



ined
INSTITUT
NATIONAL
D'ÉTUDES
DÉMOGRA
PHIQUES

La fabrique de la mesure des populations et des perspectives démographiques

Laurent TOULEMON

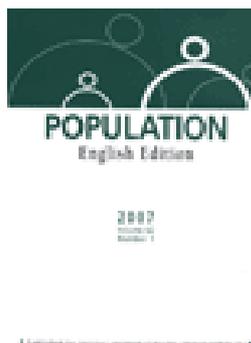
Institut national d'études démographiques, toulemon@ined.fr

Université populaire Antony

Cycle 2- Janvier février mars 2021

« Si la démographie m'était comptée ? »

- Chercheur à l'Institut national d'études démographiques (Ined)
 - Unité de recherche "Fécondité, familles, conjugalités"
 - Ancien rédacteur en chef de la revue *Population* (avec Anne Solaz et Olivia Samuel)
 - <http://www.revue-population.fr/>



Plan de l'intervention

- Les bases de la démographie
 - Une équation pour commencer
 - Définitions, stock, flux
 - Les errements de la pratique
 - Des applications très nombreuses
 - Une autre équation plus compliquée
 - Sexe et âge, des variables très efficaces pour décrire une personne
 - La dynamique des populations est très contrainte
- Les projections de population
 - La méthode de base
 - Les raffinements
- Conclusion

Une équation pour commencer

- Définitions
 - Soient deux dates, nommées ici t_0 et t_1
 - P_0 et P_1 sont la population en 0 et en 1
 - N sont les naissances entre les temps t_0 et t_1
 - D sont les décès entre les temps t_0 et t_1
 - E sont les entrées entre les temps t_0 et t_1
 - S sont les sorties entre les temps t_0 et t_1
- L'équation à retenir
 - **$P_1 = P_0 + N - D + E - S$**
 - Approche individuelle
 - Approche pour un groupe quelconque
 - Approche en démographie

$$P1 = P0 + N - D + E - S$$

- Rien n'est simple
- Population : groupe d'humains sur un territoire
 - Compter la population à une date précise : recensement
 - Groupe (H&F, tous âges), appartenance (tt le monde compte), territoire (ou autre critère : nationalité, membres ...)
 - Recensement des feux, Esclaves aux USA... France ou métropole
- Naissances et décès
 - La déclaration universelle des droits de l'homme et l'état civil
 - Naissances et reproduction: analyse de la fécondité
 - Décès : analyse de la mortalité
 - Registres d'état civil et comptage des événements

$$P1 = P0 + N - D + E - S$$

- Tout se complique
- Entrées et sorties
 - Territoire et frontière
 - Temps et durée de séjour
 - Entrées et sorties multiples (touristes, navettes)
 - Surveillance de la population
 - Solde migratoire $SM = E - S$ plus facile à estimer
- Une équation universelle
 - Stock : $P0$ et $P1$
 - Flux : naissances, décès, solde migratoire
 - Quelques exemples

$$P1 = P0 + N - D + E - S$$

- Population du monde en 1 an (2019)
 - $P0 = 7\,675\,000\,000 = 7,68$ milliards = 7,68M
 - $N = 139$ millions; $D = 62$ millions
 - Solde naturel = $139 - 62 = 77$ millions = 0,08M
 - Pas de solde migratoire
 - $P1 = 7,76$ M
- En une seconde
 - $N = 4,4$; $D = 2$
 - $P1 - P0 = 2,4$ (de 7 700 000 000 à 7 700 000 002)
- En 50 ans (de 1970 à 2020) en millions
 - $P_{1970} = 3\,700$ $N = 6\,646$ $D = 2\,552$ $SN = 4\,094$
 - $P_{2020} = 7\,795$

$$P1 = P0 + N - D + E - S$$

- Population de Paris entre 2012 et 2017
 - $P_{2012} = 2\,240\,621 = 2,24$ millions
 - $N = 144\,000$; $D = 70\,000$
 - Solde naturel = $144\,000 - 70\,000 = 74\,000$
 - Solde migratoire = $-122\,000$
 - Solde total = $-48\,000$
 - $P_{2017} = 2,19$ millions
- Population de Antony entre 2012 et 2017
 - $P_{2012} = 61\,624$
 - $N = 4\,254$; $D = 1\,987$; Solde naturel = $2\,267$
 - Solde migratoire = $-1\,242$; Solde total = $1\,225$
 - $P_{2017} = 62\,570$
- Comparaison des deux villes?

$$P1 = P0 + N - D + E - S$$

- Comparaison avec les taux

→ Pour 1000 par an

	Nombres sur 5 ans		Taux (pour 1000 par an)	
	Antony	Paris	Antony	Paris
Population 2012	61 624	2 240 621		
Naissances 2012-2017	4 254	143 915	13,7	13,0
Décès 2012-2017	1 987	69 743	6,4	6,3
Solde naturel (N-D)	2 267	74 171	7,3	6,7
Solde migratoire	-1 242	-121 774	-4,0	-11,0
Solde total	1 025	-47 603	3,3	-4,3
Population 2017	62 570	2 187 526		

→ Solde naturel élevé dans les deux villes

→ Solde migratoire négatif, surtout pour Paris

→ Croissance d'Antony, décroissance de Paris

$P_1 = P_0 + N - D + E - S$. Vrai ou faux?

- Les errements de la pratique
- Mouvements en France, année 2019, milliers
 - $P_0 = 66,978$ (plus 0 à 2 000)
 - $P_1 = 67,064$ (plus 0 à 2 000)
 - $N = 753$ (pratiquement exact)
 - $D = 612$ (pratiquement exact)
 - Accroissement naturel = 141 (pratiquement exact)
 - Solde migratoire = 46 (+ou- 30)
 - Solde total = 187 (+ou- 30)
 - $E = 80\,046$ et $S = 80\,000$ si on compte toutes les entrées
 - $E = 346$ et $S = 300$ si l'on compte les séjours pour un an
 - France entière (incluant les départements et régions d'Outre-mer, 216,9 millions d'habitants)

$$P_1 = P_0 + N - D + E - S + A$$

- Quand les calculs ne tombent pas juste
 - $P_0 = 66,978$ (plus 0 à 2 000)
 - $P_1 = 67,064$ (plus 0 à 2 000)
 - Accroissement naturel = 141 (pratiquement exact)
 - Solde migratoire = 46 (+ou- 30)
 - Solde total = 187 (+ou- 30)
 - Mais $67,064 - 66,978 = 86$ (et non 187)
- Un ajustement a été introduit en 2019
 - Ajustement = -101 (ajustements en 2015, 6, 7, et 8)
 - Accroissement total = 86 (187-101)
 - Migration apparente = $86 - 141 = -55$

$$P1 = P0 + N - D + E - S$$

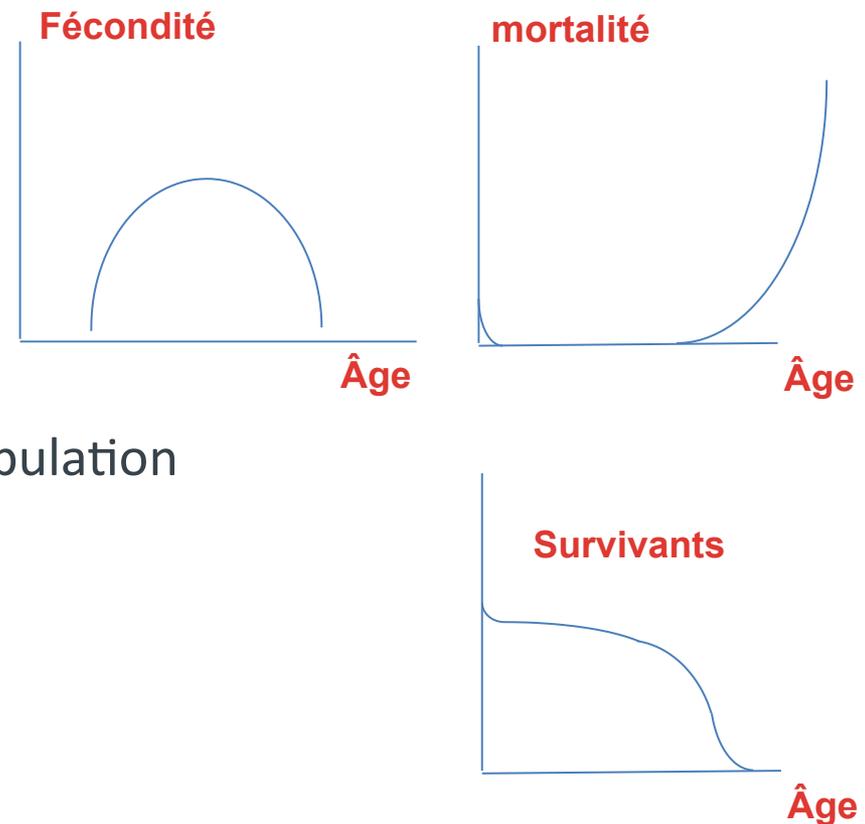
- Des applications très nombreuses
 - N'importe quel groupe de la population
 - On naît et on meurt une fois
 - Entrées et sorties
 - Durées de temps variables
 - Naissances, reproduction et fécondité
 - Décès et mortalité
- Des définitions implicites nécessaires
- Remarques, questions ?

Une autre équation: sexe et âge

- Sexe et âge, des variables très efficaces pour décrire une personne
 - Des variables faciles à suivre
 - Sexe constant
 - Âge augmente d'un an chaque année
- La dynamique des populations est très contrainte
 - On ne naît qu'une fois, à l'âge 0
 - On meurt une fois et une seule
 - D'une année à l'autre, l'âge augmente de 1 an
- Deux questions :
 - Encore vivant(e)?
 - Naissance d'un enfant?

Une autre équation: sexe et âge

- Deux questions :
 - encore vivant(e)?
 - naissance d'un enfant?
- Modèles à un seul sexe,
 - fécondité et mortalité
- Un modèle très puissant
 - Utilisé pour les projections de population
 - Mais d'abord pour « deviner » l'état de la population
- On pourrait le compliquer
 - Deux sexes, unions
 - Migrations
 - Autres variables de positions sociale
- Une parenthèse sur le sex ratio (si on a le temps)



Une autre équation: sexe et âge

- Les indicateurs en démographie
 - Naissances → Indicateur conjoncturel de fécondité : nombre moyen d'enfant par femme au cours de la vie
 - Décès → espérance de vie à la naissance, en années
 - Indicateurs concrets (pas évoqués aujourd'hui)
- La théorie des populations stables
 - Si la fécondité et la mortalité sont constantes
 - Alors la répartition par âge reste constante et la population croît (ou décroît) de manière exponentielle
- Un résultat extrêmement puissant
 - Qui permet de relier les flux (naissances, décès par âge), les stocks (population par âge) et la croissance

L'équation des populations stables

- On considère tous les âges x (un seul sexe)
- Les naissances en t de mère d'âge x sont les mères nées en $t-x$, survivantes en t (à l'âge x) et ayant un enfant en t
- Une equation intégrale à traduire
 - $B(t)$ les naissances en t
 - $l(x,t)$ les survivantes à l'âge x en t
 - $F(x,t)$ la fécondité à l'âge x en t

$$B(t) = \int_{x=\alpha}^{\beta} B(t-x) l(x,t) f(x,t) dx$$

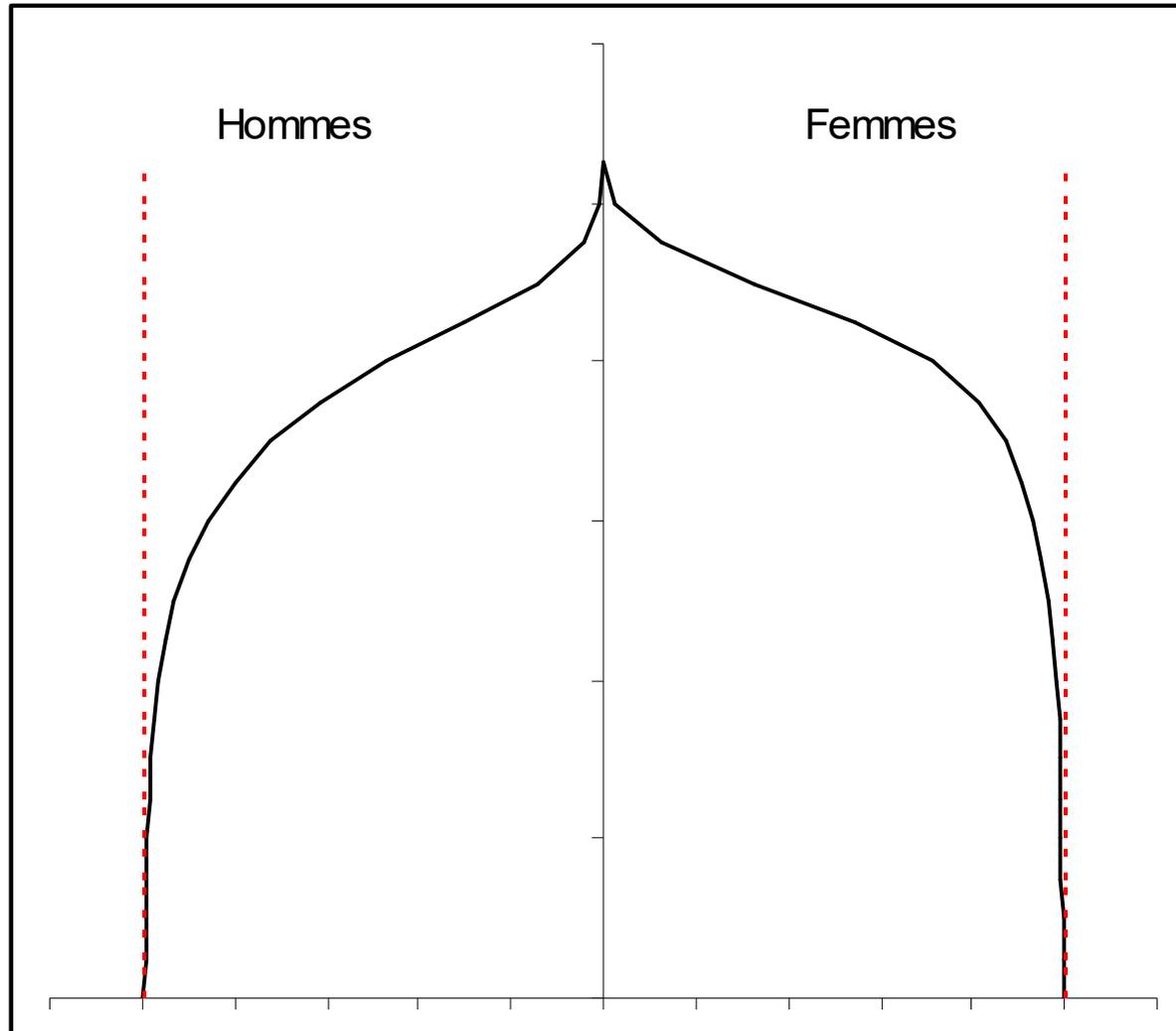
L'équation des populations stables

- Si la fécondité et la mortalité sont constants
- On en déduit (équation des populations stables)

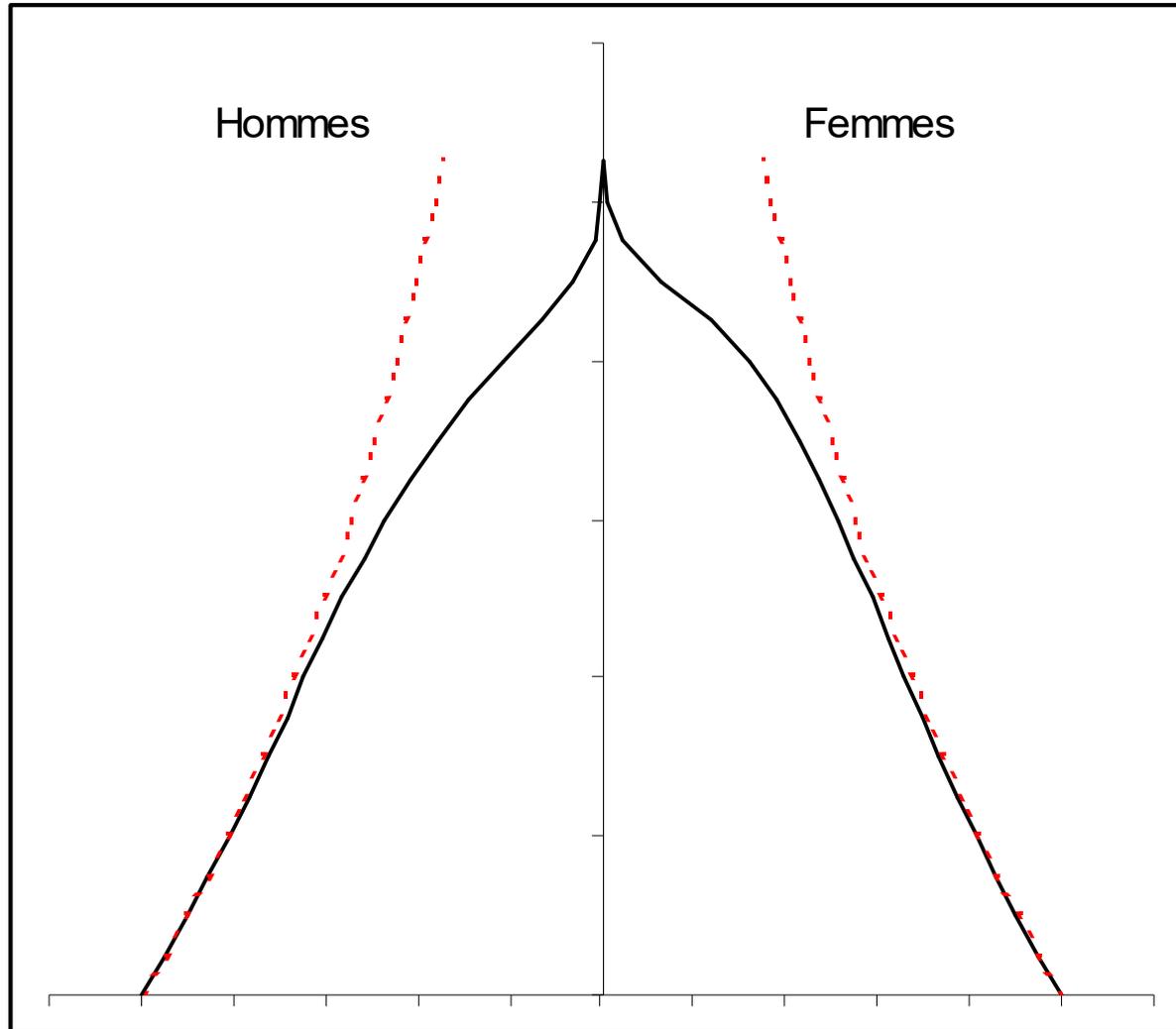
$$1 = \int_{x=0}^{\omega} \exp(-rx) l(x) f(x) dx$$

- Une équation en r (taux de croissance de la population)
 - Détermine la structure de la population par âge
 - Vrai dans beaucoup de situations

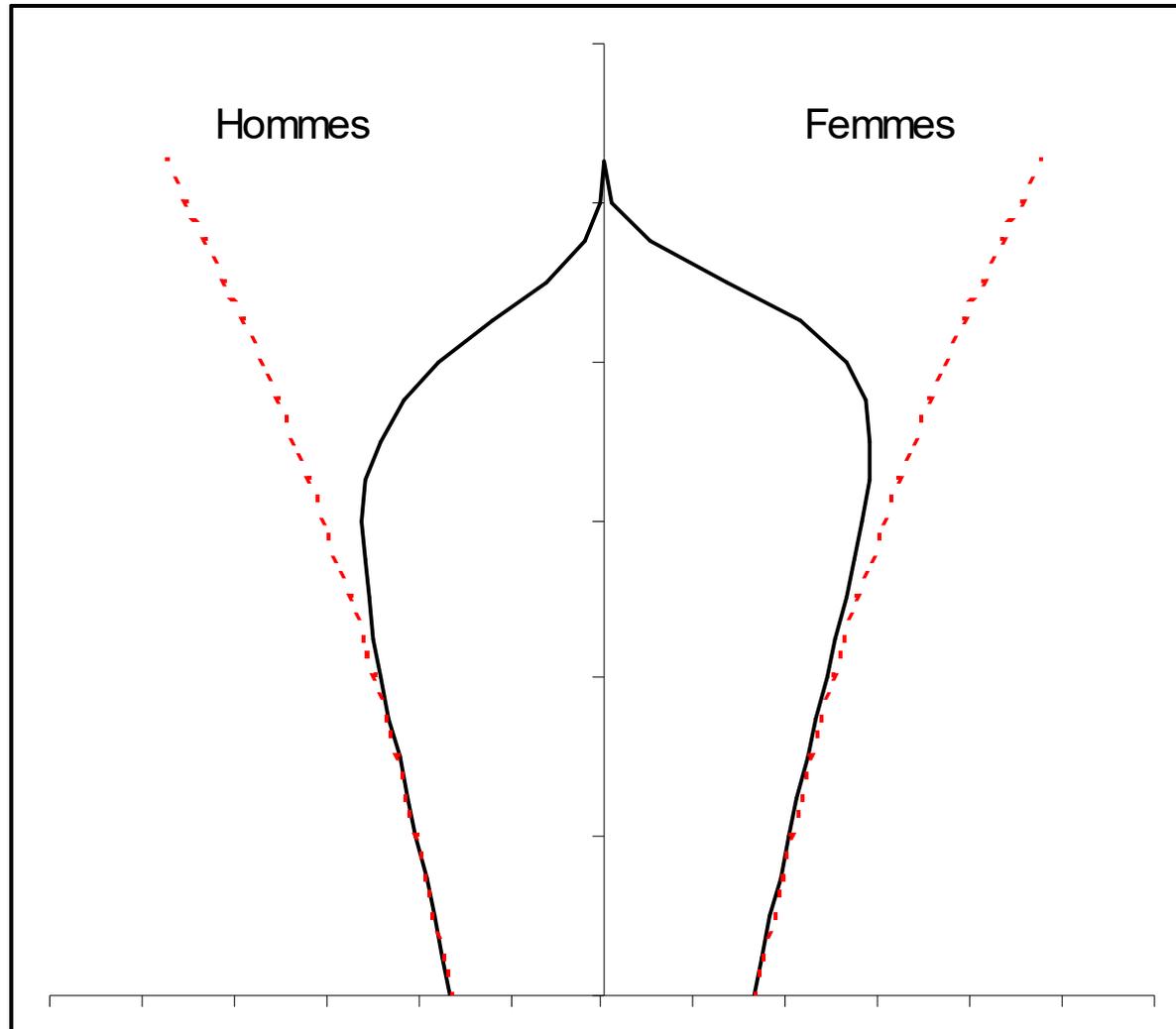
Avec $r=0$ (population constante) la pyramide reflète la survie d'un âge à l'autre



Avec 1% de croissance la population a la forme d'une pyramide (temps de doublement=70 ans) 



Avec une croissance negative (-1% par an) la pyramide ressemble à un paquebot



Relation entre croissance et mortalité

- Une population croissante est jeune, une population décroissante est âgée
- La mortalité a un effet faible et ambigu
 - Mortalité faible => décès tardifs mais croissance

$$r > 0$$

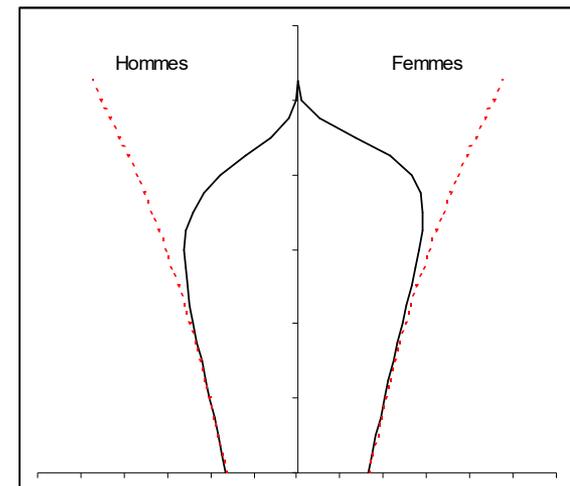
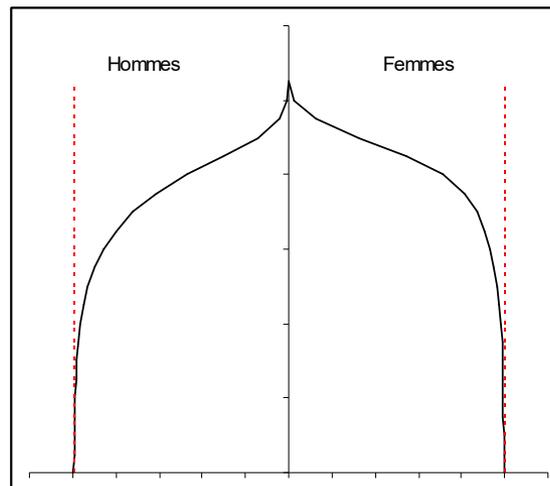
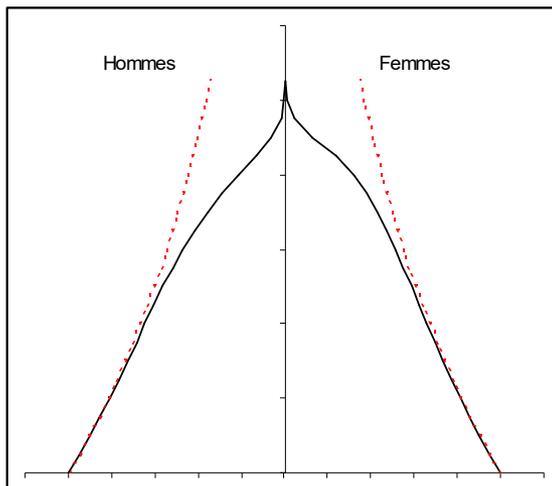
$$x < x_0$$

$$r = 0$$

$$x = x_0$$

$$r < 0$$

$$x > x_0$$



Relation entre croissance et fécondité

- La fécondité a un effet majeur
 - Fécondité élevée => beaucoup de jeunes et croissance
 - Fécondité à 2,1 enfants par femme => population constante
 - Fécondité plus basse : décroissance et vieillissement

$$r > 0$$

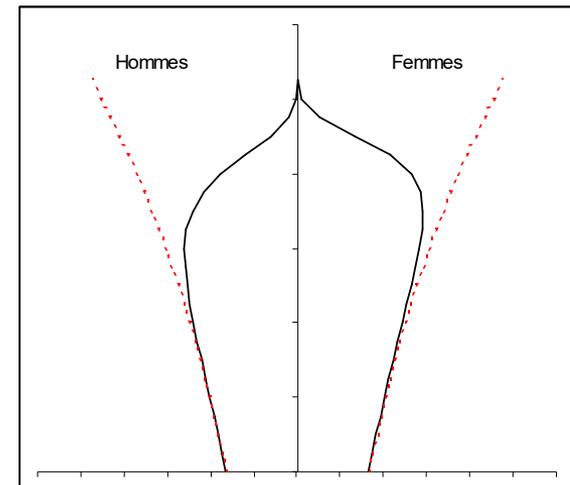
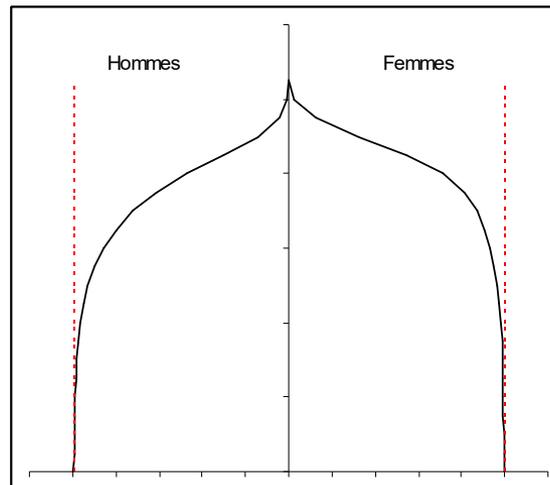
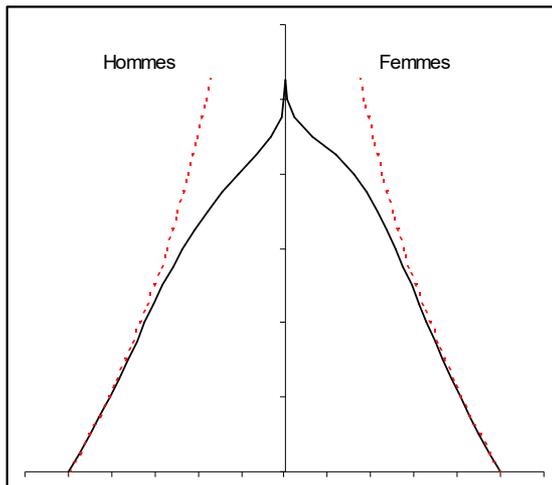
$$x < x_0$$

$$r = 0$$

$$x = x_0$$

$$r < 0$$

$$x > x_0$$



Le remplacement des générations

- Reprenons l'équation des populations stables

$$1 = \int_{x=0}^{\omega} \exp(-rx) l(x) f(x) dx$$

- Reproduction d'une génération à l'autre
 - Une fille à l'âge 0 pour une femme à l'âge 0, $R_0 = 1$

$$R_0 = \int_{x=0}^{\omega} l(x) f(x) dx$$

- C'est le taux de reproduction (épidémie)
 - $R_0 = 1$: population constante ($r=0$)
 - $R_0 < 1$: $r < 0$; $R_0 > 1$: $r > 0$

Conclusion sur les modèles

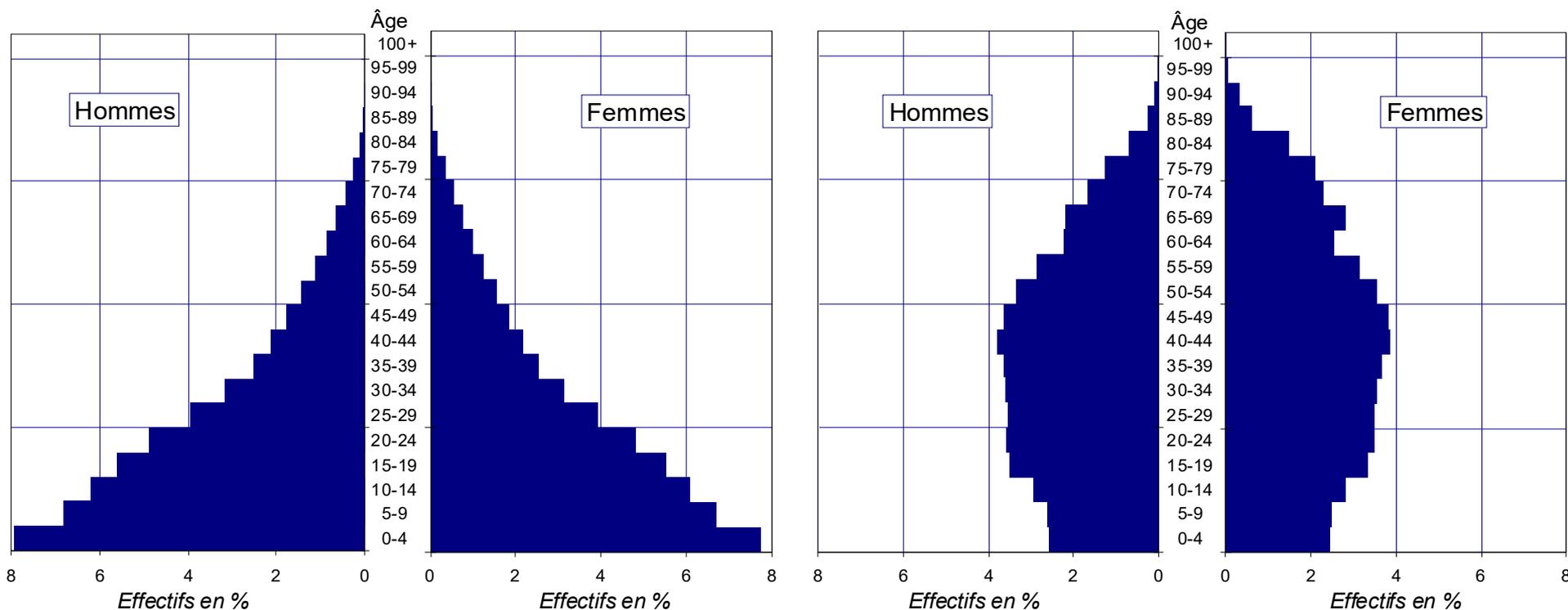
- Un modèle très puissant
 - En observant les populations selon le sexe et l'âge on déduit énormément de choses sur le passé, le présent et le futur des population
- En amont du modèle, recherche des causes
 - Histoire, sociologie, ethnologie, médecine, économie...
- En aval, étude des conséquences
 - Projections de population
- Applications (si on a le temps?)
 - Pyramides, sex ratio par âge, projections

Quelques pyramides des âges

- Comparaison de deux continents
 - Afrique et Europe
- Comparaison de deux villes
 - Madison, Wisconsin, une ville étudiante
 - Sun City, Arizona, une ville réservée aux retraités
- La population du monde à trois dates
 - Projections de 2000 et 2017
 - Le XXI^e siècle sera celui du vieillissement
 - C'est plutôt une bonne nouvelle

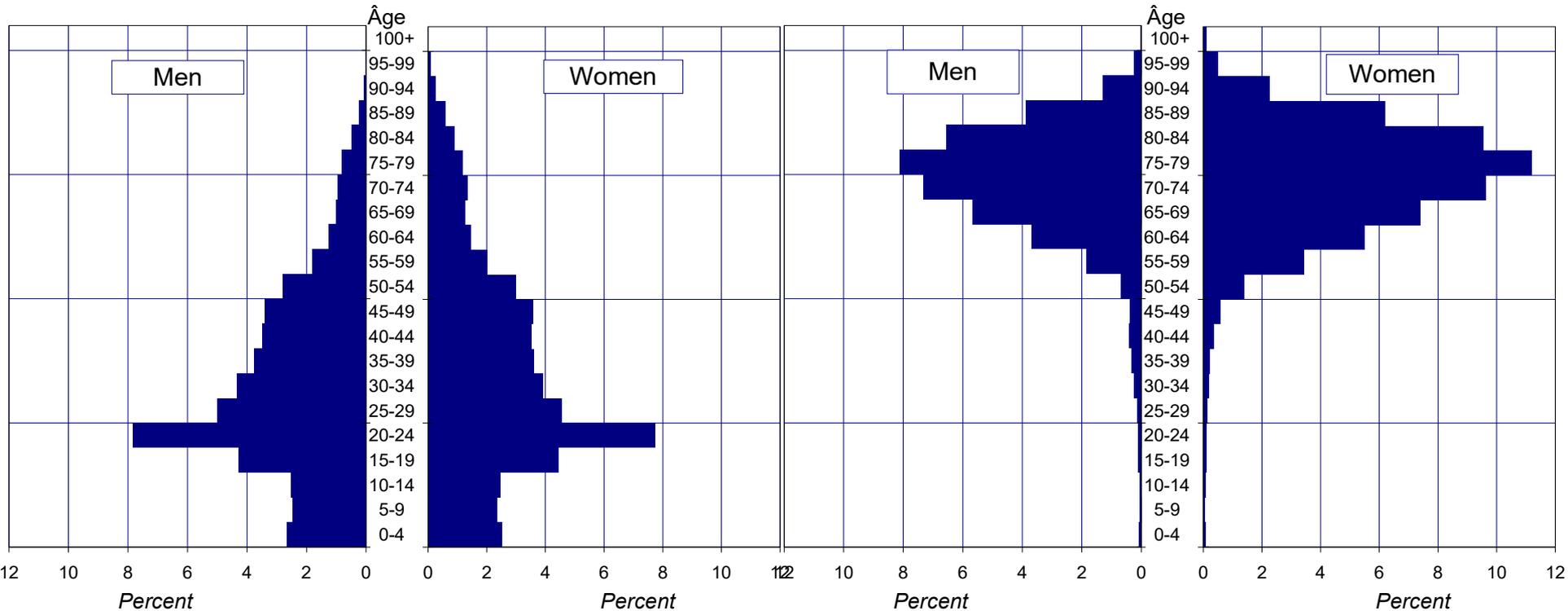
Deux continents, 2005

- Il y a 906 millions d'habitants en Afrique, et 728 millions en Europe (définition des Nations Unies)
- Comparons les deux pyramides
 - Croissance passé et future de l'Afrique et de l'Europe

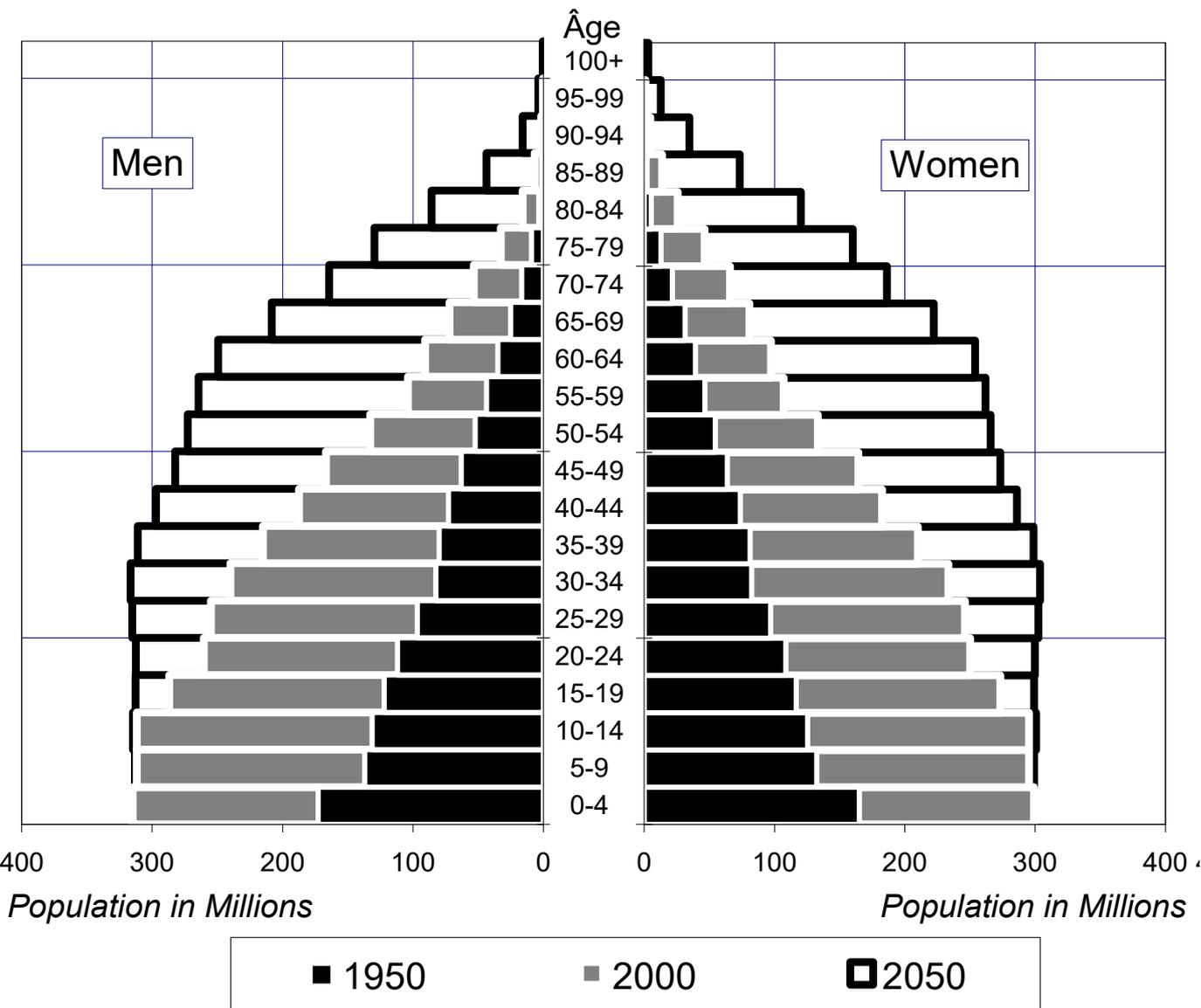


Deux villes américaines en l'an 2000

- A gauche, Madison, Wisconsin
 - A droite, Sun city, Arizona
- Comment ces villes vieillissent-elles ?



Le vieillissement de la population mondiale



Population totale:

2,5 milliards en 1950

6,1 milliards en 2000

9,1 milliards en 2050

Proportion de
personnes âgées
(75+):

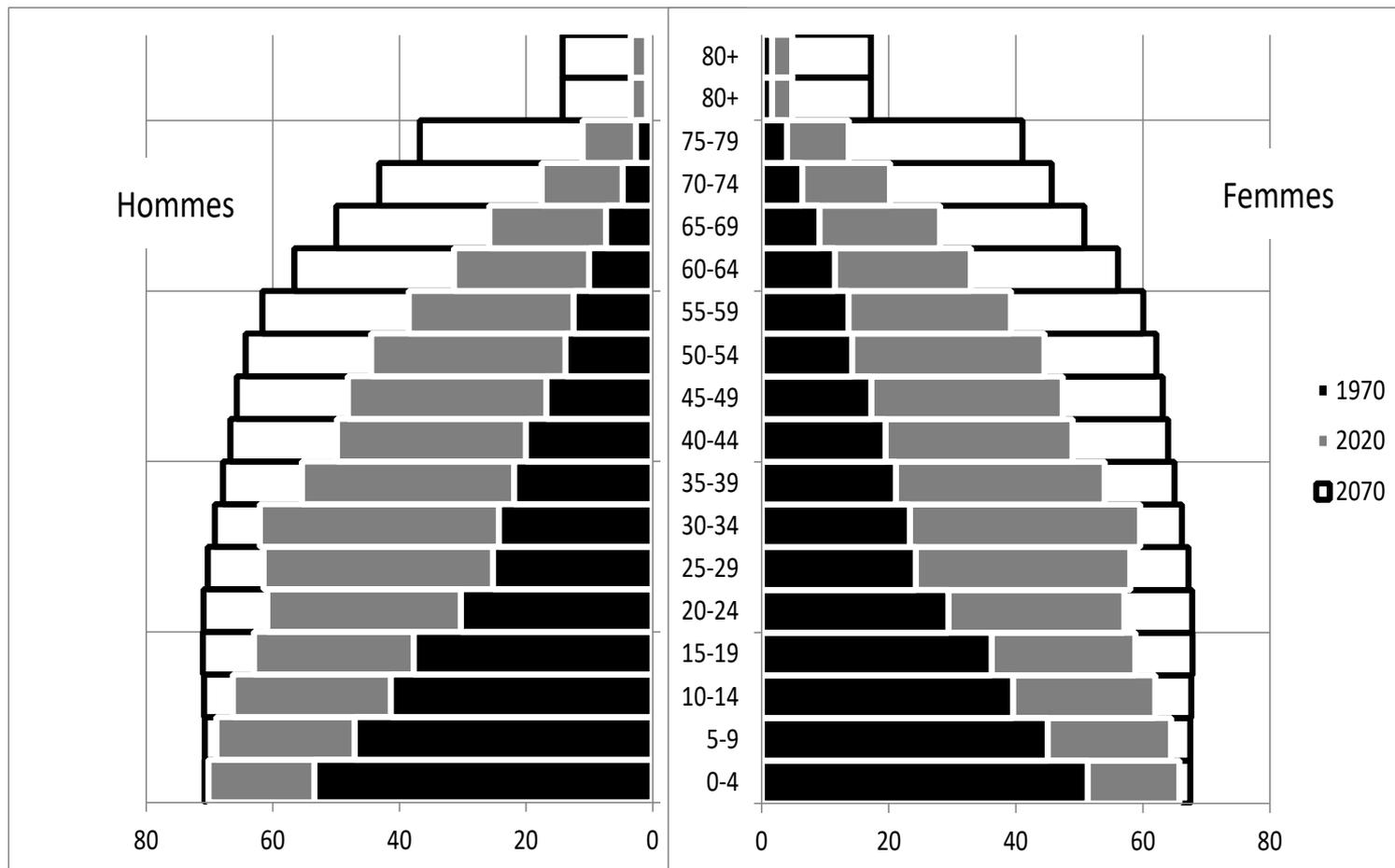
1,4% en 1950

2,5% en 2000

7,5% en 2050

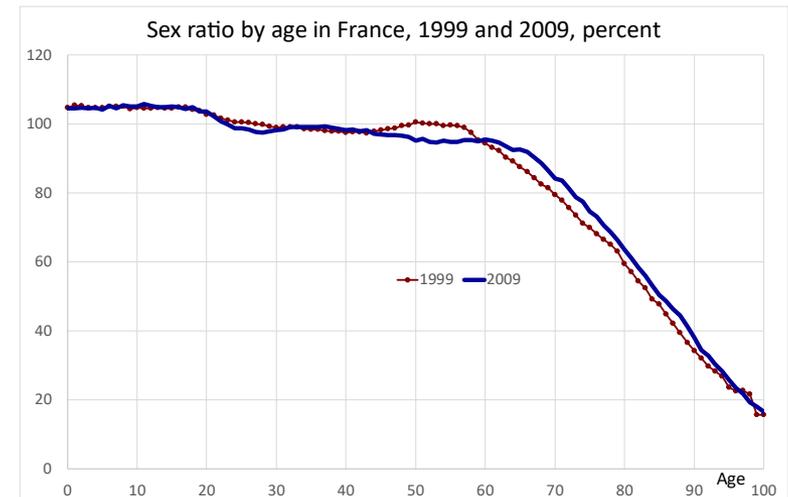
Vingt ans après le vieillissement est toujours là

Pyramide des âges mondiale, 1970 – 2020 – 2070, millions de personnes par âge (projections de 2017)



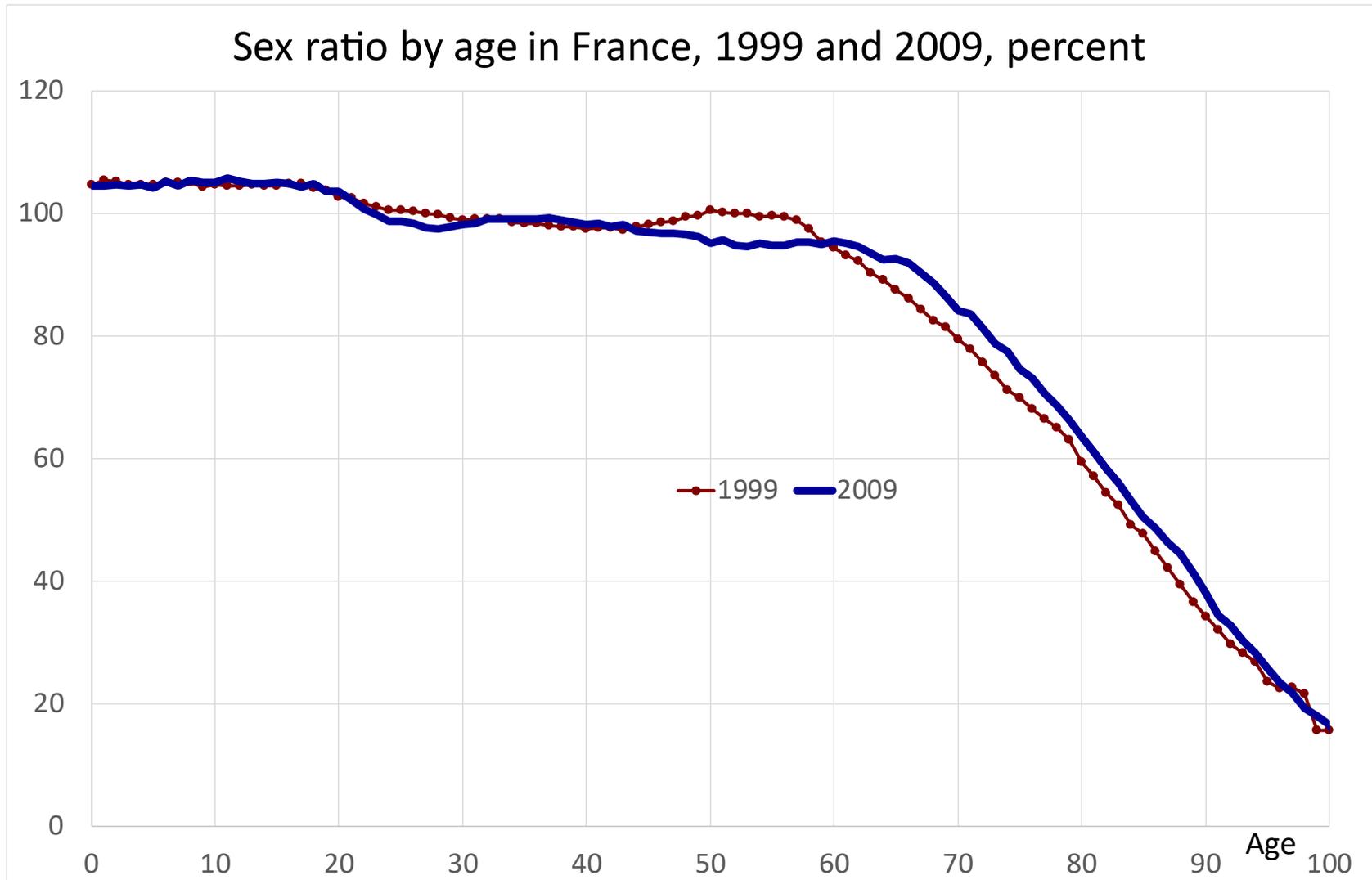
Le sex ratio selon l'âge et son evolution

- Définition du sex ratio selon l'âge
 - À chaque âge on regarde la proportion d'hommes ou de femmes, en 1999, 2009 et 2019 en France
 - Ici on fait le rapport Hommes/femmes (en %)
- On va regarder en détail
 - 105 garçons / 100 filles
 - Baisse après 60 ans
 - Décrochage à 20 ans
 - « Bosse » à 50-60 ans
- Des explications très diverses
 - Évolution d'un recensement à l'autre

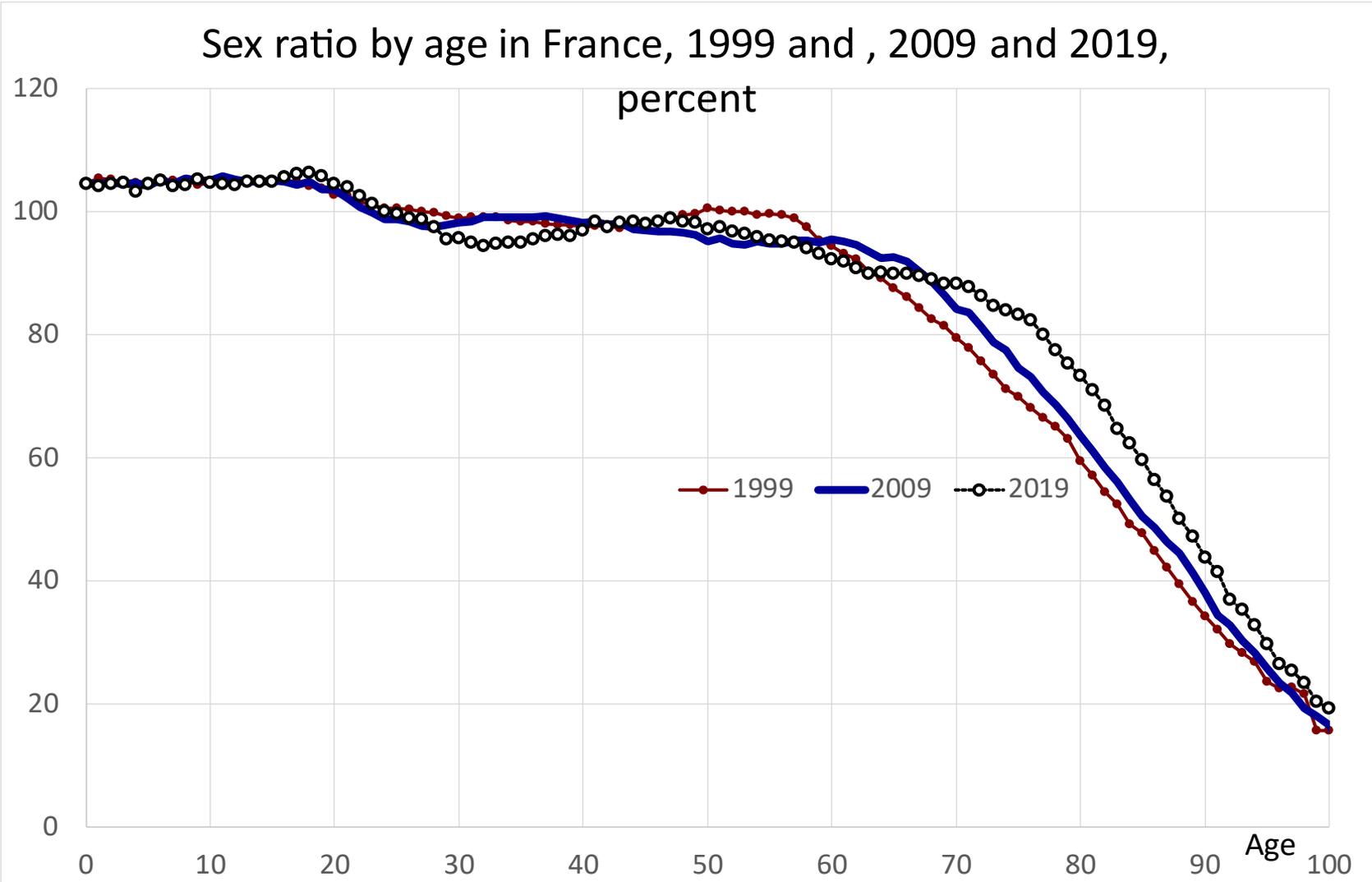


Le sex ratio en France, 1999 et 2009 (%)

À chaque âge, nombre d'hommes pour 100 femmes



Le sex ratio en France, 1999, 2009 et 2019 (%)



Les projections de population

- Méthode des composantes
 - Trois composantes : fécondité, mortalité, migrations
 - On reprend l'équation de départ
 - Variables : t le temps, x l'âge, s le sexe
 - $P(t+1, x+1, s) = P(t, x, s) - d(t, x, s) + SM(t, x, s)$
 - $P(0, t+1) = \sum_x P(t, x, 2) f(t, x, s) (1 - mi(t, s))$
 - Les événements que l'on calcule
 - $d(t, x, s) = P(t, x, s) m(t, x, s)$
 - $NM(t, x, s)$ solde migatoire (exogène dans la projection)
 - $m(t, x, s)$ risque de décéder
 - $f(t, x, s)$ taux de fécondité des femmes page âge
 - $mi(t, s)$ mortalité infantile jusqu'à la fin de l'année

Deux exemples

- Les projections résument la situation actuelle
 - Que se passerait-il si les choses évoluaient comme on peut le supposer d'après le présent et le passé?
 - Quelles alternatives peut-on envisager?
 - Autres logiques de construction de scénarios
 - Projection anti-réalisatrices, projections volontaristes...
- Les projections de la France de 2006
 - Horizon 2050
 - On revient aux hypothèses de cette année
- Les projections des Nations unies de 2012
 - Les premières projections probabilistes

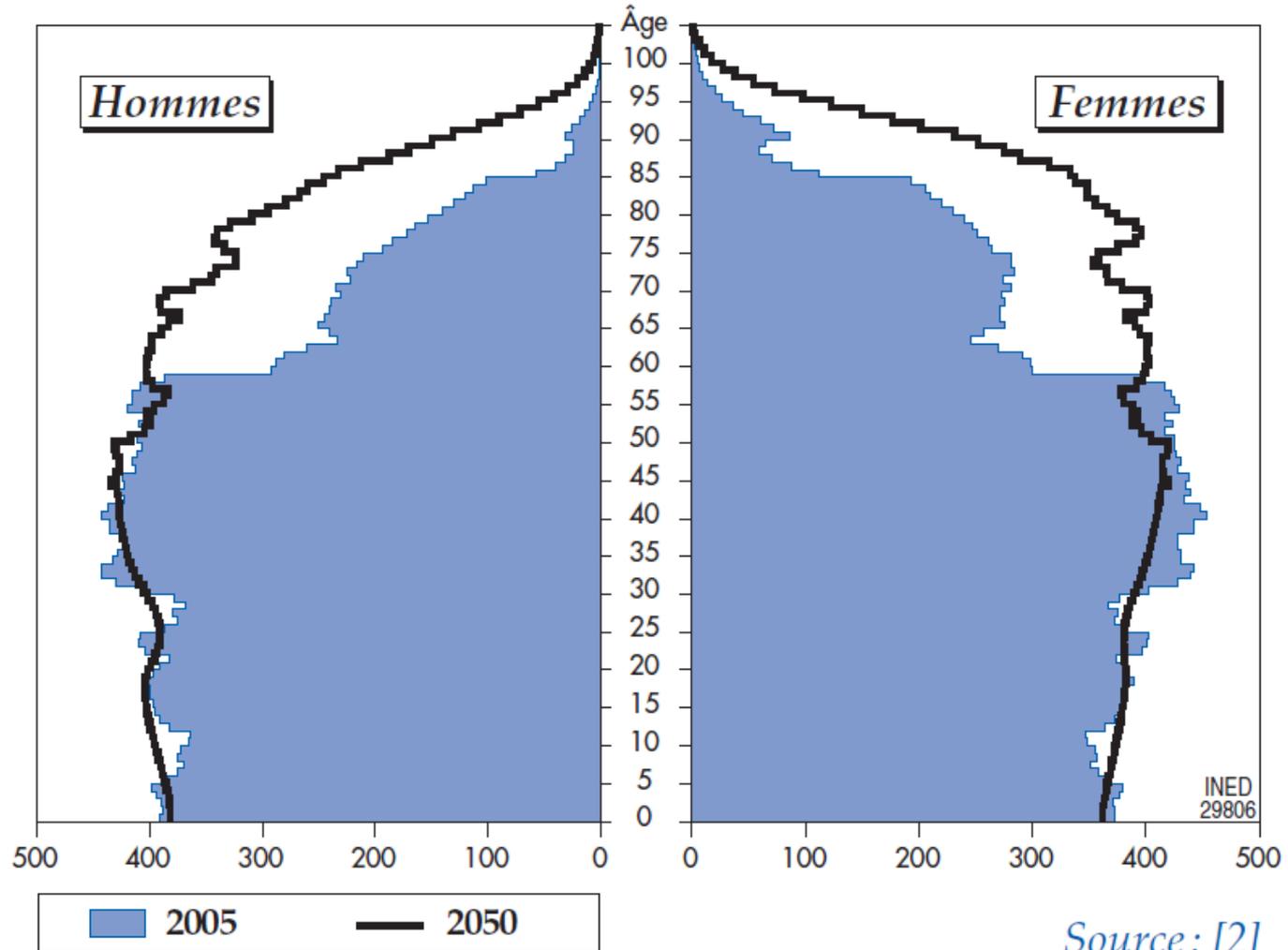
En France (2006) 27 scénarios

- Indicateur synthétique de fécondité:
1,7 ; 1,9 ; 2,1 enfant par femme
→ Taux par âge et année jusqu'en 2050
- Espérance de vie à la naissance: 89 et 84 ans en 2050 (femmes et hommes), +-2,5 years
→ Taux de mortalité par sexe et âge jusqu'en 2050
- Solde migratoire:
50 000, 100 000 or 150 000 par an
→ Nombre de « migrants nets » par sexe et âge jusqu'en 2050
- $3 * 3 * 3 = 27$ scénarios
→ Central, bas, haut, jeune vieux

Figure 1 - Résultat du scénario central de l'Insee 2005-2050 : un vieillissement par le haut (France métropolitaine)

Les projections pour 2050

Population en 2005 et population en 2050 (scénario central)

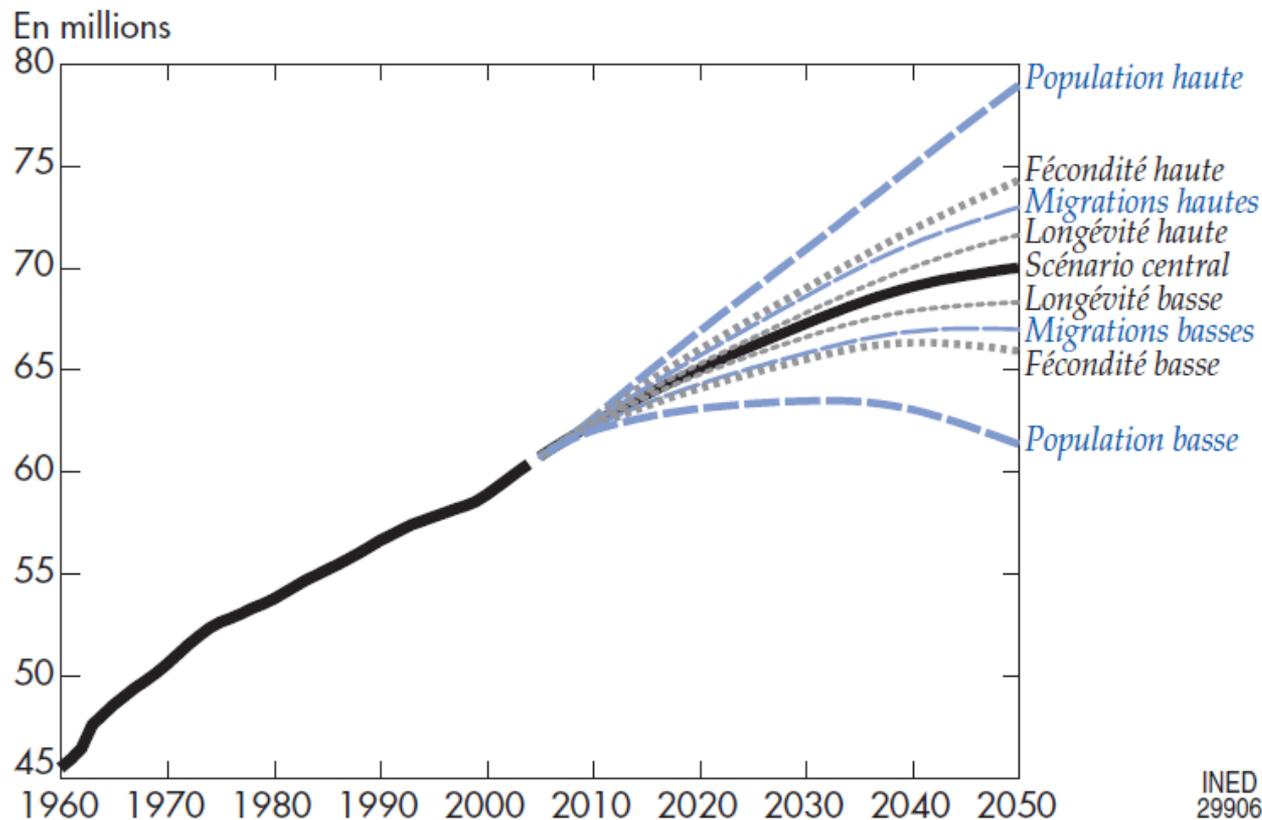


Source: [2]

(L. Toulemon, I. Robert-Bobée, *Population & Sociétés*, n° 429, Ined, déc. 2006)

Population totale : 70 millions en 2050 (61 à 79 selon les scénarios)

Figure 2 - Évolution de la population de la France métropolitaine d'ici 2050 d'après différents scénarios

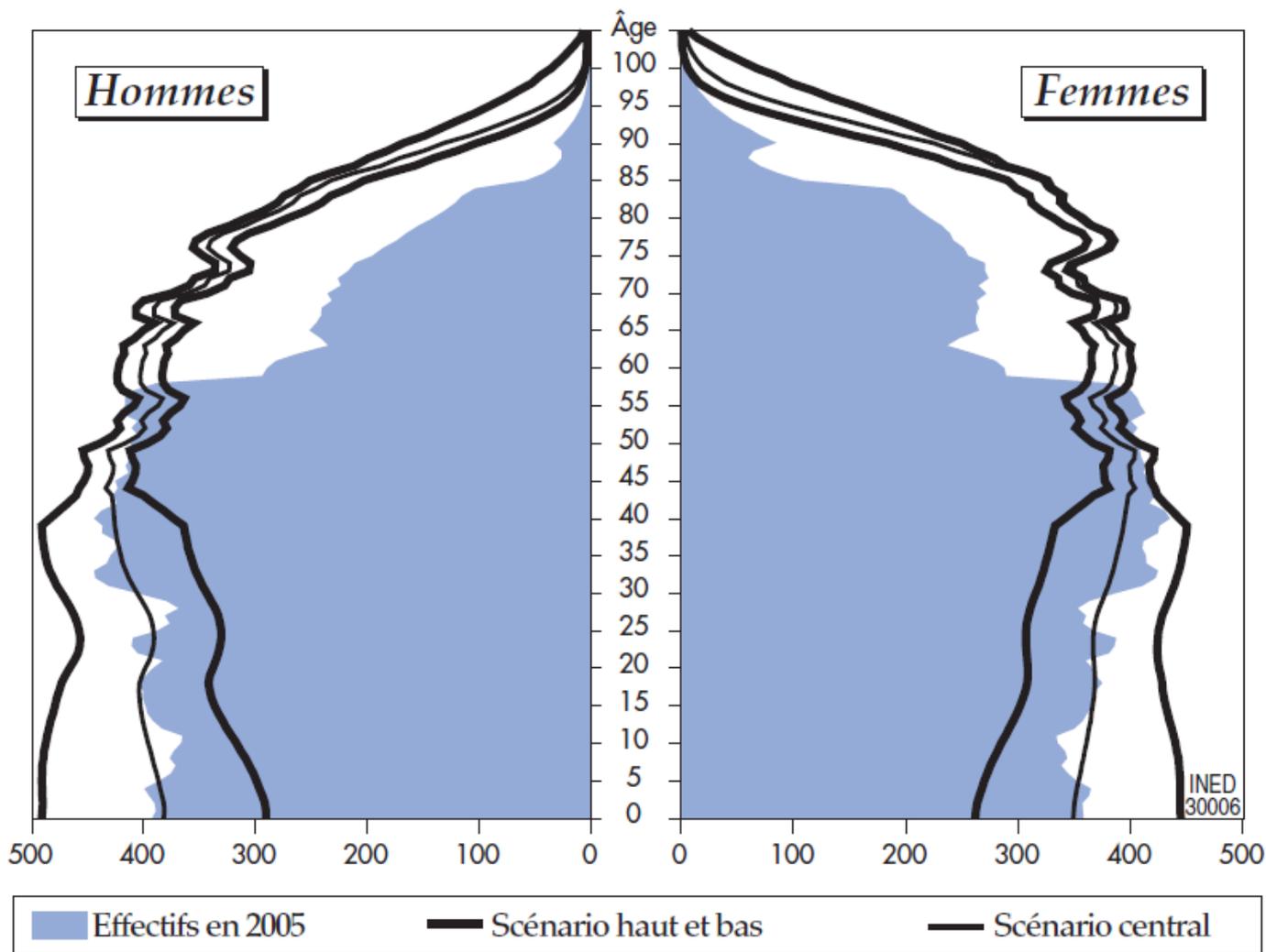


(L. Toulemon, I. Robert-Bobée, *Population & Sociétés*, n° 429, Ined, déc. 2006)

Source: [3]

- La fécondité a l'impact principal, puis les migrations, puis la mortalité

Figure 3 - Pyramide des âges de la France métropolitaine en 2005 et 2050, selon les scénarios bas, central et haut



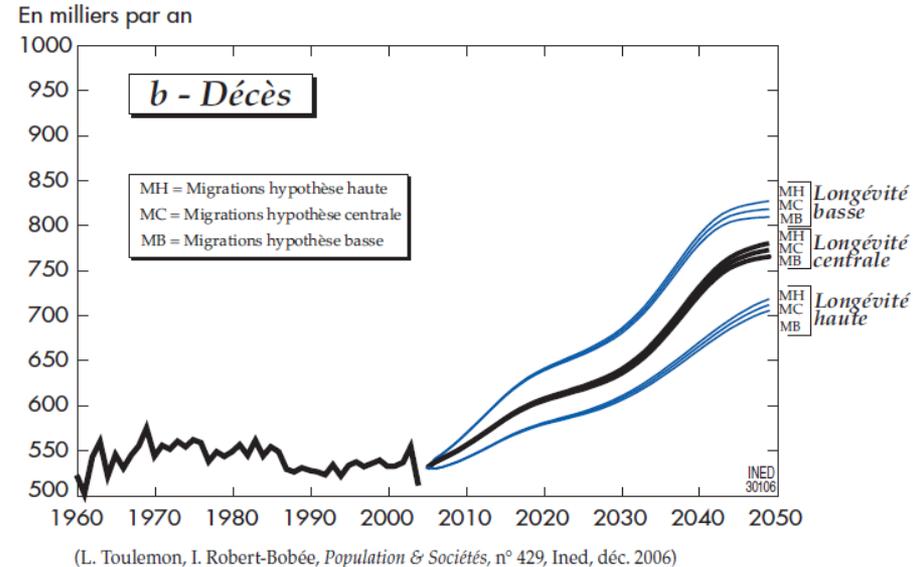
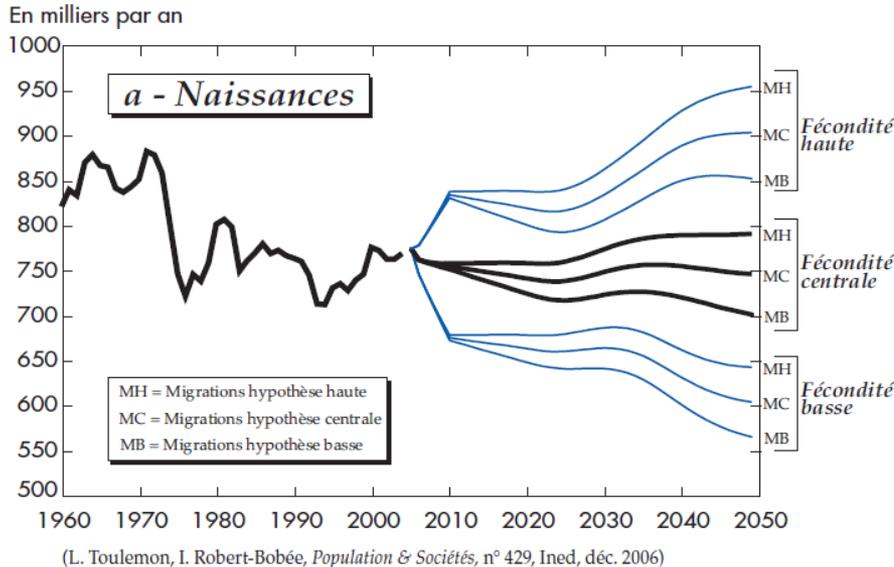
- 📁 L'incertitude est plus marquée aux jeunes âges
- 📁 Les mères des enfants à naître en 2050 n'étaient pas nées en 2005
- 📁 Aux âges après 60 ans, l'augmentation de la population est certaine, même si

(L. Toulemon, I. Robert-Bobée, *Population & Sociétés*, n° 429, Ined, déc. 2006)

Source: [3]

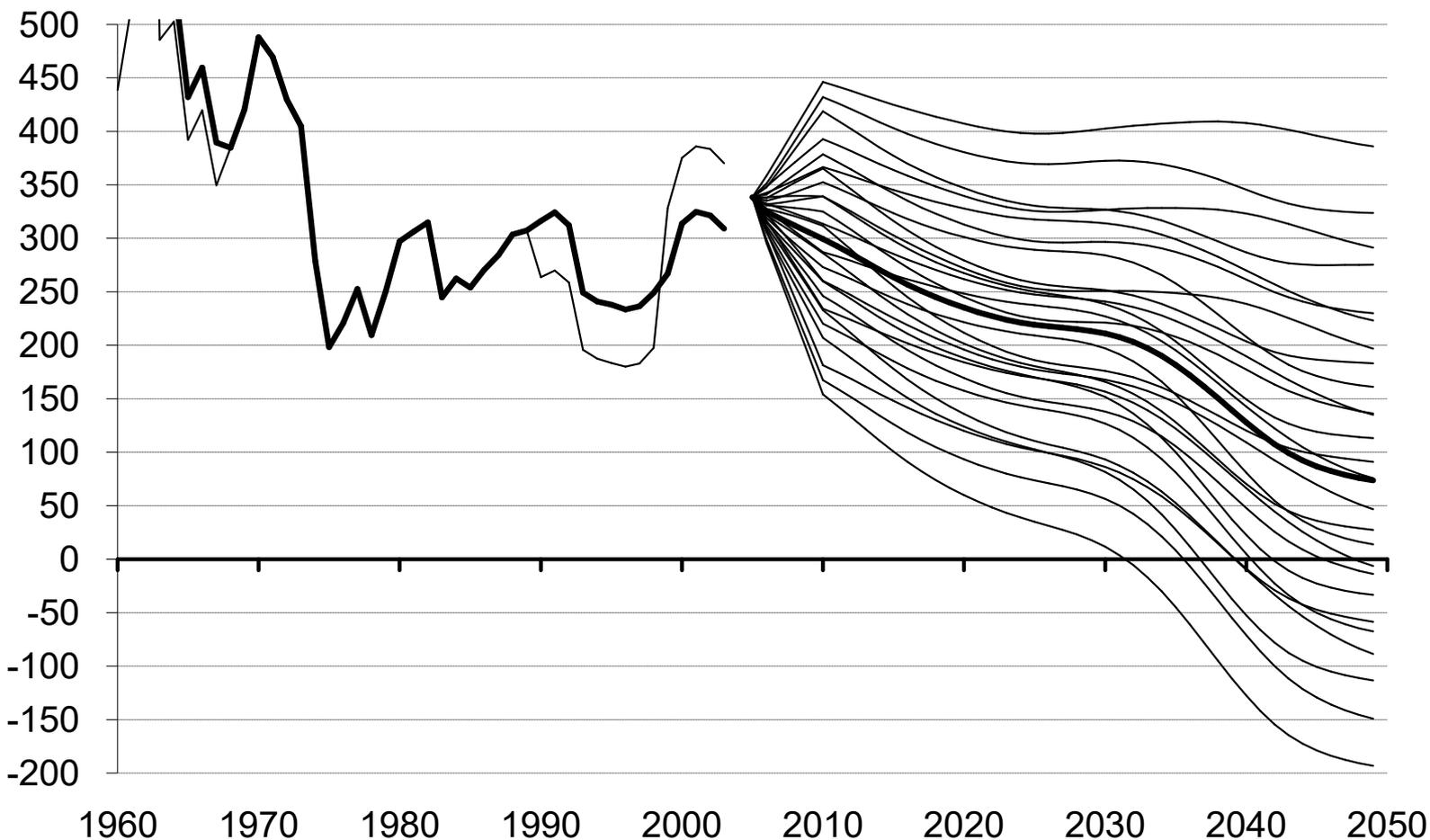
Naissances et décès

Figure 4 - Incertitude sur les naissances, mais augmentation assurée des décès en toute hypothèse



- 📄 Le nombre des naissances pourrait rester constant
- 📄 Le nombre de décès va sûrement augmenter
- 📄 De même que le nombre de personnes dépendantes (dépendance liée aux grand âge)

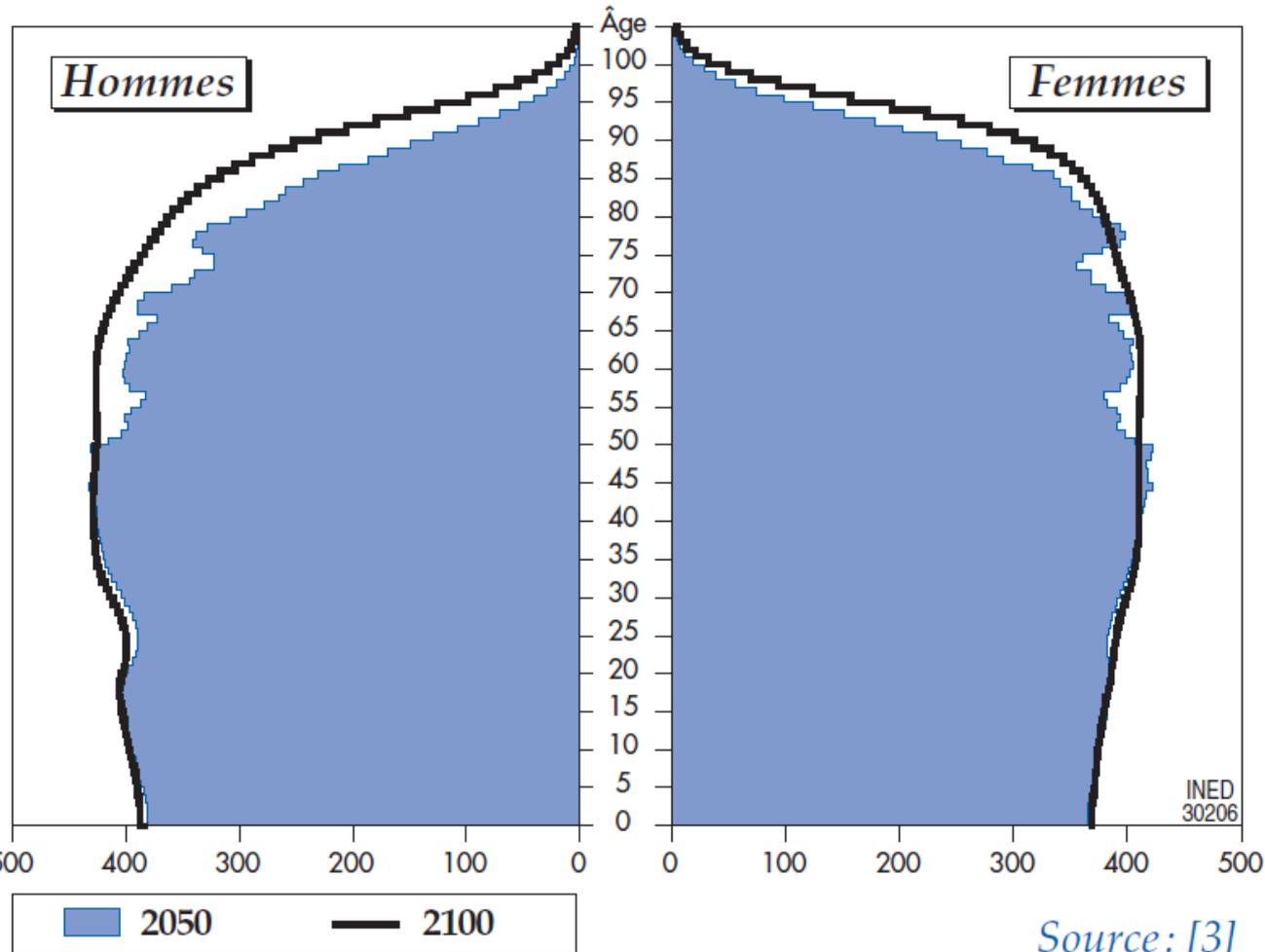
Accroissement annuel de la population



 La croissance va diminuer

 Elle reste positive en 2050 dans la plupart des scénarios

Figure 5 - Projection de la population de la France métropolitaine jusqu'en 2100



Source: [3]

Note: prolongement de la projection centrale jusqu'en 2100, les gains de mortalité se poursuivant après 2050, la fécondité et le solde migratoire restant inchangés depuis 2010

(L. Toulemon, I. Robert-Bobée, *Population & Sociétés*, n° 429, Ined, déc. 2006)

- 📄 On peut facilement poursuivre la projection au-delà de 2050
- 📄 Les changements deviennent très limités après 2050
- 📄 Aux âges élevés la population augmente un peu grâce à la

Les projections plus récentes de l'Insee

- Projections plus optimistes pour la mortalité
 - Reprise de la baisse de la mortalité après 2003
 - Mais ralentissement dans les années 2010
- Fécondité plus haute
 - Mais baisse depuis la crise de 2008
- Migrations moins importantes
- Au total peu de changement
 - Le vieillissement est certain et inévitable
 - Les générations nées en 1946 atteignent 75 ans
 - Hausse importante des décès à prévoir

Les projections des Nations Unies

- Une série de projections, publiées maintenant tous les deux ans
 - Une masse de données disponibles
 - Des informations sur la qualité des données
 - Projections de 2019, comparées aux projections de 1981
- Il existe des projections mondiales alternatives
 - IIASA et Wittgenstein Center
 - IHME et Global Burden of Diseases
 - Autres scénarios, autres variables (éducation)

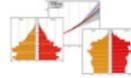
Les projections des Nations unies

Profils par pays

Avec de nombreux graphiques

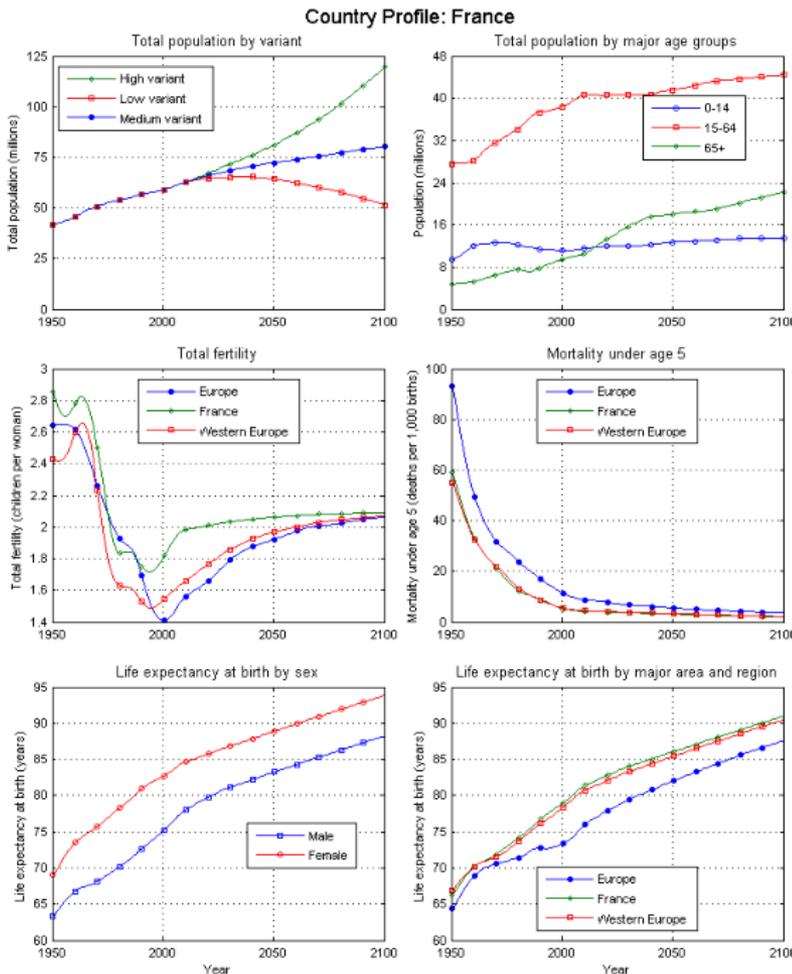


United Nations, Department of Economic and Social Affairs
Population Division, Population Estimates and Projections Section

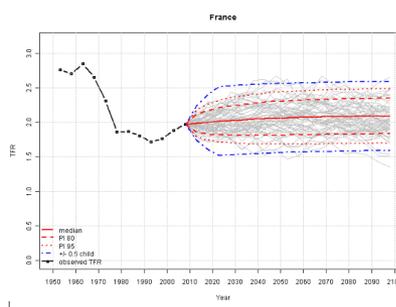


- United Nations
- DESA
- Population Division
- About Us
- Publications
- Meetings
- Contact

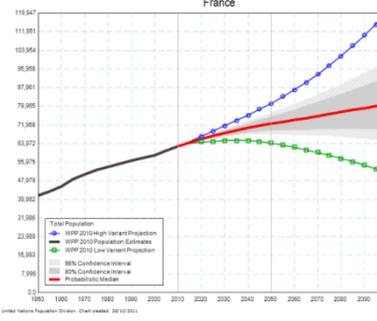
- Press Release
- Frequently Asked Questions
- Data
- Tables in EXCEL-Format
- Population
- Fertility
- Mortality
- Migration
- On-line Database
- Population
- Detailed Indicators
- Country Profiles
- Documentation
- Assumptions
- Definition of Regions
- Special Aggregates
- CD-ROM Meta-Information
- Data Sources
- Glossary of Demographic Terms
- Key Indicators
- Tables (self-sorting)
- Population
- Fertility
- Mortality
- Population Ageing
- Figures
- Country Profiles
- Analytical Figures
- Total Population
- Population by Age and Sex
- Fertility
- Mortality
- Population Ageing
- Methodology
- Fertility: Probabilistic Method
- Fertility-Change Model
- Probabilistic Projections
- Fertility Maps
- Documentation
- Probabilistic Population Proj.
- Total Population
- Population Age 0-14
- Population Age 15-64
- Population Age 65+
- UN Model Life Tables
- Life Table Data
- Analyses: Lexis-Plots



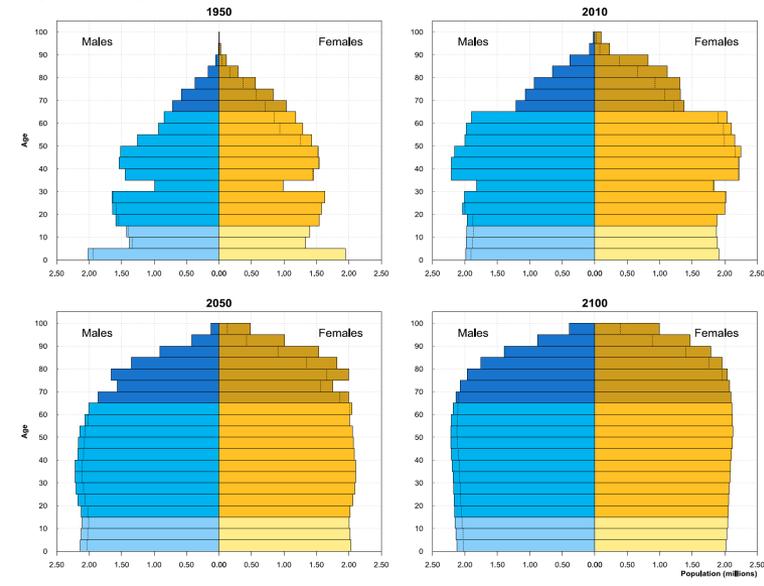
Projections of Total Fertility based on Bayesian Hierarchical Model (BHM)
BHM Projections of Total Fertility: Based on WPP2010 fertility estimates (Updated 7 April 2011)
Projections of Total Fertility: Median, 80% / 95% prediction intervals and high / low WPP fertility vs.



Probabilistic Projections: Total Population (thousands)
Population projections based on probabilistic projections of total fertility from the 2010 Revision



Population by age groups and sex (absolute numbers)

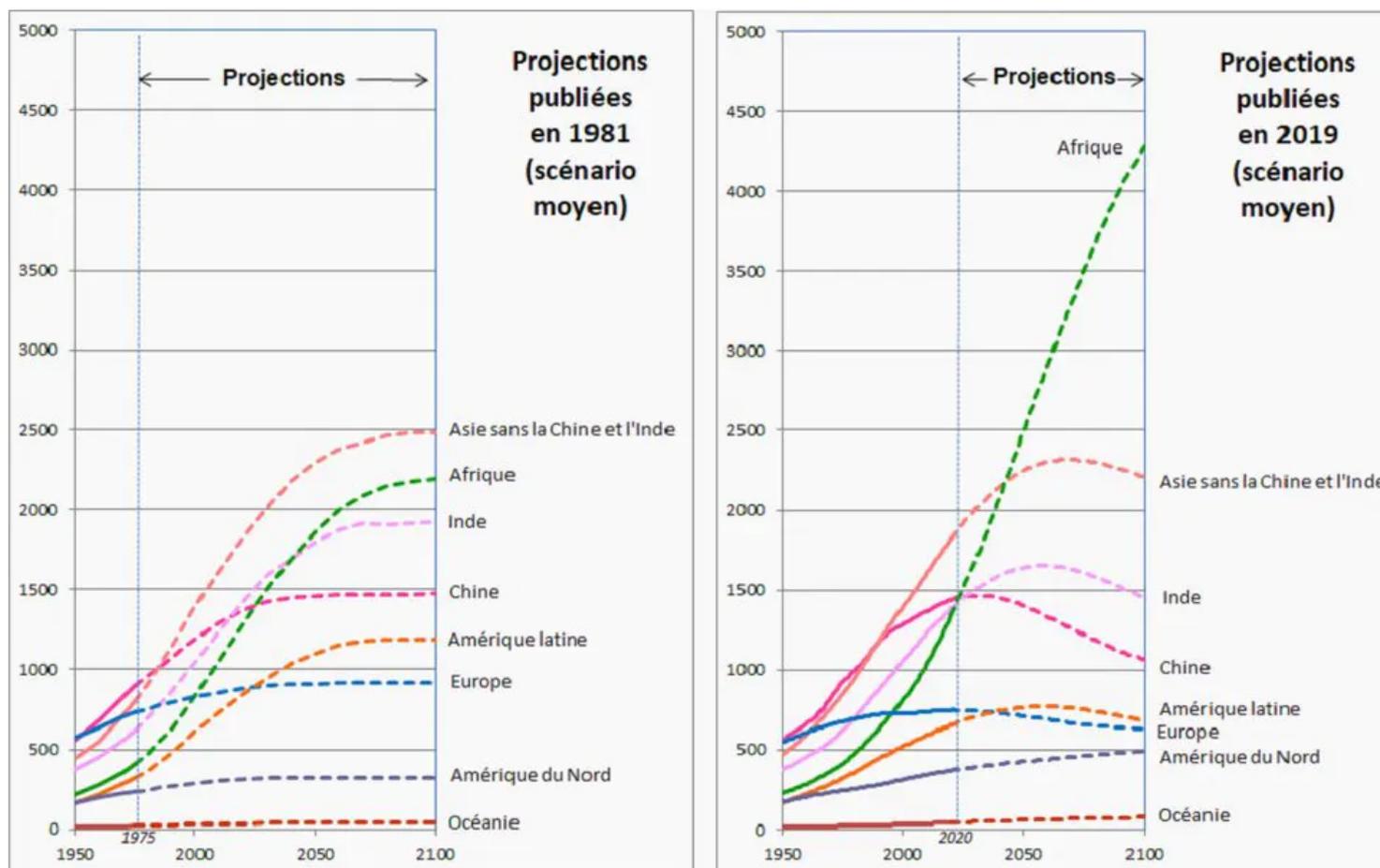


Une comparaison: projections pour 2100

- Les changements depuis 40 ans

→ Population totale en 2100: 10,4 ou 10,9 milliards

Figure 2 – Comparaison des projections de population publiées en 1981 et en 2019

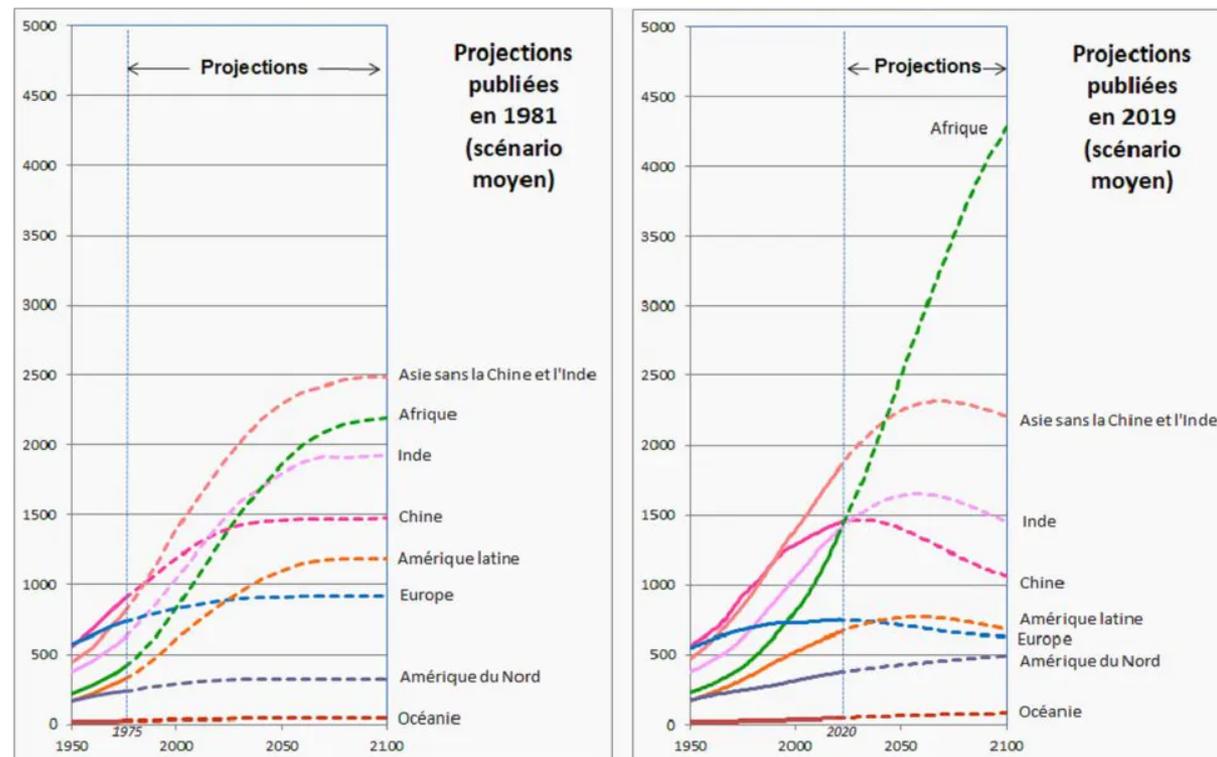


Une comparaison: projections pour 2100

- Les changements depuis 40 ans
 - Baisse de la mortalité plus lente que prévue
 - Pas de stabilisation de la fécondité à 2,1 enfants par femme après la baisse

- Baisse plus rapide et plus forte que prévu dans de nombreux continents
- En Afrique sub-saharienne à l'inverse baisse plus lente que prévue

Figure 2 – Comparaison des projections de population publiées en 1981 et en 2019



Conclusion

- Étude quantitative des population humaines
- Des résultats simples mais complexes à établir
 - Ne pas rechercher la précision à l'unité !
- Les modèles dynamiques de la population
 - Sexe et âge : une description très efficace des humains et des population
 - Croître ou vieillir (vieillir ou mourir)
- Les projections de population
 - Le vieillissement est certain
 - Nombreuses incertitudes
- Merci de votre attention
 - Laurent Toulemon, toulemon@ined.fr

- Population & Sociétés, <https://www.ined.fr/fr/publications/editions/population-et-societes/>
 - 569 : Gilles Pison, 2020, « Tous les pays du monde (2019) » (slide 6)
 - 575 : Gilles Pison, 2020 « France : la fécondité la plus élevée d'Europe »
 - 429 : Laurent Toulemon, Isabelle Robert-Bobée, 2006, « Population française : vers une stabilisation à 70 millions d'habitants » (slides 33-39)
 - 531 : Gilles Pison, Laurent Toulemon, 2016, « Le nombre de décès va augmenter en France dans les prochaines années »
- Insee, 2021, population de Paris et d'Antony (slide 6)_
<https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=DEP-75#chiffre-cle-1>
- Nations Unies, world Population Prospects 2019, <https://population.un.org/wpp> (slide 26 à 30)
- Site The Conversation (slides 45-46)
 - Articles de Gilles Pison : <https://theconversation.com/profiles/gilles-pison-388789/articles>
 - <https://theconversation.com/combien-dhumains-demain-lonu-revise-ses-projections-118798>

Références (suite)

- Didier Breton, Magali Barbieri, Nicolas Belliot, et al., 2020, « L'évolution démographique récente de la France : situations et comportements des mineurs ». Population, 75, 4, p. 465-526 <https://www.ined.fr/fr/publications/editions/conjoncture-demographique/evolution-demographique-recente-de-la-france-situations-et-comportements-des-mineurs/>
- Didier Blanchet et Françoise le Gallo, 2014, Retour vers le futur : trente ans de projections démographiques, Trente ans de vie économique et sociale, *Insee références*, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1374368?sommaire=1374377>
- Nouvelles projections de population : numéro spécial de Economie et Statistiques, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4997839?sommaire=4999714>
- Site de Johns Hopkins University, <https://coronavirus.jhu.edu/data/mortality>

Vos questions ?