

LE TRAITEMENT DE L'INCERTITUDE DANS LES PERSPECTIVES DÉMOGRAPHIQUES

JOSIANNE DUCHÊNE

Université Catholique de Louvain*

Les tendances prédites sont souvent des extrapolations des tendances passées observées jusqu'à la date d'établissement des projections alors que la réalité peut présenter des retournements de tendances ou des irrégularités inattendues. L'incertitude étant comprise dans le sens d'incapacité à prévoir l'avenir avec exactitude, les erreurs de prévision sont la manifestation de cette incertitude et proviennent de l'imprécision dont l'extrapolation des composantes du changement démographique est affectée et qui s'accroît lorsqu'on s'éloigne de la date de début de la période de projection. Les erreurs ont tendance à croître avec la longueur de l'horizon temporel de la projection. Presque tous les auteurs de prévisions démographiques officielles construisent plusieurs séries basées sur la combinaison de scénarios. Ils ne fournissent toutefois pas la probabilité avec laquelle la réalité se situera dans l'intervalle délimité par les variantes haute et basse. Cet article dresse une liste de quelques mesures utilisées pour évaluer la précision des perspectives et précise leurs limites et avantages respectifs. Il est par ailleurs proposé d'examiner les erreurs ex-post par une méthode qui s'apparente à la décomposition des effets âge-période-cohorte ou d'ajuster un modèle de série chronologique aux erreurs de projection observées sur certaines variables dans les projections antérieures afin d'établir un intervalle de confiance pour ces variables à appliquer à la nouvelle projection. Il est enfin proposé de raisonner sur la base de modèles stochastiques ou d'utiliser une méthode de projections probabilistes de population basée sur des opinions d'experts à propos des tendances futures de la fécondité, de la mortalité et de la mobilité spatiale ainsi qu'à propos du niveau d'incertitude dont ces tendances peuvent être entachées.

Processing uncertainty in demographic projections.

Mots clés: Incertitude, projection démographique.

*J. Duchêne. Institut de Démographie. Université Catholique de Louvain. Place Montesquieu 1 Boîte 17. B-1348 Louvain-La-Neuve (Belgique). E-mail: duchene@demo.ucl.ac.be.

Texte révisé et mis à jour d'une communication préparée pour les Jornades Tècniques sobre Projeccions Demogràfiques de Catalunya, Barcelona, Palau de la Generalitat 26 i 27 de maig del 1997.

—Reçu en septembre de 1998.

—Accepté en janvier de 1999

1. QUELQUES REFLEXIONS INTRODUCTIVES SUR L'INCERTITUDE

La réponse à la question posée par Prigogine (1996) dans son ouvrage intitulé «*La Fin des Certitudes*», et reprise en exergue de ce texte, devrait permettre de préciser le type d'incertitude dont il faudrait tenir compte dans les projections démographiques. Si le futur est «donné», il peut en effet être prédit avec un degré relativement élevé d'exactitude et le degré d'incertitude sera plutôt faible. Si, par contre, le futur est «en perpétuelle construction», il ne peut pas être prédit et le degré d'incertitude sera presque maximum. Les tendances prédites sont souvent des extrapolations des tendances passées observées jusqu'à la date d'établissement des projections alors que la réalité peut présenter des retournements de tendances ou des irrégularités inattendues. Les spécialistes des projections voudraient croire que le futur est, dans une certaine mesure, «donné» mais ne serait-il pas plutôt «en perpétuelle construction»? Incertain n'est pas synonyme d'incorrect mais l'incertitude doit être comprise dans le sens d'incapacité à être prédit avec exactitude. Le futur démographique est par nature incertain et plus on s'écarte de la date de début de la période de projection, plus l'incertitude augmente. Par conséquent, on peut poser autant d'hypothèses que l'on veut, et les combiner pour prévoir le devenir des populations. Cependant, il n'y a aucune projection, et donc, entre autres, aucun intervalle de confiance, dont on peut prétendre a priori qu'ils soient «corrects». La réflexion faite par Hajnal en 1955 reste vraie près de 45 ans plus tard: «*Prophecy about the future of human societies is an uncertain business; there is no reason to expect more success in this endeavor than in forecasting other features of historical development*».

2. SOURCES D'INCERTITUDE DANS LES PROJECTIONS

Même si les probabilités d'occurrence des événements démographiques sont connues avec une relative certitude au niveau de la population sur un horizon temporel assez court, les projections pour de petites populations (sous-populations) peuvent être affectées d'une marge d'incertitude liée au fait que les probabilités d'occurrence des événements sont entachées d'aléa (Sykes, 1969; Pollard, 1973). L'incertitude étant comprise dans le sens d'incapacité à prévoir l'avenir avec exactitude, les erreurs de prévision sont donc la manifestation de cette incertitude et proviennent de l'imprécision, sur l'extrapolation des composantes du changement démographique, qui s'accroît lorsqu'on s'éloigne de la date de début de la période de projection (Long, 1992). Les erreurs ont tendance à croître avec la longueur de l'horizon temporel de la projection (Ascher,

1978; Stoto, 1983; Armstrong, 1985 et Smith, 1987). Keyfitz (1981) écrit qu'au-delà d'un quart de siècle, on est incapable de dire ce que la population sera. En ce qui concerne la structure de la population, les effectifs des cohortes des personnes déjà nées au point de départ de la projection ne seront évidemment affectés que par les éventuels biais d'observation et par la difficulté à prédire la mortalité et la mobilité spatiale de cette population, alors que, la population qui va naître pendant la période de projection sera affectée par, entre autres, les hypothèses émises à propos de la fécondité qui pourraient être les plus influentes sur l'incertitude dans les projections. Alho (1992) écrit en effet que l'incertitude due aux hypothèses relatives à la migration et à la mortalité des populations déjà nées au début de la projection peut être ignorée dans la propagation des erreurs quoiqu'elle ne soit pas négligeable. Contrairement à ce qu'écrit Alho (1992), plusieurs auteurs s'accordent pour écrire que l'un des phénomènes démographiques les plus difficiles à prévoir est probablement la migration, plus sensible que les autres phénomènes aux conditions économiques ou aux mesures politiques prises en matière d'accueil des étrangers.

La qualité des projections démographiques dépend à la fois de la qualité de l'estimation de l'effectif et de la structure de la population au point de départ de ces projections et des hypothèses concernant l'incidence des événements démographiques modifiant cet effectif et cette structure (naissances, décès, migrations). Des erreurs dans les données de base (structure de la population, niveau et/ou tendance des probabilités d'occurrence des événements démographiques) peuvent avoir des répercussions plus ou moins importantes sur les projections démographiques si celles-ci sont calculées par extrapolation des tendances observées. L'incertitude sur le futur est une autre source importante de marge d'erreur dans les projections. Ainsi, Inoue et Yu (1979) ont montré que les projections des Nations Unies établies jusqu'en 1968 étaient principalement influencées par les données initiales sur les niveaux et les taux de croissance des populations. A partir de 1968, la principale source d'erreur était liée aux hypothèses de projection. Keyfitz (1977) distingue cinq types d'incertitudes dans les perspectives: des variations aléatoires autour de chaque paramètre, l'incertitude dans l'estimation des paramètres, la variabilité des paramètres dans le temps, l'utilisation d'un modèle incorrect de projection,¹ des discontinuités entre le passé et le présent.

3. METHODES *EX-POST* POUR QUANTIFIER L'INCERTITUDE

Presque tous les auteurs de prévisions démographiques officielles construisent plusieurs séries. Ces séries sont basées sur la combinaison de scénarios (le plus souvent au

¹Il nous semble que cette source d'erreur ne doit pas être mise au même niveau que les autres car elle relève du savoir-faire du chercheur et non d'éléments qu'il ne peut pas maîtriser.

nombre de trois: haut, moyen et bas) de fécondité, et parfois de mortalité et de migration qui génèrent des projections sous l'hypothèse que les taux (ou probabilités) suivent exactement les trajectoires hypothétiques.² Certains scénarios, purement hypothétiques, peuvent être proposés à titre de simulation en vue de montrer la sensibilité des projections démographiques à des hypothèses spécifiques ou extrêmes. Si on prend en considération des scénarios qui définissent un couloir de possibles trop large, cette approche apporte une information très floue et peu intéressante. Les utilisateurs de ces projections (et en particulier les planificateurs) sont alors enclins à ne retenir qu'un seul scénario. Ils demandent à ce qu'on leur indique le scénario le plus vraisemblable et peuvent difficilement faire intervenir l'incertitude dans les mesures législatives ou sociales qu'ils prennent. La baisse de la fécondité a été la cause la plus importante de diminution de la proportion de jeunes dans les populations des pays en transition (Coale, 1972), toutefois, étant donné les hauts niveaux d'espérance de vie qui sont actuellement atteints dans un certain nombre de pays industrialisés, la mortalité devient un facteur important de vieillissement de la structure par âge de la population (Duchêne et Wunsch, 1990 et 1991). Les migrations internationales peuvent être fortement affectées par la législation internationale ou, plus encore, par la législation du pays d'accueil.

Les auteurs de prévisions démographiques qui ont recours à des scénarios ne fournissent pas la probabilité avec laquelle la réalité se situera dans l'intervalle délimité par les variantes haute et basse. L'utilisateur de prévisions démographiques n'est pas non plus en mesure de déterminer quelle est la probabilité qu'un scénario se réalise. Cette probabilité dépend à la fois du temps écoulé depuis le point de départ des scénarios et de la robustesse des différentes hypothèses. Or, dans de nombreux domaines de la vie économique, il convient de raisonner en terme de courbe de probabilité ou d'espérance mathématique plutôt qu'à partir d'une seule valeur (un scénario) choisie arbitrairement. Mc Nown, Rogers et Knudsen (1993) proposent de sélectionner des scénarios de projection sur la base de modèles stochastiques mais les degrés d'incertitude associés aux différents éléments de la projection sont les mêmes que pour le modèle des trois scénarios.

Ahlburg (1995) dresse la liste des principales mesures utilisées pour évaluer la précision des perspectives et de leurs limites et avantages respectifs. On peut retenir, entre autres,

- la moyenne des erreurs absolues (MAE en anglais) recommandée si la fonction de coût des erreurs est linéaire en termes d'erreurs absolues;

²Dans les perspectives établies pour la Catalogne sur la période 1995-2030, il est fait référence à trois hypothèses de mortalité et à trois hypothèses de mobilité spatiale ainsi qu'à quatre hypothèses de fécondité (dans ce cas, aux hypothèses basse, moyenne et haute, a été ajoutée une hypothèse de remplacement). La combinaison de toutes ces hypothèses a donné lieu à dix scénarios de projection. (Institut d'Estadística de Catalunya, 1997, p.9-12)

- la moyenne des erreurs pourcentuelles absolues (mean absolute percent error ou MAPE en anglais) recommandée si la fonction de coût des erreurs est linéaire en termes de pourcentages³;
- la moyenne des carrés des erreurs (MSE en anglais) ou la racine carrée de la moyenne des carrés des erreurs (RMSE en anglais) sont adéquates si les erreurs importantes doivent avoir plus de poids que les erreurs faibles dans la mesure. Quoique ces mesures soient les plus fréquemment utilisées, elles ne permettent pas des comparaisons entre modèles et entre horizons temporels différents;
- la racine carrée de la moyenne des carrés des erreurs pourcentuelles (RMSPE en anglais).

En vue d'introduire des intervalles de confiance dans l'établissement des projections des Nations Unies, Keyfitz (1981) et Stoto (1983) ont procédé pour la première fois à l'analyse *ex-post* des erreurs dans les projections réalisées par les Nations Unies pour les différents pays. Cette approche ne fournit des intervalles que pour l'effectif total de la population: l'écart-type des erreurs sur le taux d'accroissement varie entre 0,3% par an pour les pays développés et 0,5% par an pour les pays en développement. Une autre conclusion des études de Keyfitz (1981) et de Stoto (1983) est que la population croît selon des taux qui sont, dans un cas sur trois, situés à l'extérieur de l'intervalle délimité par les variantes haute et basse. Lee (1990) a complété l'analyse de Keyfitz et de Stoto en étudiant les six projections sur des horizons temporels de cinquante à plusieurs centaines d'années rapportées par Frejka (1981) : il obtient une erreur moyenne sur le taux d'accroissement de l'ordre de 1% par an.

Sur la base de projections mises à jour régulièrement en Norvège et aux Pays-Bas, et à partir de nouvelles données, Keilman (1995) examine les erreurs *ex-post* dans les prévisions de la fécondité de la mortalité à l'aide d'un modèle qui distingue les effets de période (année de calendrier), les effets de durée (horizon temporel de la projection) et l'effet (de la date de départ) de la projection. Les détails de la modélisation et de l'estimation ont été présentés dans Keilman (1990). Ce modèle s'apparente techniquement au modèle âge —période— cohorte (modèle APC).

- L'effet de cohorte du modèle APC est interprété par Keilman comme la contribution à l'erreur de projection de la projection particulière dont les données initiales correspondent à une année (ou une période) précise. Cet effet de la projection est considéré comme un indicateur qui exprime, à travers un seul nombre, les circonstances

³Cet indicateur a été proposé à côté de la moyenne des erreurs pourcentuelles algébriques (mean algebraic percent error ou MALPE en Anglais) par Smith (1987), la National Academy of Sciences (1980) et Isserman (1977). Le premier indicateur (MAPE) calcule la moyenne des erreurs sans tenir compte de leur signe (+ ou -) tandis que le deuxième indice (MALPE) prend ce signe en compte.

particulières dans lesquelles la projection a été élaborée (composition de l'équipe, méthodologie, ...).

- L'effet d'âge du modèle APC, que l'on pourrait plutôt appeler un effet de durée, reflète la contribution, à l'erreur, de l'horizon temporel sur lequel la projection a été effectuée: il traduit le fait que l'incertitude augmente lorsque l'horizon temporel de la projection s'accroît.
- L'effet de période de ce modèle recouvre l'effet de période des modèles APC. Il quantifie un ensemble de facteurs qui résument les conditions socio-démographiques observées au cours d'une période de temps, et leur impact sur les erreurs de projection indépendamment des circonstances qui ont entouré la production des projections (résumées dans l'effet de la projection) ou de la longueur de l'horizon temporel (saisie par l'effet de durée).

Pour la projection basée sur les données observées au cours de l'année i , telle qu'observée au cours de l'année (ou de la période) j , avec un horizon de projection de k années, la valeur absolue de l'erreur de prévision d'une variable, définie comme la valeur absolue de la différence entre la valeur prédite et la valeur observée,⁴ s'écrit comme le produit des exponentielles d'un effet de projection $F(i)$, d'un effet de période $P(j)$, d'un effet de durée $D(k)$ et d'un résidu $u(i, j, k)$. En vue de rendre les effets plus faciles à interpréter, Keilman (1995) a donc donné, au modèle de désagrégation des effets, l'expression suivante:

$$|E(i, j, k)| = \exp \{F(i) + P(j) + D(k) + u(i, j, k)\}$$

Si plusieurs scénarios sont proposés à propos d'un phénomène pour une même projection, Keilman suggère de réécrire le modèle de désagrégation des effets, en y introduisant un terme supplémentaire $V(m)$ qui peut s'interpréter comme l'effet de la variante m :

$$|E(i, j, k, m)| = \exp \{F(i) + P(j) + D(k) + V(m) + u(i, j, k, m)\}$$

Les effets de durée sont traduits par Keilman au moyen de l'expression où D est un coefficient estimé à partir des données. Keilman (1995) a appliqué cette méthodologie aux naissances et décès pour la Norvège et les Pays-Bas. Il souligne quelques imperfections de la méthode:

- la fraction de variance exprimée par le modèle est moyenne pour les naissances en Norvège (0,61) et légèrement plus élevée pour les Pays-Bas (0,74); cette fraction s'élève à 0,71 et 0,73 pour les décès respectivement aux Pays-Bas et en Norvège;

⁴Ce que l'on estime ainsi, c'est la difficulté qu'a eu le spécialiste des projections à anticiper d'éventuels retournements ou changements brusques de tendances.

- il y a une forte autocorrélation entre les erreurs qui affectent tant les naissances que les décès;
- pour la Norvège, les erreurs sur les décès sont plus irrégulières que celles sur les naissances.

Malgré ces limites soulignées par l'auteur, cette méthode paraît assez facile à appliquer et, au vu des commentaires de Keilman (1995), elle semble très informative.

Une autre manière de procéder est d'ajuster un modèle de série chronologique aux erreurs de projection observées sur certaines variables dans les projections antérieures et d'établir un intervalle de confiance pour ces variables à appliquer à la nouvelle projection. Par exemple, De Beer (1992) a montré qu'un modèle auto-régressif d'ordre un (AR(1)) conviendrait pour ajuster les erreurs sur le taux de croissance de l'effectif total de la population. Plusieurs auteurs (parmi lesquels Alho (1990), Carter et Lee (1986), Lee et Tuljapurkar (1994), Mc Nown, Rogers et Little (1995) et Pfaumer (1992)) ont développé et appliqué des méthodes, basées sur les séries temporelles, permettant de projeter des distributions de population au niveau national. Les méthodes d'analyse des séries chronologiques produisent, non seulement une projection centrale, mais aussi une distribution de probabilités permettant de localiser le niveau des taux de fécondité, de mortalité, et de mobilité spatiale à tout moment dans le futur sous l'hypothèse d'une distribution normale des erreurs. Quel est l'intérêt d'une projection de la population des Etats-Unis où la fécondité est maintenue, en moyenne, constante au niveau de 2,1 enfants par femme pendant 75 ans (de 1990 à 2065) mais où l'intervalle de confiance à 95% de l'indice synthétique de fécondité contient toutes les valeurs comprises entre 0,7 enfant par femme et plus de 3 enfants par femme (Lee et Tuljapurkar, 1994)? Il est en effet évident qu'un tel intervalle n'a aucune valeur informative car l'indice synthétique de fécondité des Etats-Unis se situera avec certitude entre 0,7 enfant par femme (valeur la plus basse observée dans le monde en Allemagne de l'Est en 1994 selon Conseil de l'Europe (1996)) et 3 enfants par femme (valeur observée en 1990 en Turquie et plus jamais observée depuis dans les pays du conseil de l'Europe selon Conseil de l'Europe (1996)).

Pfaumer (1988) a procédé à une modélisation des taux d'occurrence des événements au moyen de processus stochastiques et a estimé les paramètres du modèle en vue d'établir des simulations stochastiques pour les Etats-Unis. Il a montré qu'au bout d'un siècle, l'erreur type de la projection s'élève à 8% de la valeur attendue. Selon Lee et Tuljapurkar (1994), la distribution utilisée par Pfaumer pour simuler la fécondité est trop optimiste; de plus, et toujours selon Lee et Tuljapurkar (1994), Pfaumer n'introduit pas d'autocorrélation au niveau de la fécondité ce qui conduit à une importante sous-estimation de l'incertitude dans la projection de population.

Lutz, Sanderson et Scherbov (1996) exposent une méthode de projections probabilistes de population basée sur des opinions d'experts à propos des tendances futures

de la fécondité, de la mortalité et de la mobilité spatiale ainsi qu'à propos du niveau d'incertitude dont ces tendances peuvent être entachées. Cette approche rejoint les projections selon la méthode Delphi, appliquées par exemple aux scénarios de la demande d'énergie ou du développement technologique futur (cf. Minrowicz, Chapuy et Louineau, 1990 ainsi que Héraud, Munier et Nanopoulos, 1997). Au vu des résultats fournis par les auteurs, et, entre autres, de l'amplitude de variation des résultats⁵ obtenus à partir de 1000 simulations, on peut se poser quelques questions sur l'intérêt de telles méthodes. Peut-être visent-elles à rendre les spécialistes des projections encore un peu moins certains de ce qu'ils avancent comme résultats mais la subjectivité, dont ils sont bien conscients, nécessaire pour proposer les hypothèses sur lesquelles ils ont établi leurs projections, n'y suffit-elle pas?

4. EN GUISE DE CONCLUSION

En l'absence d'informations sur les tendances à prévoir, les valeurs observées dans le passé sont gardées constantes ou extrapolées. La réalité peut présenter des retournements de tendances ou des irrégularités inattendues. De nouvelles tendances en termes de déclin rapide de la fécondité ou d'augmentation de l'espérance de vie après une période de stagnation n'ont été prises en compte par les auteurs que plusieurs années après que ces tendances se soient manifestées. Des modèles de projection basés sur l'extrapolation des tendances passées ne conviennent que dans le cas où ces tendances sont très régulières. Pour pouvoir prévoir des tendances moins lisses, il faudrait disposer de modèles de comportement d'un niveau explicatif suffisant⁶ ou plus exactement de schémas conceptuels moins entachés de faiblesses. Une autre solution serait de disposer de «*leading indicators*», permettant de prévoir l'évolution de certains comportements à partir d'indicateurs qui anticipent de quelques années cette évolution (Farley, 1988). Par exemple, dans les sociétés où le mariage reste un «pré-requis» à la fécondité, la nuptialité peut être un «*leading indicator*» de la première naissance, une brusque évolution du nombre des mariages s'accompagnant, un ou deux ans plus tard, d'une adaptation du nombre des naissances. On peut aussi se demander si l'évolution du nombre d'enfants désirés par des femmes âgées de 20 ans pourrait expliquer l'évolution de la fécondité des femmes, quelques années plus tard. Nous ne disposons pas de tels schémas qui nous permettraient de mieux comprendre les mécanismes à l'origine de l'évolution de la fécondité qui a une composante comportementale plus importante que la mortalité.

⁵En 2020, l'effectif total de la population varierait dans un intervalle de confiance à 95% qui s'étendrait de 116 à 133 millions en Europe de l'Est, de 209 à 240 millions dans la partie européenne de l'ex Union Soviétique, et de 446 à 512 millions en Europe de l'Ouest (Lutz, Sanderson et Scherbov, 1996).

⁶Et pourtant, selon le titre des entretiens de René Thom (1991) avec Émile Noël, Prédire n'est pas expliquer. Dans cet ouvrage, Thom montre qu'à côté de la science quantitative et prédictive, il existe une approche qualitative dont la valeur explicative est peut-être plus fine et plus décisive pour la connaissance.

Si une erreur importante d'appréciation de l'évolution a été commise dans des perspectives antérieures, la tendance sera de réagir en sens inverse de manière exagérée.

L'application des erreurs *ex-post* aux nouvelles projections repose sur l'hypothèse que les spécialistes des prévisions d'aujourd'hui commettront les mêmes erreurs ou négligeront les mêmes discontinuités que ceux qui ont calculé les projections antérieures. Il serait possible de réduire l'incertitude si on pouvait procéder à un contrôle régulier de l'adéquation entre le futur établi par les projections et la réalité.

5. BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Ahlburg, D.A.** (1995). «Simple versus complex models: evaluation, accuracy and combining». *Mathematical Population Studies*, **5(3)**, 281-290.
- [2] **Alho, J.M.** (1990). «Stochastic methods in population forecasting». *International Journal of Forecasting*, **6**, 521-530.
- [3] **Alho, J.M.** (1992). «The magnitude of error due to different vital processes in population forecasts». *International Journal of Forecasting*, **8**, 301-314.
- [4] **Armstrong, J.S.** (1985). *Long range forecasting: From crystal ball to computer*, 2nd edition, New York, John Wiley.
- [5] **Ascher, W.** (1978). *Forecasting: An appraisal for policy makers and planners*, Baltimore, The John Hopkins University Press.
- [6] **Carter, L.R.** et **R.D. Lee** (1986). «Joint forecasts of US marital fertility, nuptiality, births and marriages using time series models». *Journal of the American Statistical Association*, **81(396)**, 902-911.
- [7] **Coale, A.J.** (1972). *The Growth and Structure of Human Populations. A Mathematical Investigation*, Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
- [8] **Conseil de l'Europe** (1996). *Evolution démographique récente en Europe 1996*, Strasbourg, Editions du Conseil de l'Europe.
- [9] **De Beer, J.** (1992). «Uncertainty variants of population forecasts». *Statistical Journal of the United Nations ECE* **9**, 233-253.
- [10] **Duchêne, J.** et **G. Wunsch** (1990). «Les tables de mortalité limite: quand la biologie vient au secours du démographe», in *Population âgée et révolution grise - Chaire Quetelet '86*, M. Loriaux, D. Remy et E. Vilquin (sous la direction de), Bruxelles, Éditions CIACO ARTEL, p.321-332.
- [11] **Duchêne, J.** et **G. Wunsch** (1991). «Population aging and the limits to human life», in *Future Demographic Trends in Europe and North America: What can we assume today?* W. Lutz (ed.), London, Academic Press, p. 27-40.

- [12] **Farley, R.** (1988). «After the starting line: Blacks and women in an uphill race». *Demography*, **25**(4), 477-495.
- [13] **Frejka, T.** (1981). «World population projections: A concise history», in *Proceedings of the IUSSP International Population Conference, Manila*, **3**, 505-528.
- [14] **Hajnal, J.** (1955). «The prospects of population forecasts». *Journal of the American Statistical Association*, **50**, 309-322.
- [15] **Héraud, J.A., F. Munier et K. Nanopoulos** (1997). «Méthode Delphi: une étude de cas sur les technologies du futur». *Futuribles*, **218**, 33-53.
- [16] **Inoue, S. et Y.C. Yu** (1979). «United Nations new population projections analysis of *ex post* factor errors». Communication présentée au *Annual Meeting of the Population Association of America*.
- [17] **Institut d'Estadística de Catalunya** (1997). «Ponència tècnica inicial de l'Institut d'Estadística de Catalunya». *Jornades Tècniques sobre Projeccions Demogràfiques de Catalunya*, Barcelona, Palau de la Generalitat 26 i 27 de maig del 1997.
- [18] **Isserman, A.** (1977). «The accuracy of population projections for subcountry areas». *Journal of the American Institute for Planners*, **43**, 247-259.
- [19] **Keilman, N.** (1990). *Uncertainty in national population forecasting*, Amsterdam, Swets and Zeitlinger.
- [20] **Keilman, N.** (1995). «Accuracy and uncertainty in national population forecasts». Communication présentée à la *Chaire Quetelet 1995 sur «Le défi de l'incertitude. Nouvelles approches en perspective et prospective démographiques»*, Louvain-la-Neuve, Institut de Démographie, 26 p. + tableaux et figures.
- [21] **Keyfitz, N.** (1977). *Applied Mathematical Demography*, New York, Wiley.
- [22] **Keyfitz, N.** (1981). «The limits of population forecasting». *Population and Development Review*, **7**(4), 579-593.
- [23] **Lee, R.D.** (1990). «Long-run global population forecasts: A critical appraisal». *Population and Development Review*, **16**(supplement), 44-71.
- [24] **Lee, R.D., L. Carter et S. Tuljapurkar** (1995). «Disaggregation in population forecasting: Do we need it? and how to do it simply?». *Mathematical Population Studies*, **5**(3), 217-234.
- [25] **Lee, R.D. et S. Tuljapurkar** (1994). «Stochastic population forecasts for the United States: Beyond high, medium and low». *Journal of the American Statistical Association*, **89**(428), 1175-1189.
- [26] **Long, J.F.** (1992). «Accuracy, monitoring, and evaluation of national population projections», in *National Population Forecasting in Industrialized Countries*, Keilman Nico et Crujisen Harri (eds), Amsterdam/Lisse, Swets & Zeitlinger, 129-145.
- [27] **Long, J.F.** (1995). «Complexity, accuracy, and utility of official population projections». *Mathematical Population Studies*, **5**(3), 203-216.

- [28] **Lutz, W., J. Goldstein et C. Prinz** (1996). «Alternative approaches to population projection», in *The future population of the world. What can we assume today? Revised and updated edition*, Lutz Wolfgang (ed.), Laxenburg (Austria), International Institute for Applied Systems Analysis, 14-44.
- [29] **Lutz, W., W.C. Sanderson et S. Scherbov** (1996). «Probabilistic population projections based on expert opinion», in *The future population of the world. What can we assume today? Revised and updated edition*, Lutz Wolfgang (ed.), Laxenburg (Austria), International Institute for Applied Systems Analysis, 397-428.
- [30] **MC Nown, R., A. Rogers et C. Knudsen** (1993). «Projections of fertility, mortality and the population in the United States; 1990-2050». *Technical Paper WP-93-1, Population Program*, University of Colorado, Boulder.
- [31] **MC Nown, R., A. Rogers et J. Little** (1995). «Simplicity and complexity in extrapolative population forecasting models». *Mathematical Population Studies*, **5(3)**, 235-257.
- [32] **Mirenowicz, P., P. Chapuy et Y. Louineau** (1990). «La méthode Delphi-Abaque. Un exemple d'application: la prospective du bruit». **143**, 49-63.
- [33] **Pfaumer, P.** (1988). «Confidence intervals for population projections based on Monte Carlo methods». *International Journal of Forecasting*, **4**, 135-142.
- [34] **Pfaumer, P.** (1992). «Forecasting US population totals with the Box-Jenkins approach». *International Journal of Forecasting*, **8(3)**, 329-338.
- [35] **Pollard, J.H.** (1973). *Mathematical Models for the Growth of Human Populations*, U.K.: Cambridge University Press.
- [36] **Prigogine, I.** (1996). *La Fin des Certitudes. Temps, Chaos et les Lois de la Nature*, Paris, Éditions Odile Jacobs.
- [37] **Rogers, A.** (1995). «Population forecasting: Do simple models outperform complex models». *Mathematical Population Studies*, **5(3)**, 187-202.
- [38] **Sanderson, W.C.** (1995). «Predictability, complexity and catastrophe in a collapsible model of population, development and environmental interactions». *Mathematical Population Studies*, **5(3)**, 259-279.
- [39] **Sardon, J.P.** (1996). «Les prévisions de fécondité». Communication présentée à la *Chaire Quetelet 1995 sur «Le défi de l'incertitude. Nouvelles approches en perspective et prospective démographiques»*, Louvain-la-Neuve, Institut de Démographie, 16 p. + tableaux et figures.
- [40] **Smith, S.K.** (1987). «Tests of forecast accuracy and bias for country population projections». *Journal of the American Statistical Association*, **82(400)**, 991-1003.
- [41] **Stoto, M.A.** (1983). «The accuracy of population projections». *Journal of the American Statistical Association*, **78**, 13-20.
- [42] **Sykes, Z.M.** (1969). «Some stochastic versions of the matrix model for population dynamics». *Journal of the American Statistical Association*, **44**, 111-130.

- [43] **Tayman, J., E. Schafer et L. Carter** (1998). «The role of population size in the determination and prediction of population forecast errors: An evaluation using confidence intervals for subcounty areas». *Population Research and Policy Review*, **17(1)**, 1-20.
- [44] **Thom, R.** (1991). *Prédire n'est pas expliquer*. Entretiens avec Émile Noël. Deuxième édition revue et corrigée, Paris, Flammarion.
- [45] **Wilmoth, J.R.** (1995). «Are mortality projections always more pessimistic when disaggregated by cause of death?», *Mathematical Population Studies*, **5(4)**, 293-31.

ENGLISH SUMMARY

PROCESSING UNCERTAINTY IN DEMOGRAPHIC PROJECTIONS

JOSIANNE DUCHÊNE
Université Catholique de Louvain*

Often the predicted trends are extrapolations of trends observed before the projection's initial date, while reality may present an unexpected return of past trends or irregularities. Uncertainty being related to the impossibility to accurately predict the future, errors in the predictions are the manifestation of such uncertainty and come from the lack of accuracy which affects the extrapolation of the components of demographic change. The lack of accuracy increases as the date of the beginning of the projection gets more remote. Errors tend to increase with the length of the projection. Most of the authors of official demographic predictions construct several time series based on a combination of scenarios. However, they do not provide the probability that the real outcome will be inside the interval defined by the high and low scenarios. This paper gives an outline of the measures used to evaluate the accuracy of the perspectives and determine their advantages and limitations. It also proposes to examine the errors exposed by means of a method which breaks down the effects age-period-cohort, or to apply a chronological series model to the projection errors detected in variables from earlier projections so as to establish a confidence interval for these variables and use it in the new projection. Finally, it suggests to work with stochastic models or to use a method of population probabilistic projections based on experts' opinions regarding future trends in fertility, mortality and mobility as well as the level of uncertainty linked to these trends.

Keywords: Uncertainty, demographic projection.

*J. Duchêne. Institut de Démographie. Université Catholique de Louvain. Place Montesquieu 1 Boîte 17. B-1348 Louvain-La-Neuve (Belgique). E-mail: duchene@demo.ucl.ac.be.

Revised and updated from a paper prepared for the Jornades Tècniques sobre Projeccions Demogràfiques de Catalunya, Barcelona, Palau de la Generalitat, 26 i 27 de maig del 1997.

–Received September 1998.

–Accepted January 1999

*«Prophecy about the future of human societies
is an uncertain business;
there is no reason to expect more success
in this endeavor than in forecasting
other features of historical development»*

John Hajnal

Uncertain does not mean the same as incorrect. Moreover, uncertainty should be understood as the impossibility to make an accurate prediction. In demography, the future is essentially uncertain, and the farther from the projection's starting date the more uncertain (Long, 1992). We can, therefore, formulate as many hypotheses as we want and combine them so as to predict the future of populations. However, no projection or confidence interval is ever «correct» beforehand.

Even when we are relatively certain about the probability of certain demographic events regarding population in a short time span, projections of small populations (subpopulations) may be under a margin of uncertainty due to the fact that the probability of each event is subject to random (Sykes, 1969; Pollard, 1973). Regarding the structure of the population, the persons in the cohorts during the observation period previous to the projection's starting date will of course only be affected by an occasional bias in the observation and by the difficulty to predict the mortality and mobility of this population, while those who were born within the span of the projection will be affected by the hypotheses regarding fertility, which might have more influence on the projection's uncertainty than anything else.

Many authors agree that migration is probably one of the most difficult to predict demographic phenomena, since it is more sensitive to economic changes or political decisions regarding immigration than the rest of phenomena.

The quality of demographic projections depends both on the quality of the estimation of the total population and the structure of the population at the start of the projection and on the hypotheses regarding demographic events which affect both the total and the population structure (such as births, deaths and migrations). Errors in initial data (population structure, probability of demographic events) may affect demographic projections if they are calculated by extrapolating the observed trends. Uncertainty about the future is another important source of errors in projections.

Most of the authors of official demographic predictions construct several time series. These series are based in a combination of fertility and, sometimes, mortality and migration scenarios (usually three: high, medium and low), which generate the projections, based on the hypothesis that the rates (or probabilities) will follow exactly the expected trends. Some purely hypothetical scenarios may be proposed as simulations in order to show the sensitivity of demographic projections to very specific or extreme

hypotheses. If a wide range of scenarios is considered, the resulting information is very vague and of little interest. Users of these projections (especially planners) favour the use of a single scenario. They ask to be given the most likely scenario and rarely let uncertainty play a role in their social and legislative decisions.

Authors of demographic predictions who use scenarios do not provide the probability that the real outcome will fall inside the interval defined by the high scenario and the low scenario. A user of demographic predictions can not establish the probability that a given scenario is real either. This probability depends on both the time elapsed from the scenario's starting point and the soundness of the hypotheses. However, in many domains of economics it is advisable to work with probabilities or expected value curves rather than relying on a single randomly chosen value (or scenario). McNown, Rogers and Knudsen (1993) suggest that projection scenarios should be selected on a basis of stochastic models, but the degree of uncertainty for each element of the projection is the same as in the three-scenario model.

Ahlburg (1995) gives a list of the main measures used to evaluate the accuracy of the perspectives and their advantages and limitations. In order to introduce confidence intervals in the United Nations' projections, Keyfitz (1981) and Stoto (1983) have made, for the first time, an ex post analysis of the errors in the United Nations' projections for different countries. This approach only provides confidence intervals for the size of the population. Another conclusion of Keyfitz (1981) and Stoto's (1983) studies is that population growth rates are outside the interval defined between the high and low scenarios one out of every three times. Lee (1990) completed Keyfitz and Stoto's analysis by studying projections concerning from fifty to hundreds of years referred to by Frejka (1981), and obtained an average error for the growth rate of 1% each year.

Based on regularly updated projections from Norway and the Netherlands and on new data, Keilman (1995) examines the ex post errors in fertility and mortality predictions with the help of a model which differentiates between the period effect (calendar year), the duration effect (time range of the projection) and the effect of the projection's starting date. Modeling and estimating details were presented by Keilman (1990). Technically, this model is related to the age-period-cohort model (APC model).

Another possible procedure is to apply a chronological series model to the projection errors detected in variables from earlier projections and establishing a new confidence interval for these variables, which will be applied to the new projection. For example, De Beer proved that an autoregressive model of order one (AR(1)) would be very helpful in order to adjust errors in the total population growth rate. Several authors (like Alho (1990), Carter and Lee (1986), Lee and Tuljapulkar (1994), McNown, Rogers and Little (1995) and also Pfaumer (1992)) have developed and applied methods based on time series which allow them to project the distribution of the population at a national level. The chronological series analysis methods do not only provide a central projection but they provide also a distribution of probabilities which allows us to locate, at any

time in the future, the level of fertility, mortality and mobility rates, taking into account a normal distribution of errors. Is it interesting to have a projection of population where fertility has stuck to an average of 2.1 children per woman for 75 years but where the 95% confidence interval for fertility rate contains all the values between 0.7 and more than 3 children per woman (Lee and Tuljapurkar, 1994)?!

Pfaumer (1988) came to model the rates by means of stochastic processes and estimated the model's parameters so as to produce stochastic simulations for the United States. He showed that, at the end of the century, the projection's typical error is 8% above the expected value. According to Lee and Tuljapurkar (1994), the distribution that Pfaumer used to simulate the fertility is too optimistic; moreover, and still according to Lee and Tuljapurkar (1994), Pfaumer did not introduce any fertility autocorrelation, which leads to an important underestimation of the uncertainty in the projection of population.

Lutz, Sanderson and Scherbov (1996) put forward a method of population probabilistic projections based on experts' opinions about future trends in fertility, mortality and mobility and their level of uncertainty. This approach puts the projections together under the Delphi method (Minrowicz, Chapuy and Louineau, 1990, and Héraud, Munier and Nanopoulos, 1997). After inspecting the results provided by the authors and the wide range of variation of the results obtained after 1000 simulations, one can question the value of such methods. Perhaps their contribution is to help the experts on projections realize about the uncertainty of the results. However, is not the awareness about the subjectivity inherent to the hypotheses on which the projections are based enough?