

LA LONGÉVITÉ : PASSÉ, PRÉSENT ET FUTUR

James W. Vaupel

Association d'économie financière | « [Revue d'économie financière](#) »

2016/2 n° 122 | pages 41 à 56

ISSN 0987-3368

ISBN 9782916920948

Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://www.cairn.info/revue-d-economie-financiere-2016-2-page-41.htm>

Pour citer cet article :

James W. Vaupel, « La longévité : passé, présent et futur », *Revue d'économie financière* 2016/2 (n° 122), p. 41-56.
DOI 10.3917/ecofi.122.0041

Distribution électronique Cairn.info pour Association d'économie financière.

© Association d'économie financière. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.

LA LONGÉVITÉ : PASSÉ, PRÉSENT ET FUTUR

JAMES W. VAUPEL*

PASSÉ ET PRÉSENT DE LA LONGÉVITÉ

La frontière fixe de la survie

Comme bon nombre de concepts scientifiques, la longévité a été étudiée par Aristote, dans un essai daté de 350 av. J.-C. Le philosophe comparait la « chaleur vitale » de la vie à un feu qui se consumait. Ce feu pouvait s'éteindre prématurément, après avoir été aspergé de sable ou d'eau, ce qui était comparable à la mort à la suite d'une épidémie ou d'une guerre. Le feu pouvait également s'éteindre naturellement, ce qui pouvait être comparé à une mort de vieillesse. L'idée de base est la suivante : il existe une cause, et une seule, de mortalité chez les personnes âgées, et il s'agit de la vieillesse. Et il n'y a rien à faire contre la vieillesse. Ce concept d'une frontière fixe de la survie a représenté la pensée dominante en matière de longévité, de 350 av. J.-C. jusqu'à récemment. Il a été reformulé, dans des termes similaires à ceux d'Aristote, dans un article fréquemment cité paru en 1980 (Fries, 1980). Il est encore largement répandu de nos jours.

L'un des arguments à l'appui de cette idée est que « l'évolution n'aime guère la vieillesse ». En effet, les femmes âgées ne peuvent plus procréer et les hommes âgés ont peu d'enfants. Dans une certaine mesure, les plus âgés, en aidant à la survie des enfants, contribuent de fait à maximiser le nombre de descendants. Cependant, cet effet est marginal, en particulier si l'on considère la longue période de l'évolution humaine, où seule une poignée d'individus atteignaient l'âge de soixante-dix ans. Voilà pourquoi nous ne sommes pas « conçus » pour vivre jusqu'à un âge avancé (Olshansky *et al.*, 2001). Les processus d'évolution privilégient les varia-

* Directeur fondateur, Max Planck Institute for Demographic Research ; membre scientifique, Max Planck Society for the Advancement of Science. Contact : jwv@demogr.mpg.de.

tions génétiques et les mécanismes physiologiques qui améliorent la reproduction et la survie des plus jeunes. En revanche, il n'existe pas de pression de sélection forte contre les variations génétiques ou les mécanismes physiologiques ayant des effets délétères sur les personnes âgées, surtout si ces gènes ou mécanismes physiologiques ont des effets positifs sur les plus jeunes (Medawar, 1952 ; Williams, 1957 ; Kirkwood, 1977 ; Hamilton, 1996).

Hamilton (1996), sans doute le biologiste le plus important de la deuxième moitié du XX^e siècle, a cerné cette perspective au moyen d'équations mathématiques. Il a conclu que la détérioration liée à l'âge était inévitable pour toutes les espèces et que seules des évolutions génétiques radicales pourraient prolonger les durées de vie : « Après quelques centaines d'années de mesures eugéniques draconiennes (...) la durée de la vie humaine pourrait être allongée très légèrement (...) disons qu'elle passerait de 70 ans à 75 ans. » C'est pour cette raison qu'il affirmait : « La recherche sur l'allongement de la vie active me semble comparable aux recherches des alchimistes (...) [et] nous détourne à la fois d'une vérité inévitable et de programmes sociaux réalistes. »

La progression de la frontière de la survie

42

J'ai proposé une hypothèse alternative concernant la frontière de la survie (Vaupel *et al.*, 1979 ; Vaupel et Gowan, 1986). J'ai présumé que cette frontière progressait et que les gens vivaient de plus en plus longtemps, mais cette théorie était incertaine car il n'existait pas de données fiables relatives aux personnes âgées de plus de quatre-vingt-cinq ans. Par la suite, j'ai initié un projet visant à informatiser les données de survie suédoises pour les personnes âgées. En exploitant ces données, j'ai pu montrer qu'avant 1950, les progrès accomplis en vue de réduire la mortalité des Suédois de quatre-vingt-cinq ans et plus avaient été très limités. Jusqu'à cette date, Aristote avait plus ou moins raison. Par contre, après 1950, les avancées ont été spectaculaires. En ce qui concerne les femmes suédoises, le risque de décès à quatre-vingt-cinq ans est passé de 20 % à moins de 10 %. Des progrès similaires ont été observés pour les hommes ainsi que pour les groupes d'âge 90-95 ans, et ce, tant pour les femmes que pour les hommes (Vaupel et Lundström, 1994).

Cette constatation, valable dans de nombreux pays (Kannisto *et al.*, 1994 ; Rau *et al.*, 2008), est étayée par les dernières données disponibles (Human Mortality Database). En outre, il a été démontré que l'allégation de Hamilton selon laquelle la détérioration liée à l'âge était inévitable pour toutes les espèces était inexacte (Vaupel *et al.*, 2004 ; Jones *et al.*, 2014 ; Schaible *et al.*, 2015). Puisque la théorie de Hamilton contredit les données empiriques, elle est fautive et cela a également été démontré du point de vue théorique (Baudisch, 2008 ; Oeppen et Vaupel, 2002).

Les progrès en termes de survie chez les personnes âgées ne sont pas dus à un ralentissement du processus de vieillissement, ils sont dus à une mise en route plus tardive de ce processus. Le tableau 1 illustre ce phénomène. Notons, par exemple, que pour les Français, hommes et femmes confondus (Human Mortality Database), la probabilité de mourir à soixante-dix ans aujourd’hui est équivalente à la probabilité de mourir à cinquante-neuf ans il y a de ça un demi-siècle.

Tableau 1
Âge actuel et âge équivalent* en termes de mortalité il y a 50 ans

Âge actuel	Âge équivalent il y a 50 ans							
	Femmes				Hommes			
	France	Suède	États-Unis	Japon	France	Suède	États-Unis	Japon
50	42	40	44	23	44	43	44	39
60	49	52	53	43	51	53	51	50
70	59	62	63	53	59	62	60	57
80	71	72	74	67	71	73	73	70
90	83	85	85	79	84	87	85	81

* L'âge équivalent est l'âge auquel la probabilité de mourir il y a t années dans le passé est équivalente à la probabilité de mourir à un âge x de nos jours.

Source : Human Mortality Database

La progression de la frontière de la survie fait partie d'une révolution plus globale de l'espérance de vie (Oeppen et Vaupel, 2002). En 1840, les femmes suédoises bénéficiaient de la meilleure espérance de vie au monde : quarante-six ans. Avec le temps, le record mondial n'a cessé d'augmenter, différents pays occupant tour à tour la première place du classement. Depuis trente ans, c'est le Japon qui détient le record. L'an passé, l'espérance de vie des femmes japonaises dépassait quatre-vingt-sept ans. Ainsi, de quarante-six ans en 1840 à quatre-vingt-sept ans aujourd'hui, l'espérance de vie maximale à une époque donnée a quasiment doublé, augmentant de manière remarquablement régulière de près de deux ans et demi par décennie, trois mois par année, six heures par jour.

Dans certains pays, l'augmentation de l'espérance de vie a suivi une trajectoire plus irrégulière que celle, linéaire, de l'espérance de vie maximale. Pour les femmes françaises, par exemple, l'espérance de vie était de 41,2 ans dans la table de mortalité abrégée de dix ans pour les années 1840. Compte tenu d'un rythme de progression de 2,5 ans par décennie, l'espérance de vie aurait dû atteindre 51,2 ans dans les années 1880, or elle n'a atteint que 44,8 ans, une valeur inférieure à l'espérance de vie maximale dont bénéficiaient les Suédoises en 1840. Dans les années 1920, en revanche, l'espérance de vie des femmes françaises a bondi de

près de quatorze ans pour atteindre 58,4 ans. Puis quarante ans plus tard, dans les années 1960, elle s'est élevée à 74,6 ans, ce qui représente un gain légèrement supérieur à 16 années. Au cours de la première décennie du XXI^e siècle, cette valeur a augmenté d'un peu moins de dix ans, pour atteindre 83,7 ans (Human Mortality Database).

Si l'espérance de vie augmente de trois mois par an, l'espérance de vie des personnes nées au fil d'années successives augmente encore plus rapidement. En effet, lorsqu'un enfant vieillit, il bénéficie des progrès accomplis en termes de mortalité d'une année à l'autre. Ainsi, en partie grâce à cet effet et en partie parce que la France rattrapait son retard vis-à-vis de l'espérance de vie maximale, les femmes françaises nées pendant les décennies successives de 1880 à 1920 ont vu leur espérance de vie augmenter d'environ quatre ou cinq ans par décennie (Human Mortality Database), par rapport à la hausse de 2,5 années par décennie observée dans l'espérance de vie maximale.

Des études portant sur les chasseurs-cueilleurs – ces personnes qui vivent aujourd'hui plus ou moins de la même façon dont vivaient nos ancêtres il y a plusieurs milliers d'années – fournissent des indications relatives à l'histoire de la longévité humaine. Diverses études indiquent une espérance de vie à la naissance d'environ trente-cinq à quarante ans pour ces populations (Gurven et Kaplan, 2007). Des études portant sur des données paroissiales anglaises pour la période 1600-1725 montrent des espérances de vie analogues (Wrigley et Schofield, 1981) à celles observées à partir de données suédoises pour la période 1751-1830 (Human Mortality Database). Par conséquent, on peut conclure que l'espérance de vie humaine avant 1840 était généralement inférieure à quarante ans et qu'en situation de famine, d'épidémie ou de guerre, cette valeur pouvait être bien plus basse. L'histoire de l'espérance de vie humaine reflète des espérances de vie fluctuantes et faibles jusqu'au début de la révolution de l'espérance de vie en 1840, laquelle a conduit à des espérances de vie actuelles de plus de quatre-vingts ans dans de nombreux pays – y compris de quatre-vingt-cinq ans pour les Françaises, mais seulement de 78,8 ans pour les Français en 2013 (Human Mortality Database).

Tel que Jonathan Swift l'a fait remarquer, tout le monde veut vivre longtemps, mais personne ne veut vieillir. À mesure que l'espérance de vie augmente, que devient la santé des personnes âgées ? Afin de comprendre cela, il est utile de faire la distinction entre trois états de santé : en bonne santé, en mauvaise santé et décédé. On craignait que sauver les gens de la mort fasse augmenter le nombre de personnes en mauvaise santé. Cependant, les progrès qui ont permis de sauver des vies ont également permis de maintenir davantage de personnes en bonne santé. Si le fait d'être en bonne santé ou en mauvaise santé est déterminé par la

capacité d'une personne à vivre de façon indépendante et à gérer les activités du quotidien, alors à mesure que l'espérance de vie augmente, la durée de vie en bonne santé augmente à peu près au même rythme (Christensen *et al.*, 2009). En particulier, alors que nous vivons plus longtemps, les troubles cognitifs et la démence surviennent à un âge plus avancé (par exemple, Stallard, 2014). De même, davantage de gens sont en bonne santé, mais du coup, grâce aux vies sauvées, davantage de gens sont en mauvaise santé aussi. L'équilibre est resté à peu près le même. Davantage de gens prennent des médicaments afin de réduire la tension artérielle, davantage de gens sont équipés de *pacemakers*, et ainsi de suite. Ces personnes s'en portent mieux, vivantes plutôt que mortes, mais elles n'en demeurent pas moins cliniquement malades.

Avant 1990, les gens qui vivaient en Allemagne de l'Est connaissaient des taux de mortalité plus élevés que ceux qui vivaient en Allemagne de l'Ouest. Après la réunification, les taux de mortalité ont continué d'augmenter avec l'âge en Allemagne de l'Est, mais le désavantage qu'avaient les personnes de plus de soixante-cinq ans a rapidement disparu (Vaupel *et al.*, 2003). Cette preuve quasi expérimentale démontre que même les personnes très âgées peuvent bénéficier de conditions plus favorables (Vogt et Kluge, 2015).

45

L'AVENIR DE LA LONGÉVITÉ

En projetant le rythme historique des progrès – près de 2,5 ans par décennie – dans le futur, il est possible d'estimer l'âge qu'atteindront au moins 50 % des enfants nés dans un certain pays lors d'une année donnée. Le tableau 2 présente des résultats illustratifs qui prolongent des résultats antérieurs (Christensen *et al.*, 2009). Comme le montre le tableau 2, si les progrès du passé se poursuivent, la plupart des enfants français vivants aujourd'hui célébreront leur centième anniversaire. De très longues vies attendent vraisemblablement les enfants d'aujourd'hui, pour peu que l'espérance de vie continue d'augmenter au rythme historique d'environ 2,5 ans par décennie.

Tableau 2
Âge maximal atteint par au moins 50 % d'une cohorte de naissances

Année de naissance	2000	2005	2010	2015
France	102	104	105	107
Allemagne	100	101	103	105
Japon	105	107	108	110

Source : calculs réalisés au moyen de la méthode décrite par Christensen *et al.* (2009), en utilisant les données de Human Mortality Database.

Parmi les chercheurs qui sont disposés à spéculer sur l'avenir de l'espérance de vie – et nombre d'entre eux ne le sont pas, jugeant ce type de spéculation tout sauf scientifique –, on recense, d'une manière générale, trois points de vue :

– (1) certains soutiennent que l'espérance de vie augmentera plus lentement que par le passé, se rapprochant peut-être d'une limite qui n'est pas très supérieure au niveau maximal actuel, avec un certain risque que l'espérance de vie diminue (Fries, 1980) ;

– (2) d'autres estiment que l'espérance de vie dans les pays qui s'en sortent le mieux continuera d'augmenter au rythme historique de près de trois mois par an pendant les quelques décennies à venir, voire davantage (Oeppen et Vaupel, 2002 ; Torri et Vaupel, 2012) ;

– (3) enfin, certains futurologues prédisent que l'espérance de vie augmentera beaucoup plus rapidement que cela, en raison d'avancées biomédicales majeures (De Grey et Rae, 2008).

Le 25 février 2016, j'ai donné une conférence à Londres à un groupe d'actuaire intéressés par les projections en matière de longévité. Je leur ai demandé laquelle des trois perspectives esquissées ci-dessus était la plus probable. En particulier, je leur ai demandé quelles étaient leurs prédictions en ce qui concernait l'espérance de vie maximale d'ici à une cinquantaine d'années. Sur les 118 actuaire qui ont répondu à ma question, 99 (84 %) pensaient que l'espérance de vie maximale augmenterait plus lentement que par le passé ; parmi ceux-ci, 3 actuaire estimaient que l'espérance de vie maximale diminuerait. Quelque 11 (9 %) actuaire privilégiaient le deuxième scénario, selon lequel l'espérance de vie maximale continuerait de croître d'environ trois mois par an pendant le demi-siècle à venir. Enfin, 7 (6 %) actuaire étaient d'avis que l'espérance de vie maximale augmenterait de manière beaucoup plus rapide, pour atteindre cent deux ans ou plus d'ici à cinquante ans.

J'ai ensuite posé une question quelque peu différente. Je les ai interrogés sur la probabilité que l'espérance de vie maximale d'ici à cinquante ans soit de quatre-vingt-dix ans ou moins (par rapport aux quatre-vingt-sept ans d'aujourd'hui). Seuls 4 des 114 experts ayant répondu estimaient cela probable. Un peu plus de la moitié, soit 59 d'entre eux, pensaient que cela était peu probable, avec une probabilité située entre 5 % et 49 %. Les autres 51 experts, soit 45 % d'entre eux, jugeaient cela très improbable, avec une probabilité inférieure à 5 %.

J'ai également posé d'autres questions. Dans l'ensemble, le consensus parmi les actuaire était que la situation future se situerait quelque part entre les scénarios n° 1 et n° 2, même si certains estimaient que le scénario n° 3 était le plus plausible. La prévision médiane quant à l'espérance de vie maximale d'ici à cinquante ans était d'environ quatre-vingt-quinze ans, mais avec un grand nombre de personnes soutenant des

valeurs plus proches de cent ans et un certain nombre de personnes soutenant des valeurs bien plus élevées, ainsi qu'un nombre considérable de personnes soutenant des valeurs plus proches de quatre-vingt-dix ans et un certain nombre de personnes soutenant des valeurs inférieures à quatre-vingt-sept ans. Comment expliquer que la fourchette des prévisions soit aussi large parmi les experts de l'espérance de vie ?

Il est évident que l'avenir de la longévité sera différent de son passé, mais on ne sait pas à quel point. Le pays ayant l'espérance de vie la plus élevée a changé, la Suède cédant sa place au Japon, et un pays différent, peut-être la France, l'Espagne ou la Suisse, pourrait prendre la tête du classement dans le futur. Les progrès accomplis en termes de lutte contre les causes de mortalité ont évolué, portant aujourd'hui sur les maladies chroniques plutôt que sur les maladies infectieuses. Avant 1950, la hausse de l'espérance de vie était largement alimentée par la réduction des taux de mortalité des nourrissons, des enfants et des jeunes adultes. Aujourd'hui, cette hausse est surtout attribuable à une diminution des taux de mortalité des personnes âgées de plus de soixante-cinq ans et des personnes âgées de plus de quatre-vingts ans (âges auxquels surviennent la plupart des décès).

Quels types d'améliorations du niveau de mortalité pourraient survenir à l'avenir ? Les experts en savent long sur le passé, mais éprouvent des difficultés à prévoir les événements futurs, en particulier les types d'événements surprenants qui se sont produits si souvent dans le passé, mais qui n'avaient pas été prévus et qui étaient même imprévisibles. Imaginons :

- qu'au cours des dix ou vingt prochaines années, des progrès considérables pourraient être réalisés dans la réduction de l'incidence du cancer et dans les traitements contre cette maladie. Une stratégie prometteuse consiste à modifier génétiquement des cellules immunitaires afin qu'elles détruisent les cellules cancéreuses. Plus généralement, de nombreuses maladies, telles que la sclérose en plaques et le VIH, par exemple, pourraient être traitées au moyen d'immunothérapies améliorées ;

- qu'au cours des dix ou vingt prochaines années encore une fois, des progrès considérables pourraient être accomplis en vue de retarder l'apparition de la démence et d'améliorer la situation des personnes touchées par cette condition. Des preuves attestent qu'au cours des dernières décennies, l'apparition de la démence a été retardée d'environ deux à quatre ans par décennie (Stallard, 2014) et cette tendance pourrait se prolonger ;

- que la nouvelle initiative de « médecine de précision » ait pour objectif de développer des traitements alternatifs optimaux pour des personnes ayant des patrimoines génétiques différents. De telles

thérapies pourraient réduire considérablement la mortalité. En outre, des avancées récentes dans la technologie CRISPR¹ pourraient conduire à des stratégies visant à remplacer les gènes délétères qu'une personne pourrait avoir par des variantes diminuant les risques de maladie ;

– que des recherches approfondies se concentrant sur la reconstruction ou la régénération des tissus et des organes, telles que la reconstruction de la peau ou la régénération des tissus cardiaques endommagés à la suite d'un infarctus, pourraient conduire à de meilleurs traitements et même, d'ici à plusieurs dizaines d'années, à des stratégies visant à rajeunir les tissus et les organes ;

– que des recherches portant sur les nanotechnologies pourraient finir par mener au développement de minuscules robots, des « nanobots », qui pourraient être injectés dans le corps d'une personne afin d'y réparer des dommages ou d'y détruire des cellules pathogènes ou cancéreuses ;

– que, de manière plus significative, des recherches portant sur la biologie de base du vieillissement pourraient conduire à des interventions permettant de ralentir le vieillissement. Par exemple, des avancées pourraient être réalisées de sorte qu'une personne subirait en deux ans la détérioration que les gens subissent actuellement en une année : autrement dit, il faudrait *grosso modo* deux ans pour vieillir d'une année. De nombreux biologistes dans divers laboratoires du monde entier cherchent à ralentir l'horloge du vieillissement chez différentes espèces modèles telles que les vers de terre, les mouches et les rongeurs. S'ils y parvenaient et si leurs découvertes pouvaient être étendues aux êtres humains, alors l'espérance de vie pourrait doubler, voire augmenter davantage.

D'un autre côté, il n'est pas difficile d'imaginer des développements qui ralentiraient, voire inverseraient la hausse de l'espérance de vie. La croissance économique future pourrait être plus faible que par le passé. Il pourrait y avoir moins de ressources disponibles pour la prévention et le traitement des maladies. En raison d'une croissance économique plus faible et de besoins concurrents – comme le coût des pensions –, les ressources disponibles pour la recherche biomédicale pourraient diminuer. De nouvelles maladies, plus redoutables que le sida, pourraient émerger. Des guerres pourraient éclater. Des terroristes pourraient avoir recours à des armes nucléaires. Une épidémie croissante d'obésité pourrait conduire à de sérieux dommages sur la santé. Les avancées biomédicales esquissées ci-dessus pourraient ne jamais survenir. Il pourrait s'avérer impossible de réduire la mortalité après l'âge de cent ans.

Ce dernier risque est peut-être le plus significatif. Comme souligné précédemment, les progrès réalisés dans l'accroissement de l'espérance

de vie depuis 1950 ont découlé d'un recul de la sénescence, de sorte que des personnes âgées de soixante-dix ans, quatre-vingts ans et, dans une moindre mesure, de quatre-vingt-dix ans sont globalement en aussi bonne santé que des personnes qui étaient âgées de dix ans de moins il y a une cinquantaine d'années. Des preuves attestent que le rythme des progrès accomplis dans la réduction du taux de mortalité des nonagénaires s'accélère, bien que les améliorations soient plus lentes que pour les septuagénaires ou les octogénaires. En revanche, il semble que le taux de mortalité des personnes âgées de plus de cent ans évolue peu. Les améliorations chez les centenaires deviendront peut-être plus visibles à mesure que les personnes atteindront l'âge de cent ans en meilleure santé grâce aux progrès dont elles auront bénéficié plus jeunes. Il est également probable toutefois qu'il soit impossible de réduire considérablement la mortalité des centenaires. En pareil cas, l'espérance de vie n'atteindra pas cent ans.

LE PRÉSENT ET LE FUTUR DES PROJECTIONS EN MATIÈRE DE LONGÉVITÉ

Jusqu'à récemment, la plupart des prévisions concernant l'espérance de vie étaient basées sur un jugement relatif à la limite ultime de l'espérance de vie, dont on supposait qu'elle n'était pas très supérieure à l'espérance de vie maximale actuelle. Puis les valeurs de l'espérance de vie du présent au futur ont été interpolées entre l'espérance de vie actuelle et la limite supposée, avec des augmentations plus rapides dans un avenir proche et des hausses de plus en plus lentes à mesure que l'on approchait de l'asymptote. Cette stratégie a systématiquement produit des projections trop basses (Oeppen et Vaupel, 2002). En dépit de cette triste saga d'échecs répétés, bon nombre d'experts de la mortalité continuent de croire que leurs jugements relatifs aux niveaux futurs de l'espérance de vie sont supérieurs aux extrapolations de données historiques.

On pourrait soutenir de façon convaincante que la première étape en vue de réaliser une projection en matière de longévité devrait être d'extrapoler des données historiques en recourant aux méthodes de l'analyse des séries chronologiques (Wilmoth, 1998 ; Vaupel, 2012). Les raisons pour lesquelles l'avenir pourrait être meilleur, pire ou plus incertain que le passé peuvent ensuite être envisagées. Des ajustements devraient être faits avec prudence compte tenu des piètres résultats des experts qui prédisent la longévité en se basant sur leurs notions de la façon dont des facteurs ayant une incidence sur la longévité évolueraient dans le futur. De nombreux facteurs ont des conséquences sur la mortalité, y compris les conditions économiques, sociales et politiques, les niveaux d'éducation, les régimes alimentaires, le tabagisme et autres

aspects du comportement individuel, les épidémies, les mesures de santé publique, la qualité des soins de santé, le développement de produits pharmaceutiques plus efficaces, les progrès réalisés en termes de traitements médicaux et de procédures chirurgicales, et les avancées biomédicales révolutionnaires.

Il est tellement difficile de prédire ces facteurs et l'impact qu'ils auront sur la mortalité qu'il est préférable d'extrapoler les tendances passées en termes de mortalité ou d'espérance de vie. L'avenir sera peut-être turbulent, mais le passé l'a également été – songez au XX^e siècle marqué par deux guerres mondiales, l'épidémie de grippe espagnole, l'ascension et la chute du fascisme et du communisme, la Grande Dépression, l'épidémie du sida, etc. Les améliorations futures en matière de santé pourraient connaître un ralentissement dû à des tendances délétères, par exemple l'obésité, mais les améliorations passées ont elles aussi été freinées par des tendances délétères, telles que la hausse du tabagisme. L'avenir nous réserve peut-être des avancées biomédicales dans les domaines de la prévention et du traitement de certaines conditions, comme le cancer, la démence et peut-être la sénescence, mais le passé a lui aussi été marqué par des progrès remarquables qui ont permis de réduire la mortalité due, par exemple, à des maladies infectieuses ou à des maladies cardiovasculaires.

50

De plus en plus souvent, des méthodes d'analyse des séries chronologiques sont aujourd'hui utilisées pour prédire l'espérance de vie sur la base de données historiques relatives à la mortalité par âge. Lee et ses collègues (par exemple, Lee et Carter, 1992) ainsi qu'Alho et ses collègues (par exemple, Alho et Spencer, 2005) ont été les premiers à recourir à ces méthodes qui présentent deux avantages majeurs : elles extrapolent des données empiriques et produisent des distributions de probabilités de l'espérance de vie future plutôt que des estimations ponctuelles. Un éventail de méthodes d'analyse des séries chronologiques quelque peu similaires a été développé. Ces méthodes supposent généralement que les taux de diminution par âge des taux de mortalité persisteront à l'avenir, connaissant parfois une accélération modeste. Puisque les taux de mortalité chez les personnes âgées ont diminué plus lentement que les taux de mortalité chez les personnes plus jeunes, ces méthodes rapportent généralement ce que croient la plupart des experts, à savoir que l'espérance de vie augmentera de plus en plus lentement à l'avenir.

Une approche alternative plus directe consiste à prédire l'espérance de vie en extrapolant les données historiques relatives à l'espérance de vie même (Oeppen et Vaupel, 2002). Certaines recherches pionnières ont été menées sur cette approche, mais la stratégie nécessite d'être davantage développée avant de pouvoir être appliquée avec confiance.

L'idée de base est de tirer parti de la régularité remarquable des tendances observées dans le temps en matière d'espérance de vie maximale. Si l'on prédit l'espérance de vie maximale, alors l'écart entre cette dernière et l'espérance de vie de certaines populations, par exemple celle des femmes françaises, peut être prédit en se basant sur des données relatives aux écarts passés. Les taux de mortalité par âge peuvent être prédits en exploitant la forte corrélation qui existe entre l'espérance de vie et le schéma de mortalité par âge.

D'autres stratégies pourraient également être développées. Compte tenu de l'importance des projections en matière de longévité, il est très étonnant de constater qu'aussi peu de recherches sont menées en vue d'améliorer la qualité de celles-ci. Les futures recherches pourraient porter sur les options suivantes, lesquelles permettraient de mieux exploiter les données empiriques relatives aux tendances du passé :

- les causes de la hausse linéaire de l'espérance de vie maximale depuis 1840 ne sont pas bien comprises. Le schéma linéaire pourrait être l'artefact d'un certain processus plus complexe qui cessera de produire une hausse linéaire à l'avenir ;

- bien que les évolutions périodiques de la mortalité dominent les évolutions sur la base de cohortes, il existe bel et bien des schémas de cohorte, par exemple en ce qui concerne l'intensité du tabagisme (Lindahl-Jacobsen *et al.*, 2016). Comment de tels effets de cohortes peuvent-ils être intégrés aux projections en matière de longévité ? La réponse n'est pas évidente (Murphy, 2010). Wang et Preston (2010) ont fait un premier pas constructif en la matière, mais la question mérite que l'on s'y attarde davantage ;

- de nombreuses données dans le temps et en fonction de l'âge, de la population et du genre sont disponibles en ce qui concerne les causes de décès immédiates, sous-jacentes et concourantes. Une mine d'informations est également disponible en ce qui concerne les divers aspects de la santé des individus en fonction de l'âge et dans le temps. Les tendances en fonction de l'âge et dans le temps dans les indicateurs de santé et dans la mortalité par cause de décès spécifique ne sont pas linéaires, ce qui complique les choses, et il existe des schémas complexes de corrélation entre les tendances des différents indicateurs et causes. Comment ces informations peuvent-elles être utilisées en vue d'améliorer les projections en termes de mortalité ?

- la question de savoir si les taux de mortalité peuvent être considérablement réduits chez les centenaires représente une incertitude majeure en termes de prédiction de l'espérance de vie future. Le report du début de la sénescence – plus d'une décennie depuis 1950 – va-t-il se poursuivre ? La théorie des valeurs extrêmes pourrait être utilisée pour étudier les schémas et les tendances de survie chez les pionniers de

la frontière évolutive de la survie, à savoir les personnes âgées de plus de cent ans, voire les personnes, plus rares, âgées de plus de cent dix ans ;

– les populations sont hétérogènes. Les plus fragiles ont tendance à mourir en premier. Cela explique probablement la stabilisation des taux de décès chez l'homme à des âges avancés et explique en partie la convergence (et le croisement) des trajectoires de mortalité en fonction de l'âge pour deux populations différentes (telles que les Noirs et les Blancs aux États-Unis). Certaines recherches innovantes suggèrent qu'il pourrait être envisageable de modéliser cette hétérogénéité dans les modèles de projection (Jarner et Kryger, 2011) ;

– Bongaarts et Feeney ont fait valoir l'argument des effets temporels sur la mortalité, et j'ai démontré que de tels effets étaient liés à l'hétérogénéité des populations et qu'ils existaient effectivement. À ce jour, néanmoins, l'ampleur de ces effets ainsi que la façon dont il convient de les prendre en compte ou de les corriger dans les projections en matière de mortalité ne sont pas évidentes (Barbi *et al.*, 2008) ;

– les taux de mortalité par âge sont fortement corrélés entre les différents groupes d'âge, entre hommes et femmes, et entre pays. Pourtant, la plupart des projections en matière de longévité sont réalisées soit pour les hommes, soit pour les femmes, et pour un pays en particulier, sans prendre en compte des tendances ni pour l'autre sexe, ni pour d'autres pays. En outre, les tendances sont généralement prédites séparément pour chaque groupe d'âge. Les projections à long terme qui ignorent les schémas marqués en fonction de l'âge dans la forme de la trajectoire de la mortalité chez l'homme et qui ne tiennent pas compte des corrélations entre hommes et femmes et entre pays peuvent donner des résultats hautement invraisemblables. Comme souligné ci-dessus, la stratégie visant à prédire l'espérance de vie maximale, à prédire l'écart à partir de cette espérance de vie maximale pour les hommes et les femmes dans différents pays et à utiliser des modèles pour estimer la mortalité par âge à partir de l'espérance de vie représente une façon d'aborder ces problèmes, mais cette stratégie nécessite davantage de recherches avant de pouvoir être communément utilisée. D'autres façons de traiter les corrélations entre les différents groupes d'âge, entre les hommes et les femmes et entre les pays (Li et Lee, 2005) méritent, elles aussi, de faire l'objet de recherches supplémentaires ;

– d'autres méthodes possibles pour les projections en matière de mortalité pourraient également être développées : les méthodes dites d'« analyse des données compositionnelles », lesquelles tiennent compte de la contrainte que toute personne finit par mourir, de sorte que si la proportion de décès dus à une certaine cause est réduite, la proportion de décès dus à d'autres causes augmente inéluctablement (Bergeron-Boucher *et al.*, 2016) ; les méthodes qui se concentrent sur

les tendances dans le temps et pour les différentes populations dans l'âge modal du décès (Thatcher *et al.*, 2010) ; les méthodes de statistiques spatiales visant à modéliser les surfaces de mortalité en fonction de l'âge et dans le temps ; les modèles d'« avant-garde » dans lesquels les tendances de mortalité sont d'abord projetées pour les groupes dont le statut socioéconomique (SSE) est le plus élevé, avant que ne soient prédits les décalages des groupes dont le SSE est plus faible ; les méthodes de simulation qui combinent des microdonnées relatives aux individus à des informations sur des macro-tendances afin de cerner les tendances en termes de comportements liés au tabagisme, à l'éducation, à l'obésité, aux conditions économiques, à la structure familiale, etc. ; les modèles avancés d'analyse des séries chronologiques, y compris les modèles à changement de régime de Markov, les modèles de cointégration avec plus d'une série chronologique, et les versions bayésiennes des modèles d'analyse des séries chronologiques (King et Soneji 2011 ; Raftery *et al.*, 2014).

En plus du développement de stratégies plus performantes visant à exploiter les données empiriques relatives aux tendances passées en matière de santé et de mortalité, des recherches sont également nécessaires sur la façon dont il convient de tirer le meilleur parti des connaissances des experts. Comme souligné ci-dessus, les experts ont lamentablement échoué dans l'évaluation des limites de l'espérance de vie chez l'homme. Toutefois, il serait possible de faire un usage structuré des avis d'experts afin de développer des projections basées sur des scénarios alternatifs concernant de futures conditions économiques, politiques et sociales (Lutz, 2009). En outre, les experts pourraient fournir des informations utiles quant à la probabilité et le calendrier des avancées de la recherche qui résultent, par exemple, des interventions qui ralentissent l'augmentation par âge des taux de mortalité.

La hausse continue et spectaculaire de la longévité au cours des deux cents dernières années est à ce point remarquable que le futur de la longévité pourrait être riche en développements tout aussi saisissants (Vaupel, 2010). Le futur nous réservera très certainement des surprises. L'anticipation de certains changements passe par le développement de méthodes de projection plus performantes.

NOTE

1. CRISPR : courtes répétitions palindromiques groupées et régulièrement espacées ; famille de séquences répétées dans l'ADN.

BIBLIOGRAPHIE

- ALHO J. et SPENCER B. (2005), *Statistical Demography and Forecasting*, Springer.
- ARISTOTE (1984) (éd. Barnes J.), *The Complete Works of Aristotle*, Princeton University Press, pp. 740-744.
- BARBI E., BONGAARTS J. et VAUPEL J. W. (éd.) (2008), *How Long Do We Live?*, Springer.
- BAUDISCH A. (2008), *Inevitable Aging?*, Springer.
- BAUDISCH A. et VAUPEL J. W. (2012), « Getting to the Root of Aging », *Science*, vol. 338, pp. 618-619.
- BERGERON-BOUCHER M.-P., CANUDAS-ROMO V., OEPPEN J. et VAUPEL J. W. (à paraître en 2016), « Coherent Forecasts of Mortality with Compositional Data Analysis », *International Journal of Forecasting*.
- CHRISTENSEN K., DOBLHAMMER G., RAU R. et VAUPEL J. W. (2009), « Ageing Populations: the Challenges Ahead », *Lancet*, vol. 374, pp. 1196-1208.
- DE GREY A. et RAE M. (2008), *Ending Aging: the Rejuvenation Breakthroughs that Could Reverse Aging in our Lifetime*, St. Martin's Press.
- FRIES J. F. (1980), « Aging, Natural Death and the Compression of Morbidity », *New England Journal of Medicine*, vol. 303, pp. 130-135.
- GURVEN M. et KAPLAN H. (2007), « Longevity among Hunter-Gatherers: a Cross-Cultural Examination », *Population and Development Review*, vol. 33, pp. 321-365.
- HAMILTON W. D. (1996), *Narrow Roads of Gene Land*, Oxford University Press, vol. 1.
- HUMAN MORTALITY DATABASE sur le site www.mortality.org.
- JARNER S. F. et KRYGER E. M. (2011), « Modelling Adult Mortality in Small Populations: the SAINT Model », *ASTIN Bulletin*, vol. 41, pp. 377-418.
- JONES O. R., SCHEUERLEIN A., SALGUERO-GOMEZ R., CAMARDA G., SCHAIBLE R., CASPER B. B., DAHLGREN J. P., EHRLÉN J., GARCIA M. B., MENGES E. S., QUINTANA-ASCENCIO P. F., CASWELL H., BAUDISCH A. et VAUPEL J. W. (2014), « Diversity of Ageing across the Tree of Life », *Nature*, vol. 505, pp. 169-173.
- KANNISTO V., LAURITSEN J., THATCHER A. R. et VAUPEL J. W. (1994), « Reductions in Mortality at Advanced Ages: Several Decades of Evidence from 27 Countries », *Population and Development Review*, vol. 20, pp. 793-810.
- KING G. et SONEJI S. (2011), « The Future of Death in America », *Demographic Research*, vol. 25, pp. 1-38.
- KIRKWOOD T. B. (1977), « Evolution of Ageing », *Nature*, vol. 270, pp. 301-304.
- LEE R. D. et CARTER L. R. (1992), « Modeling and Forecasting US Mortality », *Journal of the American Statistical Association*, vol. 87, pp. 659-675.
- LI N. et LEE R. D. (2005), « Coherent Mortality Forecasts for a Group of Populations », *Demography*, vol. 42, pp. 575-594.
- LINDAHL-JACOBSEN R., RAU R., JEUNE B., CANUDAS-ROMO V., LENART A., CHRISTENSEN K. et VAUPEL J. W. (2016), « Rise, Stagnation and Rise in Danish Women's Life Expectancy », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States*, publication en ligne le 28 mars.
- LUTZ W. (2009), « The Demography of Future Global Population Aging », *Population and Development Review*, vol. 35, pp. 357-365.
- MEDAWAR P. B. (1952), *An Unsolved Problem in Biology*, Lewis.
- MISSOV T. I. et LENART A. (2011), « Linking Period and Cohort Life-Expectancy: Linear Increases in Gompertz Proportional Hazards Models », *Demographic Research*, vol. 24, art. 19, pp. 455-468.
- MURPHY M. J. (2010), « Reexamining the Dominance of Birth Cohort Effects on Mortality », *Population and Development Review*, vol. 36, pp. 365-390.
- OEPPEN J. et VAUPEL J. W. (2002), « Broken Limits to Life Expectancy », *Science*, vol. 296, pp. 1029-1031.
- OLSHANSKY S. J., CARNES B. A. et DÉSESQUELLES A. (2001), « Prospects for Human Longevity », *Science*, vol. 292, n° 5508.

- RAFTERY A. E., ALKEMA L. et GERLAND P. (2014), « Bayesian Population Projections for the United Nations », *Statistical Science*, vol. 29, pp. 58-68.
- RAU R., SOROKO E., JASILIONIS D. et VAUPEL J. W. (2008), « Continued Reductions in Mortality at Advanced Ages », *Population and Development Review*, vol. 34, pp. 747-768.
- SCHAIBLE R., SCHEUERLEIN A., DANKO M. J., GAMPE J., MARTINEZ D. E. et VAUPEL J. W. (2015), « Constant Mortality and Fertility over Age in Hydra », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 112, pp. 15701-15706.
- SHKOLNIKOV V., JDANOV D., ANDREEV E. et VAUPEL J. W. (2011), « Steep Increase in Best-Practice Cohort Life Expectancy », *Population and Development Review*, vol. 37, pp. 419-434.
- STALLARD E. (2014), « Update on the LTC Morbidity Improvement Study », *Long Term Care News*, vol. 36, pp. 23-27.
- THATCHER R., CHEUNG S. L. K., HORIUCHI S. et ROBINE J.-M. (2010), « The Compression of Deaths above the Mode », *Demographic Research*, vol. 22, pp. 505-538.
- TORRI T. et VAUPEL J. W. (2012), « Forecasting Life Expectancy in an International Context », *International Journal of Forecasting*, vol. 28, pp. 519-531.
- VAUPEL J. W. (2010), « Biodemography of Human Ageing », *Nature*, vol. 464, pp. 536-542.
- VAUPEL J. W. (2012), « How Long Will We Live? », *SCOR Paper*, n° 20, pp. 1-10.
- VAUPEL J. W., BAUDISCH A., DÖLLING M., ROACH D. A. et GAMPE J. (2004), « The Case for Negative Senescence », *Theoretical Population Biology*, vol. 65, pp. 339-351.
- VAUPEL J. W., CAREY J. R. et CHRISTENSEN K. (2003), « It's Never Too Late », *Science*, vol. 301, pp. 1679-1681.
- VAUPEL J. W. et GOWAN A. E. (1986), « Passage to Methuselah: some Demographic Consequences of Continued Progress against Mortality », *American Journal of Public Health*, vol. 76, pp. 430-433.
- VAUPEL J. W. et LUNDSTRÖM H. (1994), « Longer Life Expectancy? Evidence from Sweden of Reductions in Mortality Rates at Advanced Ages », in Wise D. A. (éd.), *Studies in the Economics of Aging*, University of Chicago Press, pp. 79-104.
- VAUPEL J. W., MANTON K. G. et STALLARD E. (1979), « The Impact of Heterogeneity in Individual Frailty on the Dynamics of Mortality », *Demography*, n° 16, pp. 439-454.
- VOGT T. C. et KLUGE F. A. (2015), « Can Public Spending Reduce Mortality Disparities? Findings from East Germany after Reunification », *Journal of the Economics of Ageing*, vol. 5, pp. 7-13.
- WANG H. et PRESTON S. H. (2010), « Forecasting United States Mortality Using Cohort Smoking Histories », *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 106, pp. 393-398.
- WILLIAMS G. C. (1957), « Pleiotropy, Natural Selection and the Evolution of Senescence », *Evolution*, vol. 11, pp. 398-411.
- WILMOTH J. R. (1998), « The Future of Human Longevity », *Science*, vol. 280, pp. 395-397.
- WRIGLEY A. R. et SCHOFIELD R. S. (1981), *The Population History of England*, Cambridge University Press, pp. 1541-1871.

