

Méthodologie et incertitudes des projections démographiques

Henri Leridon
Collège de France, 2009
(cours 3)

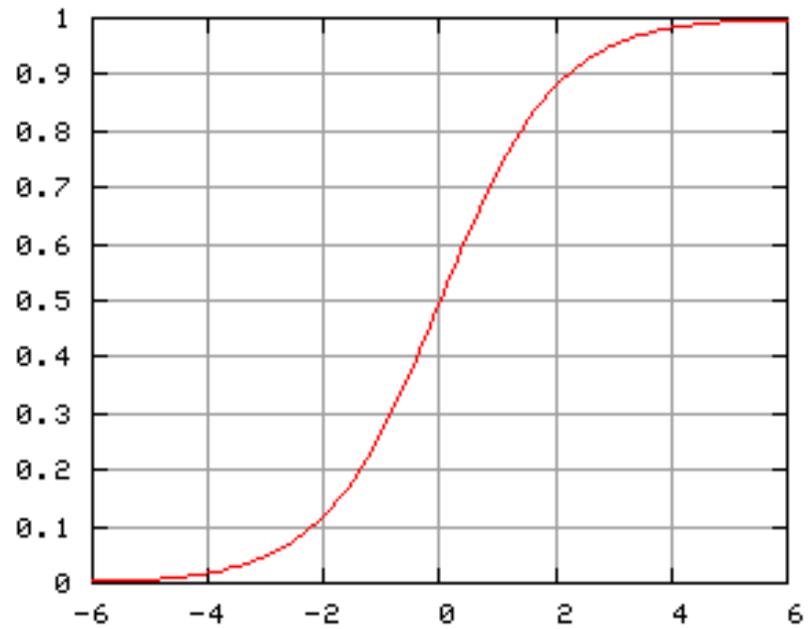
- Projections ?
- Perspectives ?
- Prévisions ?
- Scénarios ?

1- Premières approches

- Ouvrages des pionniers de la démographie :
 - Graunt (1662) et Moheau (1778) : rien
 - Süssmilch (1741) et Malthus (1798) : quelques spéculations
- La loi logistique :
 - Quételet (1835) et Verhulst (1838)
 - Pearl (1925)

La fonction logistique

$$f(t) = K \frac{1}{1 + ae^{-rt}}$$



La croissance d'une plante : le Cucurbita pepo

(Pearl, 1925)

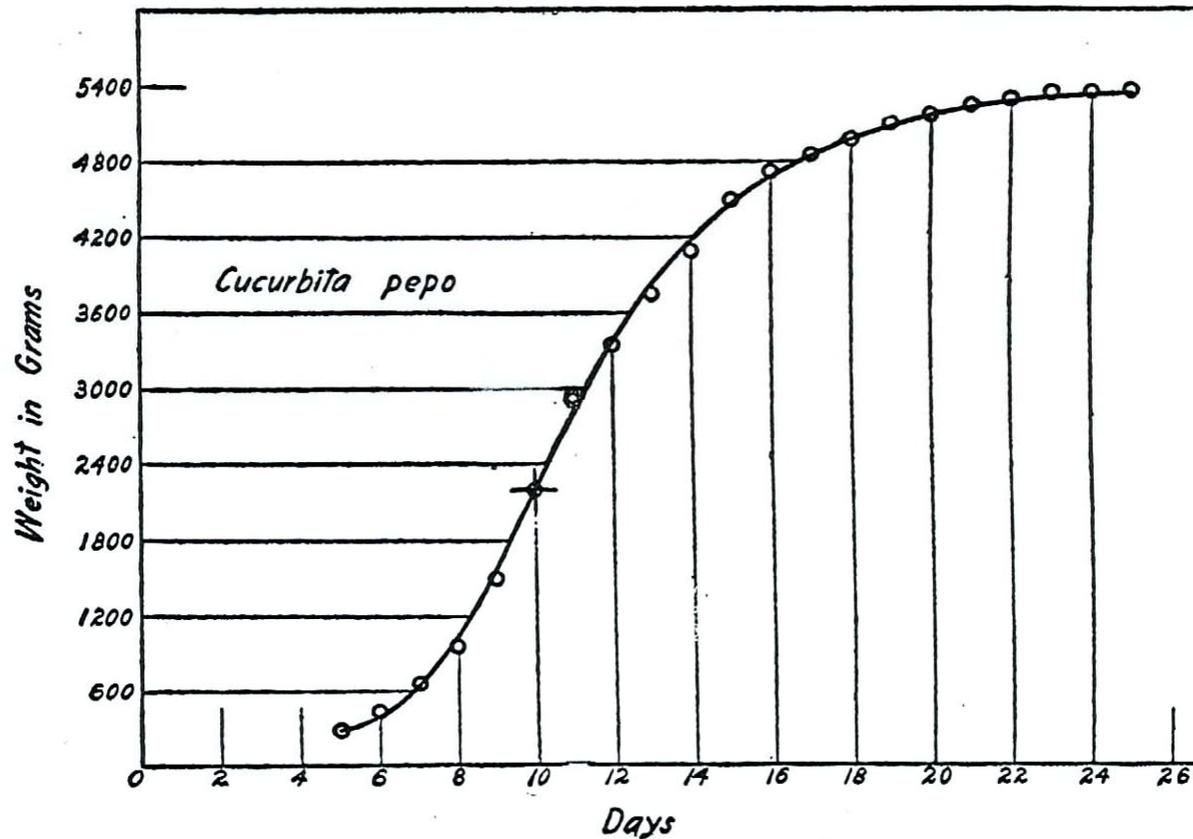


FIG. 2. Growth of *Cucurbita pepo*. (Data from Robertson.)

...Et celle d'une population de drosophiles

(Pearl, 1925)

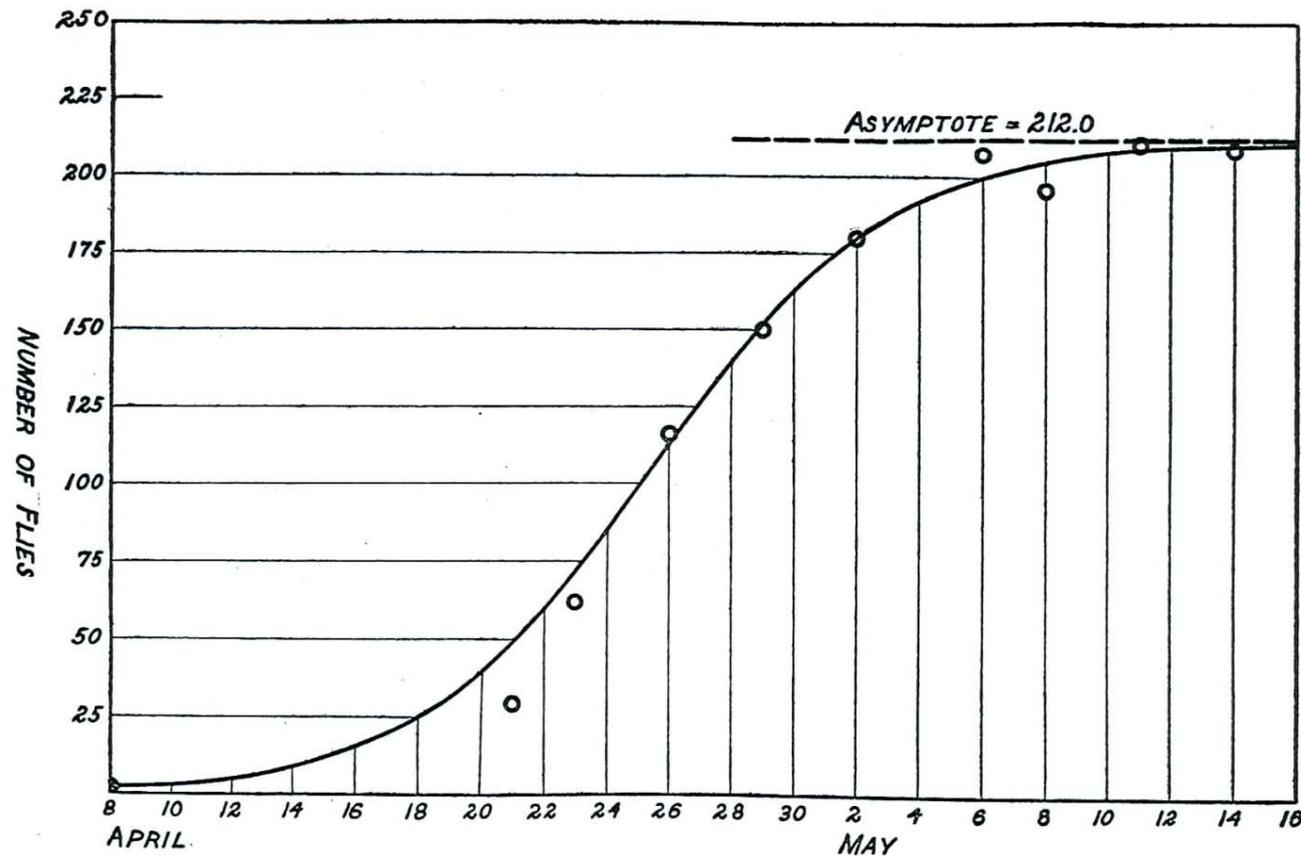


FIG. 12. Growth of wild type *Drosophila* population in half-pint bottles. The circles give the observed census counts and the smooth curve is the graph of equation (xi).

Ajustement de la fonction logistique à la population de la Suède (Pearl, 1925)

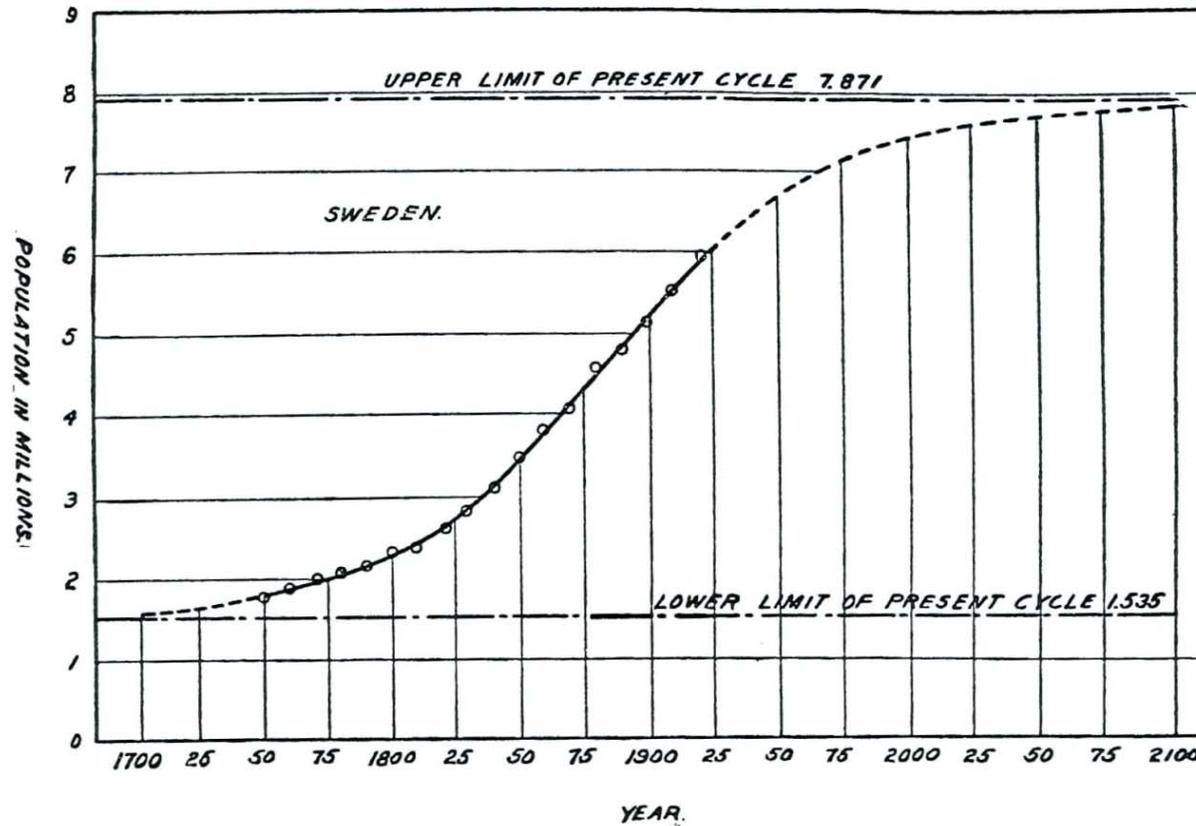


FIG. 5. The population growth of Sweden.

...et à celle des Etats-Unis (Pearl, 1925)

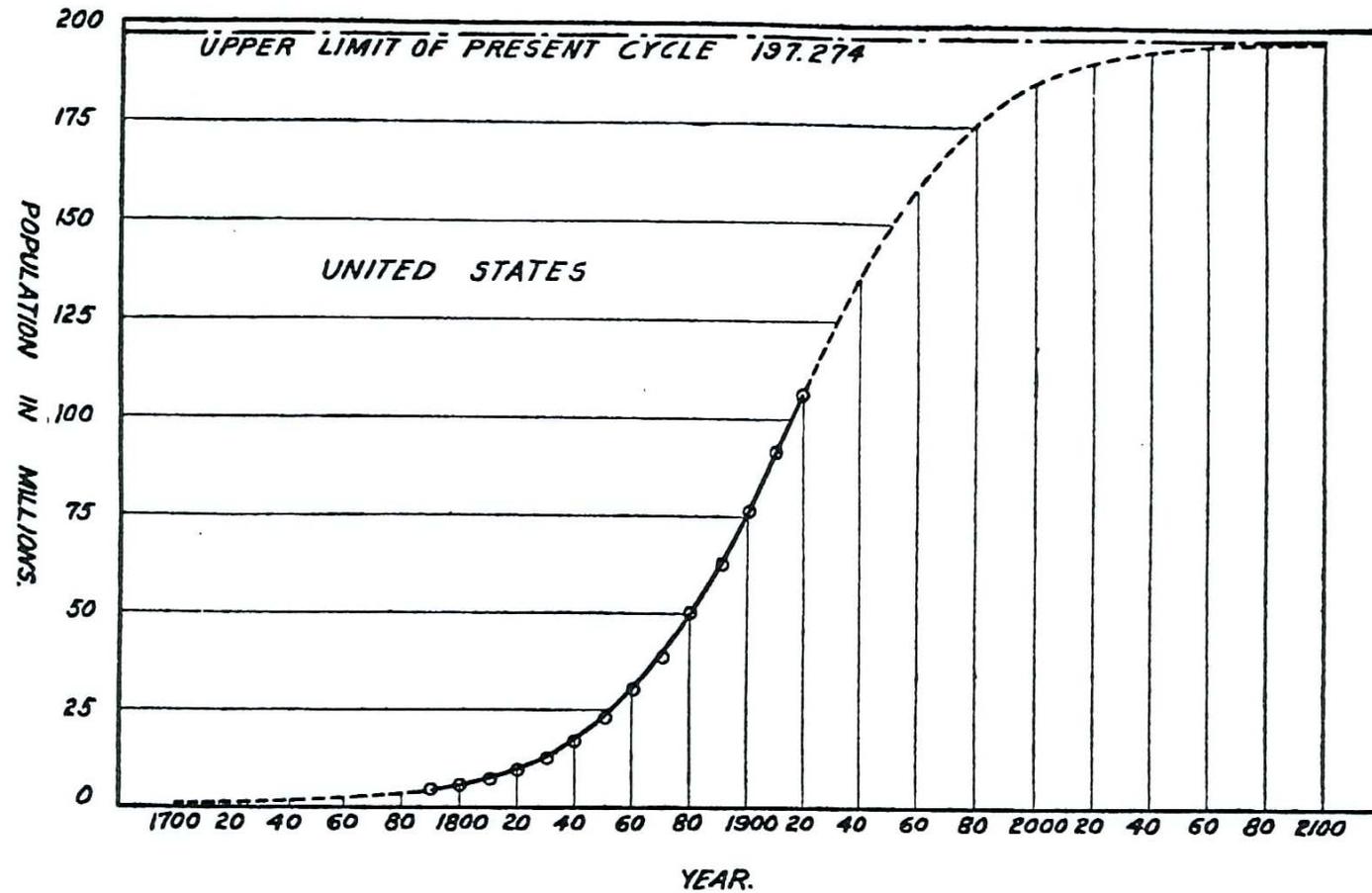


FIG. 6. The population growth of the United States.

Le cas de la France (Pearl, 1925)

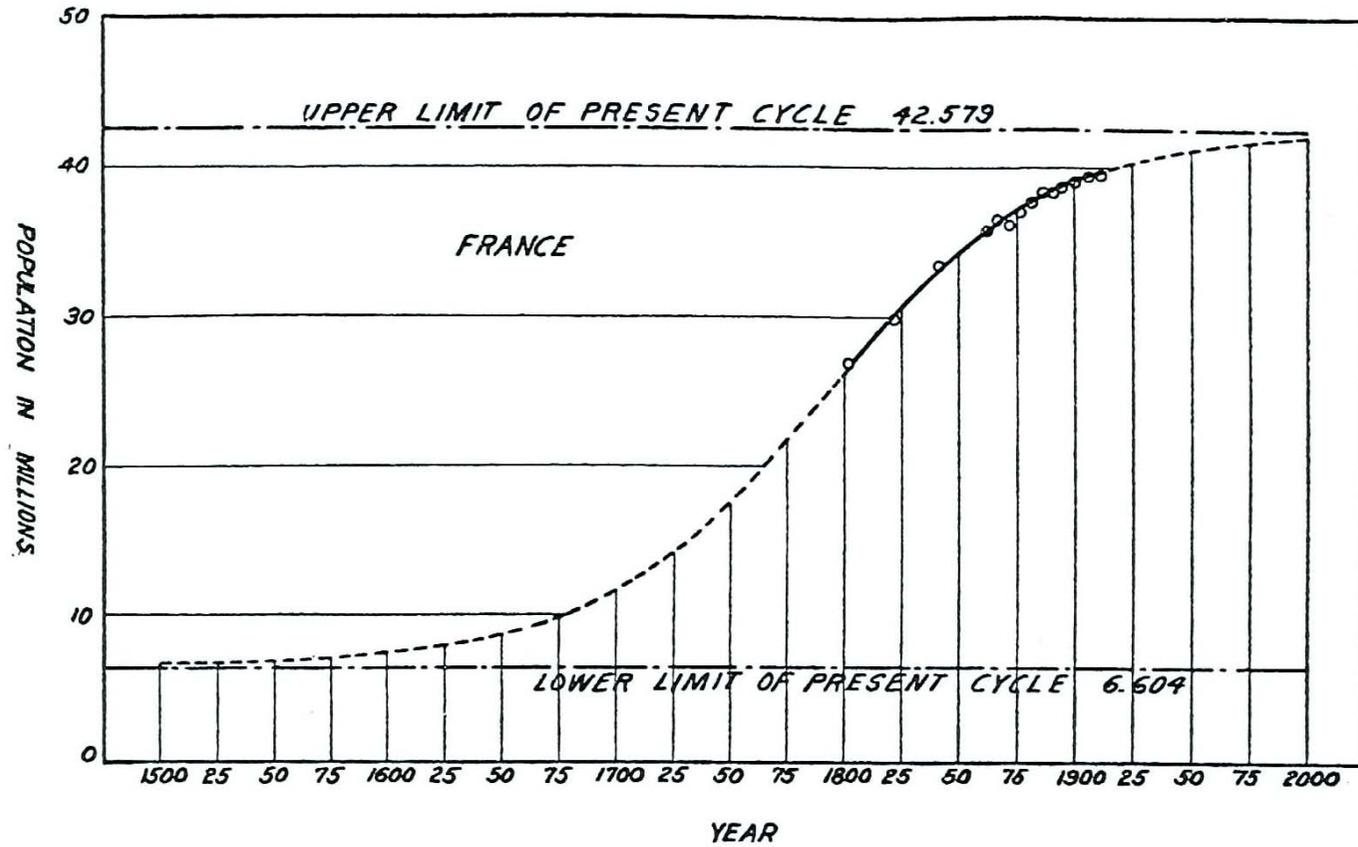


FIG. 7. The population growth of France.

Une logistique construite avec trois pays

(Pearl, 1925)

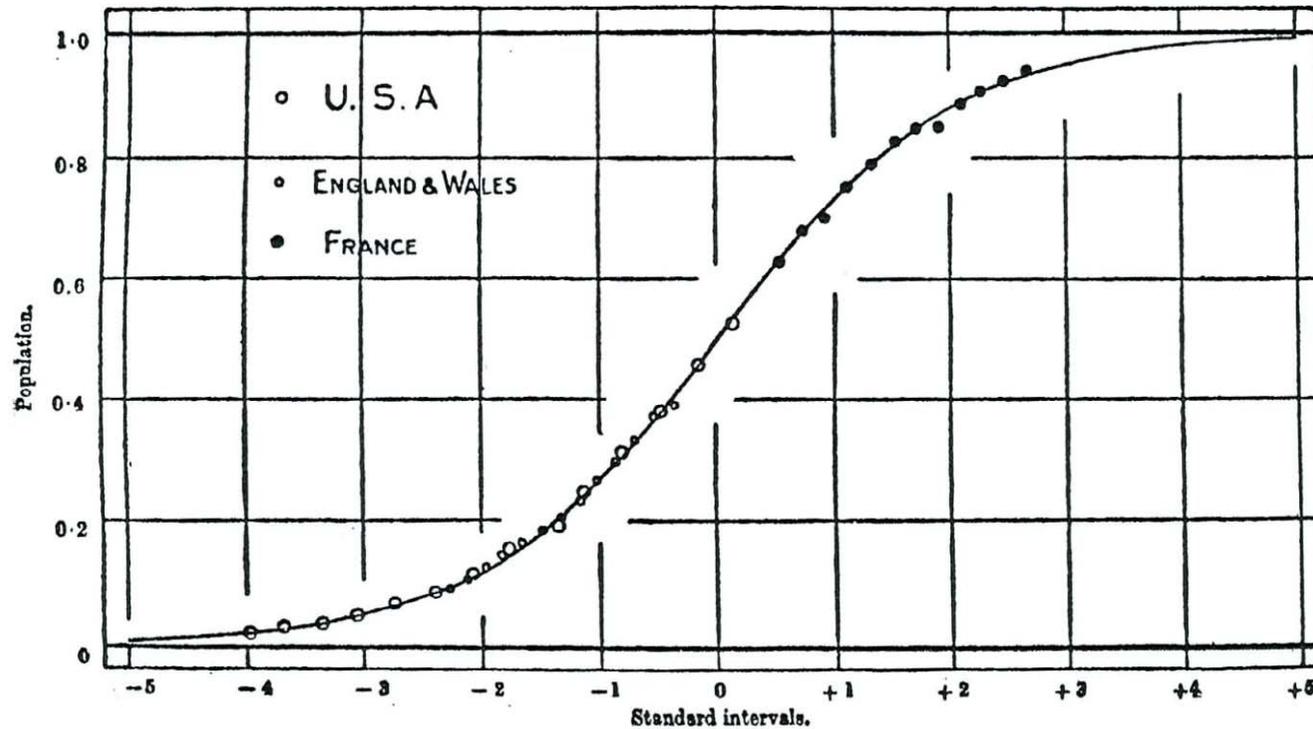


FIG. 8. The population of the United States (1790–1920), England and Wales (1801–1921), and France, including Alsace-Lorraine (1801–1911) fitted to the same logistic drawn to the standard time scale. (From Yule).

Principe des projections

- Il faut donc :
 - des données fiables sur la population initiale, par sexe et âge (recensements ?)
 - des hypothèses sur les niveaux initiaux et les évolutions possibles de la mortalité, de la fécondité et des migrations
 - choisir un horizon raisonnable

2- La méthode des composantes

On calcule, *pays par pays*, pour chaque sexe, la population de chaque âge a à la date t , sur la base des données disponibles à la date $t-1$:

$$\text{Pop}(a,t) = \text{Pop}(a-1,t-1) S(a,t) + \text{migrations}$$

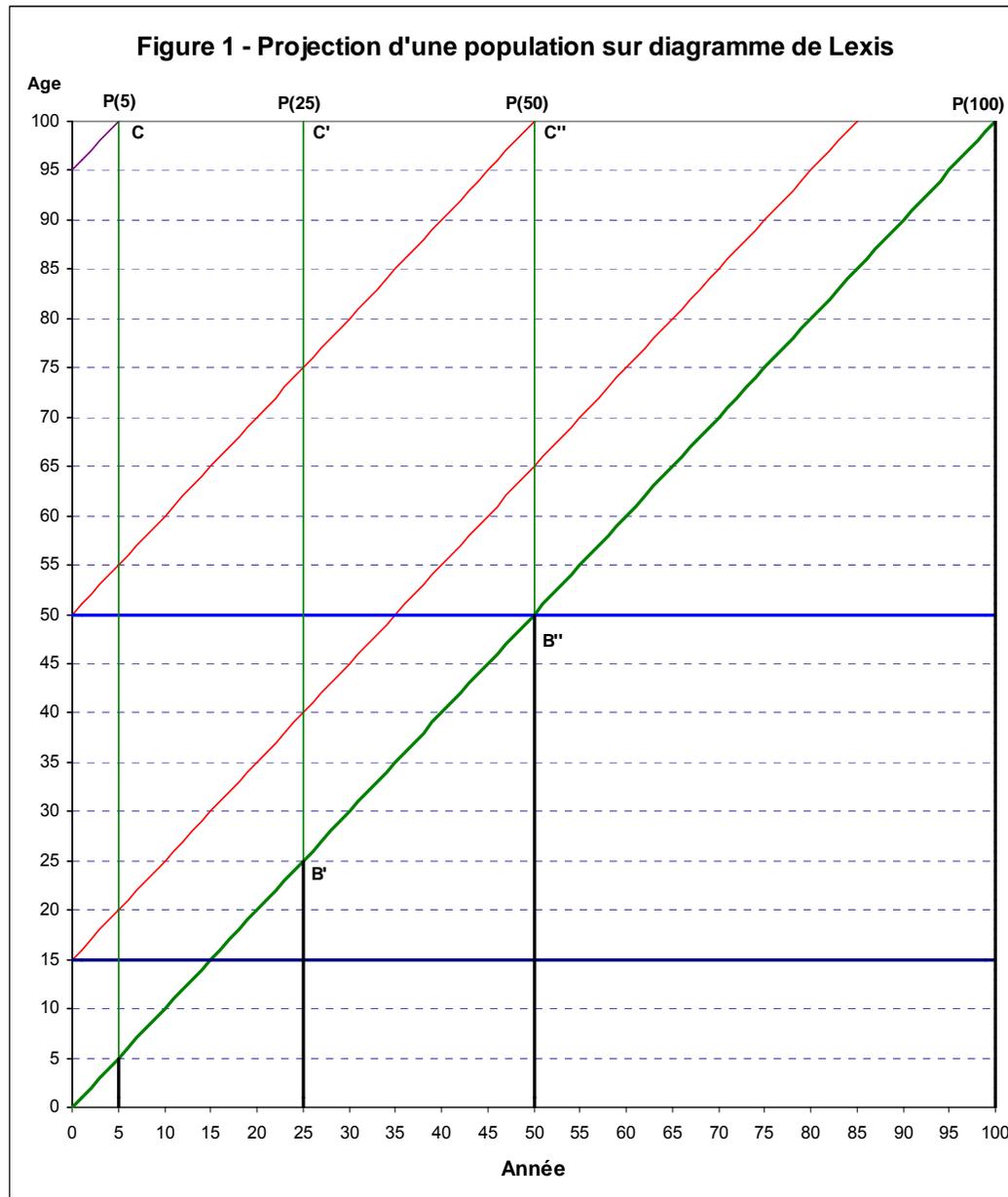
$S(a,t)$: probab survie entre $a-1$ et a , dans les conditions de l'année $t-1$

- On ajoute la population d'âge 0, née au cours de l'année $t-1$:

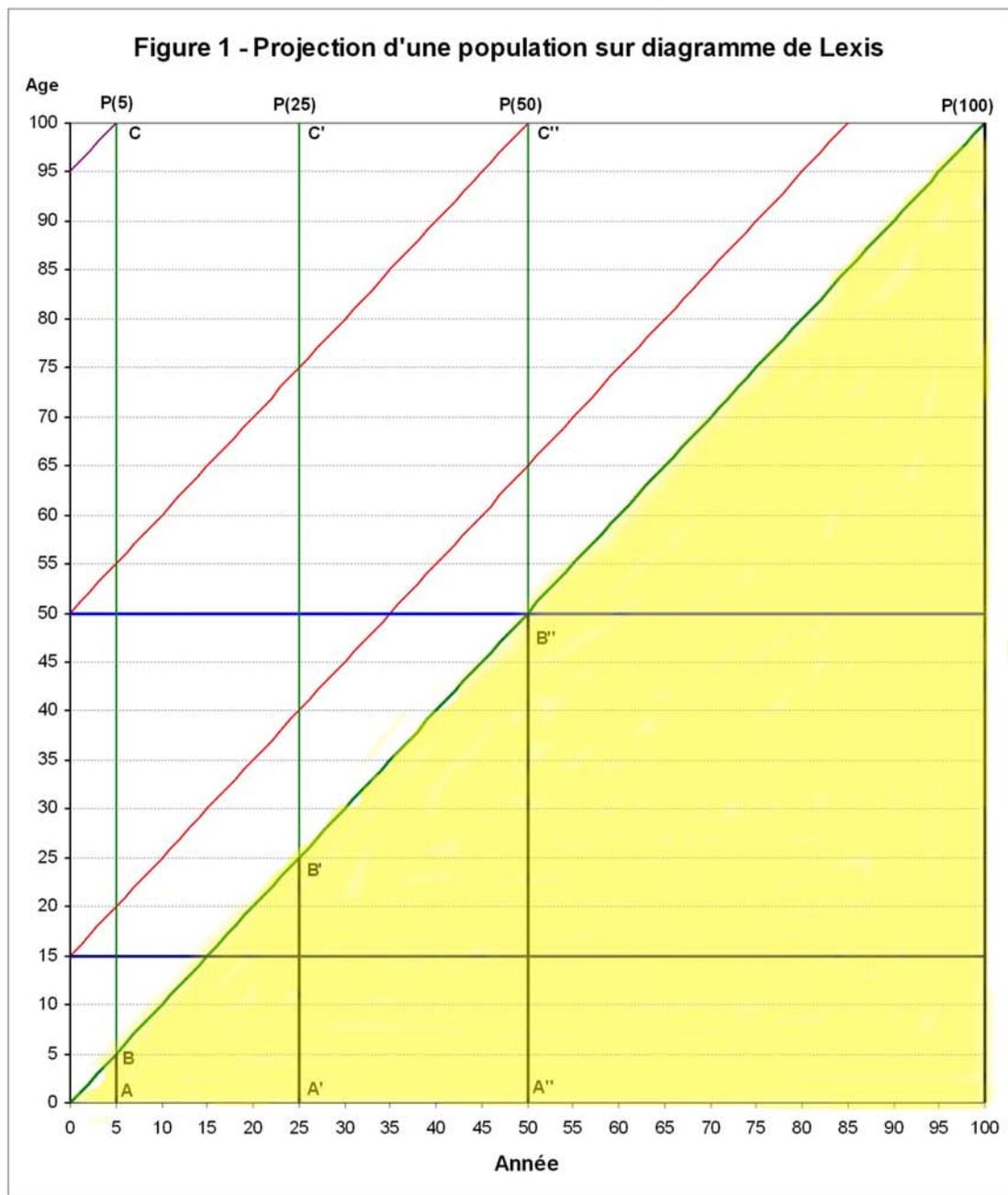
$$\text{Pop}(0,t) = (\sum [P_f(a-1,t-1) F(a-1,t-1)]) S(0/1,t)$$

$F(a-1,t-1)$: taux de fécondité âge $a-1$ l'année $t-1$

Illustration : Le diagramme de Lexis



L'incertitude croissante



Le choix de l'horizon temporel

- A 25 ans : l'évolution de la mortalité peut être assez bien prévue, et la part de la population à naître entre t_0 et $t_0 + 25$ (plus difficile à estimer : incertitudes sur la fécondité) est limitée
- A 50 ans : plus de la moitié des effectifs dépendent des hypothèses de fécondité, parfois sur 2 générations successives (une femme née en $t_0 + 20$ aura des enfants en $t_0 + 45$)
- Au delà : on ne sait plus gérer convenablement les hypothèses. Un écart très limité sur la fécondité, par ex., a des conséquences énormes au bout de 100 ans (3 générations de naissances successives !). Du coup, on décide généralement de « geler » les hypothèses à des niveaux assurant une croissance proche de zéro, et la projection perd tout intérêt

Mise en œuvre des projections

- *Populations initiales* : on a maintenant des données assez fiables pour la grande majorité des pays
- *Fécondité initiale* : des données fiables sont disponibles dans tous les pays développés (état civil), assez fiables dans la majorité des autres (enquêtes : WHS, DHS...)
- *Mortalité initiale* : données beaucoup moins fiables dans les PED (pas d'état civil, observation difficile par enquête)
- *Hypothèses d'évolution* : s'inscrivent plus ou moins dans le schéma de la transition démographique et de la transition épidémiologique

Le choix des « variantes »

- Les résultats des projections sont en général publiés sous forme d'un scénario « central » et de deux ou quatre scénarios encadrants. Le scénario central est supposé être le plus probable, et les autres cerner les écarts possibles. Le choix des hypothèses (appliquées, rappelons-le au niveau des pays) résulte de « discussions d'experts », plus ou moins formalisées.
- On s'est aussi essayé à construire des « intervalles de confiance » de façon plus scientifique, selon une démarche probabiliste. C'est le cas, par exemple, avec les projections IIASA. Nous en donnerons plus loin des exemples

Le problème des agrégats projetés

- **France, vers 2000 :**

Métropole : Pop=60 M Fec=1,90 enf / femme

DPM-TOM : Pop= 2 M Fec=2,2 (Guyane : 3,8)

Projection 2300 séparée :

Métropole : Pop= 21 M

DOM-TOM : Pop=234 M >> Total = 255 M

Projection groupée (Fec=1,91) >> Total = 22 M

Projections anciennes : qualité médiocre

Projections de population, avant 1950

Auteur	Année de départ A	Pays	Population année A (millions)	Année A+n	Population projetée (P) en (A+n)	Population observée (O) en (A+n)	Rapport des Populations (O / P)	Erreur annuelle relative en %	Remarques sur projection
1/Projections du taux d'accroissement									
Pearl R. (1925)	1876	Algérie (indigènes)	3,1	2000	5,0	30,2	6,04	4,1	Logistique - Maxi dès 1930
	1800	Etats-Unis	5	2000	185	285	1,54	0,3	Logistique - Maxi 200 en 2050
	1800	France	27	2000	42,6	59,3	1,39	0,2	Logistique - Maxi en 2000
	1750	Suède	1,8	2000	7,5	8,9	1,19	0,1	Logistique - Maxi 8,0 en 2100
	1750	Monde	500(a)	2000	1950	6071	3,11	0,8	Logistique
				2050	2000	9000	4,50	1,2	Logistique - Maxi en 2000
Bonyngé F. (1852)	1850	Etats-Unis	23,3	1900	77,3	76,2	0,99	0,0	
				1960	290,5	179,3	0,62	-0,3	
				2000	703	281,4	0,40	-0,4	

(a) Hypothèse de Pearl. Aujourd'hui la population de 1750 est estimée à 700-800 millions

Auteur	Année de départ A	Pays	Population année A (millions)	Année A+n	Population projetée (P) en (A+n)	Population observée (O) en (A+n)	Rapport des Populations (O / P)	Erreur annuelle relative en %	Remarques sur projection
2/Méthode des composantes									
German Stat.Office* (1930)	1927	Allemagne	63,2	1970	62,3	78,2	1,26	0,6	Hyp. Mini
					69,5	78,2	1,13	0,3	Hyp. Maxi
				2000	46,9	82,3	1,75	1,0	Hyp. Mini
					66,7	82,3	1,23	0,3	Hyp. Maxi
Charles E.* (1935)	1935	Anglet.-Galles	40,6	1975	31,4	49,5	1,58	1,4	Hyp. Mini
					36,6	49,5	1,35	0,9	Hyp. Maxi
				2035	4,4	65,0	14,77	13,8	Hyp. Mini
					43	65,0	1,51	0,5	Hyp. Maxi
Glass (1940)	1935	Anglet.-Galles	40,6	2000	24,6	52,1	2,12	1,7	Hyp. Mini
					36,6	52,1	1,42	0,7	Hyp. Maxi
Baudhuin* (1931)	1930	Belgique	7,9	2000	5,8	10,3	1,78	1,1	
Jensen*	1930	Danemark	3,5	2001	3,9	5,3	1,36	0,5	
Sauvy A. (1928)	1928	France	39,4	1956	38,0	43,6	1,15	0,5	
Sauvy A.* (1932)	1929	France	40,7	1980	29,0	53,9	1,86	1,7	Si fécondité décroissante
				1980	38,9	53,9	1,39	0,8	Si fécondité constante

* Cité dans Glass (1936)

Auteur	Année de départ A	Pays	Population année A (millions)	Année A+n	Population projetée (P) en (A+n)	Population observée (O) en (A+n)	Rapport des Populations (O / P)	Erreur annuelle relative en %	Remarques sur projection
Notestein (SDN, 1944)**	1940	Allemagne	69,5	1970	69,8	78,2	1,12	0,4	Europe sans la Russie
	1940	Anglet.-Galles	40,9	1970	37,1	48,9	1,32	1,1	
	1940	France	41,2	1970	36,9	50,8	1,38	1,3	
	1940	Italie	44,2	1970	49,5	53,8	1,09	0,3	
	1940	Suède	6,3	1970	5,8	8,0	1,38	1,3	
	1940	Europe	399	1970	417	526	1,26	0,9	
	1940	URSS	174	1970	251	243	0,97	-0,1	
Whelpton P.K. (1929)	1920	Etats-Unis	106,3	1960	162,7	179,3	1,10	0,3	Hyp. Mini
				1975	175,1	210	1,20	0,5	Hyp. Maxi
Thompson-Whelpton (1941)	1940	Etats-Unis	132	1980	126	226	1,79	2,0	Hyp. Mini
				1980	202	226	1,12	0,0	Hyp. Maxi
Thompson W. (1945)***	1945	Chine	400	1990	609	1155	1,90	2,0	Y c. Pakistan et Bangladesh
	1945	Inde	284	1990	701	1066	1,52	1,2	

** Extraits

*** Projection des taux d'accroissement

La série des Nations-Unies

Projections de population mondiale (Nations-unies : 1950-2008)

Base	Réf. Publication	Portée	Projections ordinaires : Population (medium projec.) en...				"Long range" projections* :							
			1980	2000	2025	2050	2050	2100	2150	2200	2300			
1950	déc. 1951	1950-1980	3523											
1954	Congrès Rome, 1954	1950-1980	3628											
1957	Pop.Stud. 1958	1950-2000 (par pays : 1975)	4220	6267										
1963	" 1966	1960-2000 (par pays : 1980)	4330	6130										
1968	" 1973	1965-2000 (par pays : 1985)	4457	6494										
1973	Bucarest, 1974	1970-2000/2125	4401	6407			11081	12257	(12277 en 2125)					
1973	Pop.Stud. 1977	1970-2000 (idem par pays)	4374	6254										
1978	" 1979	1970-2000/2100 (idem par pays)	4415	6199			9775	10525						

Base	Réf. Publication	Portée	Projections ordinaires : Population (medium projec.) en...				"Long range" projections* :				
			1980	2000	2025	2050	2050	2100	2150	2200	2300
1980	" 1982	1980-2025/2100 (idem par pays)	4434	6121	8199		9513	10185			
1982	" 1985	1980-2025	4453	6127	8177						
1984	" 1986	"	4450	6122	8206						
1988	" 1989	"	4450	6251	8467						
1990	" 1991	1990-2150	4448	6261	8504		10019	11186	11543		
1992	" 1993	1990-2025	4447	6228	8472						
1994	" 1995	1990-2050	4444	6158	8294	9833					
1996	" 1997	1990-2150/2200	4447	6091	8039	9367	9367	10414	10806	10913	
1998	" 1999	1990-2050	4440	6055	7824	8909					
2000	" 2000	2000-2050	4440	6057	7937	9322					
2002	" 2002	2000-2050/2300	4440	6071	7851	8919	8919	9064	8494	8499	8972
2004	" 2004	2000-2050	4440	6096	7905	9076					
2006	" 2006	"	4440	6124	8010	9191					

Qui fait des projections aujourd'hui ?

- Chaque pays, quand il en a les capacités
- Très régulièrement : les Nations unies (*Division de la population*) depuis 1950, avec un horizon de 25 ou 50 ans, occasionnellement plus : 2150, voire 2300 !
- De façon moins régulière, ou ponctuelle : d'autres organismes internationaux : World Bank, Bureau of the Census, IIASA...
- Des indépendants (Frejka,1973...).
- ...Et chacun peut en faire chez soi ! (données sources et programmes facilement disponibles)

Prise en compte des migrations

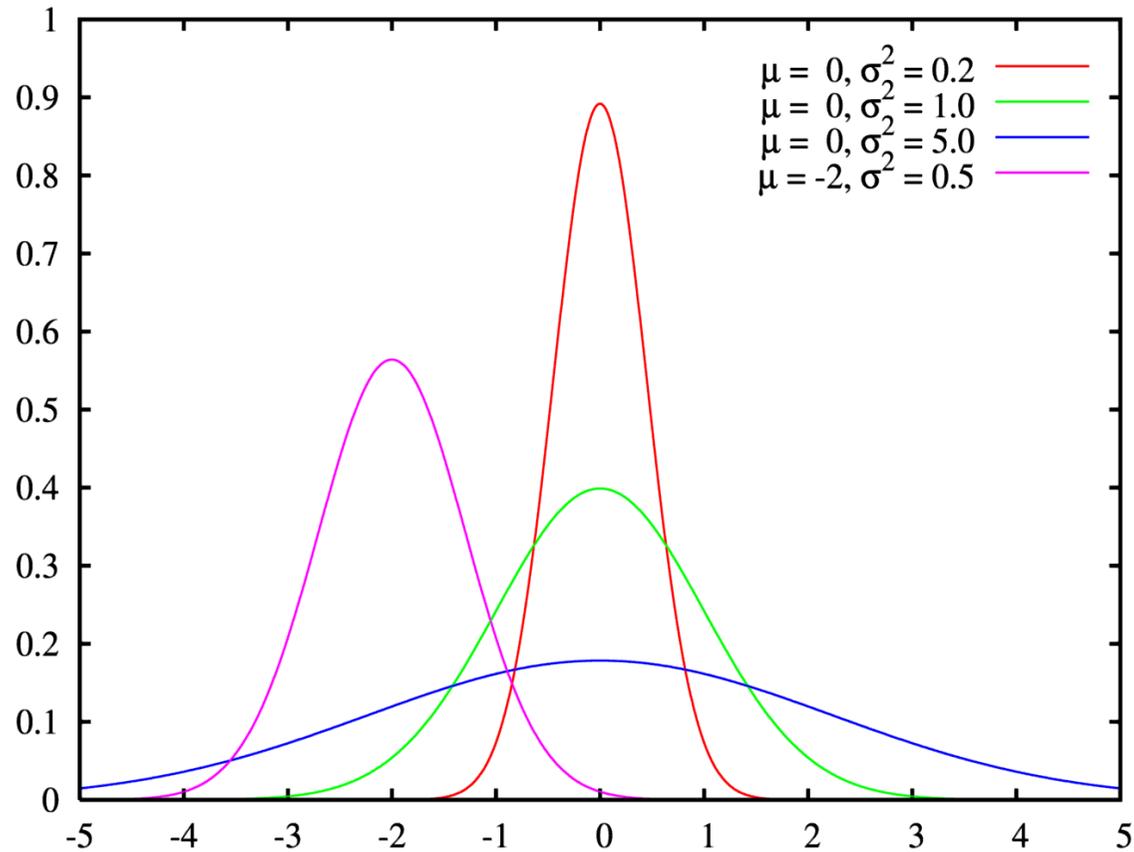
- La plupart des projections incluent des hypothèses de migrations
- Au niveau national le taux annuel *net* excède rarement 0,5% par an
- Vers 2000, le taux net pour l'ensemble des pays développés était de +0,2% par an ; pour l'ensemble des PVD : -0,05%
- Dans les projections des Nations-unies, les taux de migration sont généralement moins élevés vers 2040-50 qu'en 2000

3- Les projections avec aléa

Principe : trouver une source d'aléa permettant de quantifier l'incertitude dans la projection. Trois démarches :

- Analyse rétrospective des « erreurs » dans projections passées
- Analyse de séries temporelles (tendances et aléas)
- Méthode des experts
- ... *Et la combinaison de ces méthodes*

Loi normale et intervalles de confiance



$$P(\mu - \sigma \leq X \leq \mu + \sigma) \simeq 0,6826$$

68% des valeurs sont comprises entre $(\mu - \sigma)$ et $(\mu + \sigma)$

Projection de la mortalité (Lee-Carter, 1992) : paramètre k

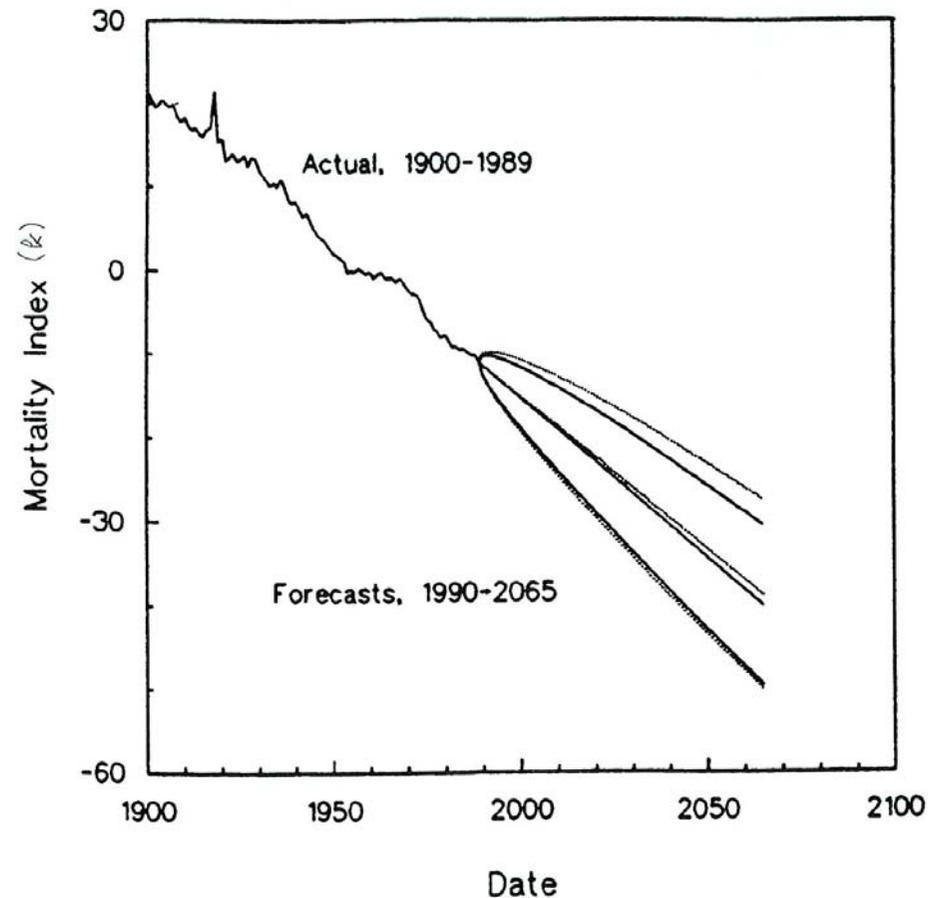


Figure 2. Comparison of Mortality Forecasts to 2065, From 1900–1989 (Dots) and From 1933–1989 (Solid), With 95% Confidence Band. Both forecasts use the $(0, 1, 0)$ model; the forecast from 1900 has a dummy for the influenza epidemic. [Lee, Carter, 1992]

Projection Lee-Carter : espérance de vie

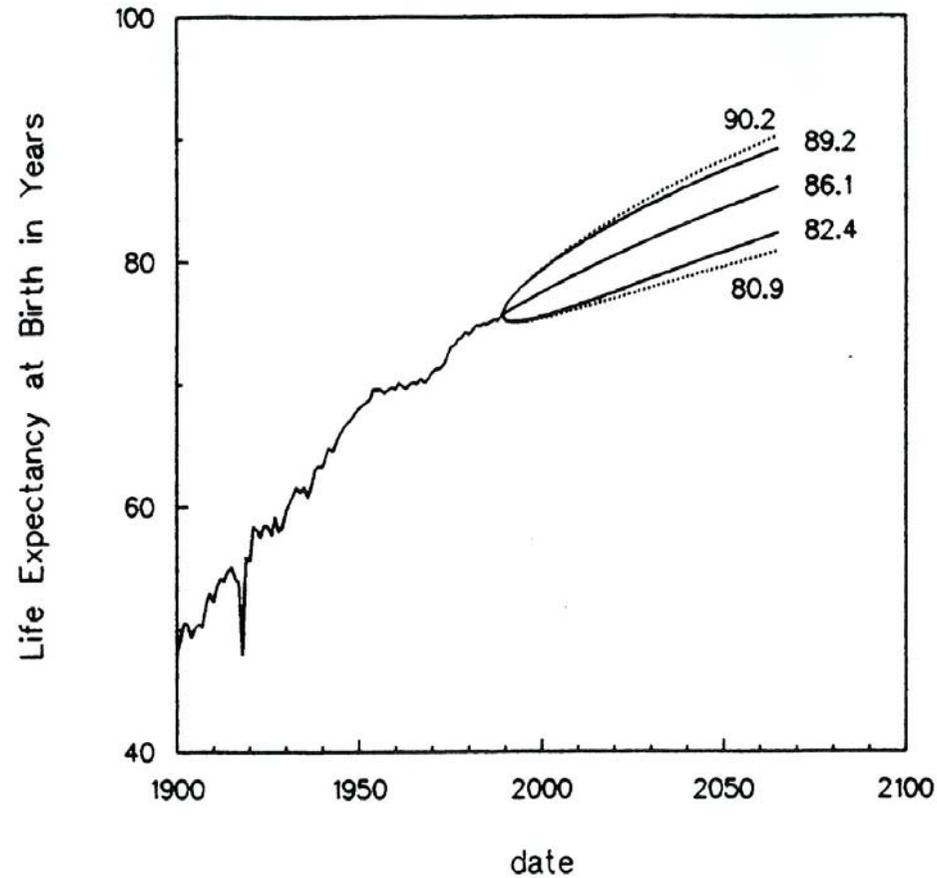


Figure 1. Actual U.S. Life Expectancy and Forecasts (95% Confidence Intervals With and Without Uncertainty From Trend Term). The forecasts use a $(0, 1, 0)$ model with a flu dummy estimated on mortality data from 1900 to 1989. The 95% confidence intervals are shown with and without uncertainty from drift. [Lee, Carter, 1992]

Projections IIASA (1996)

Hypothèses de fécondité et mortalité : IC à 90 %

	Fécondité (ISF)	Variation de $e_0(F)$ par décennie
Europe	1,3 à 2,1	+1,0 à +3,0
Afrique Subsahar.	2,0 à 4,0	-2,0 à +4,0
Chine	1,5 à 3,0	+1,0 à +3,0

(IIASA) : IC pour l'effectif de la population

	En 2050	En 2100
Europe Ouest	370-584	196-769
Afrique Subsahar.	1085-2316	578-4345
Chine	1351-2574	709-4428
Monde (sans corrél.)	8108-11950	5715-17330
Monde « <i>Merged</i> »	8965-11260	8200-15490

Comparaison Nations-unies (2002) et IIASA

- NU « Low-High » 7 409 à 10 633 (medium : 8 919)
- IIASA « 10%-90% » 7 347 à 10 443 (médiane : 8 797)

Projections avec aléa : Norvège

(Keilman et al., 2002)

- Après exclusion des valeurs « inacceptables », les intervalles à **80%** sont (à l'horizon 2050) :

TFR : 0,9 à 3,0 enfant ($\Delta = 2,1$)

$e_0(F)$: 81 à 89 ans ($\Delta = 8$) (81 ans est la valeur observée en 2000)

Popul. : 3,7 à 6,4 millions ($\Delta = 2,7$)

- Intervalles à **95 %** :

pour le TFR : $\Delta = 5,6$ enfants

pour $e_0(F)$: $\Delta = 12$ ans

pour la population : $\Delta = 4,0$ millions (= population en 1980)

Projections de population : NRC-2000 et UN-1999

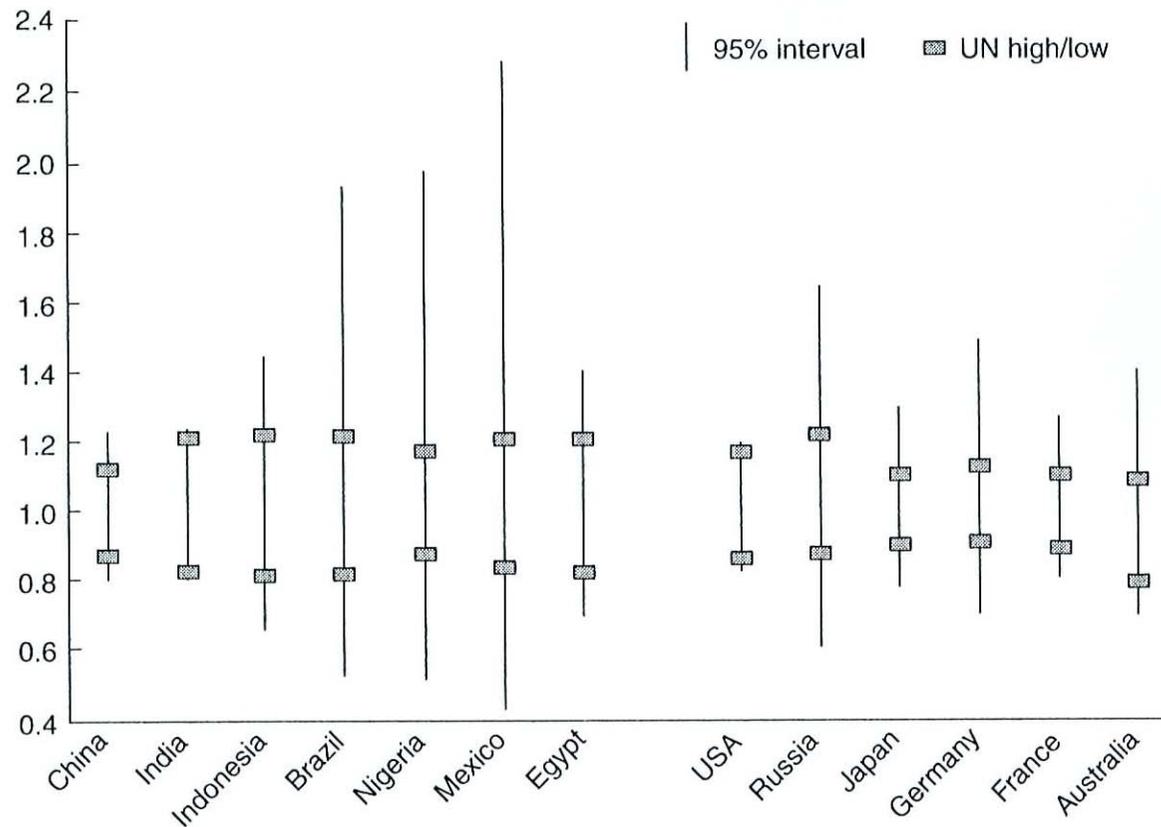


FIGURE 7-6 Estimated 95-percent prediction interval (with median projection set equal to 1) for population projected 50 years, and comparable U.N. high-low interval: 13 large countries.

SOURCE: Based on composite estimates in Appendix Table F-3 and United Nations (1999). [NRC, 2000, p. 210]

NRC-2000 et UN-1999

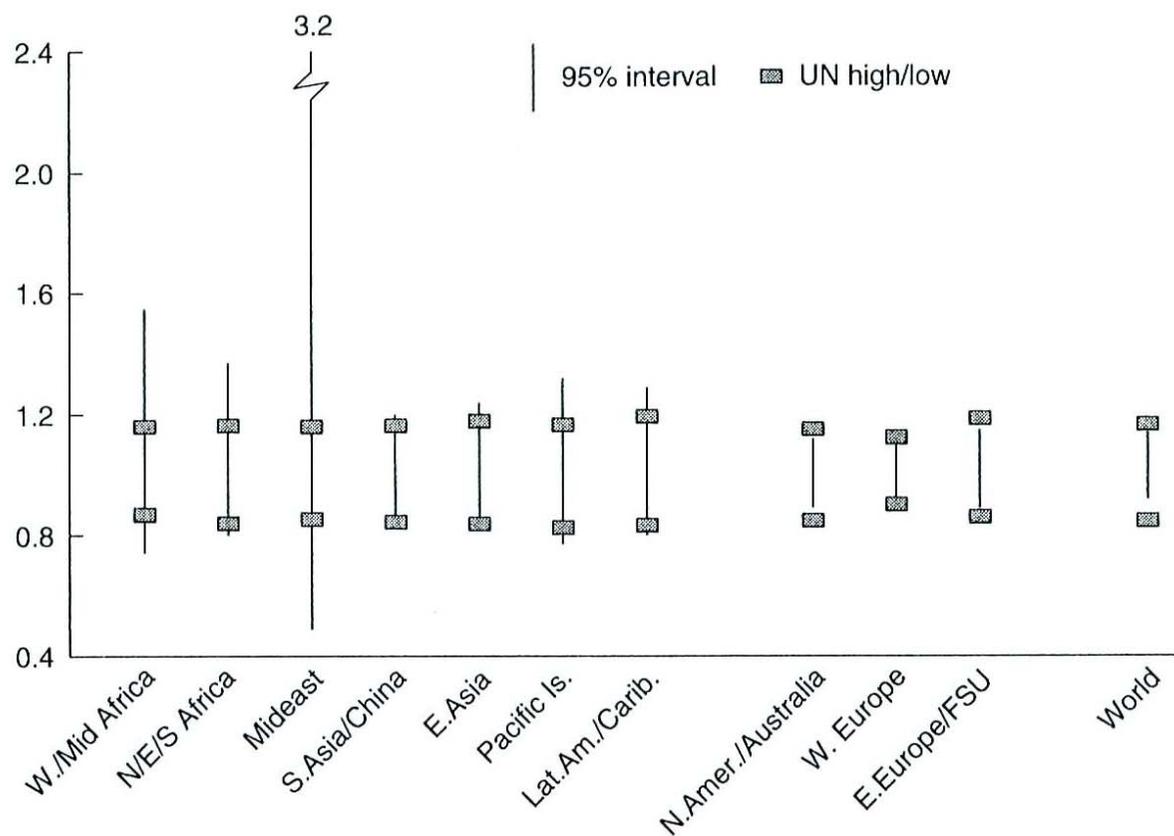


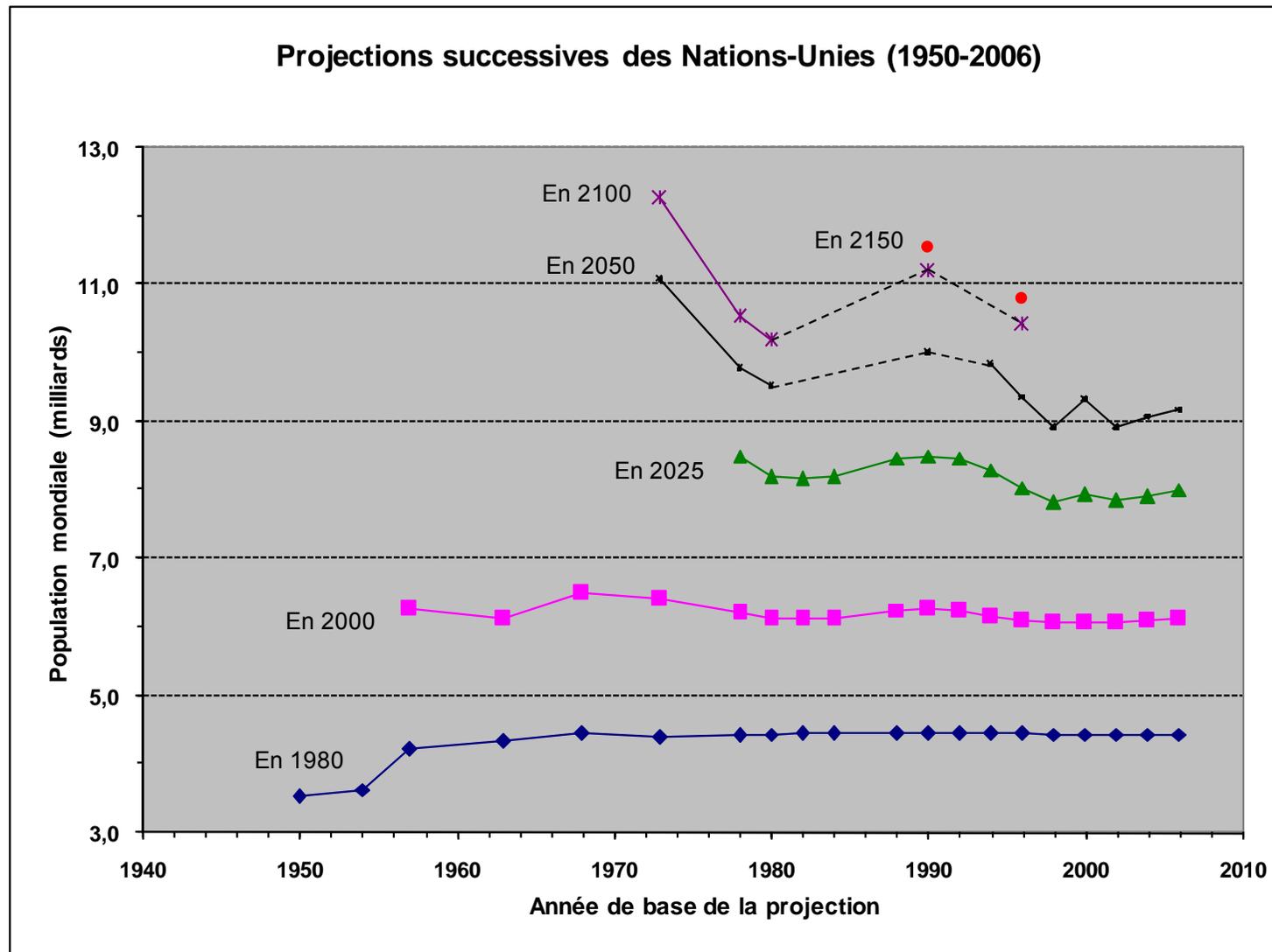
FIGURE 7-7 Estimated 95-percent prediction interval (with median projection set equal to 1) for population projected 50 years, and comparable U.N. high-low interval: 10 regions and the world.

SOURCE: Based on Appendix Table F-5 and United Nations (1999). [NRC, 2000]

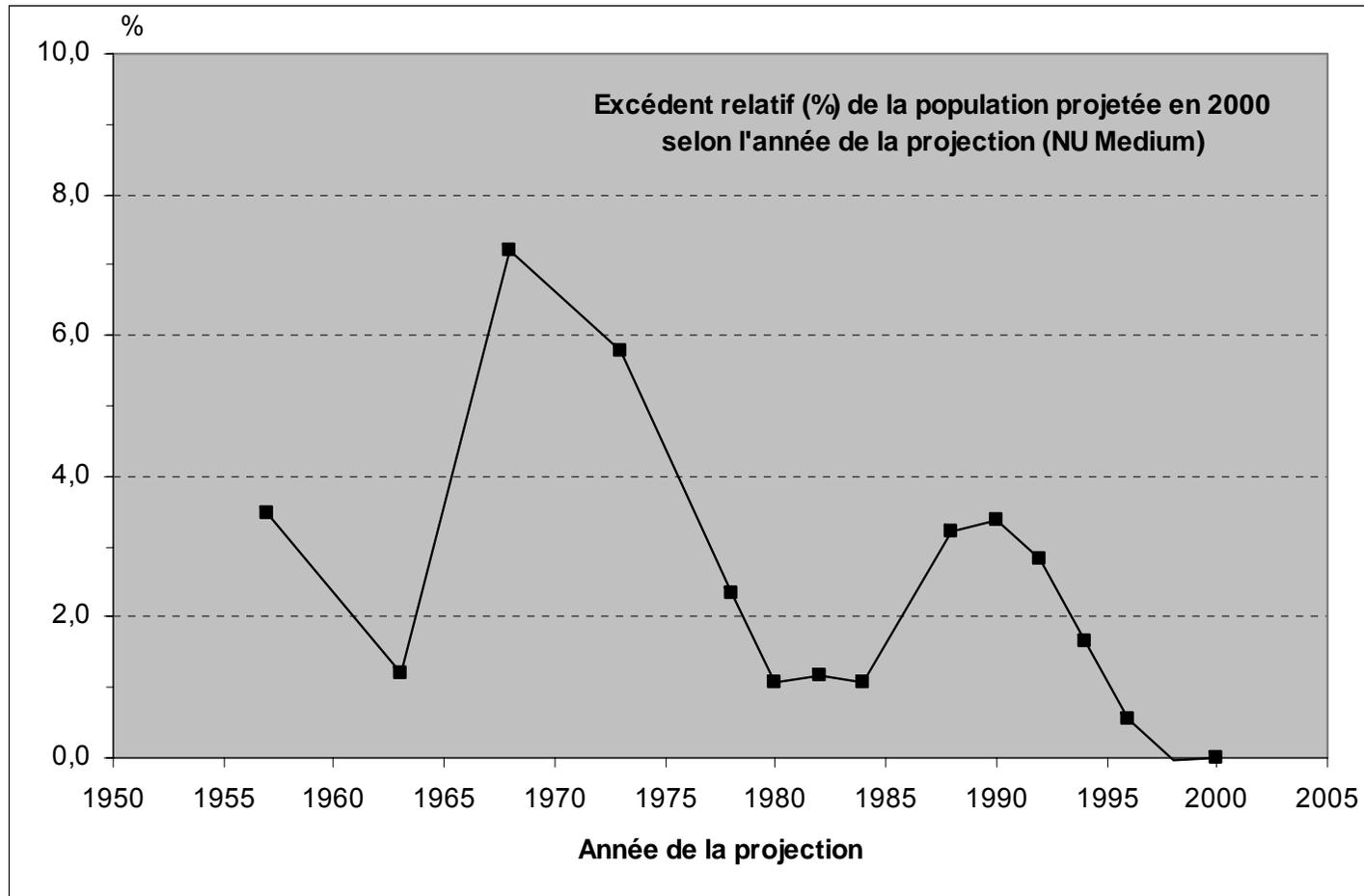
4- Qualité des projections

- Plus faible au plan national (même quand les données initiales sont bonnes)...
- ... qu'au plan mondial (ou continental)

Les projections successives des Nations-unies pour 1980 à 2100, depuis 1950

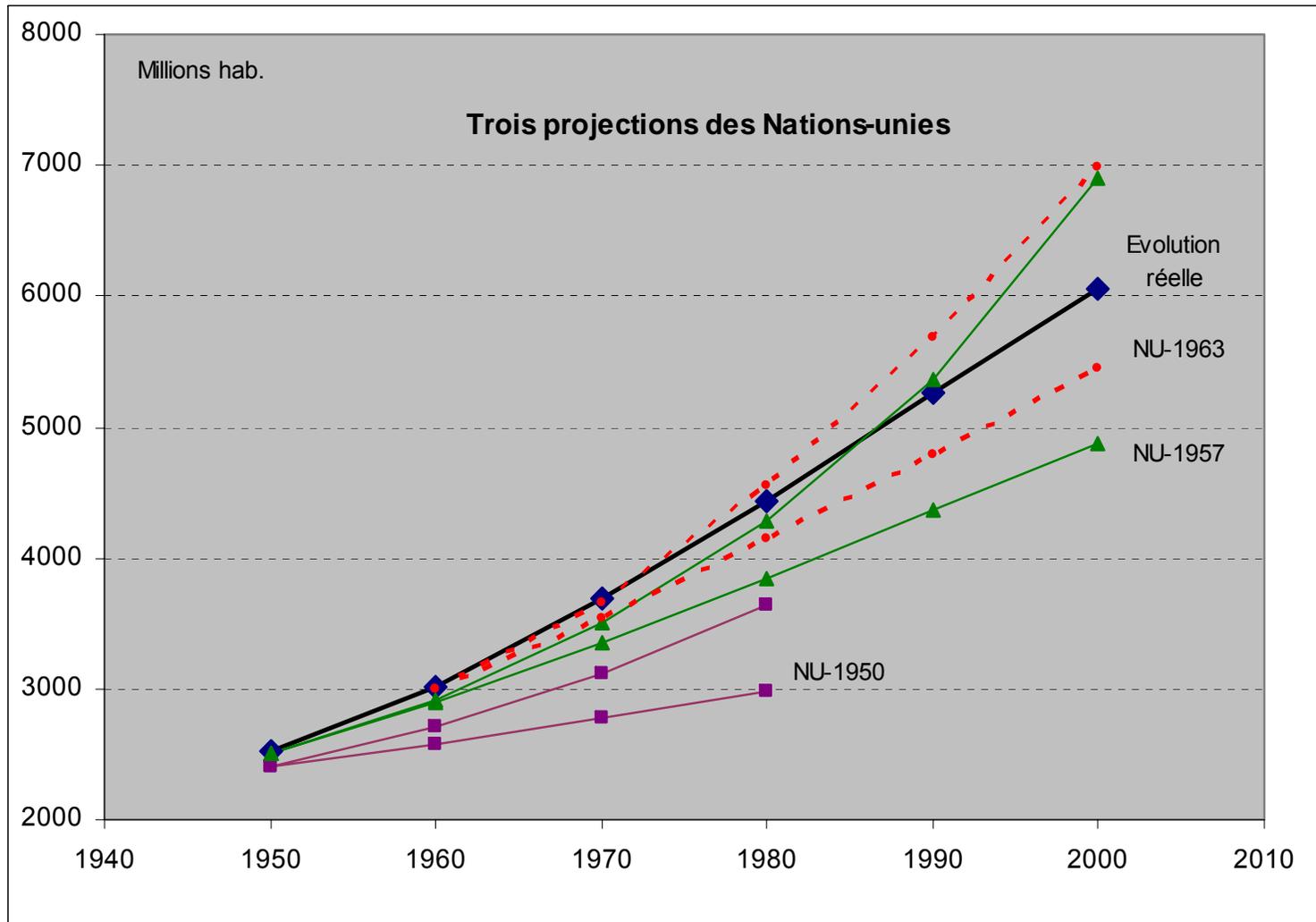


Projection moyenne des N.-U. depuis 1957

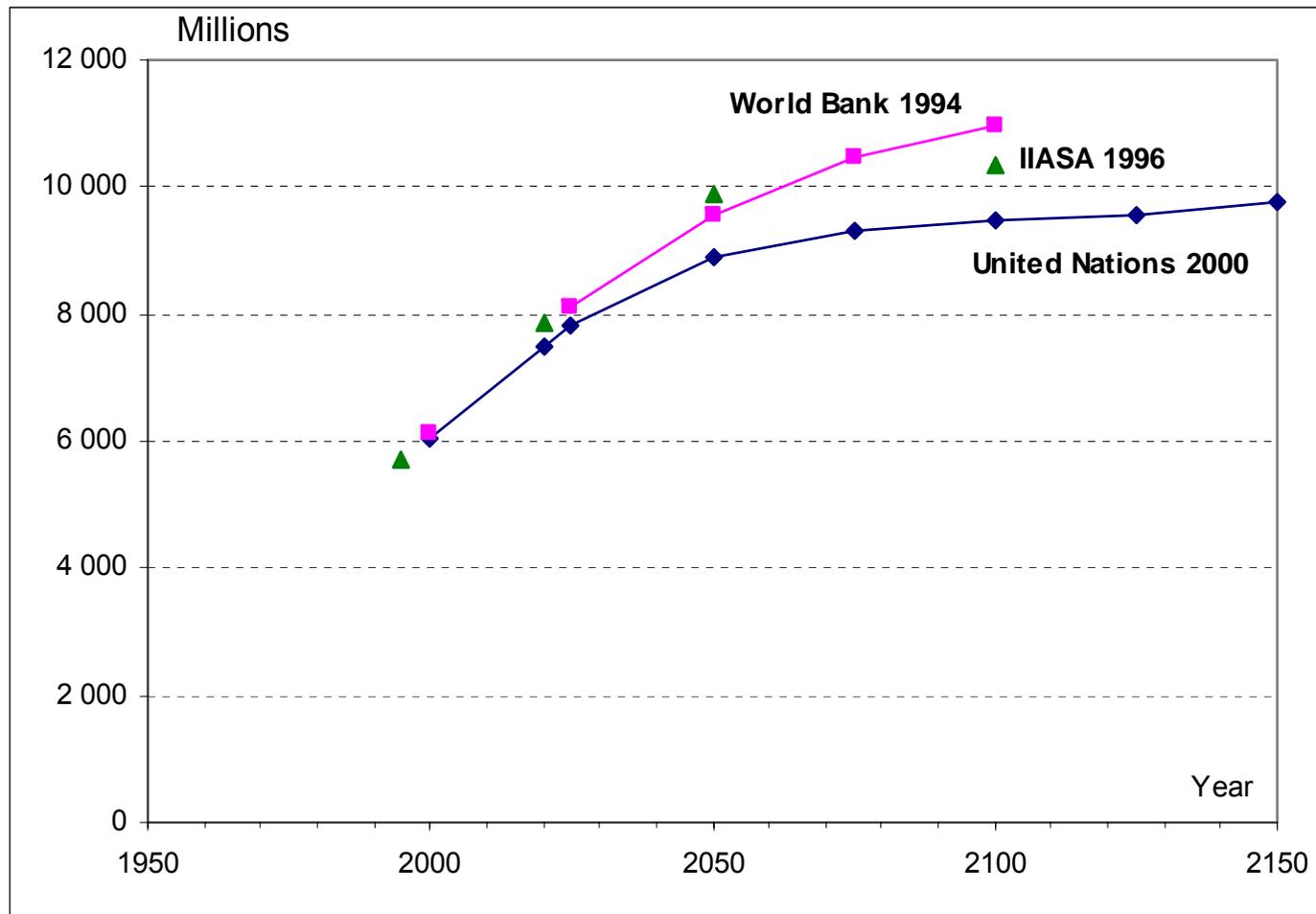


Hyp. minimum et maximum, et réalité

(Nations-Unies, 1950, 1957, 1963)



Les projections centrales des principaux organismes, à long terme

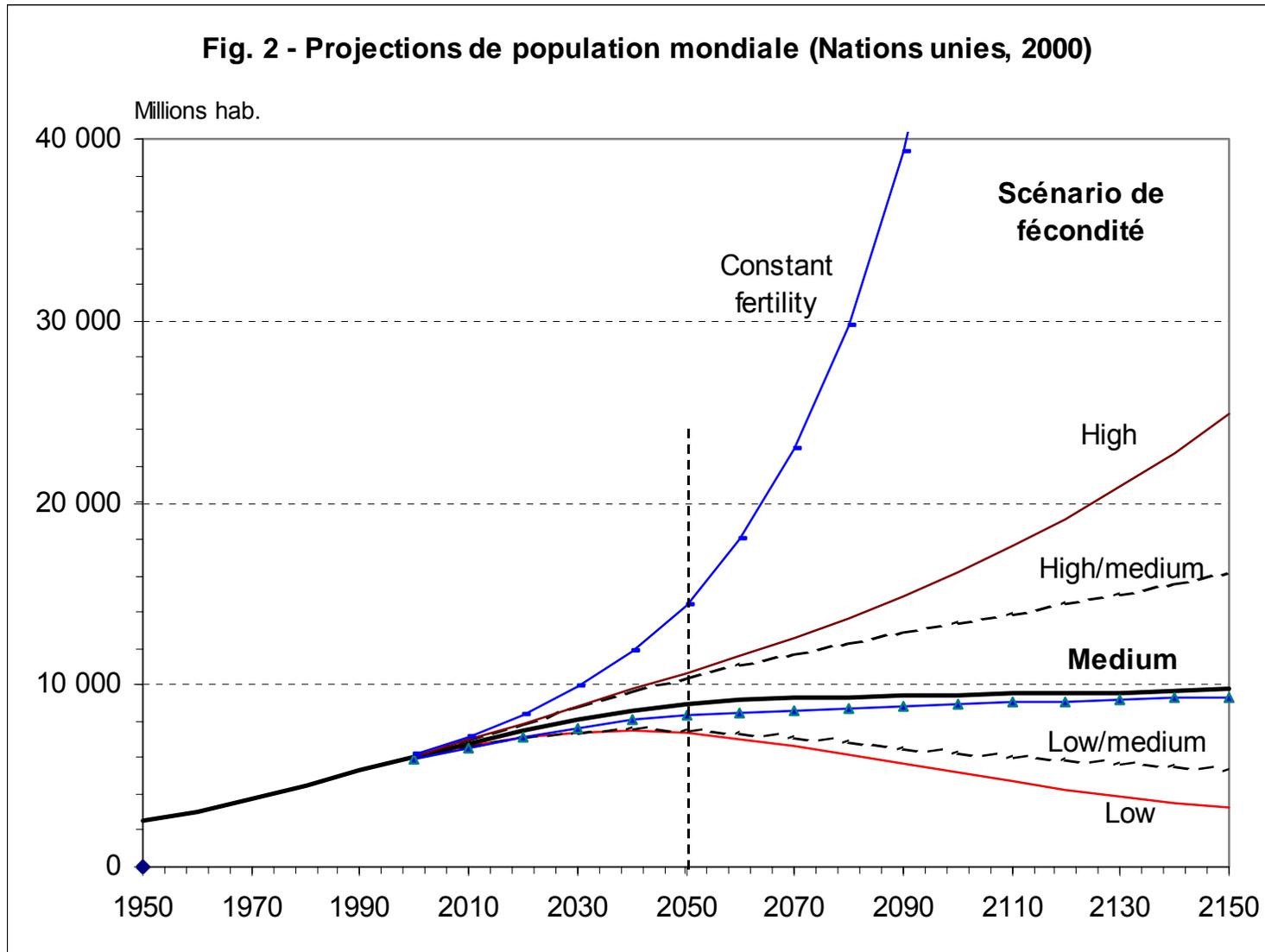


Comparaisons des hypothèses au niveau régional

Comparaisons entre hypothèses IIASA (1994) et Nations-unies (1998)

IIASA	U-Nations	Fécondité en 1990		Fécondité en 2030					
		IA	UN	IA Low	UN Low-Medium	IA Central	UN Medium	IA High	UN High-Medium
North Africa		4,7		2,0		3,0		4,0	
Sub-Saharan Africa	Africa	6,4	5,7	2,5	2,3	3,7	2,3	5,0	3,1
South Asia	India	4,2	3,8	1,7	1,6	2,4	2,2	3,0	2,6
China/Taiwan	China	2,2	2,2	1,5	1,5	2,2	2,1	3,0	2,3
Eastern Europe		2,0		1,3		1,8		2,3	
Western Europe	Europe	1,6	1,7	1,3	1,4	1,7	2,1	2,1	2,0

Projections à long terme des NU



Conséquences des hypothèses de fécondité sur la population mondiale

	Variante (hyp. de fécondité)					Constant fertility
	Low	Low/ medium	Medium	High/ medium	High	
Fécondité (ISF) stabilisée (a)	1,57	1,85	2,06	2,25	2,57	4,78 (b)
Popul. totale (milliards) en 2050	7,34	7,55	8,91	10,41	10,67	14,42
Popul. totale (milliards) en 2100	5,15	6,32	9,46	13,43	16,18	52,51

(a) Fécondité constante par pays à partir de 2030, stabilisée au niveau mondial vers 2060

(b) Valeur en 2100. Au niveau mondial, la fécondité initiale est 3,07 en 2000

Source : *World long-range projections, 1998 rev. (NU)*

Références bibliographiques

- Alders Maarten, Keilman N., Cruijsen H. 2007. Assumptions for long-term stochastic population forecasts in 18 European countries. *Eur J Population*, 23:33-69.
- Birg Herwig. 1995. *World Population Projections for the 21th Century. Thoretical Interpretations and Qualitative Simulations*. Frankfurt : Campus Verlag.
- Blanchet Didier, Le Gallo F. 2008. Les projections démographiques. Principaux mécanismes et retour sur l'expérience française. *Revue Economique* 59(5) :893-912
- Bos Edward, Vu M.T., Messiah E., Bulatao R.A. 1994. *World Population Projections*. Baltimore : The Johns Hopkins University (A World Bank Book).
- Cannan Edwin. 1895. The probability of a cessation of the growth of population in England and Walles during the next century. *The Economic J*, 5(20): 505-515.
- Carr-Saunders A.M. 1936. *World Population. Past Growth and Present Trends*. Oxford : Clarendon Press.
- Cohen Joël. 2002. World population in 2050: Assessing the projections. In: *Seismic Shifts: the Economic Impact of Demographic Change*, ed. By J. Sneddon Little and R.K. Triest. Fed. Reserve Bank of Boston Conf. Series n°46.
- Cohen Joel E., Roig M., Reuman D.C., GoGwilt C. 2008. International migration beyond gravity: A statistical model for use in population projections. *Proc Nat Acad Sci* 105(40): 15269-274

.../...

- Cohen Joel E., Roig M., Reuman D.C., GoGwilt C. 2008. International migration beyond gravity: A statistical model for use in population projections. *Proc Nat Acad Sci* 105(40): 15269-274
 - Frejka Tomas. 1974. *L'avenir de la croissance démographique. Divers sentiers menant à l'équilibre. New-York et Paris : The Population Council.*
 - Glass David. 1936. *The struggle for population. Oxford : Clarendon Press.*
 - Graunt John. 1662. *Observations naturelles et politiques... sur les bulletins de mortalité... Londres (Ed. française : Paris, Ined, 1977).*
 - Henry Louis, Gutierrez H. 1977. Qualité des prévisions démographiques à court terme. Etude de l'extrapolation de la population totale des départements et villes de France, 1821-1975. *Population*, 32(3):625-647.
 - IIASA, 1996 : voir Lutz, 1996.
 - Keilman Nico. 2008. European demographic forecasts have not become more accurate during the past 25 years. *Pop & Dev Rev*, 34(1)
 - Keilman Nico, Quang Pham D., Hetland A. 2002. Why population forecasts should be probabilistic, illustrated by the case of Norway. *Demographic Research* 6(15):409-454 (www.demographic-research.org/Volumes/Vol6/15/)
 - Keyfitz Nathan. 1981. The limits of population forecasting. *Popul & Dev Rev* 7(4): 579-593
- .../...

- Keyfitz Nathan. 1982. Can knowledge improve forecasts? *Popul & Dev Rev* 8(4): 729-751
 - Kirk Dudley. 1945. Population trends in Postwar Europe. *Annals Amer Polit Soc Sci* 237(1): 45-56
 - Lee Ronald D., carter L.R. 1992. Modeling and forecasting U.S. mortality. *J Amer Statist Assoc* 87(419): 659-671
 - Lutz Wolfgang (ed.). 1996. *The Future Population of the World: What Can We Assume Today?* London : Earthcan (IIASA).
 - Lutz Wolfgang, Sanderson W., Scherbov S. (eds) 2004. The End of World Population growth.
 - Malthus Thomas R. 1798. *Essai sur le principe de population...* Londres (Ed. française : Paris, Ined, 1980).
 - Moheau Jean-Baptiste. 1778. *Recherches et considérations sur la population de la France.* Paris : Moutard (Ed. annotée : Paris, Ined, 1994).
 - National Research Council 2000. *Beyond Six Billions.* Washington : National Academy Press (Panel on Population Projections, Bongaarts John and Bulatao R., eds)
 - Notestein Frank W., Taeuber I.B., Coale A.J., Kirk D., Kiser L.K. *La population future de l'Europe et de l'union Soviétique. Perspectives démographiques 1940-1970.* Genève, Société des Nations, 1944
 - Pearl Raymond. 1925. *The Biology of Population Growth.* New York: Alfred Knopf
- .../...

- Sauvy Alfred. 1928-29. La population française jusqu'en 1956. Essai de prévision démographique. *J Soc Stat de Paris*, 70(12) : 321-327 et 71(1) :8-13
- Süssmilch Johan P. 1741, 1761-1762. *L'Ordre Divin dans les changements du genre humain, prouvé d'après la naissance, la mort et la propagation de l'espèce*. Berlin : Librairie de la Realschule (Ed. française : Paris, Ined, 1979-1984).
- Thompson Warren. 1945. Population prospects for China and Southeastern Asia. *AAAPS 1945*, 72-79
- United Nations Population Division. 1998. *World Population Projections to 2150*. New York: United Nations
- United Nations Population Division. 2006. *World Population Prospects: The 2004 Revision*. New York: United Nations
- US Census Bureau. 2008. *International Data Base* (<http://www.census.gov/ipc/www/idb>)
- World Bank. 1994. *World Population projections, 1994-95*. Baltimore: The Johns Hopkins Univ. Press.