 30,7                |
| 2020 | 1,84                             | 30,8                |

# Les hypothèses de projection démographique

Une révision à la baisse des projections publiées par l'Institut national de la statistique et des études économiques - l'INSEE à fin 2021.

## Hypothèse 2016 (projection 2013-2070)

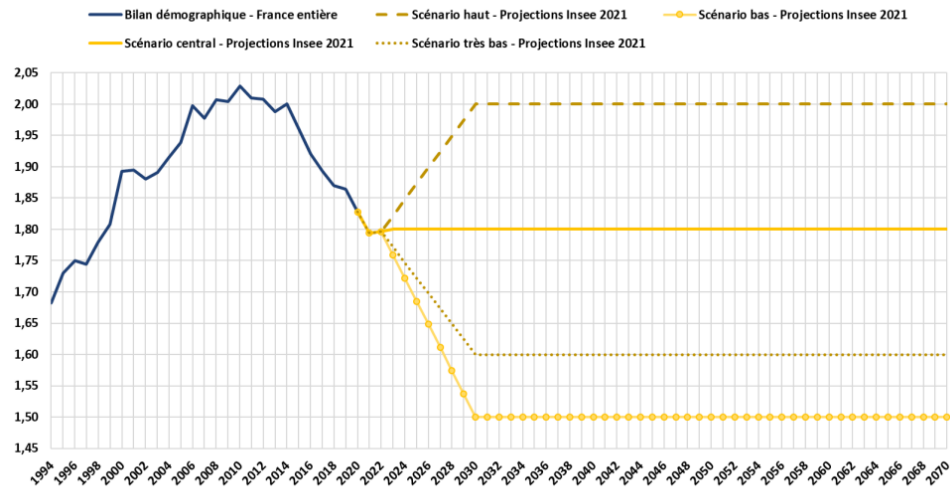
Graphique 2. Indicateur conjoncturel de fécondité observé en France de 1994 à 2020, et projeté de 2013 à 2070 selon trois variantes (nombre d'enfants par femme)



Source : INSEE.

## Hypothèse 2021 (projection 2021-2070)

Indicateur conjoncturel de fécondité (ICF) observé et projeté



Source : Insee, estimations de population et statistiques de l'état civil jusqu'en 2021. Projection de population 2021-2070 (Insee Résultat).

# Les hypothèses de projection démographique

## Une révision à la baisse des projections publiées par l'Institut national de la statistique et des études économiques - l'INSEE à fin 2021.

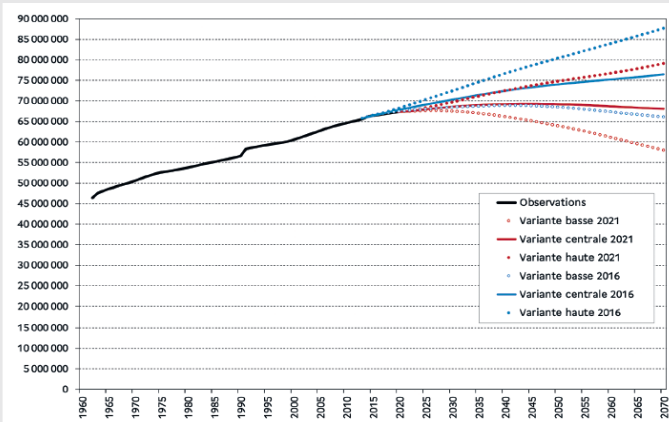
Les nouvelles projections s'appuient sur les estimations de population par sexe et âge au 1er janvier 2021, publiées en mars 2021.

- Ces projections sont toujours réalisées par la méthode des composantes, c'est à dire à partir d'hypothèses sur les trois éléments conditionnant l'évolution de la population : **fécondité, mortalité et migration**.
- Quelques **modifications méthodologiques** ont été apportées dans la projection de chacun des flux.
- De plus, **l'intégration des nouvelles données disponibles** dans le calcul des tendances a conduit à faire de **nouvelles hypothèses sur l'évolution de ces trois composantes**.
- Ces tendances sont **analysées hors effet de la pandémie depuis 2020**.
- Des **hypothèses particulières** ont été faites **pour 2021 et 2022**.

# Les hypothèses de projection démographique

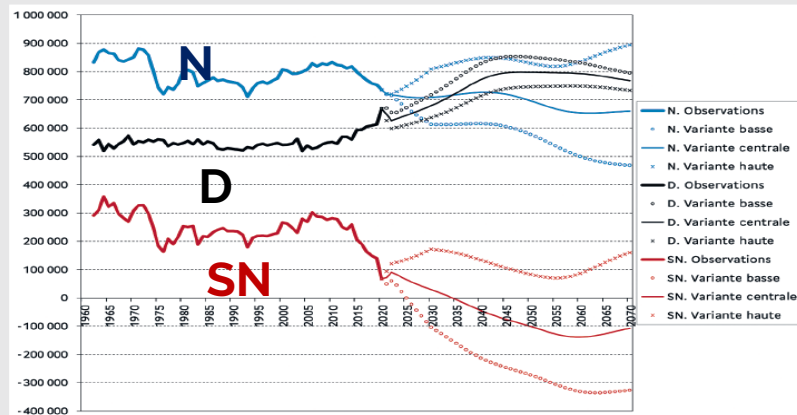
Une révision à la baisse des projections publiées par l'Institut national de la statistique et des études économiques - l'INSEE à fin 2021.

Graphique 4. Population totale observée et projetée en France, selon trois variantes et deux jeux de perspectives, 1962-2070



Source : INSEE, 2016, 2021.

Graphique 5. Naissances (N), décès (D) et solde naturel (SN) observés en France de 1962 à 2020, et projetés de 2021 à 2070 selon trois variantes



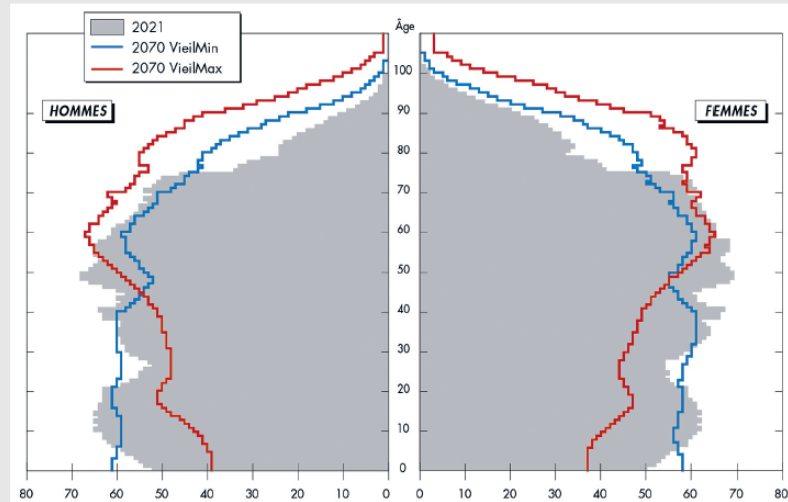
Source : INSEE, 2021.

Tandis que dans les précédentes perspectives 2017, la tendance de très long terme n'était orientée à la baisse que dans la seule variante basse, c'est désormais, **perspective 2021**, aussi le cas dans la variante centrale.

# Les hypothèses de projection démographique

## Les perspectives démographiques de la France : révisions de 2021

Graphique 6. Pyramide des âges de la population française, estimée en 2021 et projetée en 2070 selon deux variantes contrastées de vieillissement (pour 1 000 personnes dans chaque population au 1<sup>er</sup> janvier)



Source : INSEE, 2021.

Tableau 2. Population totale et par grands groupes d'âges, en France, projetée selon deux variantes contrastées de vieillissement et deux jeux de perspectives à l'horizon 2070

| Variante      | Population |     |            |      |            |      |
|---------------|------------|-----|------------|------|------------|------|
|               | Tous âges  |     | 0-14       |      | 65 ou +    |      |
| VieilMin 2016 | 82 779 036 | 100 | 14 770 786 | 17,8 | 20 603 011 | 24,9 |
| VieilMin 2021 | 74 178 288 | 100 | 12 988 327 | 17,5 | 17 997 337 | 24,3 |
| VieilMax 2016 | 70 726 156 | 100 | 9 616 309  | 13,6 | 23 586 730 | 33,3 |
| VieilMax 2021 | 62 718 390 | 100 | 7 635 304  | 12,2 | 21 472 798 | 34,2 |

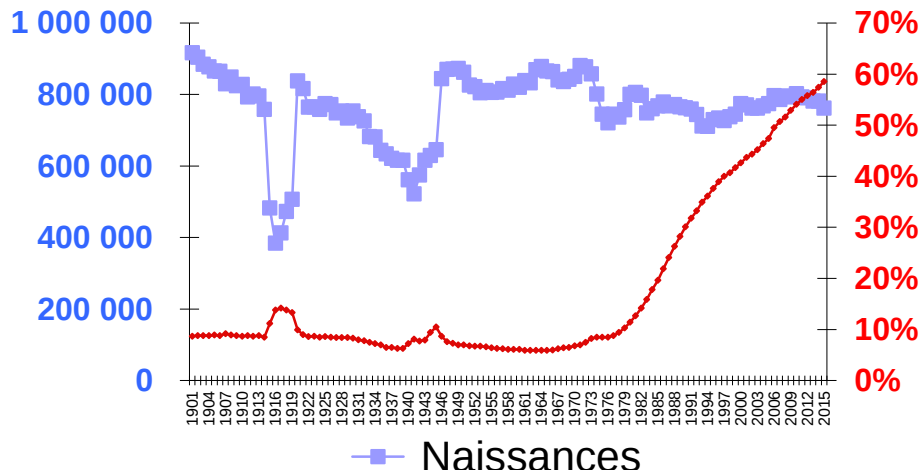
Source : INSEE, 2016, 2021.

# Les hypothèses de projection démographique

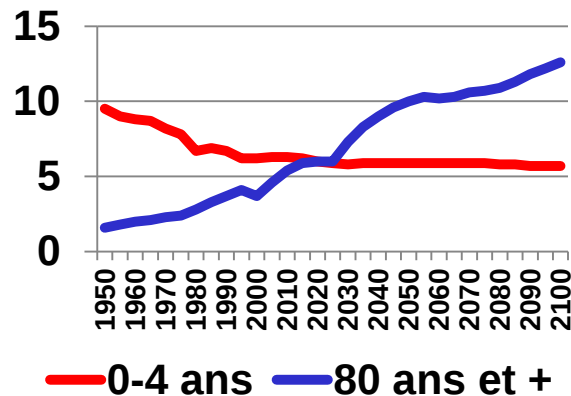
## Arbitrages entre les « Crèches » vs les « EHPAD » ?

Des incertitudes demeurent également sur les évolutions socio-culturelle, les arbitrages « politiques », les conséquences des risques émergents...

### Evolution des naissances en France métropolitaine



### Part des populations âgées de moins de 4 ans et de plus de 80 ans (en %)



# 03

## **Démarche pratique pour réussir un projet data**

# Une démarche

## Les principales étapes d'un projet data

### 1. Imaginer :

- Use cases / Business cases
- KPIs pertinents

### 2. Matérialiser :

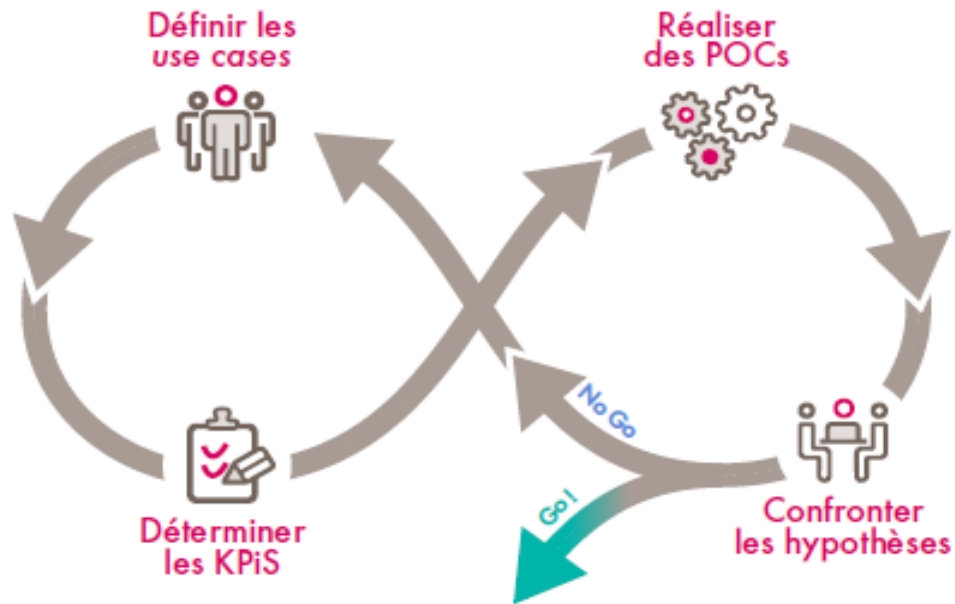
- Equipe pluridisciplinaire
- IT, langage de programmation et collecte des données (internes et externes)

### 3. Exploiter :

- Courte démonstration de la faisabilité via un *Proof of Concept* (PoC)
- Valoriser les données puis communiquer (décrire, prédire, prescrire et visualiser...)

### 4. Industrialiser :

- Mise en production des PoCs



# Une démarche

## Réflexion préliminaire et les objectifs

### ❑ Exemple du risque de comportement : rachats et résiliations



# Données

Volumétrie, variété, vélocité et véracité

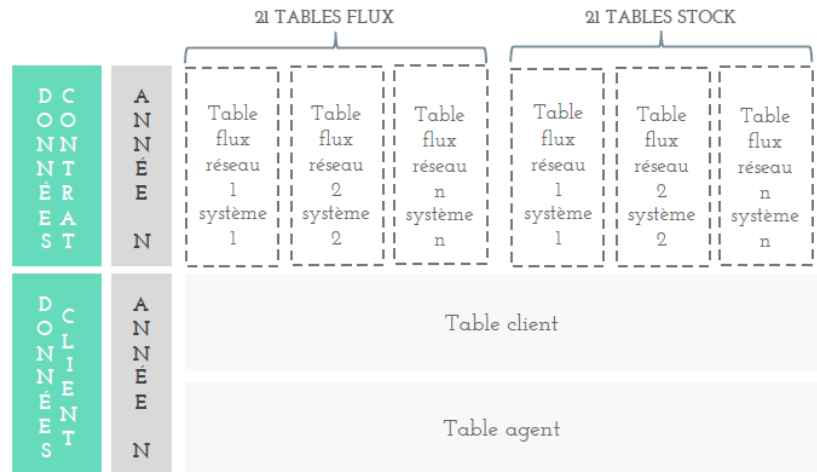
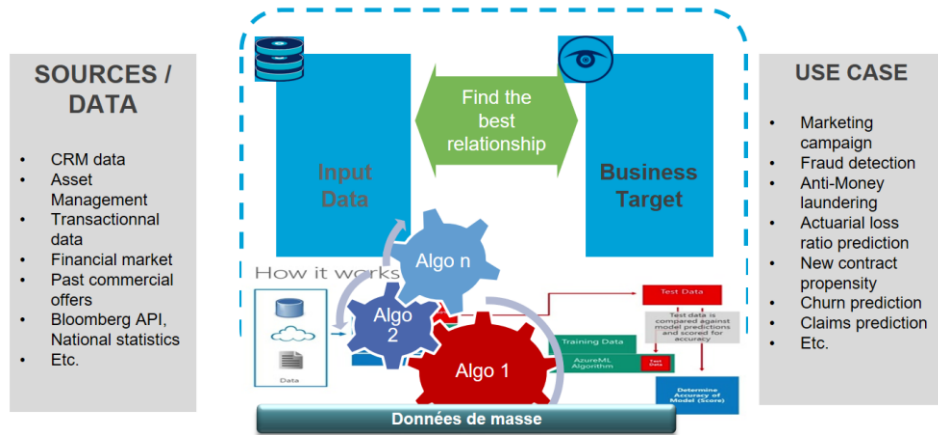
## Exemples de critères utilisés :

- ✓ **Données identitaires** : âge, situation maritale, CSP, composition familiale, lieu de résidence, établissement bancaire de référence,...
- ✓ **Données contractuelles** : Nombre de contrats en cours, ancienneté dans les contrats, avenants, encours,...
- ✓ **Données transactionnelles** : Nombre d'actes de gestion passés, montants des opérations passées : par support (€ ou UC,...)
- ✓ **Données exogènes** : Open data, données de marché (ex: valeur du CAC 40), données INSEE,...



# Données

## Volumétrie, variété, vélocité et véracité

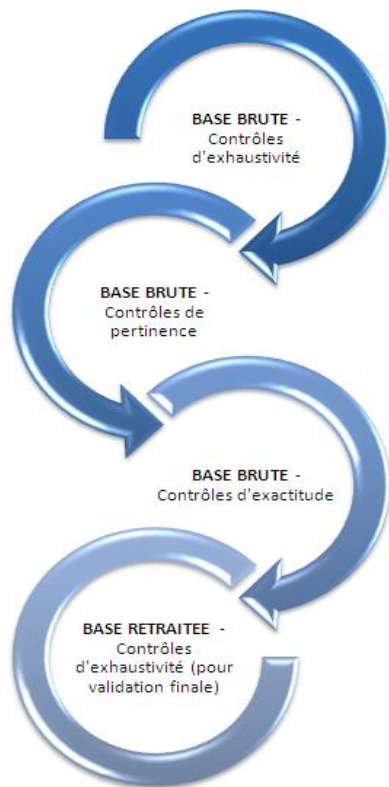


### LISTE DES VARIABLES BRUTES

- |                           |                       |                     |                            |
|---------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------|
| ▶ Année                   | ▶ Rachats             | ▶ Profil de gestion | ▶ Situation familiale      |
| ▶ Réseau de distribution  | ▶ Versements          | ▶ Âge               | ▶ Département assuré       |
| ▶ Produit                 | ▶ Arbitrages          | ▶ Ancienneté        | ▶ Département agent        |
| ▶ Provision mathématiques | ▶ Type de cotisations | ▶ CSP               | ▶ Historiques (PM et flux) |

# Données

## Contrôles de qualité et d'exhaustivité



- ▶ Le 1<sup>er</sup> contrôle à effectuer sur la base brute est celui de **l'exhaustivité** par comparaison entre données des bases et éléments comptables
  - du Chiffre d'Affaires (CA)
  - des Prestations sinistres
- ▶ Le 2<sup>nd</sup> contrôle est celui de la **pertinence** sur les variables d'intérêt
  - Compilation des variables nécessaires au calibrage des lois et paramètres des différents risques.
  - Compilation des variables de contrôle et de backtesting des lois
- ▶ Le 3<sup>ème</sup> contrôle est celui de **l'exactitude** des variables
  - Sur format, sur valeurs,
  - Sur les limites contractuelles,
  - etc...

# Données

## Retraitement complémentaires et enrichissement des données

### 1 Retraitements des données

#### ► Harmonisation des données aux formats et aux modalités différents

- Par exemples : plusieurs modalités pour une même signification (variables CSP, profils de gestion, situation familiale), formats différents bloquant les jointures (code produit, code réseau)

#### ► Données manquantes

- Vérifier que le taux de variables manquantes globalement satisfaisant (0% variables quantitatives, jusqu'à 20% des variables qualitatives - sur les variables CSP et situation familiale)
- Traitement des données manquantes : création d'une modalité « 0 » ou « inconnu » pour les données manquantes, compléter par une méthode adaptée (régression stochastique,...)

### 2 Enrichissement de la base

#### ► À partir de notre base de données

- Eloignement agent/assuré
- Taux de sortie moyen des années passées
- Création de tranches pour les variables qualitatives
- ...

#### ► À partir de données extérieures

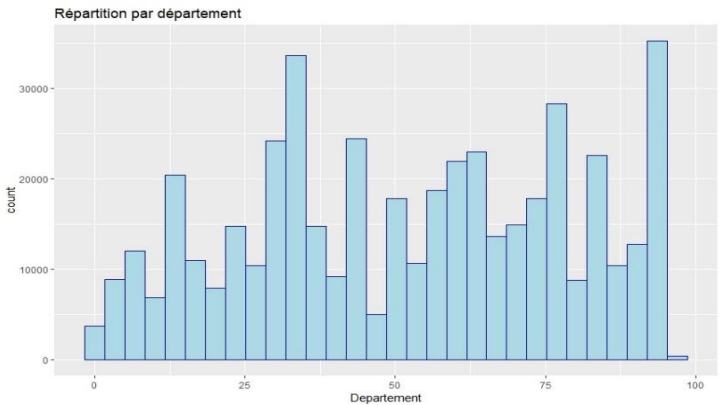
- Création d'une variable « Salaire » : source INSEE, Obtenue à partir des informations CSP et département (approximation par la PM lorsqu'une des deux variables est manquante)

# Données

## Statistiques exploratoires des données

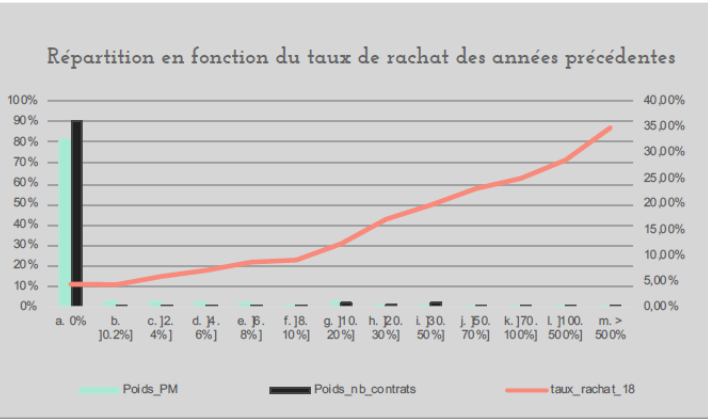
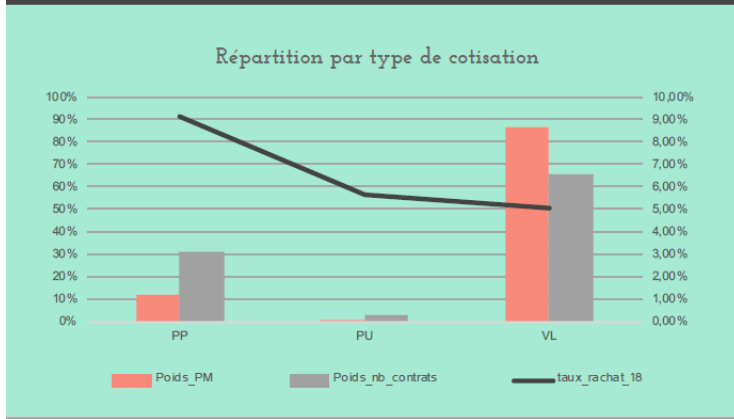
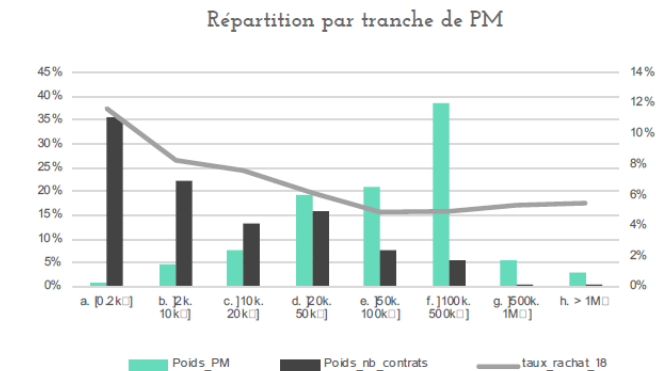
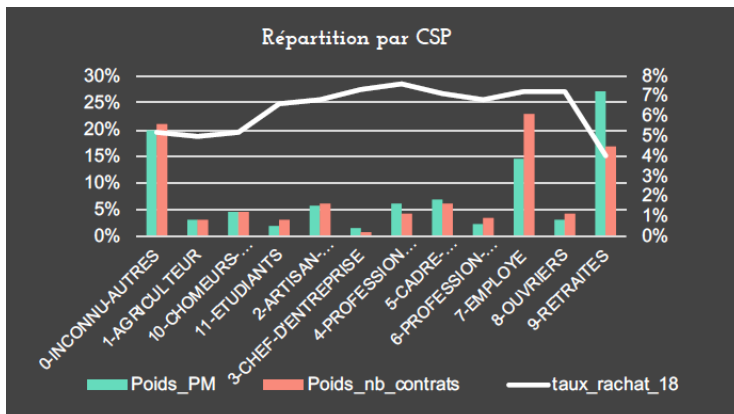
| Variable    | Diagramme |
|-------------|-----------|
| Sexe        |           |
| Actret      |           |
| Age         |           |
| Departement |           |

| Variable | Diagramme |
|----------|-----------|
| Regime   |           |
| Option   |           |
| Montant  |           |



# Données

## Statistiques exploratoires des données



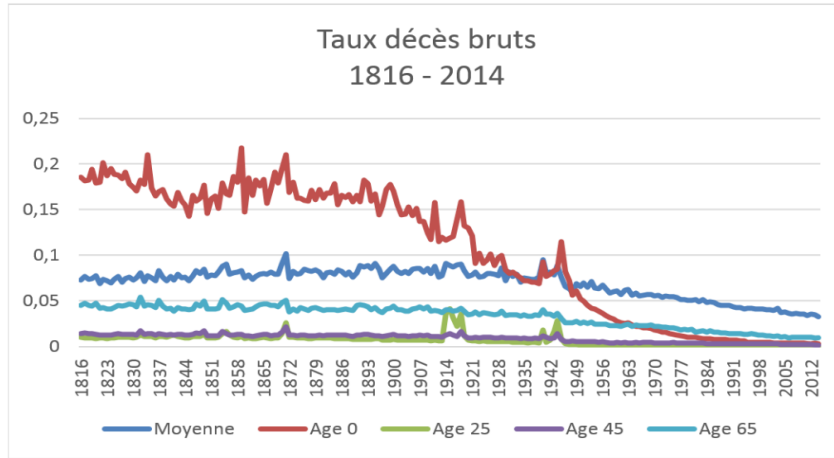
# 04

## **Applications aux données de survie**

# Risques de mortalité et de longévité

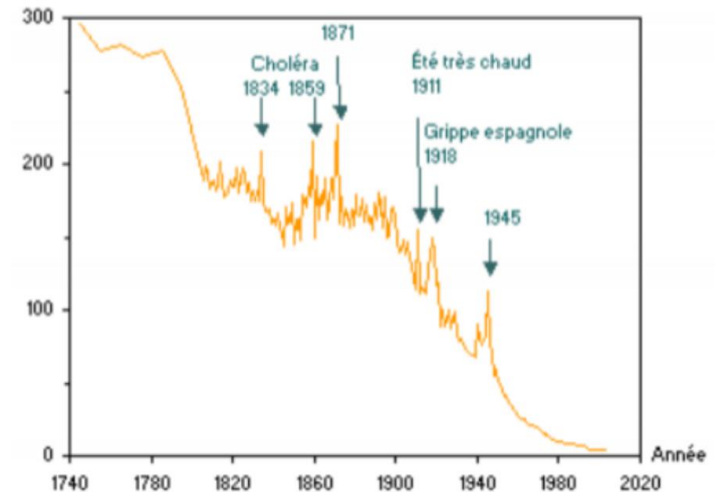
## Un peu de théorie : risque de mortalité

- ✓ Les taux bruts de mortalité pour toutes générations confondues



Taux bruts annuels de mortalité [ $x \rightarrow q_x = 1 - \exp(-\mu_x)$ ]  
pour la période 1816-2014 des âges 0, 25, 45, 65 respectivement

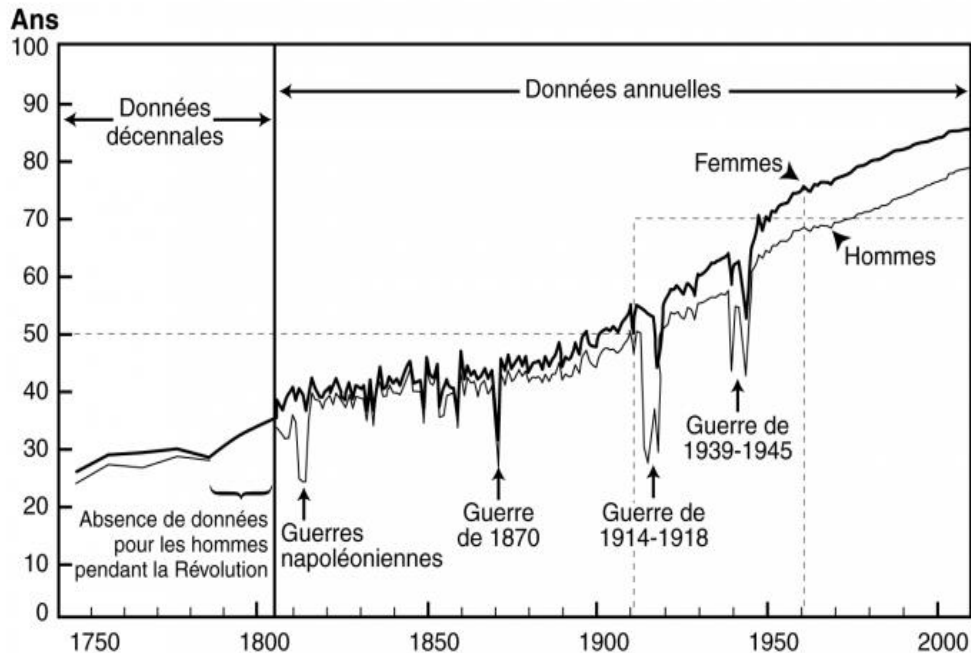
Evolution de la mortalité infantile en France de 1740 à 2009 \*



\* La figure ci-dessus (fait par Gilles Pison) illustre le nombre de la mortalité infantile sur mille, qui est l'indicateur du risque pour un nouveau-né de mourir avant son premier anniversaire

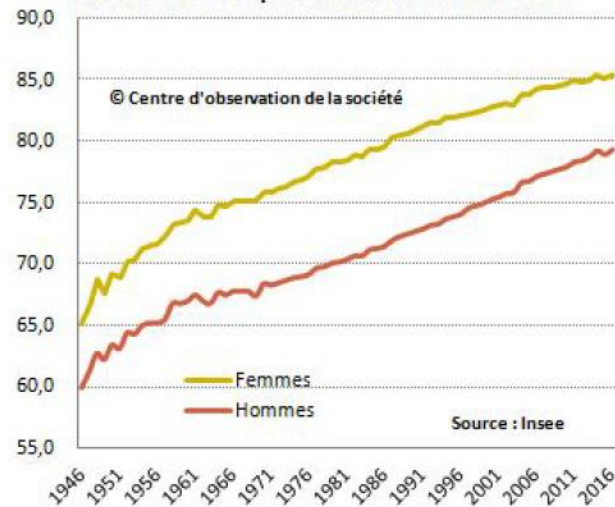
# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité



Evolution de l'espérance de vie dans la population française

Evolution de l'espérance de vie à la naissance

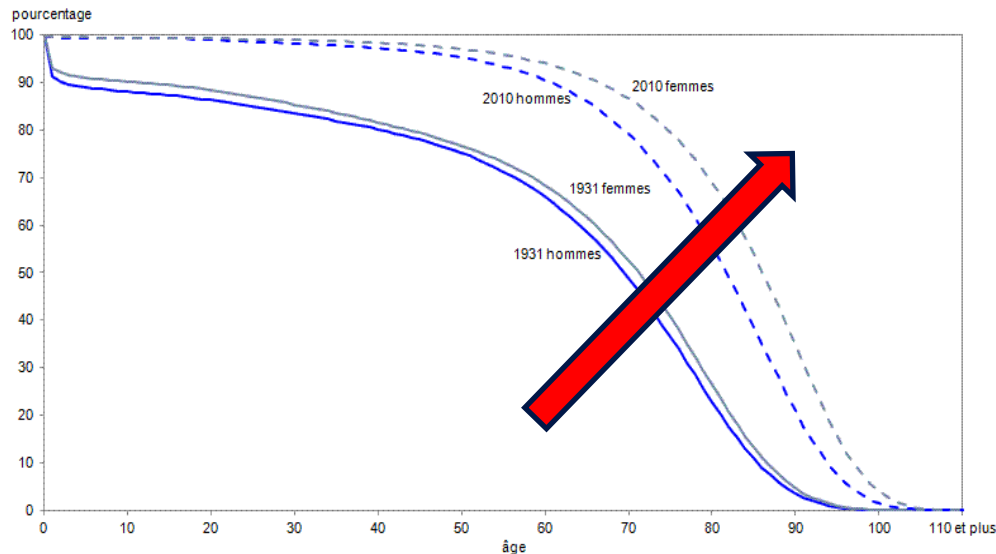


## Observations

- Le **gain en espérance de vie** au cours du XXème siècle est en grande partie dû à la **baisse de la mortalité infantile**
- Depuis la seconde moitié du XXème siècle, le **gain en espérance de vie** est dû aux **progrès dans la lutte contre les maladies cardio-vasculaires et les cancers** et concerne en grande partie les seniors

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité



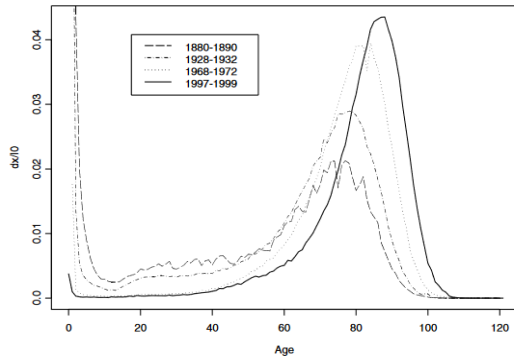
### Observations

- Augmentation de la population des **seniors**
- Augmentation de l'espérance de vie des populations certes, mais également augmentation de la survenance des **risques principalement associés à la vieillesse** comme la dépendance...

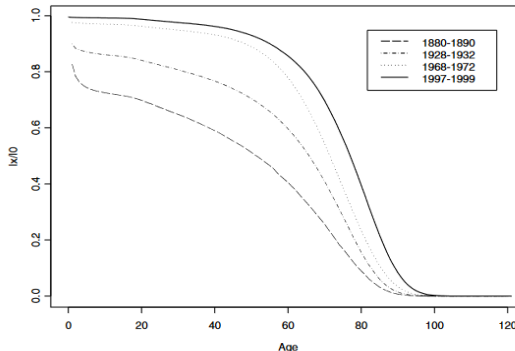
Phénomène de « rectangularisation » de la courbe de survie

# Risques de mortalité et de longévité

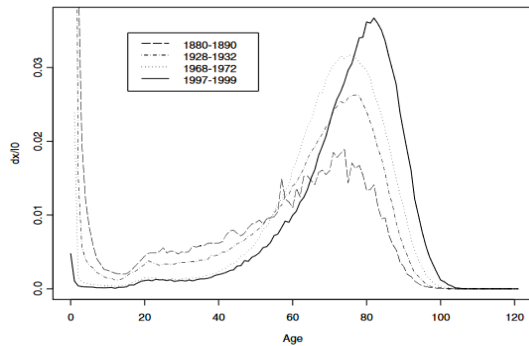
## Viellissement de la population : « rectangularisation » des courbes de survie



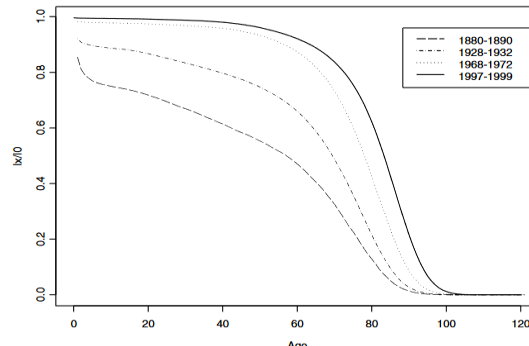
Densité  $x \rightarrow d_x/l_0$  pour les hommes



Fonction de survie  $x \rightarrow l_x/l_0$  pour les hommes



Densité  $x \rightarrow d_x/l_0$  pour les femmes



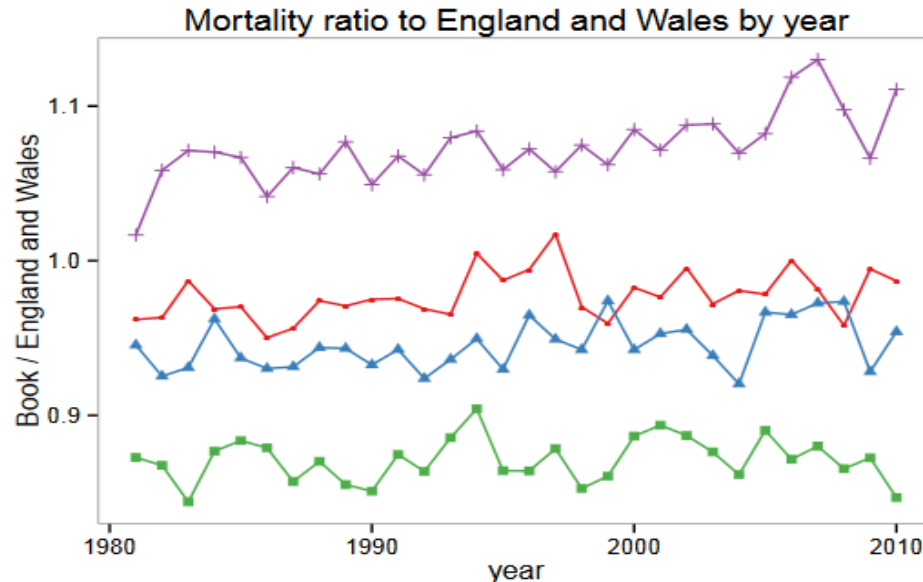
Fonction de survie  $x \rightarrow l_x/l_0$  pour les femmes

Si on observe les graphes on constate une concentration croissante autour du mode. Ceci a pour effet de "rectangulariser" la courbe de survie  $x \rightarrow {}_x p_0 = l_x/l_0$  (les individus vivent en grand nombre jusqu'à des âges élevés, avant de mourir).

De plus, le mode tend à se déplacer vers les âges élevés (phénomène d'expansion).

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité



Moyenne sur l'ensemble de la population des retraités

Moyenne sur l'ensemble de la population des retraités (pondérée par le montant des retraites)

Moyenne sur l'ensemble de la population des retraités les plus riches

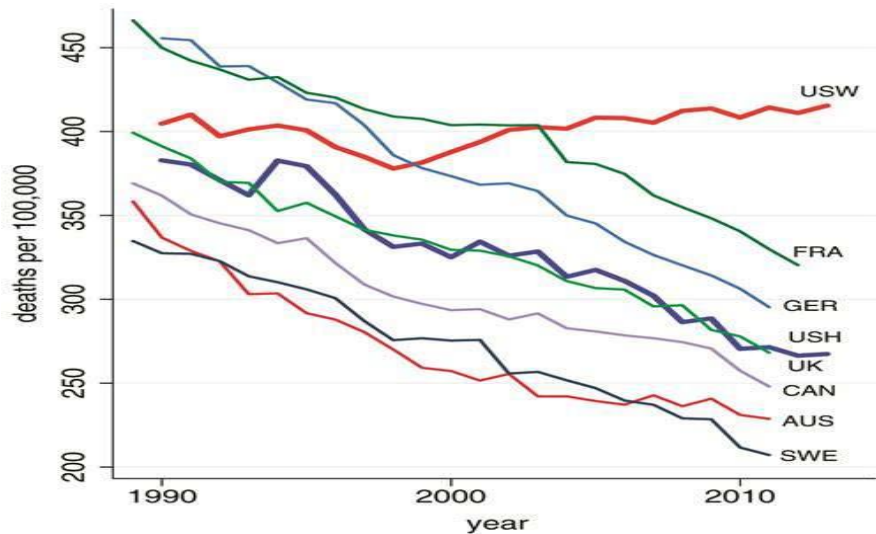
Moyenne sur l'ensemble de la population des retraités les plus pauvres

### Choix de la table de référence : le risque de base

- La gestion du risque de longévité nécessite la création de **tables de mortalité générationnelles**.
- La création de ces tables peut se faire sur la base des données seules (lorsque les données sont suffisantes) ou alors via un **positionnement par rapport à une référence externe**.
- **Le risque de base est le risque lié au choix de la table de positionnement (qui peut s'avérer impactant)**
- Par nature, l'analyse du risque de base repose davantage sur des **jugements d'experts**.

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité



Evolution des taux de décès pour différents pays pour les âges 45-54 ans



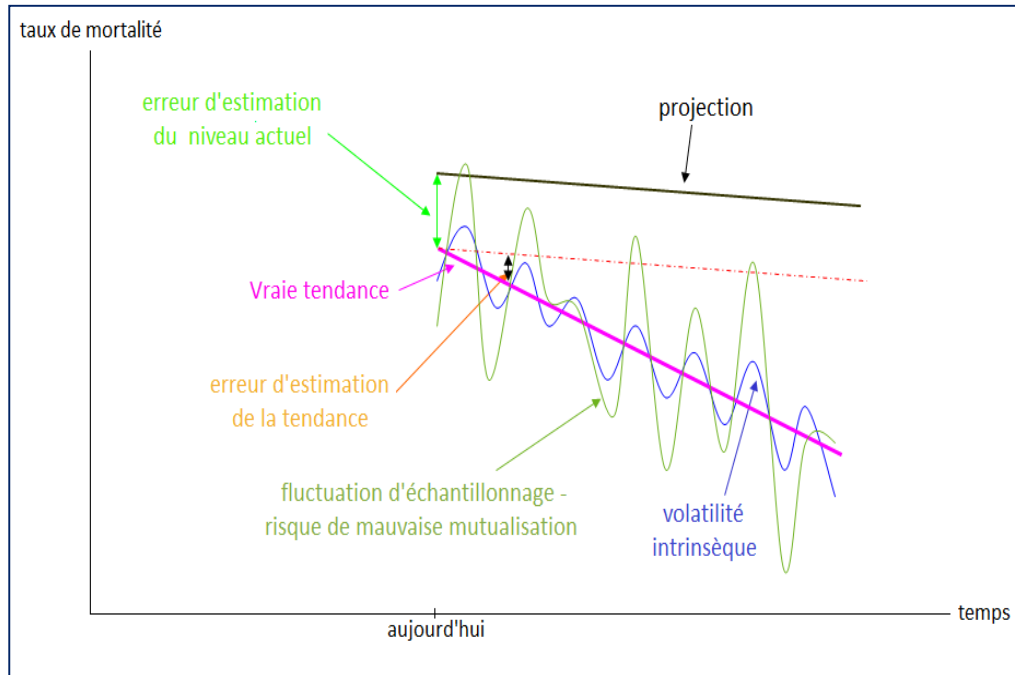
Deaton (prix nobel économie 2015) et Case

### Inflexion de tendance et explications

- Depuis la fin des années 90, **progression de la mortalité des Américains blancs non hispaniques de 45-54 ans** (voir courbe rouge USW).
- Deaton et Case imputent cette hausse à **l'abus d'alcool, de drogues et aux suicides**, dénonçant les dérives et le mal-être d'une partie de la société américaine.

# Risques de mortalité et de longévité

## Les quatre composantes du risque biométrique associé à la longévité



- Le **risque de niveau** de mortalité à l'origine
- Le **risque de tendance**
- Le **risque de volatilité intrinsèque**
- Le **risque d'échantillonnage** (mauvaise mutualisation)

# Risques de mortalité et de longévité

## Synthèse des sources de risques

- **4 composantes du risque biométrique associé à la longévité :**
  - ✓ Le risque de niveau de mortalité à l'origine
  - ✓ Le risque de tendance
  - ✓ Le risque de volatilité intrinsèque
  - ✓ Le risque d'échantillonnage (mauvaise mutualisation)
- **Risque de base**
  - ✓ Les **risques systématiques** (modification de tendance) comme ceux de longévité et de mortalité,
  - ✓ et les **risques diversifiables** (Taille du portefeuille n'est pas infinie, mutualisation imparfaite).
- **Risque d'incertitude des paramètres**
  - ✓ Les erreurs d'échantillonnage relatives aux paramètres,
  - ✓ et les erreurs de prédiction des séries temporelles.
- **Risque de modèle**
  - ✓ Comment savoir que le modèle retenu est le bon?
  - ✓ Un moyen pratique de prendre en compte le risque de modèle, c'est l'utilisation de critère, (par exemple le critère BIC) pour classer plusieurs modèles (de longévité) pour les prévisions.
- **Risque de pandémie**

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de mortalité

- ✓ Les données brutes permettent de calculer directement le **taux instantané de mortalité**

$$\mu_{x,t} = \frac{D_{x,t}}{E_{x,t}}$$

Avec :  $D_{x,t}$  le nombre de décès à l'âge  $x$  pendant l'année  $t$   
et  $E_{x,t}$  le nombre des personnes exposées au risque décès (sur la même période).

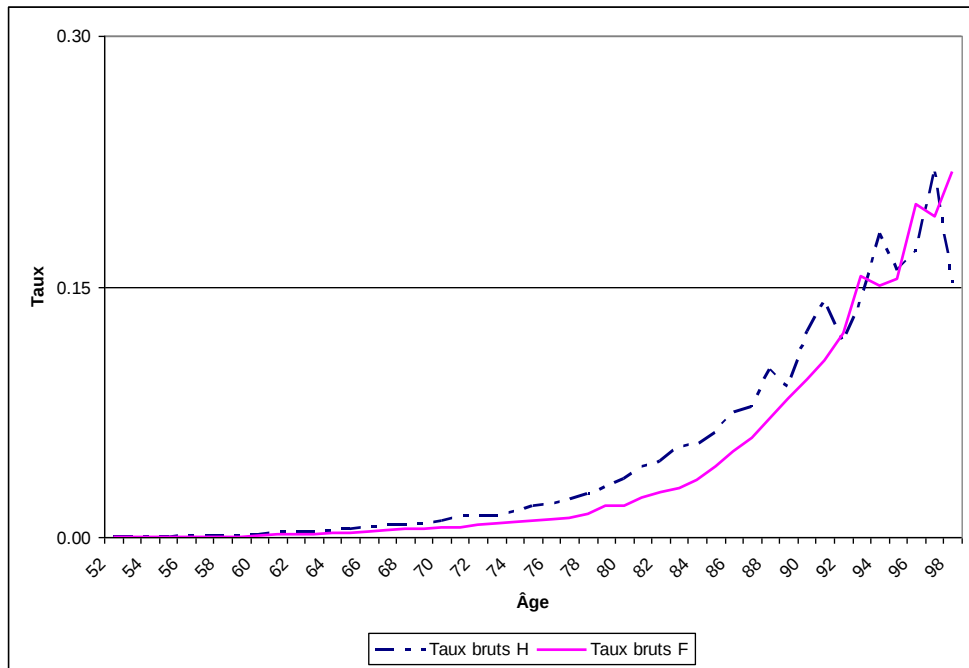
- ✓ Ensuite, on s'intéresse au **taux brut de mortalité** qui est utilisé plus souvent en pratique pour déterminer le niveau d'engagements de l'assureur envers les assurés

$$q_x = 1 - \exp(-\mu_x)$$

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de mortalité

### ✓ Les taux bruts de mortalité du moment



## Caractéristiques

- **Tables à une entrée** : taux de mortalité par âge sans distinction « spécifique » des générations de naissance
- Elles peuvent être **globales** (ie toute la population) ou **segmentées** (ex : genre, CSP, ...)
- **Pas d'anticipation** de l'allongement probable de la durée de vie humaine

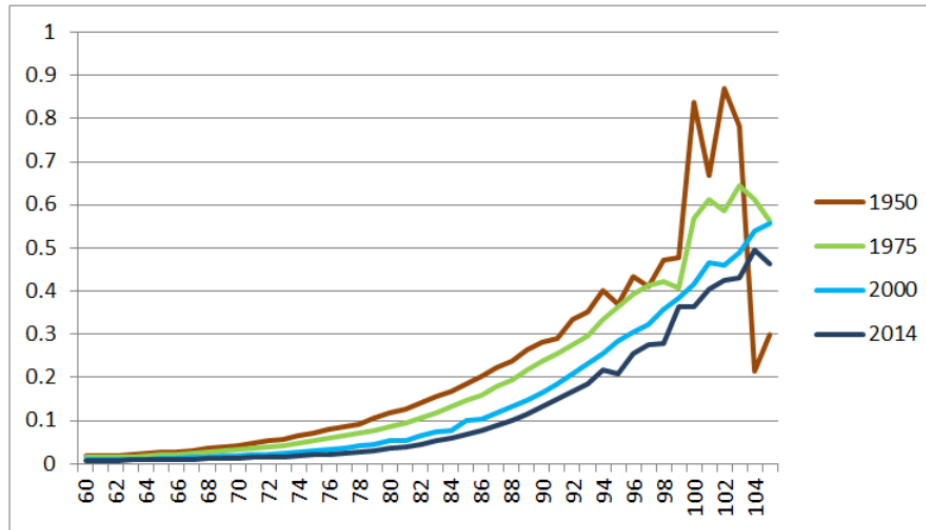
## Utilisations

- **Risque viager** sur une période relativement courte
- **Risques décès** (Temporaire Décès, Vie Entière) pour lesquels l'allongement de la durée de vie est favorable à l'assureur
- ✓ **Exemples** : **TH0002** (table de mortalité du moment de la population masculine française) et **TF0002** (table de mortalité du moment de la population féminine française)

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité

- ✓ Illustration de la volatilité de taux bruts de mortalité (à partir de 60 ans) pour l'ensemble de la population française pour les années 1950, 1975, 2000 et 2014.



Taux bruts annuels de mortalité [ $x \rightarrow q_x = 1 - \exp(-\mu_x)$ ] pour quelques années calendaires sur la population française

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité

### □ Lee-Carter model (1992)

This model describes the force of mortality,  $\mu_{x,t}$  at age  $x$  and time  $t$  by three series of parameters namely  $\alpha_x$ ,  $\beta_x$  and  $\kappa_t$  as follows:

$$\log \mu_{x,t} = \alpha_x + \beta_x \cdot \kappa_t + \varepsilon_{x,t},$$

- $\alpha_x$  gives the average level of mortality at each age over time
- $\kappa_t$  is the general speed of mortality improvement over time
- $\beta_x$  is an age-specific component that characterizes the sensitivity to  $\kappa_t$  at different ages
- $\varepsilon_{x,t}$  captures the remaining variations
- + constraints on the parameters to enforce the uniqueness :  
 $\sum \beta_x = 1$  and  $\sum \kappa_t = 0$ .

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité

### □ Lee-Carter model (1992): dynamique et détection des changements du “drift”

General speed of mortality improvement over time

$$\log \mu_{x,t} = \alpha_x + \beta_x \cdot \kappa_t + \varepsilon_{x,t},$$

Let  $\{\kappa(t), t \in \mathbb{R}\}$  be the Lee-Carter time component whose dynamic satisfying:

$$d\kappa(t) = \xi s^{-\frac{1}{2}} f\left(\frac{t-t_0}{s}\right) dt + dW(t),$$

where

- $t_0 \in C \subset \mathbb{R}$ ,  $\xi$  is non-negative parameter representing the amplitude and  $s$  is a positive parameter representing the scale of the trend.
- $f$  is a square integrable function.
- $W$  is a Brownian motion.

#### OBJETIVE

Testing the null hypothesis of no trend component:  $H_0 : \xi = 0$ , against  $H_1 : \xi \neq 0$ . We use the method of Siegmund and Worsley (1995).

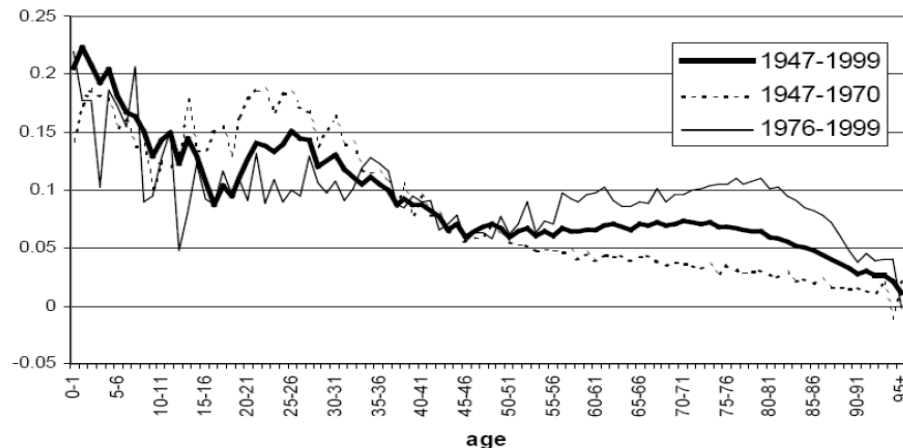
# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité

### □ Lee-Carter model (1992): dynamique de $\beta_x$

$$\log \mu_{x,t} = \alpha_x + \beta_x \cdot \kappa_t + \varepsilon_{x,t},$$

Figure 3.a:  $\beta_x$  schedule for the entire time series 1947-1999 and two selected subsamples 1947-1970 and 1976-1999, female



Longevity improvements at different ages

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité

### □ Cairns, Dowd and Blake (CDB) model (2006)

The general model gives the dynamic of the annual mortality rate  $q_t(x)$  at age  $x$  during the year  $t$  :

$$\text{logit}q_t(x) = \kappa_t^1 \beta_x^1 \gamma_{t-x}^1 + \cdots + \kappa_t^n \beta_x^n \gamma_{t-x}^n.$$

Three types of parameters

- $\beta^i$  specific to age
- $\kappa^i$  specific to calendar year
- $\gamma^i$  cohort effect parameters

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité

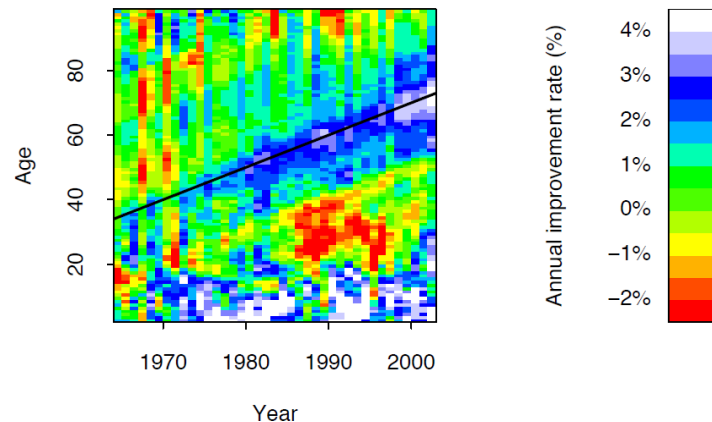
### □ Cairns, Dowd and Blake (CDB) model (2006)

#### ▪ Effet cohorte

**Cohorte** : ensemble d'individus ayant vécu un **même événement** au cours d'une même période.

⇒ Les individus d'une même cohorte vont avoir des **caractéristiques démographiques similaires** ("effet cohorte").

**Exemple** d'effet cohorte : les personnes nées entre 1925 et 1945 au Royaume-Uni présentent une amélioration de la mortalité plus rapide que les générations précédentes et suivantes.



Cairns et al., (2009), Effet cohorte (UK)

#### Facteurs influents :

- Impact de la seconde guerre mondiale sur la génération précédente,
- Consommation de tabac de la génération suivante,
- Rationnement en début de vie,
- Réformes sociales positives,
- Taux de fertilité liés aux caractéristiques individuelles.

⇒ importance de tenir compte de facteurs extérieurs (aléatoires), et des caractéristiques individuelles dans les intensités démographiques.

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité

### □ CDB AGE-PERIOD/COHORT (2008)

A particular example of the CDB model, featuring both the cohort effect and the age-period effect :

$$\text{logit } \mathbf{q}_{x,t} = \kappa_t^1 + \kappa_t^2(x - \bar{x}) + \kappa_t^3 \left( (x - \bar{x})^2 - \sigma_x^2 \right) + \gamma_{t-x},$$

- $\bar{x} = \frac{\sum_{x=x_0}^{x_n} x}{x_n - x_0 + 1}$  is the mean age of the historical mortality rates,
- $\sigma^2$  is the standard deviation of ages, equal to  $\frac{\sum_{x=x_0}^{x_n} (x - \bar{x})^2}{x_n - x_0 + 1}$ ,
- $\kappa_t^1$ ,  $\kappa_t^2$  and  $\kappa_t^3$  correspond respectively to the general mortality improvement over time, the specific improvement for every age and the age-period related coefficient,
- $\gamma_{t-x}$  represents the cohort-effect component.

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité

### ❑ Table prospective (générationnelle)

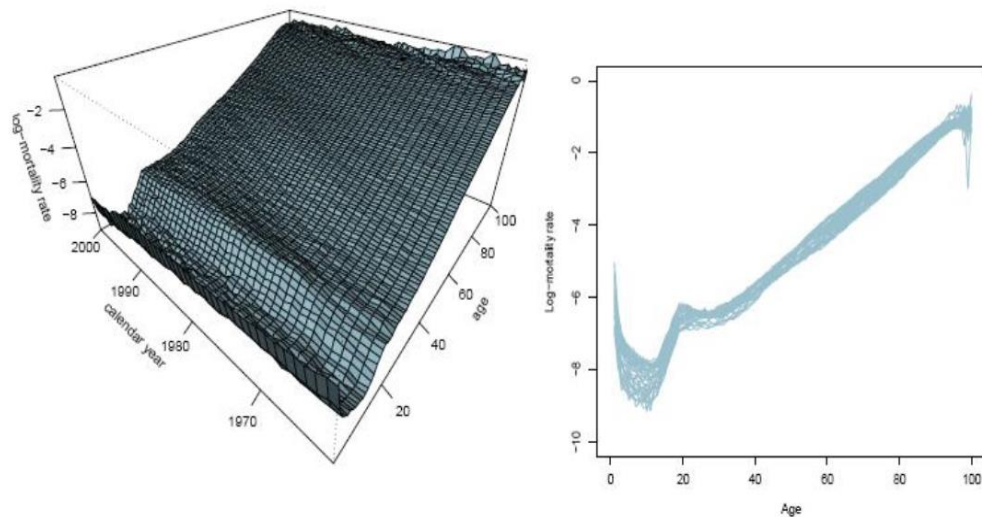


Figure 4 Log-mortality structure of French male, 1962-2000

### Caractéristiques

- **Tables à deux entrées** : probabilité de décéder par l'âge et le temps suivant l'année calendaire ou la génération de naissance
- Elles peuvent être **globales** (ie toute la population) ou **segmentées** (ex : genre, CSP, ...)
- Intègrent une **certaine anticipation de l'allongement probable de la durée de vie humaine**.

### Utilisations

- **Risque viager** sur une période longue
- Risques pour lesquels l'allongement de la durée de vie représente un danger (ex : contrats de rentiers, dépendance...)
- **TGH05 – TGF05** (tables nationales françaises: G pour générationnelle, H pour homme et F pour femme),
- **TPRV93** (ancienne table prospective avec prise en compte de l'allongement de l'espérance de vie par décalage d'âge)

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité

### □ Evolution d'un portefeuille de rentiers

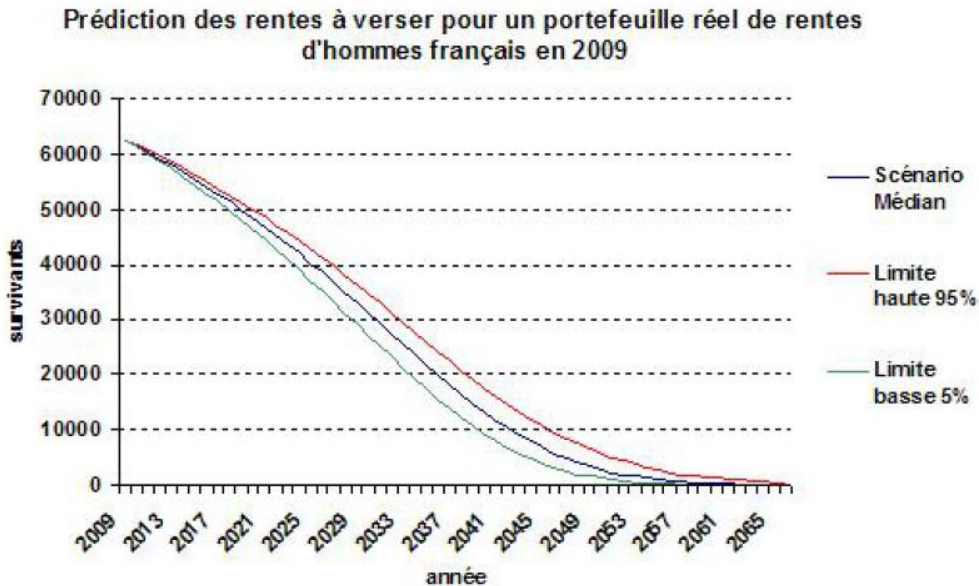


FIGURE: Survival extreme scenarii of policyholders

# Risques de mortalité et de longévité

## Un peu de théorie : risque de longévité

### □ Evolution d'un portefeuille de rentiers

- Le **risque de niveau** de mortalité à l'origine
  - ✓ Taux de mortalité actuel du portefeuille, déterminé au vu de l'expérience
  - ✓ Répercussion constante dans le temps d'une erreur d'estimation du niveau de mortalité
- Le **risque de tendance**
  - ✓ Tendance = évolution prévue de la mortalité dans le temps, depuis le niveau à l'origine
  - ✓ Répercussion croissante dans le temps d'une erreur d'estimation de la tendance
- Le **risque de volatilité intrinsèque**
  - ✓ Oscillations « naturelles » de la mortalité autour de la tendance
  - ✓ Peut être occasionnée par des phénomènes d'épidémies ou de canicules par exemple
- Le **risque d'échantillonnage** (mauvaise mutualisation)
  - ✓ Rend compte de la volatilité de la mortalité liée à la taille et l'hétérogénéité du portefeuille

Risque diversifiable

Risque non diversifiable

Risque non diversifiable

Risque diversifiable

# Risques de mortalité et de longévité

## Pratiques et exploitations

### ❑ Cadre réglementaire sur l'utilisation des tables de décès

- **Les tables nationales (TF, TH, TGF, TGH)**
- **Les tables de mortalité d'expérience du moment ou prospectives**
  - ✓ Utilisation possible depuis 1993
  - ✓ Elles permettent d'appréhender un comportement de la population assurée qui serait significativement différent de celui des tables réglementaires (anti sélection) et donc de refléter le risque réel du portefeuille
  - ✓ **Les 3 conditions pour pouvoir utiliser une table de mortalité d'expérience :**
    1. Construction de la table de mortalité d'expérience
    2. Certification par un actuaire indépendant agréé par l'IA (la table certifiée doit permettre la constitution de provisions suffisantes et prudentes)
    3. Suivi annuel pour s'assurer que la table peut toujours être utilisée (utilisation limitée à 5 ans maximum)

# Risques de mortalité et de longévité

## Pratiques et exploitations

### ❑ Cadre réglementaire sur l'utilisation des tables de décès

- Les tables de mortalité dites « Best Estimate » du moment ou prospectives
  - ✓ Tables utilisées pour les calculs de provisions dans différentes normes comptables ou prudentielles :
    1. MCEV © (Market Consistent Embedded Value )
    2. IFRS (International Financial Reporting Standards )
    3. Solvabilité 2 (calculs de provisions best estimate)
  - ✓ Utilisation pour :
    1. suivi des risques,
    2. Prévisions
    3. études de tarification
    4. et rentabilité (business plan)

# Risques de mortalité et de longévité

## Pratiques et exploitations

### □ Démarche de construction d'une table d'expérience générationnelle

- **Variables requises pour le calibrage des lois de longévité**
  - ✓ Les données sont généralement issues des systèmes de gestion opérante (complétées par des données archivées)
  - ✓ Les principales données requises pour construire une table de mortalité d'expérience sont :
    - Identifiant
    - Date de naissance
    - Statut
    - Date d'entrée dans le portefeuille
    - Date de sortie du portefeuille
    - Code de sortie
  - ✓ Les informations complémentaires intéressantes pour réaliser une segmentation plus fine sont :
    - Sexe
    - Situation familiale
    - CSP
    - Montant de la garantie
    - ...

# Risques de mortalité et de longévité

## Pratiques et exploitations

### □ Démarche de construction d'une table d'expérience générationnelle

- Quelques statistiques de base et indicateurs de suivi du risque:

- ✓ Introduction de deux **indicateurs fondamentaux**:
  - Nombre de décès
  - Exposition
- ✓ Synthèse des **statistiques** à réaliser :
  - **Analyse globale :**
    - Volumétrie de la base (avant et après retraitements)
    - Volume des expositions
    - Volume des décès
  - **Analyse des expositions et des décès :**
    - Par âge
    - Par année (période d'observation)
  - **Indicateurs complémentaires :**
    - Sex ratio (exposition Femme/exposition totale)
    - Age moyen au décès
    - Age moyen des exposés

# Risques de mortalité et de longévité

## Pratiques et exploitations

### □ Démarche de construction d'une table d'expérience générationnelle

- **Présentation des choix méthodologiques:**

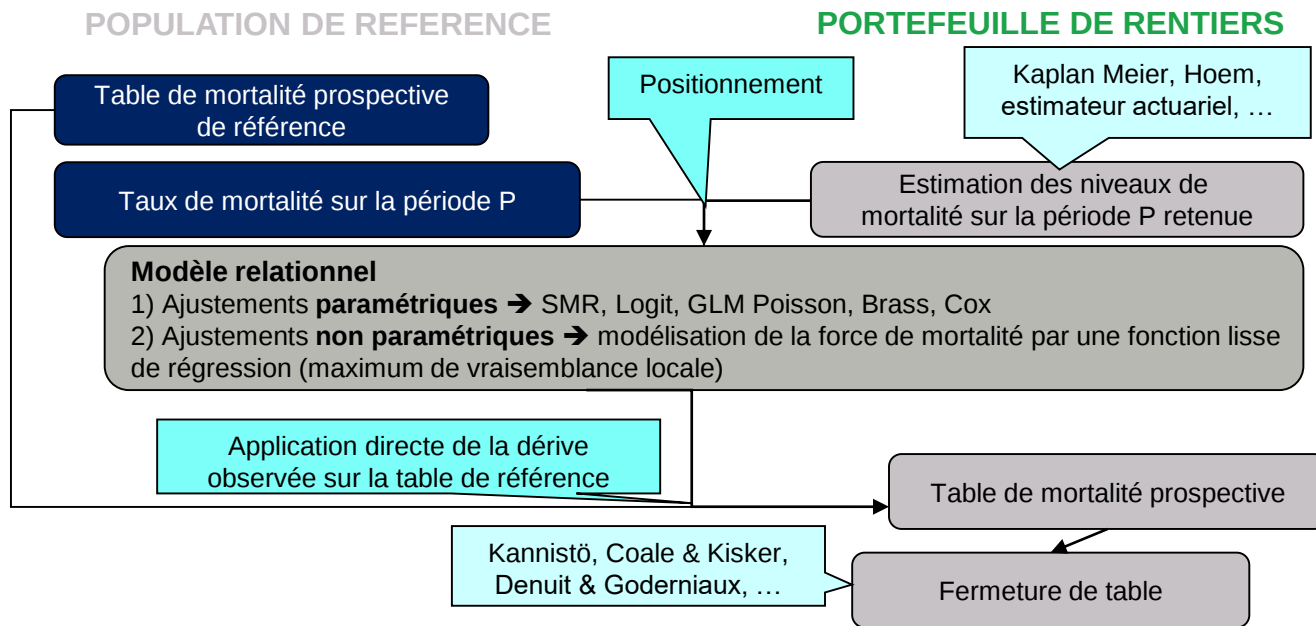
- ✓ Etapes d'estimation et de modélisation : de nombreux modèles de construction de tables de mortalité prospectives ont fait leur preuve
  - Lee Carter,
  - Log Poisson bilinéaire,
  - Cairns Blake Dowd (CBD),
  - Application de la dérive de mortalité
  - ...
- ✓ Méthodes de **positionnement**, une bonne alternative...:
  - En général, les **historiques** d'observation et **volumes** de données de nos portefeuilles **ne permettent pas une application directe de ces modèles théoriques**, d'où le recours à des méthodes de positionnement.

# Risques de mortalité et de longévité

## Pratiques et exploitations

### □ Démarche de construction d'une table d'expérience générationnelle

- Méthodes de positionnement:



# Risques de mortalité et de longévité

## Pratiques et exploitations

### □ Démarche de construction d'une table d'expérience générationnelle

- Méthodes de positionnement : **SMR (1 paramètre)**

#### Principe

- Approche qui consiste à déterminer un coefficient d'abattement ou de majoration, le SMR, et à l'appliquer aux taux de décès d'une table de référence.

$$\tilde{q}_x(t) = \text{SMR} \times q_x^{\text{réf}}(t) \quad \text{avec} \quad \text{SMR} = \frac{\sum_{(x^*, t^*)} D_{x^*, t^*}}{\sum_{(x^*, t^*)} E_{x^*, t^*} \times q_{x^*}^{\text{réf}}(t^*)}$$

#### Avantages

- Simplicité
- Globalement très adéquate

#### Inconvénients

- Localement inadéquate
- Paramètre indépendant de l'âge  $x$  et de l'année calendaire  $t$
- Sensibilité à la table de référence choisie

# Risques de mortalité et de longévité

## Pratiques et exploitations

### □ Démarche de construction d'une table d'expérience générationnelle

- Méthodes de positionnement : **Modèle relationnel (2 paramètres)**

#### Principe

- Approche qui consiste à effectuer une régression linéaire sur les taux bruts.
- Afin d'éviter la problématique liée au fait que les taux doivent être compris entre 0 et 1, cette régression s'effectue après application de la fonction logit sur nos taux.

$$\text{logit } \tilde{q}_{x^*}(t^*) = \alpha + \beta \text{logit } q_{x^*}^{\text{réf}}(t^*) + \epsilon_{x^*, t^*}.$$

#### Avantages

- Simplicité
- Inclut de la prudence dans le cas du risque de longévité

#### Inconvénients

- Paramètres indépendants de l'âge  $x$  et de l'année calendaire  $t$
- Sensibilité à la table de référence choisie

# Risques de mortalité et de longévité

## Pratiques et exploitations

### □ Démarche de construction d'une table d'expérience générationnelle

- **Méthodes de positionnement** : **Modèle linéaire généralisé de Poisson incluant des interactions avec l'âge et l'année calendaire**

#### Principe

- Approche qui utilise le cadre des GLM (modèle de Poisson) où la référence de mortalité est une variable explicative.
- Ce modèle inclut des interactions avec l'âge  $x$  et l'année calendaire  $t$ .

$$D_{x^*, t^*} \sim \mathcal{P} \left( E_{x^*, t^*} \mu_{x^*}(t^*) \right),$$

$$\text{avec } \mu_{x^*}(t^*) = \beta_0 + \beta_1 \log q_{x^*}^{\text{réf}}(t^*) + \beta_2 x^* + \beta_3 t^* + \beta_4 x^* t^*,$$

#### Avantages

- Interactions avec l'âge  $x$  et l'année calendaire  $t$

#### Inconvénients

- Hypothèses supplémentaires (mortalité constante)
- Sensibilité à la table de référence choisie

# Risques de mortalité et de longévité

## Pratiques et exploitations

### □ Démarche de construction d'une table d'expérience générationnelle

- **Méthodes de positionnement :** Lissage non-paramétrique de la table du moment et application d'une dérive de la mortalité

#### Principe

- Approche qui consiste à venir lisser les taux bruts de manière non paramétrique puis à appliquer la dérive de mortalité issue d'une table de référence.

$$D_x \sim \mathcal{P} \left( E_x q_x^{\text{réf}} \exp(f(x)) \right)$$

#### Avantages

- Lissage non paramétrique
- Pas de relation imposée entre les taux bruts et les taux de la table de référence

#### Inconvénients

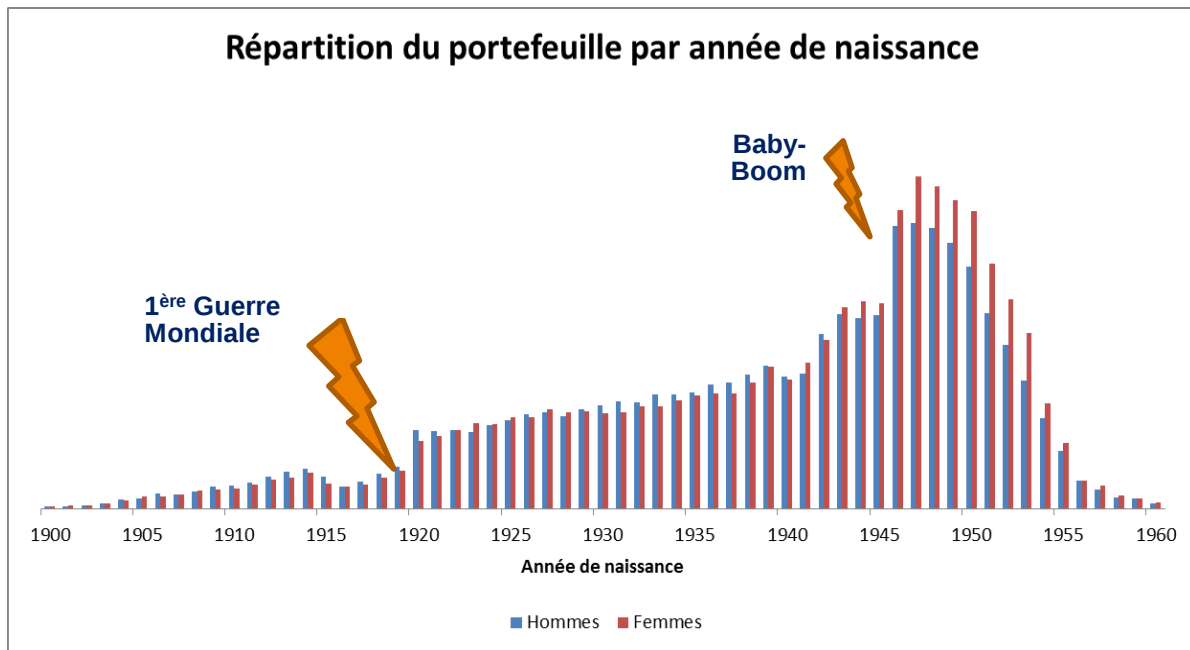
- Plus complexe
- Sensibilité à la table de référence choisie

# Comparaison des méthodes

| Méthode                     | SMR<br>(1 paramètre)                                                                                                                                                                | Modèle relationnel<br>(2 paramètres)                                                                                                                                                                                                                              | Modèle linéaire généralisé<br>de Poisson incluant des<br>interactions avec l'âge et<br>l'année calendaire                                                                                           | Lissage non-<br>paramétrique de la table<br>du moment et application<br>d'une dérive de la<br>mortalité                                                 |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Principe</b>             | Approche qui consiste à déterminer un coefficient d'abattement ou de majoration, le SMR, et à l'appliquer aux taux de décès d'une table de référence.                               | Approche qui consiste à effectuer une régression linéaire sur les taux bruts.<br><br>Afin d'éviter la problématique liée au fait que les taux doivent être compris entre 0 et 1, cette régression s'effectue après application de la fonction logit sur nos taux. | Approche qui utilise le cadre des GLM (modèle de Poisson) où la référence de mortalité est une variable explicative.<br><br>Ce modèle inclut des interactions avec l'âge x et l'année calendaire t. | Approche qui consiste à venir lisser les taux bruts de manière non paramétrique puis à appliquer la dérive de mortalité issue d'une table de référence. |
| <b>Formule mathématique</b> | $\tilde{q}_x(t) = \text{SMR} \times q_x^{\text{réf}}(t)$ avec $\text{SMR} = \frac{\sum_{(x^*, t^*)} D_{x^*, t^*}}{\sum_{(x^*, t^*)} E_{x^*, t^*} \times q_{x^*}^{\text{réf}}(t^*)}$ | $\text{logit } \tilde{q}_{x^*}(t^*) = \alpha + \beta \text{logit } q_{x^*}^{\text{réf}}(t^*) + \epsilon_{x^*, t^*}$                                                                                                                                               | $D_{x^*, t^*} \sim \mathcal{P}(E_{x^*, t^*} \mu_{x^*}(t^*)),$<br>avec $\mu_{x^*}(t^*) = \beta_0 + \beta_1 \log q_{x^*}^{\text{réf}}(t^*) + \beta_2 x^* + \beta_3 t^* + \beta_4 x^* t^*,$            | $D_x \sim \mathcal{P}(E_x q_x^{\text{réf}} \exp(f(x)))$                                                                                                 |
| <b>Avantages</b>            | 1) Simplicité<br>2) Globalement très adéquate                                                                                                                                       | 1) Simplicité<br>2) Inclut de la prudence dans le cas du risque de longévité                                                                                                                                                                                      | Interactions avec l'âge x et l'année calendaire t                                                                                                                                                   | Lissage non paramétrique<br>→ pas de relation imposée entre les taux bruts et les taux de la table de référence                                         |
| <b>Inconvénients</b>        | 1) Localement inadéquate<br>2) Paramètre indépendant de l'âge x et de l'année calendaire t<br>3) Sensibilité à la table de référence choisie                                        | 1) Paramètres indépendants de l'âge x et de l'année calendaire t<br>2) Sensibilité à la table de référence choisie                                                                                                                                                | 1) Hypothèses supplémentaires (mortalité constante)<br>2) Sensibilité à la table de référence choisie                                                                                               | 1) Complexité<br>2) Sensibilité à la table de référence choisie                                                                                         |

# Application à un portefeuille de rentes viagères

## Evolution temporelle des expositions

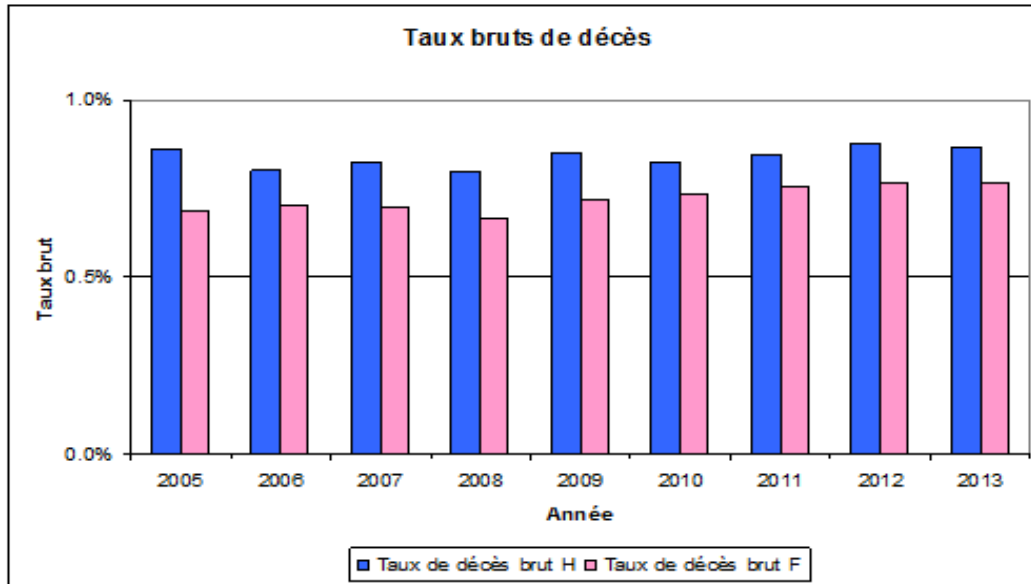


### Constat

- Répartition du portefeuille par année de naissance est cohérente avec la structure de la population nationale

# Application à un portefeuille de rentes viagères

## Evolution temporelle des taux bruts de décès



### Constat

- Les taux de décès bruts sont compris entre 0,5% et 0,85% sur la période d'observation

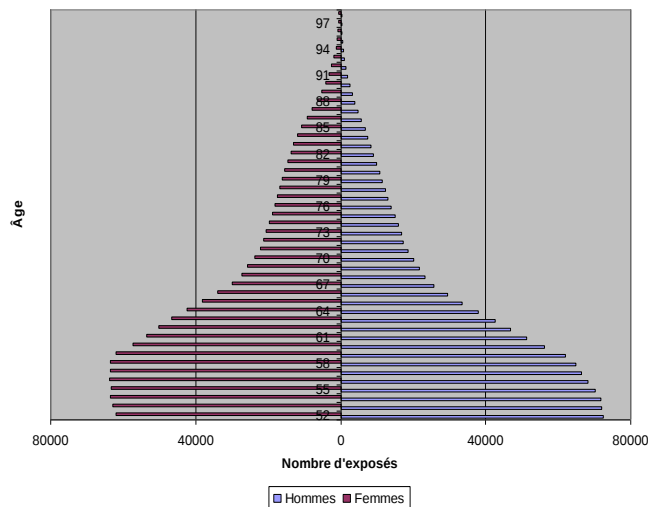
### Choix

- Les hommes présentent des taux moyens plus élevés que les femmes, ce résultat étant logique au vu des précédents graphes présentés

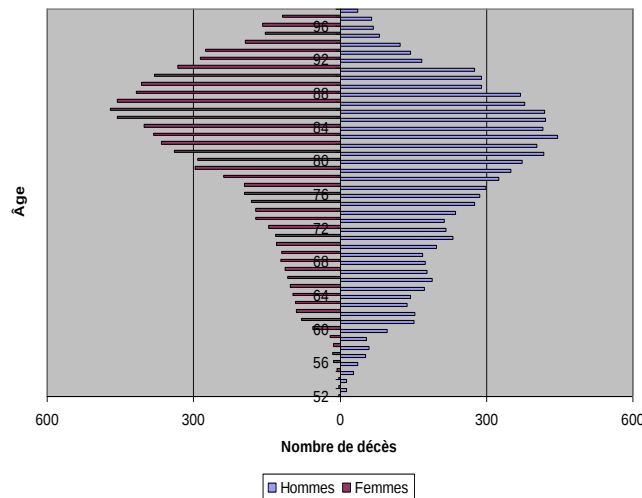
# Application à un portefeuille de rentes viagères

## Indicateurs de sinistralité observée

Pyramide des âges d'exposition



Pyramide des âges de décès



### Constat

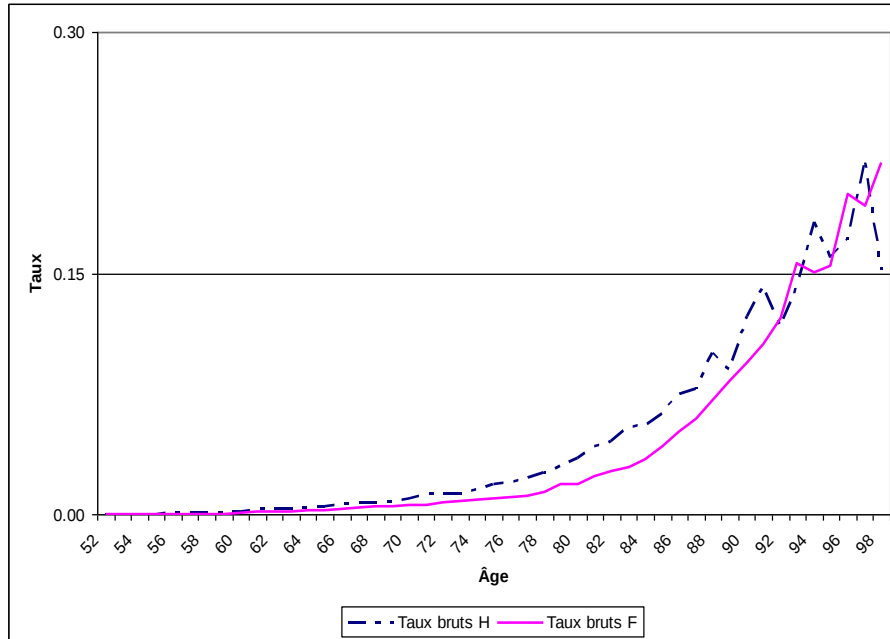
- L'exposition des hommes avant 60 ans est supérieure à celle des femmes. Inversion de tendance après 60 ans.
- L'âge du pic de décès des hommes est plus faible que celui des femmes (83 ans vs 86 ans soit 3 ans de différence)

### Choix

- **Table de référence** : les données nationales comme référence (potentiellement pertinentes!)

# Application à un portefeuille de rentes viagères

## Estimation des taux bruts et lissages



### Méthode

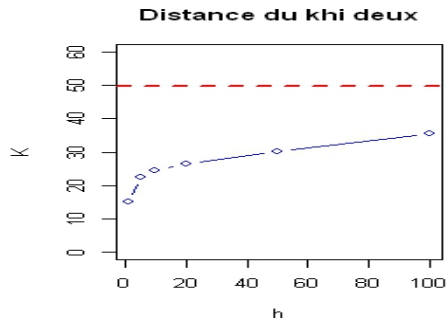
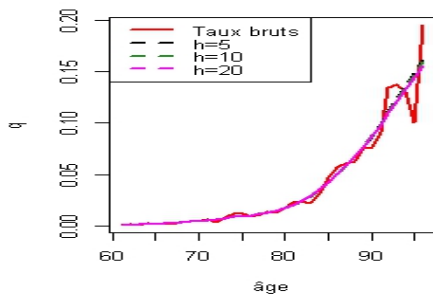
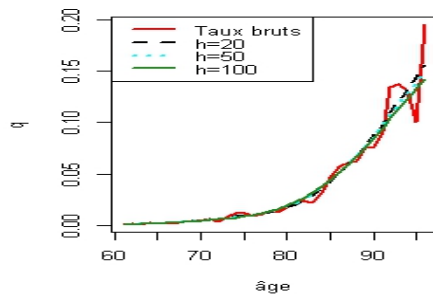
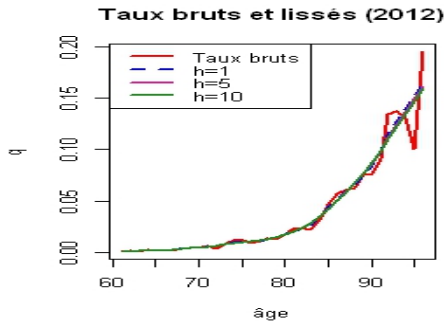
- Taux bruts (Kaplan Meir)

### Conclusion

- Les hommes présentent des taux moyens plus élevés que les femmes (résultat cohérent avec les indicateurs et logique au vu des précédents graphes présentés)

# Application à un portefeuille de rentes viagères

## Estimation des taux bruts et lissages



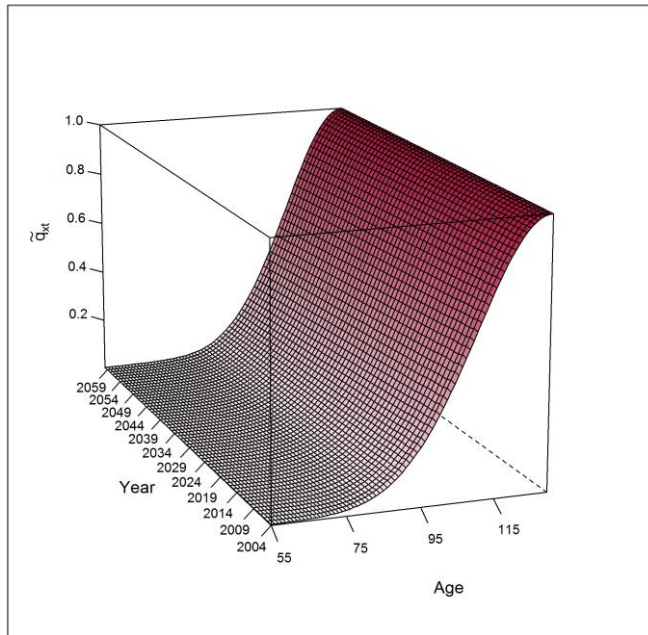
### Méthodes

- Lissage (Whittaker-Henderson)

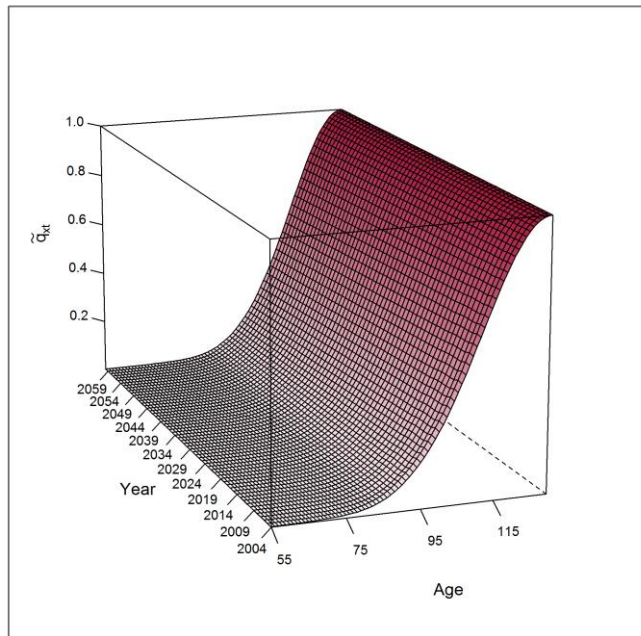
# Application à un portefeuille de rentes viagères

## Table générationnelle Best Estimate

Fitted prob. of death After Completion, Method4 , Male ,pop.



Fitted prob. of death After Completion, Method4 , Female ,pop.

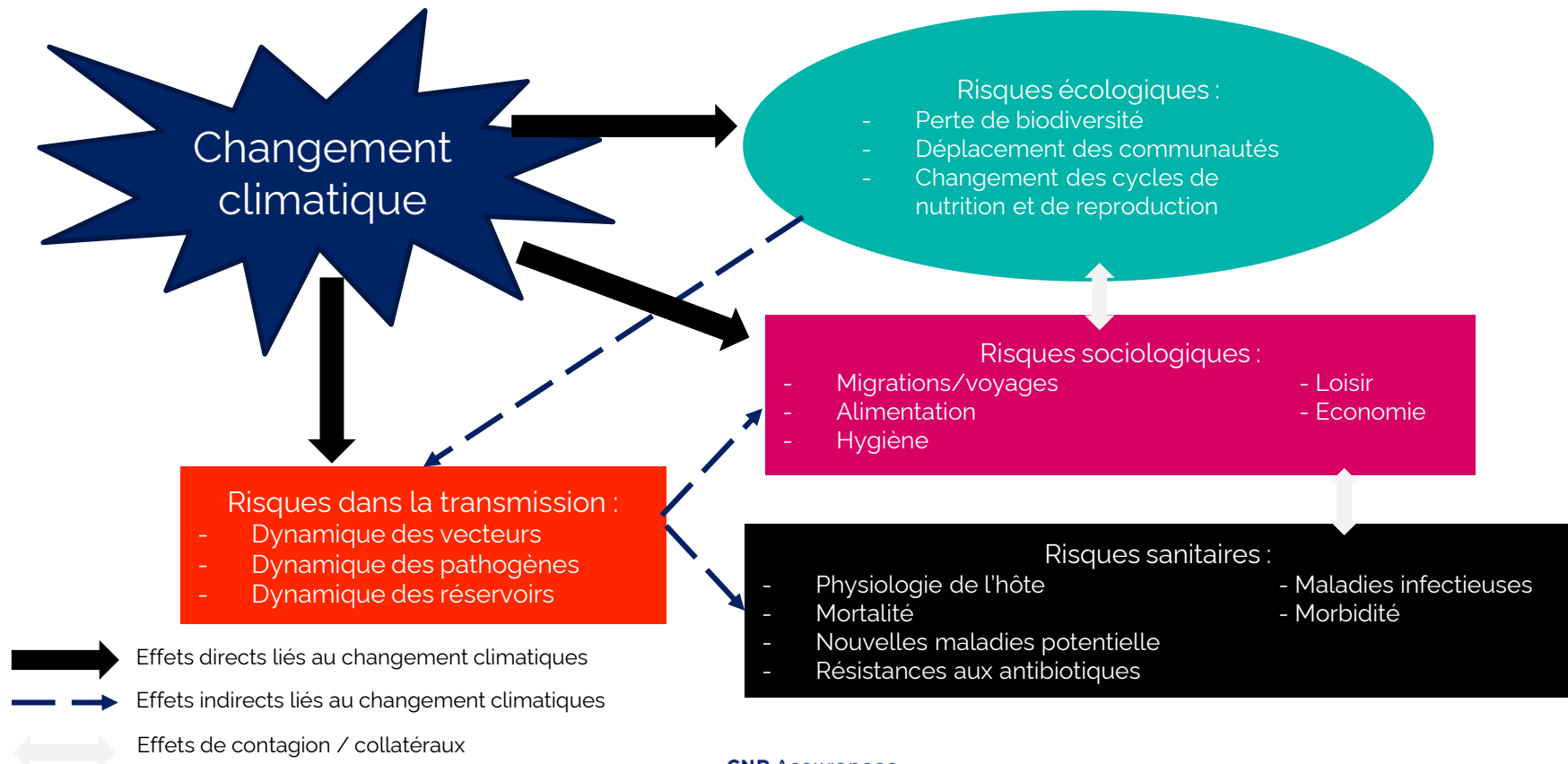


### Choix Méthode 4

- Lissage non-paramétrique de la table du moment et application d'une dérive de la mortalité.

# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

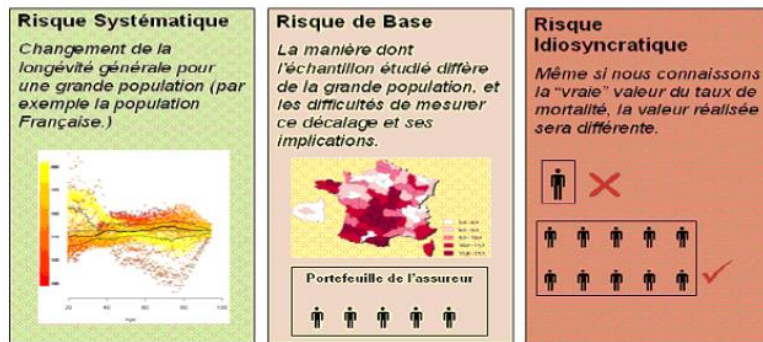
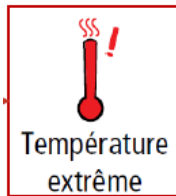
Liens complexes (direct et/ou indirect) entre changement climatique et autres risques



# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

## Contexte de l'étude sur la mortalité

- Le risque de mortalité est par définition, le risque lié à l'incertitude sur l'évolution des taux de mortalité.
  - ✓ C'est le risque de voir un individu vivre moins longtemps que prévu, et donc pour ce qui est d'une compagnie d'assurance vie de devoir faire face à une oscillation des engagements estimés.
- Le risque de mortalité se structure en trois composantes :
  - ✓ le risque systématique,
  - ✓ le risque de base,
  - ✓ et le **risque idiosyncratique** : parmi les facteurs d'incidence de ce risque figure notamment les **impacts du dérèglement climatique**, en lien avec l'occurrence de températures extrême



# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

## Cadre et objectifs

- **Objectif** : utiliser des données climatiques dans les modèles de projection de la mortalité/longévité
- **Applications aux zones** : France, Brésil, Italie,...
- **Innovation** : intégration de l'effet « changement climatique » dans les modèles de mortalité

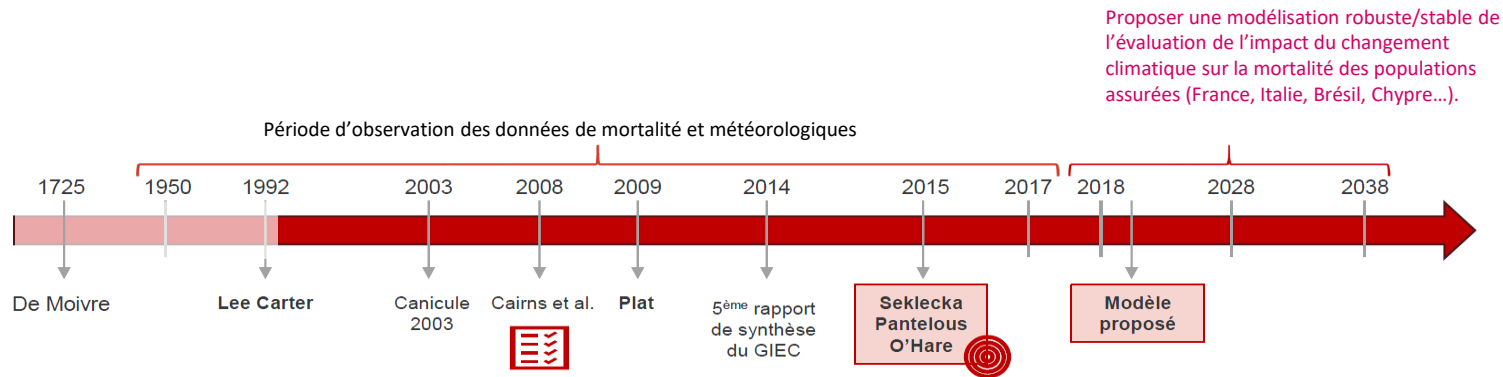


Figure 1 : Evolution des modèles de mortalité

# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

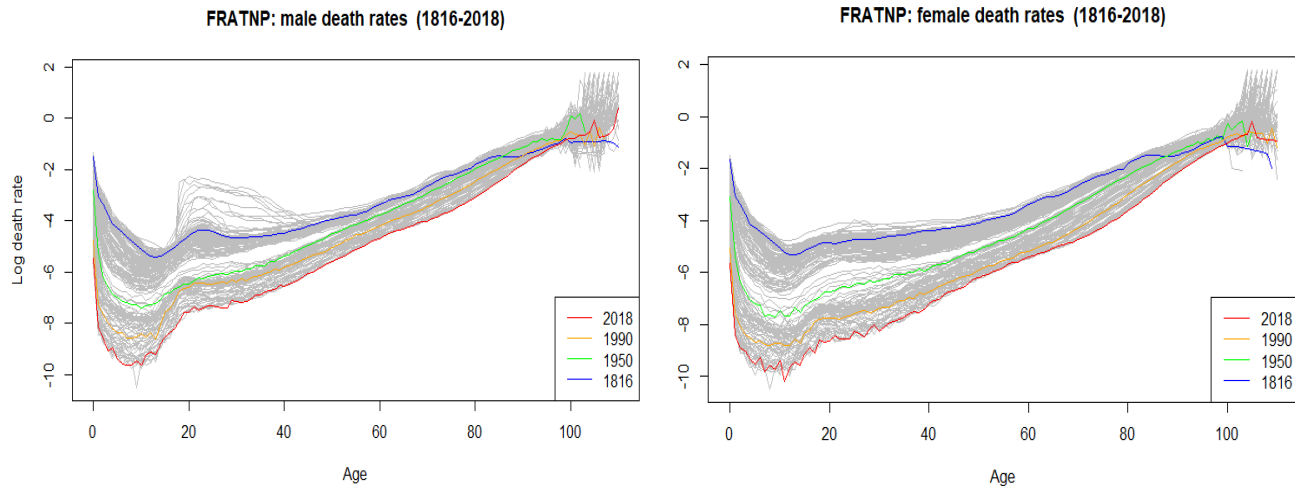
## Données et outils de modélisation

- **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/](https://data.giss.nasa.gov/gistemp/)).
- **Package R pour récupérer les données** : *library (demography)*
- **Logiciel statistique** : R CORE TEAM (2018) intégrant le package StMoMo, pour « Stochastic Mortality Modelling », publié par ANDRES VILLEGAS ET AL (2017).
- **Historique de données – mise à jour CNP Assurances**: 1816 – 2018 (vs 2017 dans l'étude initiale)
- **Historique de calibrage** : 1950 à 2018
- **Données** : Le taux de mortalité de la France selon âge et année (Homme et Femme)
- **Tranche d'âge** : 0 à 100
- **Critère (valeur minimale) de sélection du meilleur modèle (stochastique)** : Akaike Information criterion (AIC) et Bayesian Information Criterion (BIC)

# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

## Analyse des résultats avant intégration des effets liés au changement climatique

- Même si l'on constate des évolutions différentes de la mortalité par âge suivant le critère du genre (Homme et Femme), la tendance reste à la baisse avec le temps depuis 1816.
- Le choix de la période de calibrage à partir de 1950 permet d'exclure les périodes des grandes guerres afin de ne pas biaiser les estimations



# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

## Analyse des résultats avant intégration des effets liés au changement climatique

- 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)

# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

## Analyse des résultats avant intégration des effets liés au changement climatique

- Après comparaison avec l'étude initiale, nous avons vérifié les résultats des calculs puis les avons estimés à l'aide de trois nouveaux modèles (RH, CBD et M7) de 1950 à 2018.
- A partir des résultats dans le tableau 2 (ci-dessous) :
  - ✓ Nous retenons le modèle OAL pour les hommes (comme pour l'étude initiale).
  - ✓ Pour les femmes, nous avons observé que la valeur d'AIC et BIC du modèle RH sont inférieurs à celles du modèle PLAT. Les résultats sont très proches et nous retenons les modèles RH et PLAT pour l'étape de projections des résultats.

| 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

# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

## Analyse des résultats avant intégration des effets liés au changement climatique

- Validation des modèles sur projection de long terme (projection sur 30 prochaines années):
  - ✓ Nous **validons** le **modèle OAL** pour les **hommes** (comme pour l'étude initiale).
  - ✓ Nous **rejetons** le **modèle RH** et **validons** le **modèle PLAT** pour les **femmes** (comme pour l'étude initiale).

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

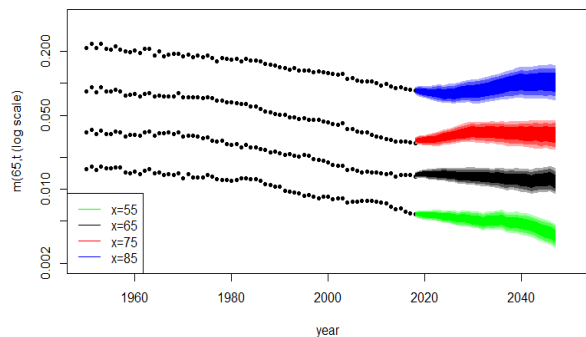


Figure 21 : Le **modèle OAL** pour prédire le taux de mortalité des **hommes** sur 30 ans (2018-2048) pour différents groupes d'âges

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

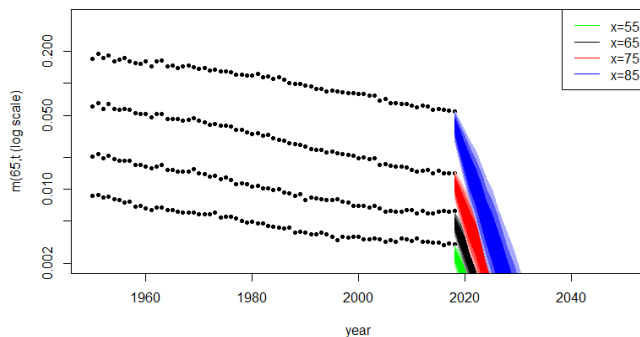


Figure 22 : Le **modèle RH** pour prédire le taux de mortalité des **femmes** sur 30 ans (2018 - 2048) pour différents groupes d'âges

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

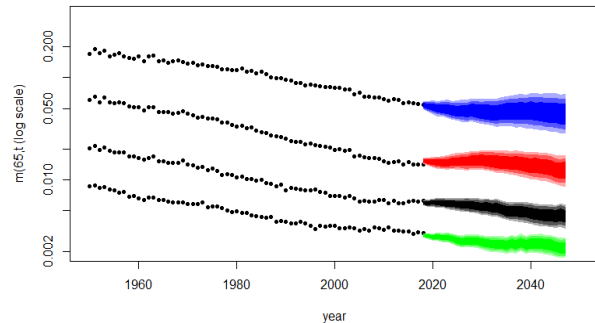


Figure 23 : Le **modèle PLAT** pour prédire le taux de mortalité des **femmes** sur 30 ans (2018 - 2048) pour différents groupes d'âges

# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

## Intégration des effets liés au changement climatique : impact de la température

- 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 suivants :
  - ✓  $k_t^{(4)}$  : un processus stochastique qui permet d'exprimer l'évolution de la mortalité en fonction de la température
  - ✓  $a$  : un âge à partir de laquelle on considère que la température peut avoir un effet sur la mortalité
  - ✓  $C_x$  : un coefficient de corrélation entre la température et la mortalité

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

### 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

# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

## Intégration des effets liés au changement climatique : évolution de la température moyenne

### Méthode :

- ✓ Agrégation des données de température mensuelles moyenne des différentes régions pour obtenir la température moyenne au niveau de la France.
- ✓ Estimation des variables de température annuelle (maximale, minimale, moyenne) et le nombre de mois avec une température supérieure à 20°C ou inférieur à 0°C

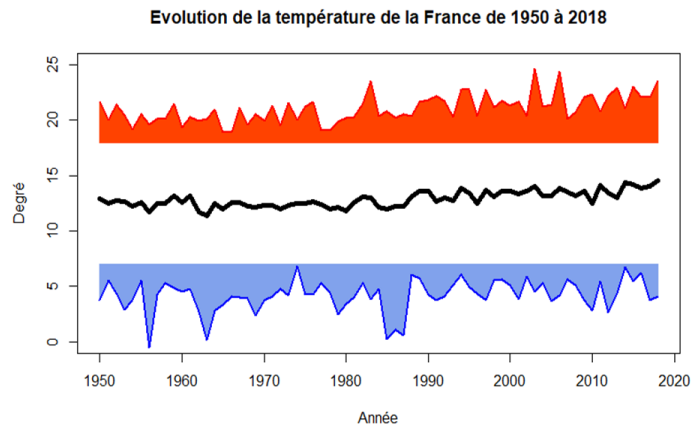


Figure 31 : Evolution de la température de la France de 1950 à 2018

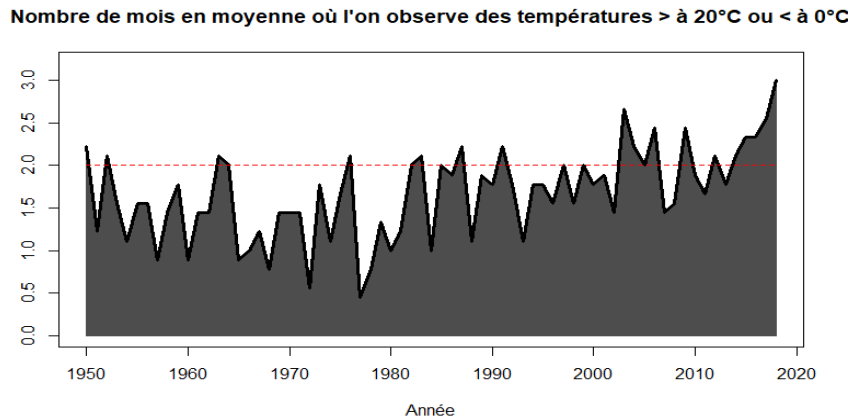


Figure 32 : Evolution du nombre de mois en moyenne où l'on observe des températures supérieures à 20°C ou inférieures à 0°C

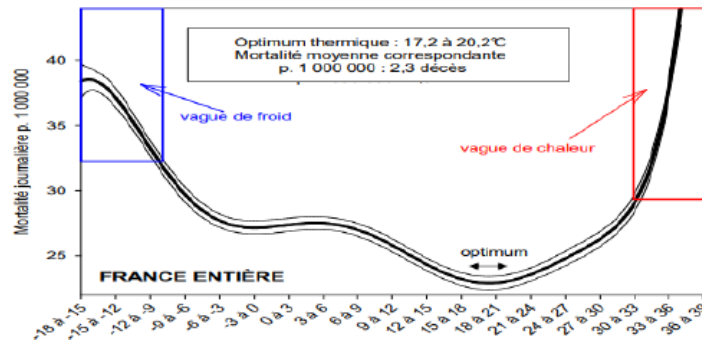
# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

## Intégration des effets liés au changement climatique : nature de la dépendance entre mortalité et température

### La nature de la dépendance entre la température et la mortalité a la forme d'un U

- ✓ avec des pics saillants aux deux extrémités représentant respectivement les situation de grand froid ou de grande chaleur
- ✓ et une hétérogénéité de la résilience de l'homme face à la température selon les profils (âge et sexe)

**Relation température-mortalité en France (source : La mortalité selon le contexte thermique – JP Besancenot)**

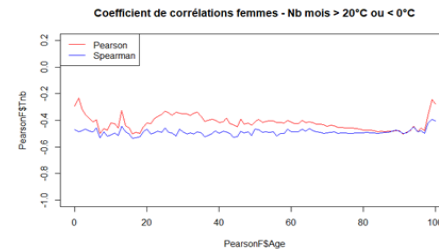
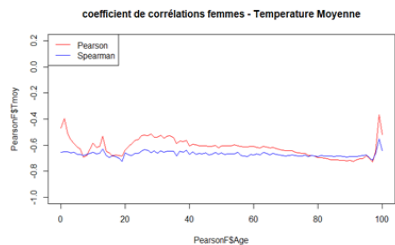
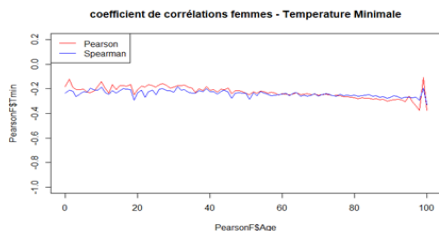
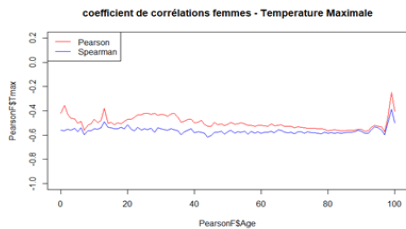


# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

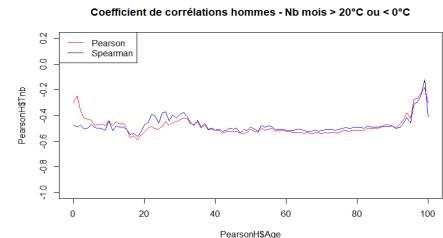
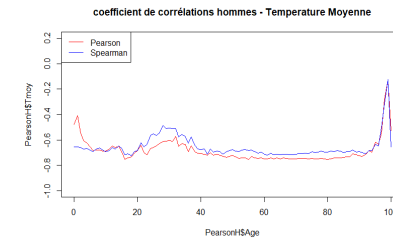
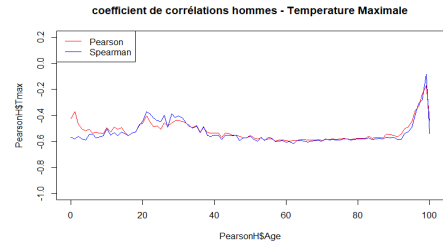
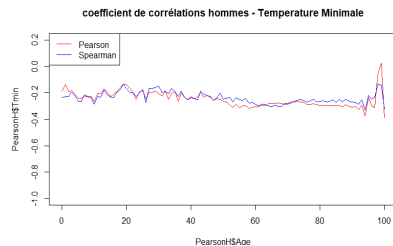
## Intégration des effets liés au changement climatique : corrélation entre mortalité et température

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



# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

## Intégration des effets liés au changement climatique : sélection du modèle prédictif

Les critères AIC et BIC sont utilisés pour comparer la qualité d'ajustement entre les modèles SPO.

- ✓ Pour la population **masculine**, le modèle qui s'ajuste le mieux est le **modèle de SPO température moyenne** (différent du résultat initial retenant le modèle SPO température maximale).
- ✓ Pour la population **féminine**, le **modèle SPO température maximale** s'ajuste le mieux (différent des résultats de l'étude initiale qui retient le modèle SPO température Nb mois >20°C ou < 0°C).

| Homme | SPO Température maximale | SPO température minimale | SPO température moyenne | SPO NB jours >20°C ou <0°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°C ou <0°C |
| AIC   | 75363,74                 | 76753,95                 | 75596,66                | 75409,33                   |
| BIC   | 79055,47                 | 80445,69                 | 79288,39                | 79101,06                   |

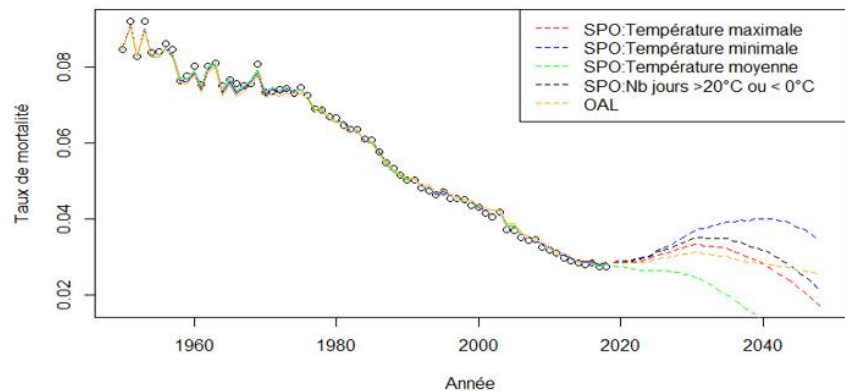
Tableau 13 : Evaluation de la qualité d'ajustement pour les modèles SPO selon le critère AIC et BIC

# Utilisation des données climat sur le risque de longévité

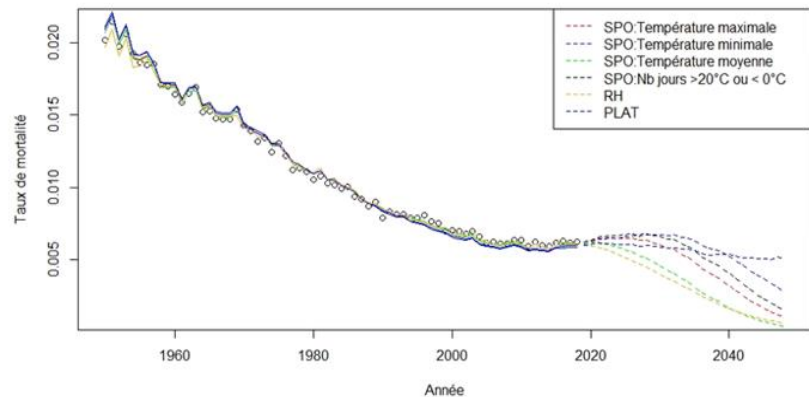
## Intégration des effets liés au changement climatique : projection de la mortalité entre 2020-2050

Projection du taux de mortalité des hommes et des femmes à 65 ans selon différents modèles intégrant la température.

Projection du taux de mortalité homme à 65 ans



Projection du taux de mortalité Femme à 65 ans



# 05

## **Bibliographie**

# Bibliographie

## ☐ Mortalité et changement climatique

- ✓ **Pincemin G.** [2021] Risques climatiques et mortalité, impact du risque canicule à l'horizon 2070, Mémoire d'actuaire, EURIA.
- ✓ **Brousse C.** [2021] Modélisation de l'impact du changement climatique sur le risque de catastrophes naturelles causées par les inondations, Mémoire ISF, Dauphine.
- ✓ **Papa Cheikh FALL** (2021) Intégration de facteurs liés à la température dans modélisation du risque de mortalité, CEA
- ✓ **Valentin GERMAIN** (2022) Prise en compte du changement climatique dans la modélisation des risques biométriques et financiers, ENSAE
- ✓ **Onerc** [2009] Changement climatique – Coûts des impacts et pistes d'adaptation, Documentation Française.
- ✓ **FFA** [2015] Changement climatique et assurance à l'horizon 2040, étude FFA.
- ✓ **Drif Y., Roche B., Valade P.** [2020] Conséquences du changement climatique pour les maladies à transmission vectorielle et impact en assurance de personnes, Aon, Document de travail
- ✓ **Charpentier A.** [2015] Changement climatique et assurance, billet de blog
- ✓ **TESSELAAR M., WOUTER BOTZEN W., AERTS J.** [2020] Impacts of Climate Change and Remote Natural Catastrophes on EU Flood Insurance Markets: An Analysis of Soft and Hard Reinsurance Markets for Flood Coverage, Atmosphere, 11, 146, doi:10.3390/atmos11020146
- ✓ **CCR** (2018). Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050 - version complète. url : <https://www.ccr.fr/-/etudeclimatique2018versionlongue>.

## ☐ Mortalité et Longévité

- ✓ **Julien Thomas, Frédéric Planchet**, Construction d'une table de mortalité par positionnement : mode d'emploi, Institut des actuaires, Note de travail, ISFA Laboratoire SAF
- ✓ **Julien Thomas, Frédéric Planchet**, Critères de validation : aspects méthodologiques, Institut des actuaires, Note de travail. ISFA Laboratoire SAF
- ✓ Institut des actuaires, Construction des tables d'expérience : aspects méthodologiques
- ✓ **Julien Thomas, Frédéric Planchet**, Construction et validation des références de mortalité de place, Institut des actuaires, Note de travail, ISFA Laboratoire SAF
- ✓ **Anani Olympio, Laura Bradier**, travaux de R&D CNP Assurances : Risque de longévité et mesure des chocs S2 associée
- ✓ **Antoine Delwarde et Michel Denuit**, Construction de tables de mortalité périodiques et prospectives, Economica, 2006.
- ✓ **Frédéric Planchet et Pierre Thérond**, Modèle de durée, Economica, 2010.
- ✓ **Brounhs, N., Denuit, M., Vermunt, J.K.**, A Poisson Log-bilinear regression approach to the construction of projected lifetables, Insurance : Mathematics and Economics, 31, Elsevier, 2002, 373-393
- ✓ **Anani Olympio et Voahirana RANAIVOZANANY**, Gestion des risques d'entreprise –qualité des données, levier de pilotage stratégique-, Colloque AFIR ERM, 2013.



**Assurons  
un monde  
plus ouvert**