

LE RISQUE DE LONGÉVITÉ EST-IL ASSURABLE ?

NICOLE EL KAROUI*
STÉPHANE LOISEL**

Le risque de longévité correspond au risque « horrible » qu'une population ou une sous-population vive en moyenne plus longtemps que prévu. Ce risque est-il assurable ? Nous abordons cette question sous l'angle de l'*enterprise risk management* (ERM), qui correspond au processus par lequel une institution identifie, modélise, mesure, contrôle et exploite les différents risques d'une manière intégrée dans le but de protéger et de créer de la valeur, en prenant en compte toutes les parties prenantes : les clients, les actionnaires, les régulateurs, les employés, les agences de notation éventuellement et la société en général. Bien sûr, les intérêts stratégiques des différentes parties prenantes ne sont pas parfaitement alignés, loin de là. En assurance, l'ERM est néanmoins plus facile à implémenter lorsque l'assureur joue un rôle bénéfique pour la société en remplissant des besoins de sécurité financière clés des clients et de leurs proches. Pour pouvoir assurer un risque, il faut que ce risque soit aléatoire, que l'asymétrie d'information, l'aléa moral et l'effet d'antisélection soient maîtrisés, et que la taille du risque et la capacité à le diversifier et à le mutualiser le fassent rentrer dans les limites définies par l'appétence au risque de l'organisme assureur, c'est-à-dire le niveau de risque que celui-ci est prêt à accepter pour atteindre ses objectifs stratégiques. En 2010, l'exposition (directe) au risque de longévité dans le monde a été mesurée par le CRO (Chief Risk Officer) Forum à 15 milliers de Md€.

107

* LPMA, Université Pierre et Marie Curie, Paris VI. Contact : elkaroui@gmail.com.

** Univ Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, Institut de science financière et d'assurances (ISFA), Laboratoire SAF EA2429. Contact : stephane.loisel@univ-lyon1.fr.

Il s'agit également d'un risque à maturité longue, ce qui pose des problèmes à la fois de modélisation, mais aussi d'évaluation financière et de gestion de risques financiers à long terme. Ce risque devient un enjeu de société en présence de taux d'intérêt très bas qui n'écrasent plus les engagements de passifs de maturités très longues des assureurs comme dans le passé, et dans un contexte de vieillissement des populations des pays développés. L'article est organisé de la manière suivante. Dans une première partie, nous identifions les composantes du risque de longévité. Ensuite, nous présentons les façons habituelles de modéliser le risque de longévité, qui souvent en minimisent la complexité. Face à des projections souvent mises en défaut par l'observation et face à la complexité du phénomène, la mise en place de mécanismes de surveillance permettant de détecter rapidement des déviations du profil de risques est cruciale. L'exemple décrit dans la troisième partie est une première ébauche. Enfin la dernière partie est consacrée aux contrôles de risque qu'un organisme assureur peut mettre en place pour gérer le risque de longévité, ainsi qu'au risque résiduel après ces contrôles, en particulier le risque de base.

LE RISQUE DE LONGÉVITÉ ET SES COMPOSANTES

108

Rappelons tout d'abord que le risque en ERM est, d'après les normes ISO 31000 de gestion des risques, l'effet de l'incertitude sur les objectifs. Ce vocabulaire diffère de l'approche de Knight (1921) qui fait la distinction entre le risque, pour lequel les probabilités d'occurrence des événements peuvent être mesurées, et l'incertitude, pour laquelle il n'est pas possible d'en déterminer la probabilité. La notion de risque en ERM incorpore la dimension d'incertitude, à ne surtout pas oublier lors de l'identification des risques de longévité. La capacité de notre société et de notre recherche médicale à soigner efficacement le cancer, remplacer des organes défaillants et freiner le vieillissement est très incertaine. Cet « effet de l'incertitude » peut être positif ou négatif, du point de vue de différentes parties prenantes (l'organisme assureur, les éventuels actionnaires, les assurés, les superviseurs, la société). En dépit du fait que la gestion des risques se focalise principalement sur les événements très défavorables, il ne faut pas oublier les événements que l'on a du mal à qualifier de favorables dans le cas présent, mais qui pourraient, de manière tout aussi incertaine, concourir à un ralentissement de la progression de la longévité, au bénéfice (financier) des preneurs de risque de longévité et au détriment de notre société.

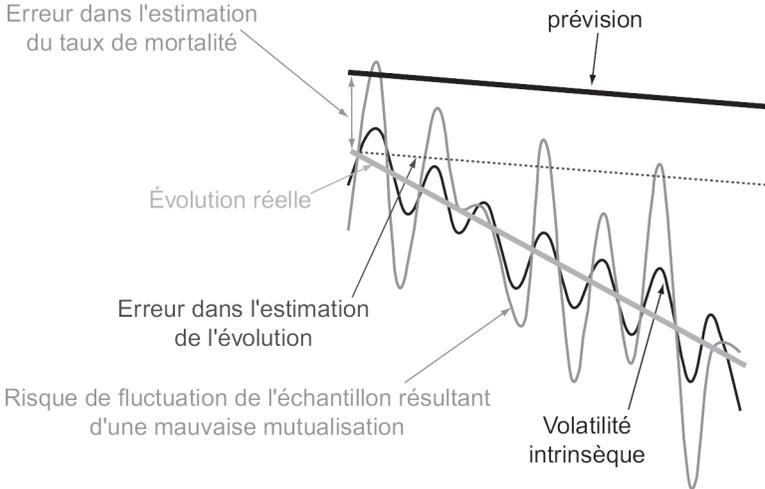
L'évolution de la longévité est étudiée dans un environnement général, appelé « transition démographique », dont la première phase a eu lieu d'abord dans les pays avancés entre 1850 et 1970, et qui est caractérisée par une baisse progressive (avec des à-coups dus aux guerres et aux crises

économiques) des taux de fertilité et de mortalité. La cohésion de la société se fait autour de la famille et des grandes tendances économiques. Cette évolution se retrouve, souvent de manière accélérée, dans les pays en voie de développement. Les politiques publiques ont joué un rôle essentiel dans la réduction de la mortalité, infantile d'abord, puis à tous les âges, et dans l'éducation et le développement. La deuxième phase (dans laquelle nous nous trouvons) est très différente, notamment dans son organisation sociale, puisque les besoins de base, nourriture, santé, éducation, sont en gros satisfaits. La population dans son ensemble vit plus longtemps et a rajeuni de près de huit ans aux âges élevés (60-80 ans). Selon Van de Kaa (2010), si l'équilibre générationnel classique est modifié lorsqu'on se réfère aux découpages des « organisations internationales » (très concernées par le sujet), la réalité est sans doute moins tranchée, si l'on utilise des découpages ajustés de ce décalage. Les individus sont plus connectés de manière « abstraite » (par Internet) et cherchent davantage à maintenir leur spécificité. La stabilité sociale n'est plus organisée autour de la famille et de l'économie, mais plus autour du maintien d'une certaine diversité comme dans de nombreux systèmes écologiques.

Le risque de longévité peut selon les auteurs recouvrir différentes acceptations. Si l'on s'intéresse aux risques associés à des portefeuilles de rentes ou à des fonds de pension, les risques financiers ne doivent pas être oubliés et peuvent parfois jouer un rôle plus important que les « risques purs de longévité » aussi appelés « risques biométriques ». Lorsque les taux d'intérêt étaient plus élevés, les risques biométriques de maturités 30-50 ans étaient bien souvent écrasés par le facteur d'actualisation, le risque de baisse des taux étant alors le facteur dominant. En période de taux bas, les risques biométriques reprennent une importance de premier plan. Le risque de taux demeure un risque non négligeable, associé aux risques d'inflation et de contrepartie qui jouent des rôles très différents d'un portefeuille à l'autre en fonction des systèmes d'indexation ou de non-indexation des cotisations et des prestations par rapport à des indices d'inflation, ainsi qu'en fonction des stratégies de gestion des risques financiers implémentées.

Concentrons-nous maintenant sur le risque « biométrique » de longévité, ce risque « horrible » que les gens vivent plus longtemps que prévu en moyenne. Pour un portefeuille de rentes, la première taxonomie du risque de longévité est basée sur des types de changements ou d'inadéquations de la modélisation des courbes de taux de mortalité et de leur évolution. On peut ainsi identifier quatre types de sous-risques de longévité présentés dans le graphique 1 (*infra*) : le risque de niveau, le risque de tendance, le risque d'oscillations saisonnières et le risque d'échantillonnage.

Graphique 1
Les différentes composantes du risque biométriques de longévité
et leur effet sur le logarithme du taux de mortalité en fonction du temps



Source : Boumezoued (2016).

110

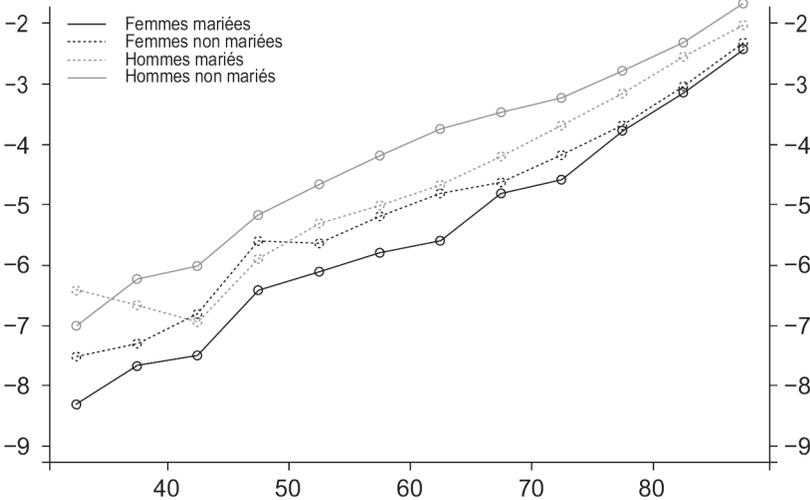
Il faut distinguer le risque de longévité au niveau « macro », c'est-à-dire au niveau d'une population nationale, de celui au niveau « micro », correspondant aux individus. Du fait de l'hétérogénéité, une approche « micro-macro » est nécessaire pour prendre en compte au niveau de la population l'évolution des caractéristiques de ses individus et la déformation de ses pyramides des âges par caractéristique. En effet, de nombreux facteurs influencent la longévité au niveau individuel. Aux États-Unis, les personnes ayant un diplôme d'enseignement supérieur ont environ huit ans d'espérance de vie résiduelle à 25 ans de plus que celles qui n'ont pas terminé les études secondaires. Les femmes vivent en général plus longtemps que les hommes dans la plupart des pays et les personnes plus aisées bénéficient en général d'une longévité moyenne bien supérieure à celle des personnes plus pauvres. Le style de vie (hygiène, nutrition, consommation d'alcool et de drogues) ainsi que l'environnement (pollution, climat) et l'accès aux soins sont des facteurs individuels déterminants du risque de longévité. Enfin les systèmes familiaux et les interactions sociales et intellectuelles jouent un rôle important, ainsi que l'assistance mutuelle que peuvent se porter deux personnes au sein d'un même foyer.

Les effets de ces facteurs jouent de manière différente sur chaque individu. À titre d'exemple, le graphique 2 (*infra*) montre le logarithme du taux de mortalité à l'âge x (en abscisse) pour les hommes et les

femmes mariés et non mariés de l'échantillon démographique permanent de la population française. On remarque que le fait d'être marié est bénéfique pour la longévité. De plus, cet effet est plus prononcé après 70 ans chez les hommes que chez les femmes, puisque les hommes, dont la longévité est inférieure à celle des femmes, ont plus de chance de bénéficier de l'assistance de leurs épouses quand ils en auront besoin car elles ont plus de chance d'être encore en vie et en mesure de les aider. Cet exemple est également intéressant du fait que la notion de mariage et de vie maritale a évolué au cours du temps. La variable « marié(e) ou non marié(e) » n'est plus suffisante aujourd'hui et n'a plus la même signification qu'avant. Il en est de même pour le niveau d'étude, par exemple. Selon les cas, il est ainsi plus pertinent d'étudier le risque de longévité par catégories de population définies par des niveaux absolus fixes, ou par des quantiles qui prennent en compte l'évolution du niveau d'éducation au cours du temps, par exemple.

Graphique 2

Logarithme du taux de mortalité en fonction de l'âge pour les hommes et les femmes mariés et non mariés de l'échantillon démographique permanent de la population française



Source : Boumezoued (2016).

Une autre version de l'identification des risques en ERM consiste à identifier les événements ou les scénarios pouvant influencer sur la capacité de l'organisation à atteindre ses objectifs stratégiques. Du point de vue des scénarios possibles ou probables, les démographes ont des avis très divers sur la longévité humaine. D'un côté, certains avancent l'hypothèse d'un âge limite biologique qu'il serait très compliqué de dépasser

et prédisent ainsi une accentuation de la rectangularisation des courbes de survie : la mortalité « accidentelle » est réduite et les décès interviennent presque tous aux alentours de l'âge biologique limite. Par le passé, de nombreux scientifiques ont estimé qu'il était impossible de vivre au-delà de 80 ans, puis de 100 ans, etc. D'autres démographes comme James Vaupel considèrent que les progrès médicaux vont permettre de poursuivre l'augmentation quasi linéaire de l'espérance de vie dans le pays *leader*. Enfin Aubrey de Grey et certains transhumanistes pensent qu'il sera bientôt possible de vivre 500 ans et que le ralentissement du vieillissement, la réparation des cellules, ainsi que l'augmentation de l'homme feront partie des bouleversements de notre société dans un futur proche.

De nombreuses entreprises se sont lancées dans le séquençage de l'ADN, dans l'expérimentation de techniques spécifiques prétendant améliorer la longévité comme l'allongement des télomères, ou encore dans la réutilisation de médicaments à des fins d'amélioration de la longévité (voir Debonneuil *et al.*, 2017, pour une enquête de ces domaines). Un médecin italien compte même expérimenter la greffe de tête sur un autre corps. Toutes ces modifications génétiques, « augmentations » ou transplantations posent évidemment de nombreuses questions éthiques qui précèdent celle de l'assurabilité de tels « risques de longévité » potentiels. De plus, les scénarios prenant en compte ces nouvelles techniques omettent bien souvent les risques d'instabilité sociale et de conflits intergénérationnels que de telles évolutions pourraient engendrer, en particulier en présence d'un système de santé à deux vitesses.

Si l'on peut espérer certains progrès médicaux pouvant conduire à des traitements plus efficaces contre le cancer ou des maladies comme celle d'Alzheimer, de nombreuses menaces pèsent (du point de vue de la société) sur notre longévité future et pourraient du même coup limiter les conséquences financières pour les preneurs de risque de longévité. Au-delà des risques de guerre et de terrorisme de masse, des risques émergents, dont les impacts sont encore peu connus, pourraient remettre en cause les améliorations de longévité futures. L'usage excessif des antibiotiques est en effet en train d'augmenter le développement de bactéries ultrarésistantes. Pour certaines infections, qui restent encore rares heureusement, nous avons observé des décès causés par le fait qu'il était impossible de trouver un traitement efficace. L'effet d'une pandémie de grippe ou d'une autre maladie contagieuse est difficile à quantifier, car le scénario de référence (la grippe espagnole de 1918) et le monde d'aujourd'hui sont très différents. Notre monde est plus interconnecté, avec des mécanismes de confinement dont l'efficacité reste incertaine, mais avec des antibiotiques et des antiviraux

dont on peut espérer qu'ils pourraient au moins éviter un certain nombre de décès qui lors de la pandémie de 1918 provenaient des infections plus consécutives à l'état de faiblesse causé par la grippe qu'à la grippe elle-même.

L'obésité, la pollution, le changement climatique, l'effet des nanocomposants sont autant de menaces sur la longévité humaine. La réflexion sur la fin de vie et la volonté pour la génération qui gère actuellement la fin de vie parfois difficile de ses parents de ne pas reproduire les mêmes souffrances pourraient également modifier les tendances d'amélioration de la longévité et de l'espérance de vie en mauvaise santé. Toutefois, une fois confrontées elles-mêmes à la fin de vie, ces personnes sont susceptibles de changer d'opinion. Bien plus que les progrès médicaux, ce sont les politiques publiques qui devraient influencer le plus l'évolution de la longévité des populations générales.

Parmi les contrôles de risque, du point de vue de la société, la prévention devient un enjeu de santé publique. L'institut Siel Bleu, par exemple, a montré l'efficacité des séances de sport adaptées aux personnes âgées pour la prévention du risque de chute. Certaines sociétés proposent des services de profilage ADN à partir de salive, dans le but de prévenir à l'avance les individus des risques de santé accrus qu'ils peuvent encourir. Cela pose évidemment un problème éthique et également des questions liées au bonheur : faut-il vivre plus longtemps en étant malheureux à cause de la connaissance d'une épée de Damoclès au-dessus de la tête ? Des premières études montrent également l'existence d'effets Nocebo : le fait d'annoncer à un patient qu'il risque de développer une pathologie peut parfois accélérer le développement de ladite maladie chez le patient informé. Enfin, pour l'assureur, il y a là un risque d'asymétrie d'information qui pourrait remettre en cause l'assurabilité du risque de longévité pour certains types de contrats. Certains réassureurs envisagent dans un futur proche de ne plus réassurer les contrats individuels non obligatoires de montant important, si l'assuré ne porte pas de bracelet connecté. Les données personnelles et les objets connectés feront partie de l'évaluation future de la longévité d'un individu, avec toutes les questions de respect de la vie privée que cela peut poser.

Les migrations représentent également un nouveau risque, de par leur côté plus massif qu'auparavant. La Méditerranée est en effet très fréquentée par les retraités de pays du Nord de l'Europe qui viennent y chercher une douceur de vivre. Les retraités canadiens fuient l'hiver de leur pays et le passent au bord d'une piscine dans le désert américain. Faut-il appliquer à ces retraités les taux de mortalité liés à leur pays d'origine, ou ceux associés au lieu dans lequel ils passent leur retraite, avec un niveau de vie plus élevé que la moyenne et un régime alimentaire et une qualité de vie bien différents ?

Les portefeuilles de rentes pouvant être de taille réduite, nous verrons dans la partie suivante consacrée à la modélisation qu'il est souvent nécessaire de se positionner en relatif par rapport à la mortalité d'une population de référence, qui peut être la population nationale ou la population assurée d'une zone géographique, par exemple. Les flux financiers des transferts de risque que nous étudierons dans la quatrième partie étant souvent déterminés par la mortalité d'une telle population de référence, un risque résiduel très important correspond au risque de base. Il s'agit du risque qu'en raison de l'hétérogénéité de l'évolution de la longévité dans la population générale, le niveau, la tendance et/ou les variations de la mortalité du portefeuille assuré n'évoluent pas comme pour la population de référence, rendant ainsi la couverture du risque imparfaite.

Enfin un risque important pour les assureurs et les fonds de pension provient du risque réglementaire. Les règles du jeu peuvent changer en matière de tables de mortalités prospectives, de taux d'actualisation, de solvabilité, de gouvernance, mais aussi fiscales et juridiques. Ce risque n'est généralement pas seulement géré par du capital, mais aussi par des actions de *lobbying*.

MODÉLISATION ET MESURE DU RISQUE DE LONGÉVITÉ

Pour modéliser et mesurer le risque de longévité, comme dans toute approche ERM, il convient d'utiliser à la fois des modèles, des avis d'experts et des scénarios car pour certains risques, il est impossible de mesurer la probabilité d'occurrence.

La première véritable manière de prédire la longévité future d'une population remonte à 1992. Il s'agit du modèle de Lee et Carter (1992). Dans ce modèle, le logarithme du taux central de mortalité est supposé dépendre d'une forme par âge et d'une amélioration de la longévité qui concerne tous les âges à la fois, mais avec des poids différents par âge. Par la suite, ce modèle a été utilisé pour le logit du taux de mortalité annuel ou pour le logarithme du taux de mortalité annuel, enrichi avec l'ajout d'un effet cohorte (Renshaw et Haberman, 2006), ou représenté avec un modèle de Poisson log-bilinéaire (Brouhns *et al.*, 2002). Cairns *et al.* (2006) ont ensuite proposé un ensemble de modèles, dans le même esprit, avec des termes additionnels de types âge, période et cohorte.

Plus récemment, différentes directions sont considérées : la prise en compte des différentes causes de décès, afin notamment d'améliorer les prédictions de longévité et également de comprendre quel serait l'effet de la suppression de la cause de mortalité par cancer sur la provision mathématique d'un portefeuille de rentes. Il reste toutefois un long

chemin à parcourir pour comprendre les interdépendances très complexes entre ces causes de décès. Une autre approche consiste à utiliser des données de localisation fine comme le code postal au Royaume-Uni et des données externes renseignant sur le niveau de richesse moyen par code postal, par exemple. Une autre approche consiste à modéliser conjointement plusieurs populations, soit grâce à des processus de type VAR (*vector auto regressive*) ou des modèles relationnels.

Les thèses de Bensusan (2011), Boumezoued (2016) et Kaakai (2017) nous montrent qu'il ne suffit pas de modéliser directement l'évolution des taux de mortalité. Il convient en fait d'étudier la dynamique de la population dans son ensemble, afin de prendre en compte l'évolution de la composition de cette population et les interactions entre les individus. Des irrégularités au niveau des naissances se traduisent des décennies plus tard par des taux de mortalité qui peuvent sembler très anormaux, si l'on étudie directement les taux de mortalité. À titre d'exemple, le graphique 3a (*infra*) présente la pyramide des âges pour l'Angleterre en 2015, le graphique 3b (*infra*) celle du cinquième (20 %) de la population anglaise le moins défavorisé et le graphique 3c (*infra*) celle du cinquième (20 %) le plus défavorisé, sur la base de l'indice de déprivation géographique (*index of multiple deprivation*) de 2015 retraité par Kaakai *et al.* (2017). Le *baby-boom* et le *papy-boom* qui s'ensuit ne concernent qu'une partie riche de la population, la partie la plus défavorisée gardant une pyramide des âges assez semblable à celle de certains pays en voie de développement. Il est fondamental de prendre en compte cette hétérogénéité avant de s'intéresser à d'éventuelles réductions de mortalité pour certaines causes de décès (voir Kaakai *et al.*, 2017).

115

De plus, cette approche pourrait permettre de prendre en compte dans le futur des liens entre vieillissement, longévité et économie, notamment du fait de l'impact de la pyramide des âges sur la demande et l'offre d'épargne. Des variables environnementales peuvent être ajoutées dans une modélisation en environnement aléatoire. Ces modèles, qui peuvent incorporer des migrations, sont évidemment difficiles à calibrer. Mais ils permettent de mieux comprendre les différents effets et leurs interactions. Cette approche micro-macro peut également être adaptée à l'échelle mésoscopique pour pouvoir faire des simulations plus efficaces tout en prenant en compte l'hétérogénéité de la population et son évolution.

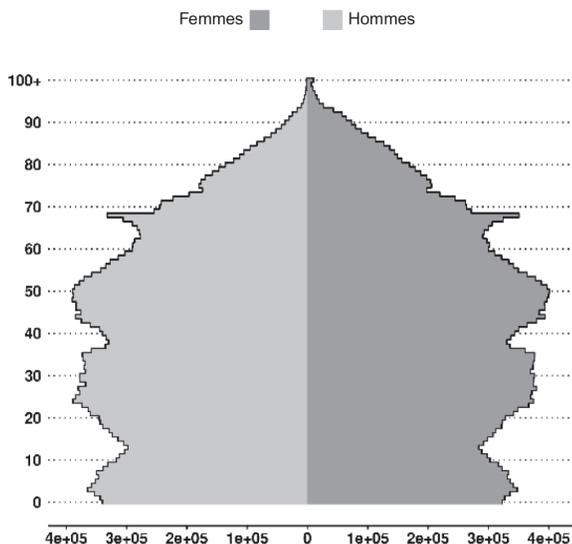
Comment mesurer l'impact potentiel de chaque source de risque de longévité ? C'est une tâche bien ardue sans simplification tant les sous-risques sont imbriqués. Néanmoins les assureurs et les fonds de pension cherchent souvent à mesurer le risque de base, ainsi que la part du risque qui est mutualisable (due à la finitude du portefeuille) et celle qui ne l'est pas (car provenant des avancées médicales ou de facteurs

s'appliquant de manière relativement homogène à toute la population). Une manière classique de le faire consiste à décomposer la variance du flux financier de chaque année en deux parties correspondant à ces deux sources de risque. Dans le graphique 4 (*infra*), on représente le pourcentage de la variance globale du flux financier de l'année n provenant du risque non diversifiable pour un portefeuille de rentes en cours de service, dans un modèle de longévité utilisé par une compagnie de réassurance basé sur des séries temporelles de type VAR. Le risque de longévité non diversifiable étant ici principalement un risque de tendance, son importance commence par croître avec la maturité du flux financier, car il faut que l'écart ait le temps de se creuser pour que le risque de tendance devienne prédominant. Pour ce portefeuille de rentes en cours de service, après une vingtaine d'années, le nombre de survivants devient faible et la part d'aléa provenant de la taille réduite du portefeuille reprend ses droits. Ce phénomène, variable selon la répartition des âges et selon la taille de la population, doit être pris en compte lors du choix de la stratégie de contrôle de risque. Certains traités de réassurance comme l'*excess-of-time* se concentrent sur les maturités élevées et peuvent être plus ou moins adaptés pour l'assureur et plus ou moins risqués pour le réassureur selon les cas. Nous reviendrons plus en détail sur ces solutions dans la quatrième partie.

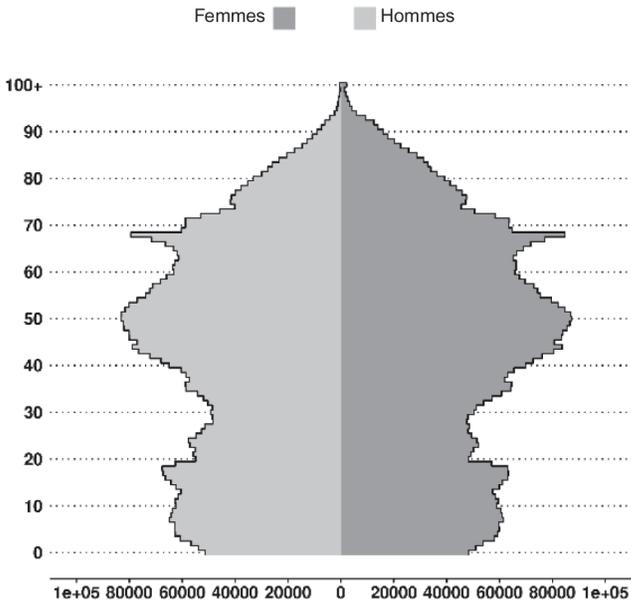
116

Graphiques 3
Pyramides des âges anglaises en 2015 pour l'ensemble de la population,
20 % la moins défavorisée et 20 % la plus défavorisée

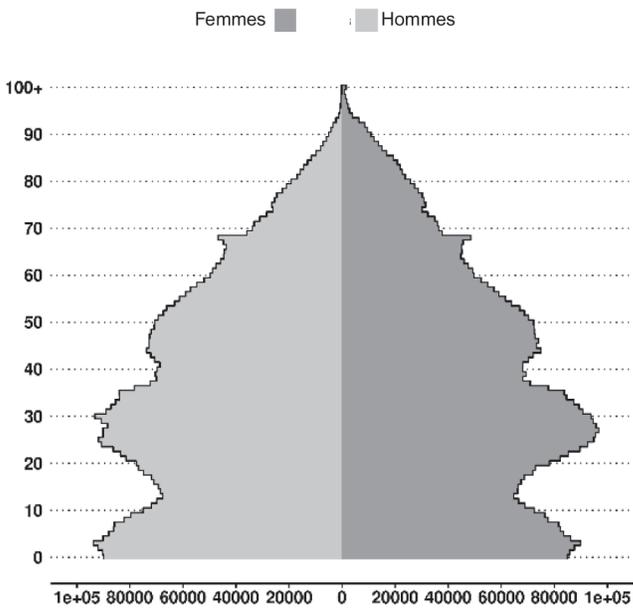
Graphique 3a
Ensemble de la population



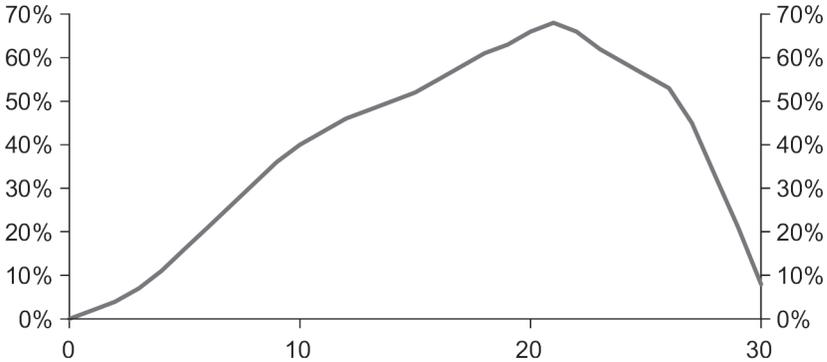
Graphique 3b
20 % de la population la moins défavorisée



Graphique 3c
20 % de la population la plus défavorisée



Graphique 4
Pourcentage de la variance globale du flux financier de l'année n
provenant du risque de longévité non diversifiable
pour un portefeuille de rentes en cours de service
 (abscisse en nombre d'années de paiement des rentes)



Source : Loisel et Serant (2007).

Les assureurs mesurent également le risque de longévité avec des scénarios. Dans le cadre de Solvabilité II, pour le calcul du *Solvency capital requirement* lié au risque de longévité en formule standard, les taux de mortalité sont stressés et l'assureur doit mesurer l'impact du choc sur son bilan économique. Pour aller plus loin, d'autres scénarios pluriannuels peuvent être étudiés par les assureurs dans le cadre de l'*Own Risk and Solvency Assessment* (ORSA).

118

SURVEILLANCE DU RISQUE ET MÉCANISMES DE DÉTECTION

Comme pour un risque d'incendie, dans une approche ERM, il est souvent très important de disposer de mécanismes de détection de rupture ou d'évolution, afin de pouvoir prendre des mesures de correction ou d'atténuation suffisamment rapidement. Il faut évidemment gérer le risque de fausse alarme et veiller au risque résiduel. Pour le risque de longévité, cela peut correspondre à trois actions concrètes : la surveillance de la longévité par des techniques de tests séquentiels, la veille pharmaceutique et médicale et, au niveau individuel, la collecte et l'utilisation de données provenant d'objets connectés.

Pour surveiller l'évolution de la longévité d'une sous-population, on peut utiliser la technique du *cusum* (*cumulated sums*). El Karoui *et al.* (2017a) ont montré que cette stratégie était optimale pour détecter le plus rapidement possible un changement abrupt d'intensité d'un processus de Poisson, sous contrainte de ne pas faire de fausse alarme plus

souvent qu'une fois toutes les y années en moyenne. Dans ce problème de type minimax, on cherche à optimiser un critère de Lorden (1971) modifié, relié au nombre de sauts entre l'instant (inobservable) de rupture et l'instant de détection. Contrairement au cas bayésien, on ne fait pas d'hypothèse *a priori* sur la loi de la date à laquelle le changement se produit. Il s'agit donc d'une stratégie de détection robuste. El Karoui *et al.* (2017b) montrent comment adapter ce résultat à un processus de décès pur, pour lequel l'intensité décroît à chaque décès, car l'exposition diminue : il s'agit de processus « autodésexcités ». Pour le risque de longévité, la stratégie de détection optimale correspond au premier temps où le processus *cusum* franchit continûment une barrière supérieure. Ce processus augmente au cours du temps et est ramené vers le bas par des sauts à chaque décès. Il est réfléchi en zéro : il repart de zéro s'il est négatif après un saut. Si le taux de mortalité diminue, alors il y aura moins de sauts vers le bas et le processus aura tendance à s'échapper vers le haut et à croiser la barrière horizontale supérieure de détection.

Dans cette stratégie de détection, deux paramètres sont à choisir en pratique. Le premier paramètre correspond au nouveau niveau de longévité après le choc. Il est bien sûr impossible de le connaître. Néanmoins il convient de le fixer en fonction de l'appétence au risque de l'assureur, de manière à assurer une réaction appropriée si la longévité dérivait. Le second paramètre, le niveau de la barrière, peut être fixé en choisissant une fréquence tolérable de fausse alarme. Il est alors possible de trouver le niveau de la barrière correspondant grâce à des formules fermées de théorie de la ruine en présence de dividendes. Outre sa robustesse, l'avantage de cette méthode est son côté visuel et simple à expliquer au top management et au conseil d'administration.

119

CONTRÔLES DU RISQUE DE LONGÉVITÉ ET RISQUE RÉSIDUEL

En ERM, les différents contrôles de risque sont le transfert, la réduction ou l'atténuation, l'acceptation ou l'évitement. On voit mal les assureurs chercher à atténuer les conséquences du risque de longévité en encourageant la pollution ou en passant des partenariats avec la mafia pour faire revenir les taux de mortalité vers les prévisions. La principale possibilité d'atténuation correspond à celle de la prévention du risque et passe par une politique de rémunération et une gouvernance adaptées. En effet, comme pour tout risque de long terme, il faut prévenir le risque que des souscripteurs privilégient le profit à court terme en détériorant le profil de risque de long terme de la compagnie. Si le risque de longévité systématique survenait, une atténuation se traduirait certainement par une résolution de crise consistant à changer les règles : les promesses n'engageant que ceux qui y croient, les règles

seraient certainement changées, comme elles l'ont été très récemment pour éviter l'insolvabilité des assureurs vie allemands qui avaient garanti des taux minimums devenus insoutenables.

Une autre version de l'atténuation du risque de longévité pourrait consister à le couvrir de façon naturelle avec le risque de mortalité. Bien sûr, il y a une corrélation négative entre ces deux risques. Elle est d'ailleurs reconnue dans les matrices de paramètres de corrélation de Solvabilité II, où elle est fixée à -25% . Toutefois les deux risques sont loin d'être parfaitement « opposés » ou antimonotones. Les maturités des contrats concernés sont différentes. Les scénarios extrêmes sont très différents : pandémie, d'un côté, changement de tendance, d'un autre côté. Enfin les expositions ne sont pas dans les mêmes pays et aux mêmes âges. Plusieurs réassureurs sont exposés au risque de longévité au Royaume-Uni et au risque de mortalité aux États-Unis. Pour couvrir le risque que les deux populations assurées évoluent différemment, Swiss Re a utilisé en complément le transfert de risque via l'opération de titrisation Kortis Capital, dont les flux financiers dépendent de l'évolution de la différence de taux de mortalité au Royaume-Uni et aux États-Unis. Mais comme les flux sont fonction des taux de mortalité des populations nationales, il reste encore un risque de base, car les populations assurées et réassurées peuvent se comporter différemment. Rappelons enfin que pour tirer parti de la diversification entre deux risques, il faut auparavant respecter la condition d'un chargement de sécurité positif, ce qui est loin d'être garanti ici au vu de l'incertitude pesant sur la longévité future et sur le risque de pandémie.

120

La titrisation Kortis Capital est un exemple de transfert de risque, qui implique toujours un risque de contrepartie, que l'on essaie de limiter, mais que l'on ne peut jamais éliminer complètement. La solution la plus classique de transfert de risque reste la réassurance, proportionnelle ou non proportionnelle. Elle peut s'appliquer sur les montants, ou sur la durée. Une spécificité de la réassurance du risque de longévité est l'*excess-of-time*. Dans ce contrat, le réassureur prend en charge les prestations à partir d'un certain âge (80 ans, 85 ans, 90 ans) et couvre la partie la plus volatile des flux financiers. Comme nous l'avons vu dans les graphiques 3 (*supra*), dans certains cas, le risque d'échantillonnage redevient prépondérant pour les maturités longues et il redevient pertinent d'utiliser la réassurance malgré la présence du risque non mutualisable de longévité.

Toutefois la réassurance ne peut absorber les 15 milliers de milliards d'engagements, surtout en présence du risque non diversifiable. Les fonds de pension recourent à des transferts de risque de types *buy-in* (sans transférer totalement actif et passif) ou *buy-out* (avec transfert total des actifs et des passifs). Après l'échec de la tentative de lancement

du *longevity bond* de 2005, les transactions vers les marchés financiers les plus fréquentes sont des *swaps* de longévité privés (voir Barrieu *et al.*, 2012), dont les flux sont soit fonction de la mortalité réelle de la population assurée (moins transparents pour les investisseurs pouvant redouter l'asymétrie d'information), soit liés à celle d'une ou de plusieurs populations nationales (présentant moins d'asymétrie d'information pour les investisseurs, mais plus de risque de base pour la cédante).

Des banques et des acteurs de l'assurance et de la réassurance ont fondé il y a quelques années la Life and Longevity Market Association, visant à promouvoir le développement d'un marché secondaire liquide du risque de longévité. Mais l'un des problèmes rencontrés est que ce marché semble à sens unique : beaucoup d'acteurs souhaiteraient céder du risque de longévité, mais peu sont prêts à en prendre...

CONCLUSION

Le risque de longévité est un risque de long terme, présentant un fort niveau d'incertitude et imparfaitement négativement corrélé avec le risque de mortalité. La taille du risque et la présence d'une composante non mutualisable importante le rendent difficile à assurer au sens classique du terme. Toutefois il est possible d'utiliser des solutions d'assurance pour mutualiser la partie du risque qui peut l'être, la diversifier autant que faire se peut avec d'autres risques, en acceptant que dans certains scénarios les règles du jeu devront être changées. Des mécanismes de détection rapides peuvent dans ce cadre permettre de réagir suffisamment rapidement et de faire jouer la solidarité intergénérationnelle de la manière la plus équitable possible.

Pour finir, d'un point de vue sociétal, en présence de données personnelles de plus en plus riches, l'un des défis principaux de l'assurance sera de continuer à partager les risques et d'éviter un basculement vers une démutualisation et une individualisation poussée à outrance incompatible avec le maintien d'une société inclusive.

BIBLIOGRAPHIE

- BARRIEU P., BENSUSAN H., EL KAROUÏ N., HILLAIRET C., LOISEL S., RAVANELLI C. et SALHI Y. (2012), « Understanding, Modelling and Managing Longevity Risk: Key Issues and Main Challenges », *Scandinavian Actuarial Journal*, vol. 3, pp. 203-231.
- BENSUSAN H. (2011), « Risques de taux et de longévité : modélisation dynamique et applications aux produits dérivés et à l'assurance-vie », Thèse de doctorat, École polytechnique.
- BOUMEZOUED A. (2016), « Approches micro-macro des dynamiques de population structurées par âge. Applications aux processus auto-excitants et la démographie », Thèse de doctorat, LPMA, UPMC.

- BROUHNS N., DENUIT M. et VERMUNT J. K. (2002), « A Poisson Log-Bilinear Regression Approach to the Construction of Projected Lifetables », *Insurance: Mathematics and Economics*, vol. 31, n° 3, pp. 373-393.
- CAIRNS A. J., BLAKE D. et DOWD K. (2006), « A Two-Factor Model for Stochastic Mortality with Parameter Uncertainty: Theory and Calibration », *Journal of Risk and Insurance*, vol. 73, n° 4, pp. 687-718.
- DEBONNEUIL E., LOISEL S. et PLANCHET F. (2017), « Do Actuaries Believe in Longevity Deceleration? », à paraître in *Insurance: Mathematics and Economics*.
- EL KAROUI N., LOISEL S. et SALHI Y. (2017a), « Minimax Optimality in Robust Detection of a Disorder Time in Poisson Rate », à paraître in *Annals of Applied Probability*.
- EL KAROUI N., LOISEL S. et SALHI Y. (2017b), « Optimal Detection in Practice for some Pure Death Process », *Working Paper*.
- KAAKAI S. (2017), « Reduction of Complexity and Aggregation in Stochastic Heterogeneous Population Dynamics: an Application to the Study of Human Longevity », Thèse de doctorat, LPMA, UPMC.
- KAAKAI S., LABIT-HARDY H., ARNOLD (-GAILLE) S. et EL KAROUI N. (2017), « How Can a Cause-of-Death Reduction Be Compensated in Presence of Heterogeneity? A Population Dynamics Approach », article en préparation.
- KNIGHT F. H. (1921), « Risk, Uncertainty and Profit », *Courier Corporation*, (réédition).
- LEE R. D. et CARTER L. R. (1992), « Modeling and Forecasting US Mortality », *Journal of the American Statistical Association*, vol. 87, n° 419, pp. 659-671.
- LORDEN G. (1971), « Procedures for Reacting to a Change in Distribution », *Annals of Mathematical Statistics*, vol. 42, n° 6, pp. 1897-1908.
- RENSHAW A. E. et HABERMAN S. (2006), « A Cohort-Based Extension to the Lee-Carter Model for Mortality Reduction Factors », *Insurance: Mathematics and Economics*, vol. 38, n° 3, pp. 556-570.
- VAN DE KAA D. J. (2010), « Demographic Transition », *Encyclopedia of Life Support Systems*, vol. 1, pp. 65-103.