

Axe 2 : Durée de vie, autonomie, fragilisation et fin de vie

Risques de décès aux âges extrêmes de la vie

Premiers résultats sur la population française, belge et canadienne-française.

Hoang Khanh Linh Dang^{1,2}

France Meslé¹

Nadine Ouellette³

¹Institut national d'études démographiques

²Pôle Démographie, Université Paris Nanterre

³Département de démographie, Université de Montréal

Résumé court

Face à une nouvelle classe d'âge des personnes atteignant les âges extrêmes de la vie humaine (plus de 90 ans) qui prend statistiquement une réalité, la question centrale de notre étude porte sur la validité des diverses lois (ou modèles) de mortalité aux très grands âges. Autrement dit, est-ce que la mortalité continue de croître exponentiellement avec l'âge jusqu'à ce que la génération s'éteigne, ou est-ce qu'elle tend à ralentir, se stabiliser, voire diminuer ? Nombre de travaux ont déjà été conduits sur la forme de la courbe de mortalité aux très grands âges, qui demeure toutefois incertaine, entre autres à cause de l'imprécision de l'âge dans le cas de décès survenus à des âges très élevés. Dans ce contexte, la présente communication vise à s'affranchir du problème de qualité de données recueillies en travaillant sur des données issues de trois populations (France, Belgique, Québec) validées de façon spécifique dans chacune d'entre elles. Après avoir présenté les sources de données puis les diverses méthodes retenues pour la validation de l'âge au décès, une estimation des taux de mortalité par âge au-delà de 90 ans sera effectuée, permettant à terme de tester différents modèles statistiques paramétriques.

Risques de décès aux âges extrêmes de la vie

Premiers résultats sur la population française, belge et canadienne-française

Hoang Khanh Linh Dang^{1,2}
France Meslé¹
Nadine Ouellette³

¹Institut national d'études démographiques
²Pôle Démographie, Université Paris Nanterre
³Département de démographie, Université de Montréal

1. Introduction

Au cours des dernières décennies, une baisse remarquable de la mortalité aux âges extrêmes a été observée dans les pays développés (Kannisto, 1994 ; Vaupel *et al.*, 2006 ; Rau *et al.*, 2008 ; Ouellette et Bourbeau, 2014). En même temps, malgré les fluctuations enregistrées d'une année à l'autre, l'âge maximal au décès a tendance à augmenter (Meslé *et al.* 2000, Wilmoth *et al.*, 1996, 2000). La question centrale se pose maintenant sur la validité des diverses lois de mortalité dans l'estimation des risques de décès aux grands âges : la mortalité augmente-t-elle toujours exponentiellement avec l'âge jusqu'à ce que la génération s'éteigne, ou tend-elle à ralentir, se stabiliser ou diminuer ? (Meslé *et al.* 2010). Malgré plusieurs travaux empiriques déjà conduits, la forme de la courbe de mortalité aux grands âges reste toujours sujet à controverses (Horiuchi et Wilmoth, 1998 ; Thatcher *et al.*, 1998 ; Gampe, 2010 ; Gavrilov et Gavrilova, 2011 ; Ouellette 2016). Les études qui aboutissent à une confirmation de la décélération de la mortalité aux grands âges sont contestées pour trois raisons principales : des données invalides, des calculs basés sur des hypothèses inappropriées, et/ou des résultats portant sur un regroupement de plusieurs générations dans l'objectif d'élargir les bases de données mais qui augmente en même temps l'hétérogénéité de la population (Gavrilov et Gavrilova, 2011 ; Gavrilova et Gavrilov, 2015). Cette communication vise ainsi à répondre d'abord à la première critique en s'appuyant sur des données sur les décès aux âges extrêmes recueillies, validées et reconnues pour leur fiabilité dans trois pays (la France, la Belgique et le Canada, plus spécifiquement le Québec). Nous étudierons en détail les différences techniques de validation de l'âge au décès mises en pratique pour ces données qui, serviront ensuite pour analyser la forme de la courbe de mortalité au-delà de 100 ans, tout en prenant soin de recourir à des hypothèses appropriées pour ces calculs. Ainsi, après avoir présenté les sources de données, nous comparerons les procédures de validation faites pour chaque population ainsi que leur couverture, afin de constituer un ensemble cohérent sur lequel s'appuieront ensuite l'estimation des populations soumises aux risques et une première estimation des taux de mortalité par âge.

2. Validité des données sur les décès aux grands âges

2.1. Le cas de la France

Les données reçues pour la France proviennent de trois sources (l'extrait du Répertoire national d'identification des personnes physiques (RNIPP), la statistique de l'état civil et des archives personnelles). Ensemble, elles couvrent les centenaires décédés avant l'âge de 105 ans, les semi-supercentenaires (105-109 ans) et les supercentenaires (110 ans ou plus). Aucune de ces trois sources n'est en fait exhaustive. Les données du RNIPP ne le sont que pour les générations nées après 1890, demeurent incomplètes pour les générations nées avant 1890 et l'extrait du RNIPP dont nous disposons couvre seulement les personnes décédées à l'âge de 105 ans et plus (les semi-supercentenaires et les supercentenaires). Pour le cas des données issues de l'état civil, outre les erreurs d'enregistrement de l'âge au décès, jusqu'en 1987, l'INSEE considérait que tout âge au décès supérieur à 109 ans était erroné et n'enregistrait aucun décès au-delà de cet âge. Quant aux archives personnelles, rassemblées par des individus s'intéressant aux cas de longévité extrême, elles sont incomplètes car basées sur des sources disparates (presse, communication des familles, etc.). Cependant, à partir des données nominatives du RNIPP, l'âge au décès de chaque individu peut être vérifié systématiquement, en retournant aux documents d'état-civil originaux : certificat de naissance et certificat de décès.

Au total, parmi 180 cas de supercentenaires identifiés, 164 cas sont confirmés pour la période 1988 – 2014. Pour les semi-supercentenaires, la validation a porté sur un échantillon de 1050 cas dont 1043 ont été validés. Aucune validation n'a été faite pour les 100-104 ans, mais il semble que les erreurs de déclaration sont négligeables (Meslé *et al.*, 2010)

2.2. Le cas du Québec

Les données sur les centenaires, les semi-supercentenaires et les supercentenaires au Québec viennent d'abord des listes annuelles nominatives de toutes les personnes réputées décédées à partir de 100 ans issues du registre de l'état civil entre 1970 et 2009, fourni par l'Institut de la statistique du Québec. À titre de source de données permettant de valider l'exactitude de ces informations tirées de l'état civil, les registres paroissiaux tenus rigoureusement depuis le XVII^{ème} siècle au Québec ancien ont été mobilisés. La population étudiée contient par conséquent exclusivement des Canadiens-français catholiques. La validation consiste à comparer les informations contenues sur le certificat de décès et le document d'enregistrement de la naissance (i.e., l'acte de baptême) pour vérifier que la date de naissance renseignée sur le certificat de décès correspond à la date figurant sur le document de naissance. Les recensements canadiens de 1881, de 1901 et de 1911 sont utilisés comme source complémentaire pour la validation. Ces derniers fournissent les noms et prénoms, l'âge et la date de naissance de toutes les personnes résidant dans un ménage au moment du recensement et servent parfois à réduire l'incertitude concernant l'âge au décès des personnes.

Ainsi sur 1900 cas de centenaires décédés entre 1970 et 2004, 1825 ont pu être validés. S'y ajoutent 373 cas décédés entre 2005 et 2009, validés pour les plus de 105 ans et non validés pour

les 100-104 ans. En effet, les études ont montré que la validation systématique ne s'impose qu'au-delà de 105 ans, les données étant très fiables au-dessous de cet âge (Bourbeau et Desjardins, 2002 ; Beaudry-Godin, 2010). Au total, la base de données sur les Canadiens-français catholiques nés au Québec entre 1870 et 1896 et décédés au Québec entre 1970 et 2009 regroupe donc 2198 individus, dont 1977 centenaires, 210 semi-supercentenaires et 11 supercentenaires.

2.3. Le cas de la Belgique

Les données belges sont constituées de données numériques et de données nominatives. Les données numériques proviennent des recensements et des statistiques démographiques annuels. Les données nominatives proviennent des registres paroissiaux et des registres de la population. D'autres sources complémentaires sont parfois utilisées, tel que des articles de journaux.

La validation des données est faite par une comparaison systématique des certificats de naissance et de décès et en s'appuyant sur d'autres documents parlant des événements de vie. En résultat, parmi les individus nés entre 1891 et 1904 et décédés entre 1981 et 2012, 5518 centenaires ont été validés, 351 semi-supercentenaires et 14 supercentenaires.

2.4. La comparaison du niveau de fiabilité des données

Compte tenu de la diversité dans la collecte et la validation des données dans les trois populations, il est important de s'assurer qu'elles sont suffisamment comparables avant d'envisager une exploitation jointe. S'agissant des sources de données, les validations sont effectuées à partir de documents qui ne sont pas toujours les mêmes, mais qui restent des documents officiels: (1) les documents légaux comme l'acte de décès (pour les trois populations), l'acte de naissance (France et Belgique), l'acte de baptême (au Québec), l'acte de mariage ou de divorce, pour l'une des populations ; (2) les documents statistiques comme les recensements ou l'inscription dans les registres paroissiaux. En termes de processus de validation pour les trois populations, une vérification de la correspondance des informations entre les différents documents sur un même individu est conduite de manière systématique. Pour l'instant, soulignons déjà que dans tous les cas, il y a une vérification de la cohérence entre la date de naissance inscrite sur au moins deux documents officiels pour chaque personne et le calcul de l'âge au décès correspondant à la différence entre la date de décès et celle de naissance, en plus tout en étant accompagné dans certains cas d'autres informations sur les événements survenus au cours de vie de la personne. Des données ainsi validées dans les trois pays atteignent donc un niveau de fiabilité « B » ou « C » dans le système de Skytthe et Jeune (1995) ou « quatre étoiles » dans le système de l'International Database on Longevity (IDL), issu d'un projet de recherche de l'INSERM, l'INED et du Max Planck Institute for Demographic Research. Selon Poulain (2010), pour la validation de l'âge dans les cas extrêmes et probablement pour tous les supercentenaires, le niveau « B » ou « C » est nécessaire pour estimer le niveau de longévité d'une population donnée. Les données validées recueillies des trois pays sont donc, a priori,

suffisamment fiables pour y conduire des études sur la forme de la courbe de mortalité, répondant ainsi à la première critique vis-à-vis des études démontrant la décélération de la mortalité.

3. Méthodes d'analyse

3.1. Estimation de la population exposée aux risques et calcul des taux de mortalité observés

Traditionnellement, les données pour calculer les taux de mortalité par âge sont issues de deux sources principales : l'état civil pour les nombres de décès (numérateur du taux) et le recensement pour l'estimation des populations soumises aux risques de décéder (dénominateur du taux). Cependant, ces deux sources ne sont pas toujours cohérentes, surtout aux grands âges. Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour estimer les effectifs de la population soumise au risque dont l'une est de recourir à la méthode des générations éteintes proposée par Paul Vincent. Le principe sur lequel repose cette méthode est que « le nombre des survivants d'un certain âge, au sein d'une génération, est égal à la somme de tous les décès survenus après cet âge, dans la même génération, jusqu'à l'extinction » (Vincent, 1951, p.189). Ainsi, pour une génération g , l'effectif de la population d'âge exact x (i.e., $x^{\text{ième}}$ anniversaire) est égal à :

$$P_x(g) = \sum_{i=x}^{\omega} D_{i,i+1}(g)$$

où $D_{i,i+1}(g)$ correspond au nombre de décès enregistrés entre les âges exacts i et $i+1$ dans la génération g et ω représente l'âge au décès le plus élevé observé dans cette même génération.

Cette méthode n'utilise que les statistiques de l'état civil, en faisant donc la source unique pour les calculs de taux de mortalité. Elle augmente ainsi davantage la cohérence de données, surtout dans les pays développés où le système d'enregistrement de l'état civil a fait preuve d'une continuité et d'une adéquation notables, comme c'est le cas pour la France, le Canada (Québec) et la Belgique. Pourtant, cette méthode présente aussi des limites car elle ne peut être appliquée qu'aux générations complètement éteintes. Même si on estime qu'une génération est quasi-éteinte à 115 ans (négligeant quelques cas extrêmes comme celui de Jeanne Calment, décédée à 122.4 ans en 1998 en France (Robine et Allard, 1999)), en 2016, la méthode de Paul Vincent ne peut être employée que pour les générations nées au moins 115 ans plus tôt, donc avant 1901. L'ajout des générations non-éteintes pourra être fait en adoptant la méthode de ratio de survie de Depoid (1973), la méthode de Meslé et Vallin (2002), ou encore la méthode de Das Gupta avancé (2004), mais ne sera pas traité dans le présent article.

Une fois la comparabilité entre les données disponibles assurée, les taux de mortalité par âge et par génération non lissés pourront être calculés, en rapportant les nombres de décès à un âge donné à l'effectif de la population du même âge exposé au risque de décéder. Ces taux observés (i.e., non lissés) donneront une première indication sur les niveaux de mortalité aux très grands

âges. Par la suite, ils serviront de base à l'application de différents modèles statistiques paramétriques (des lois de mortalité), permettant de contribuer au débat sur la forme de la courbe de mortalité aux très grands âges et sur son évolution.

3.2. Ajustement des taux de mortalité par âge observés par des modèles paramétriques

Face à l'incertitude concernant la forme de la courbe de mortalité aux âges extrêmes de la vie, plusieurs scénarios ont été proposés et chacun est résumé par une fonction mathématique, appelée « loi » de mortalité. Comme toute fonction mathématique, ces lois de mortalité ont chacune une représentation graphique dont la forme fonctionnelle est prédéterminée. Pourtant, il faut savoir que différentes hypothèses sur les mécanismes de l'évolution de la mortalité d'une population peuvent donner lieu à une même représentation graphique. Autrement dit, pour une même forme de courbe de mortalité, plusieurs mécanismes peuvent être impliqués. Dans le cadre de cette étude, l'objectif premier est de déterminer la forme paramétrique qui décrit le plus adéquatement possible les taux de mortalité obtenus à partir des données de qualité inédite mises à notre disposition. Pour ce faire, on choisit pour chaque scénario une loi de mortalité dont la parcimonie permet de simples démarches d'estimation et d'interprétation, en plus d'être bien entendu représentative de la forme impliquée par le scénario en question. Le choix de ces lois de mortalité est essentiellement basé sur les travaux empiriques précédents (Horiuchi et Wilmoth, 1998 ; Thatcher *et al.*, 1998 ; Thatcher, 1999 ; Yi et Vaupel, 2003).

En ce qui concerne les scénarios proposés, il existe deux grands courants : le premier porte sur l'augmentation exponentielle de la mortalité avec l'âge, le deuxième constitue un détachement progressif de cette croissance exponentielle de la mortalité avec l'âge. Si la croissance exponentielle signifie une augmentation de la force (ou du taux instantané) de mortalité, notée μ_x , à un rythme constant avec l'âge x , le scénario alternatif pourrait être soit une décélération du rythme de croissance, soit une croissance nulle, soit même une diminution de la mortalité. Respectivement pour chaque scénario, les modèles choisis pour l'estimation sont le modèle de Gompertz, le modèle de Weibull, le modèle de Kannisto (i.e., le modèle logistique simplifié), et le modèle log-quadratique. L'estimation des paramètres des différents modèles sera faite par la méthode du maximum de la fonction de vraisemblance.

Le modèle de Gompertz (1825) peut s'écrire sous la forme :

$$\mu_x = ae^{bx}$$

Intuitivement, cette loi implique que la capacité d'une personne à éviter la mort est amortie graduellement avec l'âge, la force de mortalité est par conséquent la susceptibilité de l'individu à mourir. Gompertz a remarqué lui-même que la mortalité pouvait dépendre d'autres facteurs qui sont indépendants de l'âge, mais a décidé de se limiter au facteur exponentiel. Makeham (1860) a généralisé le modèle de Gompertz en ajoutant un terme indépendant de l'âge, mais ce terme a été démontré empiriquement être très petit aux âges extrêmes de la vie (Thatcher *et al.*, 1998),

laissant ainsi le modèle de Gompertz le modèle représentatif du scénario d'une croissance exponentielle de la mortalité aux âges extrêmes de la vie.

Le modèle de Weibull (1951) a pour équation :

$$\mu_x = ax^b$$

Il caractérise en fait la mortalité par la dégradation des diverses composantes de l'organisme. La différence essentielle entre le modèle de Weibull et celui de Gompertz est l'hypothèse concernant la mortalité à l'âge initial. Alors que le modèle de Gompertz suppose une vulnérabilité même à l'âge 0, celui de Weibull stipule que le système est « immortel » lors du démarrage. Cette implication aura forcément des conséquences sur la performance du modèle de Weibull dans l'ajustement des taux de mortalité aux grands âges.

Le modèle de Kannisto (1994) quant à lui fait partie de la classe des modèles logistiques dont l'idée commune est l'existence d'une asymptote horizontale pour la force de mortalité. Autrement dit, l'hypothèse sous-jacente aux modèles logistiques est que la mortalité aux âges extrêmes de la vie va continuer à croître, mais au rythme de plus en plus modéré avant de se maintenir ultimement à un certain niveau, appelé « le plateau ». Aux âges les plus extrêmes de la vie humaine, la valeur estimée empiriquement de ce plateau est de 0.7, correspondant à une probabilité de décès de l'ordre de 0.5 (Gampe, 2010). Le modèle simplifié de Kannisto, quant à lui, assume en fait une asymptote horizontale de 1, ce qui pourrait être différent pour d'autres modèles logistiques. Le modèle de Kannisto a pour équation :

$$\mu_x = \frac{ae^{bx}}{1 + ae^{bx}}$$

Le modèle log-quadratique est intéressant dans le sens où il exprime une décélération, voir une diminution de la force de la mortalité sans toutefois rejoindre la classe des modèles logistiques du point de vue algébrique. Il a pour représentation formelle:

$$\mu_x = \exp(a + bx + cx^2)$$

Ce modèle a été proposé par Coale et Kisker (1990). Son champ d'application est limité d'après ses auteurs à des âges situés au-delà de 85 ans, ce qui appartient effectivement à notre champ d'analyse.

Parmi les modèles cités, la plupart sont dotés d'intuitions explicatives sur la forme potentielle de la courbe de mortalité tandis que d'autres ont une valeur purement descriptive. Étant donné notre objectif premier visant à déterminer la forme de la courbe qui s'ajuste le mieux aux taux de mortalité observés, les modèles nous servent, dans un premier temps, à identifier le scénario le plus probable pour décrire l'évolution de la mortalité aux âges extrêmes de la vie. Lorsque le scénario qui s'ajuste le mieux aux données sera déterminé, un ajustement plus fin sera réalisé sur

tous les modèles appartenant à la classe menant à ce scénario permettant ensuite une discussion sur leurs hypothèses et mécanismes.

RÉFÉRENCES

- Andreev, K.F., (2004), A method for estimating size of population aged 90 and over with application to the U.S. Census 2000 data, *Demographic Research*, vol.11, n°9, pp. 235–262.
- Beaudry – Godin, M., (2010). La démographie des centenaires québécois: validation des ages au décès, mesure de la mortalité et composante familial de la longévité. Thèse de doctorat. Université de Montréal. Département de démographie.
- Bourbeau, R., & Desjardins, B. (2002). Dealing with problems in data quality for the measurement of Mortality at Advanced Ages in Canada. *North American Actuarial Journal*, vol.6, n°3, p. 1–13.
- Coale, A. J., Kisker, E.E.,(1990), Defects in data on old-age mortality in United States: New procedures for calculating mortality schedules and life tables at the highest ages, *Asian and Pacific Population Forum*, vol.4, n°1, 32 p.
- Depoid, F., (1973), La mortalité des grands vieillards, *Population*, vol.28, pp.755-792.
- Gampe, J., (2010). Human mortality beyond age 110, in Maier H., Gampe J., et al. (eds), *Supercentenarians*, Berlin Heidelberg, Springer (coll. Demographic Research Monographs), p.231-245.
- Gavrilov, L.A. & Grailova, N. S. (2011). Mortality measurement at advanced ages: A study of the Social Security Administration Death Master File, *North American Actuarial Journal*, vol.15, n°3, p. 432 – 447.
- Gavrilova, N. S. & Gavrilov, L. A. (2015). Biodemography of old–age mortality in humans and rodents, *Journals of Gerontology: Biological Sciences*, vol. 70, n°1, p. 1- 9.
- Gompertz, B., (1825), On the nature of the function expressive of the law of the human mortality and on a new mode of determining the value of life contingencies, *Philosophical Transactions of the Royal Statistical Society*, vol.27, n°2, p.513-583.
- Horiuchi, S., Coale, A., (1990), Age patterns of mortality for older women: An analysis using the age-specific rate of mortality change with age, *Mathematical Population Studies*, vol.2, n°4, p.245-267.
- Horiuchi, S., Wilmoth, J.R., (1998), Deceleration in the age pattern of mortality at older ages, *Demography*, vol. 35, n°4, p.391-412.
- Kannisto, V. (1994). *Development of oldest old mortality, 1950 – 1990: Evidence from 28 developed countries*. Odense. Odense University Press.
- Kannisto, V., Lauritsen, J., Thatcher, A.R., Vaupel, J.W.,(1994), Reductions in mortality at advanced ages: several decades of evidence from 27 countries, *Population and Development Reviews*, vol. 20, p.793-870.
- Makeham, W.M., (1860), On the law of mortality and the construction of annuity tables, *The Assurance Magazine and Journal of the Institute of Actuaries*, vol.8, p.301-310.
- Meslé, F., & Vallin, J. (2002). Comment améliorer la précision des tables de mortalité aux grands âges? *Population*, n°4, pp. 603–631.
- Meslé, F., Vallin, J., Robine, J-M., Desplanques G., Cournil A., (2010). Is it possible to measure life expectancy at 110 in France?, in Maier H., Gampe J., et al. (eds), *Supercentenarians*, Berlin Heidelberg, Springer (coll. Demographic Research Monographs), p.231-245.
- Ouellette, N., Bourbeau, R., (2014) Measurement of mortality among centenarians in Canada, *2014 Living to 100 Monographs* (Living to 100 Symposium, Orlando FL, Jan. 8 -10), Society of Actuaries.
- Ouellette, N., Robine. J-M., Meslé., F., Vallin. J., (2015), French supercentenarians and semi – supercentenarians, 11th Supercentenarian Workshop Copenhagen, 7-8 septembre 2015, 23 slides.
- Ouellette, N., Poulain, M., Bourbeau, R., (2016) Is late – life mortality deceleration real among humans? Evidence from verified Belgian data, Population Association of America. March 31th – April 2nd 2016
- Ouellette, N., Poulain, M., Bourbeau, R., (2016) Mortality trajectories at older ages, French – Canadian & Belgian populations, 12th Supercentenarian Workshop, Estonian Institute for Population Studies, Tallinn University, 2-3 Juin 2016.

- Ouellette, N. (2016) La forme de la courbe de mortalité des centenaires canadiens-français, *Gérontologie et société*, vol.38, n°151, p.41-53.
- Ouellette, N., Meslé, F., Vallin, J., Robine, J-M., (forthcoming chapter), Supercentenarians and semi-supercentenarians in France.
- Poulain, M., Chambre, D., Foulon, M., (1999), Centenarian validation in Belgium. In Jeune, B., Vaupel, J., (eds), *Validation of Exceptional Longevity*, Odense, Odense University Press (coll. Odense Monographs on Population Aging, vol. 6), p. 97 -118.
- Poulain, M., (2011), On the age validation of supercentenarians. In Maier H., Gampe J., et al. (eds), *Supercentenarians*, Berlin Heidelberg, Springer (coll. Demographic Research Monographs).
- Rau, R., Soroko, E., Jasilionis, D., Vaupel, J., (2008), Continued reductions in mortality at advanced ages, *Population Development and Review*, vol.34, n°4, p.747-768.
- Robine, J-M., Allard, M., (1999), Jeanne Calment: Validation of the duration of her life, in Jeune, B., and Vaupel, J.W., (eds), *Validation of exceptional longevity*, Odense: Odense University Press, p.145-172.
- Skytthe, A. et Jeune, B., (1995), Danish centenarians after 1800, chapter Jeune, B. and Vaupel J.W. (eds), *Exceptional longevity: From prehistory to the present*, Odense Monographs on Population Aging, 2, pages 55 – 66. Odense University Press, Odense, Danemark.
- Thatcher, R., Kannisto, V., Andreev, K., (1998), *The force of mortality at ages 80 to 120*, Odense, Odense University Press, 104p., (coll. Odense Monographs on Population Aging, vol.5).
- Thatcher, R., (1999), The long-term pattern of adult mortality and the highest attained ages, *Journal of the Royal Statistical Society*, vol.162, part 1, p.5-43.
- Vaupel, J., Ra., R., Jasilionis, D., (2006), The remarkable, accelerating decline in mortality at older ages and the prospects for further improvement in life expectancy, *Biochimica Clinica*, vol.30, supplement no°1, S1-S5.
- Vincent P. (1951). La mortalité des vieillards. *Population*, vol.49, n° 2, p. 181–204.
- Weibull, W.A., (1951), A statistical distribution function of wide applicability, *Journal of Applied Mechanics*, n°18, p.293-297.
- Wilmoth, J.R., Deegan, L.J., Lundström, H., Horiuchi, S., (2000), Increase of maximum life-span in Sweden, 1861-1899, *Science*, vol. 289, n°5488, p.2366-2368.
- Yi, Z., Vaupel, J., (2003), Oldest-old mortality in China, *Demographic Research*, vol.8, p.215-244.