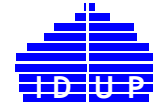




Université Paris 1 Panthéon Sorbonne,

Institut de démographie



Cours d'analyse démographique par Alexandre Avdeev,

niveau : Master 1e année et Diplôme générale de démographie

Chapitre 8 (1^e partie)

Approche démographique de l'analyse de fécondité : construction des indicateurs de base

1. *Physiologie de la reproduction humaine: âge féconde, etc...*
2. *Approche longitudinale: descendance finale (à partir de l'état civil et d'une enquête rétrospective), âge moyen à la maternité et l'âge moyen des mères, écart type de l'âge à la maternité, rang de naissance ou parité, descendance par rang, probabilité d'agrandissement de la famille;*
3. *Approche transversale: indice conjoncturel de fécondité ou indice synthétique; cycles de reproduction et les cycles de vie;*
4. *Approche biométrique de l'analyse du comportement procréateur; fécondité naturelle et la fécondité dirigée;*
5. *Facteurs « naturels » de réduction de la fécondité;*
6. *Engrenage de la mortalité et de la fécondité; le niveau de fécondité dans le monde contemporain.*

Age démographique et physiologique de fécondité

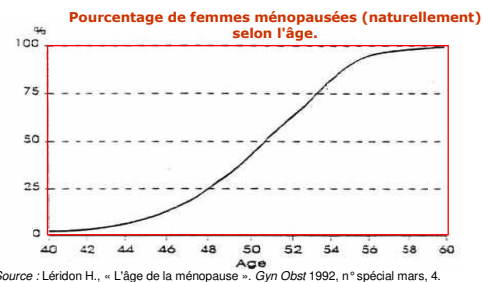
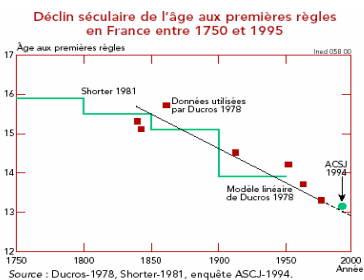
Age physiologique de fécondité

Chronologie	Age moyen (extrêmes)
Puberté: accélération du rythme de croissance staturale	11 (8-14)
Ménarche	13 (11-15)
Cycles ovulatoires	15
Ménopause	50 (40-55)

Le début : l'âge de puberté des filles varie entre 8 et 13 ans ; l'âge de règles (ménarche) varie entre 11 et 15 ans

La fin : l'âge de ménopause se situe à 51 ans en moyen (varie entre 48 et 55 ans). Lorsque l'arrêt de la menstruation a dépassé la durée de 1 an, on admet qu'on est entré dans la période de ménopause confirmée.

Période d'activité fonctionnelle complète de la fin de la puberté jusqu'à la ménopause : Déroulement d'environ **300 cycles ovulatoires**. Cette période se termine quand le nombre de follicules primordiaux est devenu très faible ou nul.



En démographie il est convenu que les limites d'âge pour la période fécondes sont **15-49 ans révolu**.

Mesures générales de la natalité et de la fécondité:

pour une période de durée t entre les moments 0 et T

Taux brut de natalité

$$TBN^{[0,T]} = \frac{N^{[0,T]}}{t \cdot \bar{P}^{[0,T]}}$$

Taux de fécondité globale

$$TFG^{[0,T]} = \frac{N^{[0,T]}}{t \cdot {}_{35}\bar{P}_{15}^{F[0,T]}}$$

$N^{[0,T]}$ – nombre de naissances durant la période t

$\bar{P}^{[0,T]}$ – population moyenne (annuelle) pour la période t

${}_{35}\bar{P}_{15}^{F[0,T]}$ – effectif moyenne (annuel) des femmes âgées 15-49 pour la période t

On voit que $\rightarrow TBN^{[0,T]} = TFG^{[0,T]} \cdot {}_{35}C_{15}^{F[0,T]}$

${}_{35}C_{15}^{F[0,T]}$ – la proportion des femmes âgées 15-49 dans la population totale

$${}_{35}C_{15}^{F[0,T]} = \frac{{}_{35}\bar{P}_{15}^{F[0,T]}}{\bar{P}^{[0,T]}}$$

Indices de fécondité « nettoyés »

de l'influence de la structure de population par âge

$${}_n f_x^{[0,T]} = \frac{N_{x,x+n}^{[0,T]}}{t \cdot {}_n \bar{P}_x^{[0,T]}} \leftarrow \text{taux de fécondité par âge}$$

${}_n \bar{P}_x^{[0,T]}$ – effectif moyenne des femmes âgées de x à $x+n$ ans révolus pour la période t

$N_{x,x+n}^{[0,T]}$ – nombre de naissances durant la période t chez les femmes âgées de x à $x+n$ ans révolus

Standardisation :

$$TBNS_{\text{âge}}^{[0,T]} = \sum_{i=0}^{\omega} f_i \cdot C_i^S \quad f_i = 0 \text{ pour } 15 > i > 50 \quad \sum_{i=0}^{\omega} C_i^S = 1$$

Indice synthétique de fécondité ou la somme des taux par âge

$$ISF^{[0,T]} = n \cdot \sum_{x=\alpha}^{\beta-n} {}_n f_x^{[0,T]}$$

α – début de l'âge féconde (15 ans);
 β – fin de l'âge féconde (50 ans);
 n – amplitude de l'unité d'âge.

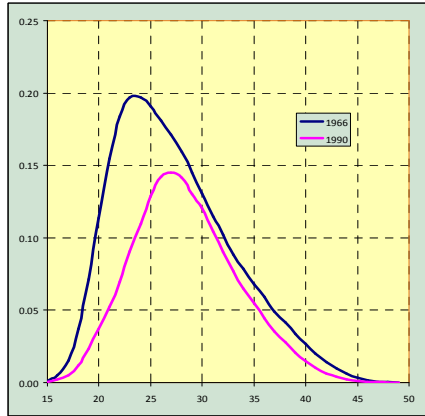
Interprétation 1 : le nombre de naissance qu' l'on pourrait obtenir dans l'année si dans chaque génération (par année d'âge) il n'y avait qu'une seule femme.

Interprétation 2 : le nombre moyen d'enfants pour une femme dans une génération dont la fécondité par âge est telle qu'on observe dans l'année.

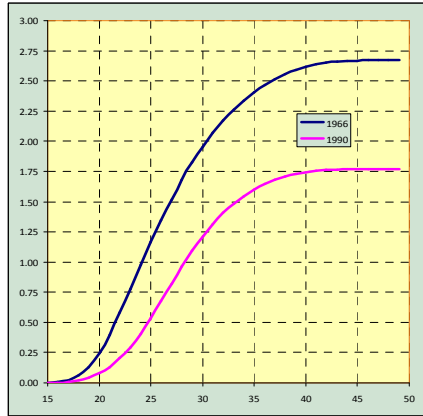
(On dit « somme des taux » pour $\alpha \neq 15$ et/ou $\beta \neq 50$)

Analyse graphique des taux par âge (profile de la fécondité de l'année)

Taux de fécondité par âge en 1966 et en 1990
(densité de la fécondité)



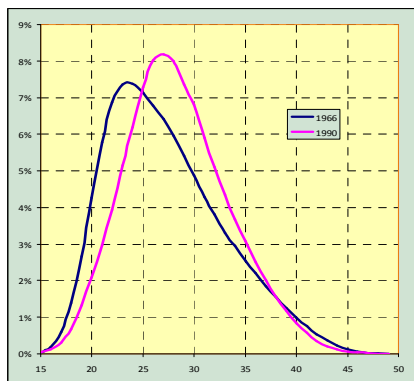
Somme des taux de fécondité par âge en 1966 et en 1990
(distribution de la fécondité)



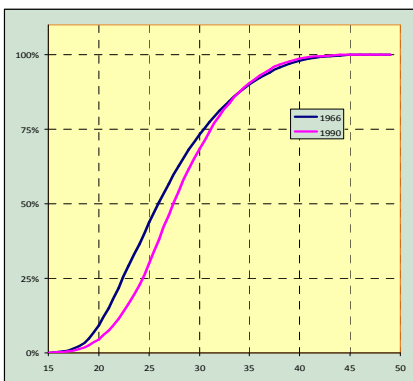
1966 → ISF = 2,67 ; Age moyen = 27,3 Ecart type d'âge = 5,74 ; Age médian = 26,4 ; Age modal = 23
1990 → ISF = 1,77 ; Age moyen = 28,3 Ecart type d'âge = 5,05 ; Age médian = 27,4 ; Age modal = 27

Analyse graphique transversale des changements dans la structure taux par âge

Éléments de calendrier (tempo) de la fécondité en
1966 et en 1990 en (densité en %)



Distribution relative de la fécondité par âge en 1966 et en
1990 (cumule en %)



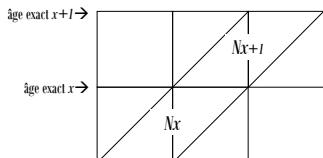
On voit plus clairement le recul de la fécondité aux âges élevés sans changement avec une légère augmentation de sa concentration

Fécondité des générations (l'analyse longitudinale) :

Si on ne prend pas en considération le rang de naissance, la fécondité est **un phénomène démographique renouvelable**.

$$f_x = \frac{N_x}{P_{50}^F} \rightarrow$$

Les naissances réduites à l'âge exact x pour une génération féminine atteint l'âge 50 (f_x), les données pour calcul proviennent d'une enquête rétrospective



N_x – le nombre de naissances dans l'intervalle d'âge x (révolu) et

$p_x^F = p_{x+1}^F = p_{x+2}^F = \dots = p_{50}^F \rightarrow$ femmes survivantes à la 50e anniversaire

La fécondité totale d'une génération que l'on appelle généralement **la descendance finale (DF)**, et qu'on obtient par l'addition des naissances réduites, représente ainsi le nombre moyen d'enfant par femme :

$$DF = \sum_{x=15}^{49} f_x = \sum_{x=15}^{49} \frac{N_x}{P_{50}^F} = \frac{1}{P_{50}^F} \sum_{x=15}^{49} N_x = \frac{\sum_{x=15}^{49} N_x}{P_{50}^F}$$

Âge moyen à la maternité d'une génération :

A la base de la densité de la fécondité $f(x)$ on peut calculer les caractéristiques statistiques du calendrier de la fécondité :

l'âge moyen de maternité ou de fécondité (AMF), comme moyen des âges pondérés avec le nombre des naissances (N_x) ou avec les naissances réduites (f_x), ainsi que

la variance σ^2 (ou écart type σ) de l'âge à la maternité.

$$AMF = \frac{\sum_{x=15}^{49} x \cdot N_x}{\sum_{x=15}^{49} N_x} = \frac{\sum_{x=15}^{49} x \cdot \frac{N_x}{P_{50}^F}}{\sum_{x=15}^{49} \frac{N_x}{P_{50}^F}} = \frac{\sum_{x=15}^{49} x \cdot f_x}{\sum_{x=15}^{49} f_x}$$

où x – l'âge atteint dans l'année
si x – l'âge révolu, il faudra l'ajuster de $0,5 \times n$ = moitié de l'intervalle dans le cas générale

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{x=15}^{49} (x - AMF)^2 \cdot N_x}{\sum_{x=15}^{49} N_x} = \frac{\sum_{x=15}^{49} (x - AMF)^2 \cdot f_x}{\sum_{x=15}^{49} f_x}$$

pour une génération la pondération des âges par les taux et la pondération des âges par le nombre de naissance sont équivalentes

Fécondité par rang : événements non renouvelables

Les enquêtes rétrospectives fournissent l'information nécessaire pour calculer les naissances de rang k réduites à l'âge x dont la somme représente la descendance de rang k (nombre moyen d'enfants de rang k) pour une génération (en fait cette descendance n'est qu'une proportion des femmes ayant **au moins** k enfants à l'âge 50 (celles qui ont connu la naissance de leur $k^{\text{ème}}$ enfant).

$$DF(k) = \sum_{x=15}^{49} f_x(k) \quad \text{et} \quad DF = DF(1) + DF(2) + \dots + DF(k) + \dots + DF(m)$$

par conséquent $DF = \sum_{k=0}^m \sum_{x=15}^{49} f_x(k)$ la descendance finale est la double somme des taux de fécondité par âge et par rangs.

$DF(k) < 1$, bien que la descendance finale de rang k puisse théoriquement être égale à 1 (toutes les femmes ont $k^{\text{ème}}$ enfant), mais telle situation est peu probable à cause de l'infécondité pathologique etc.

Calendrier de la fécondité

Avec les taux de fécondité *par âge et par rang* on peut estimer **approximativement** les intervalles entre les naissances :

- ✓ les intervalles moyens entre les naissances (intervalle génésique)

$$\hat{I}_{k,k+1} = AMF_{k+1} - AMF_k$$

- ✓ l'intervalle proto-génésique (soit entre l'âge de mariage ou celui de début de la vie sexuelle, ou, s'il n'a y pas de mieux, entre l'âge de 15 ans et l'âge au première naissance).

Parfois c'est l'âge moyen à la première naissance que l'on considère comme un intervalle proto-génésique

On peut aussi présenter **la descendance finale** comme **une moyenne arithmétique des rangs pondérés** avec des proportions des femmes qui ont eu k naissances (de parité k).

$$DF = \frac{\sum_{k=0}^{\omega} k \cdot P_k^F}{\sum_{k=0}^{\omega} P_k^F} = \sum_{k=0}^{\omega} k \cdot p_k \quad \text{où } p_k \text{ est la proportion des femmes avec un enfant de parité } k. \quad p_k = \frac{P_k^F}{\sum_{k=0}^{\omega} P_k^F}$$

Défauts des enquêtes rétrospectives :

- L'effet de sélection (ou de troncature) à cause de la migration et la mortalité qui sont sélectives
- L'effet d'oubli: les infants morts aux âges précoces sont souvent « oubliés » (non déclarés). L'oubli augmente avec l'âge

Solution : augmenter le nombre des questions relatives à l'histoire génésique, mais cela coûte cher, sinon on peut calculer

Les indicateurs de la fécondité des générations à partir de données d'état civil :

pour une génération d'année de naissance « g », qui atteint l'âge 50 au moment « t » (donc, $g = t - 50$) les estimations suivantes sont correctes :

$$f_x^{t-50+x} = \frac{N_x^{t-50+x}}{F_x^{t-50+x} - 0.5 \cdot (D_x^{t-50+x} - I_x^{t-50+x} + E_x^{t-50+x})} \quad DF_g = \sum_{15}^{49} f_x^{t-50+x}$$

où $x = 15 \div 49$

La probabilité d'agrandissement des familles

$$a_0 = \frac{DF(1)}{1} = DF(1);$$

$$a_1 = \frac{DF(2)}{DF(1)};$$

$$a_2 = \frac{DF(3)}{DF(2)};$$

....

$$a_k = \frac{DF(k+1)}{DF(k)}$$

Ainsi la proportion des femmes ayant des enfants ou la descendance finale de **rang 1** est la probabilité d'avoir au moins un enfant a_0 .

Donc a_k est la probabilité d'agrandissement des familles de parité k

La signification exacte de la probabilité d'agrandissement des familles (a_k) est suivante :

c'est la proportion des femmes qui ont $k+1$ enfants parmi celles qui ont k enfants, →

ou c'est la fréquence de passage de la parité k à la parité $k+1$

La proportion des femmes sans enfants p_0 est égale à $p_0 = 1 - DF(1)$ et $DF(1) = 1 - p_0$

Respectivement, soit p_1 proportion des femmes ayant un enfant unique, alors →

$$p_1 = DF(1) - DF(2) \quad \text{et} \quad DF(2) = DF(1) - p_1 \quad \text{ou} \quad DF(2) = 1 - p_0 - p_1$$

$$p_2 = DF(2) - DF(3) \quad \text{et} \quad DF(3) = DF(2) - p_2 \quad \text{ou} \quad DF(3) = 1 - p_0 - p_1 - p_2$$

La probabilité d'agrandissement des familles (suite)

On peut décrire la probabilité d'agrandissement des familles avec une expression contenant p_k (proportion des femmes avec un enfant de parité k) :

$$a_0 = DF(1) = 1 - p_0;$$

$$a_1 = \frac{DF(2)}{DF(1)} = \frac{1 - p_0 - p_1}{1 - p_0};$$

...

$$a_k = \frac{DF(k)}{DF(k-1)} = \frac{1 - \sum_{k=0}^k p_k}{1 - \sum_{k=0}^{k-1} p_k} = 1 - \frac{p_k}{1 - \sum_{k=0}^{k-1} p_k}$$



$$DF(1) = a_0;$$

$$DF(2) = a_1 \cdot DF(1) = a_1 \cdot a_0;$$

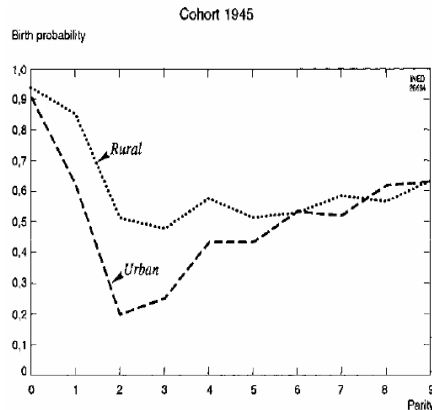
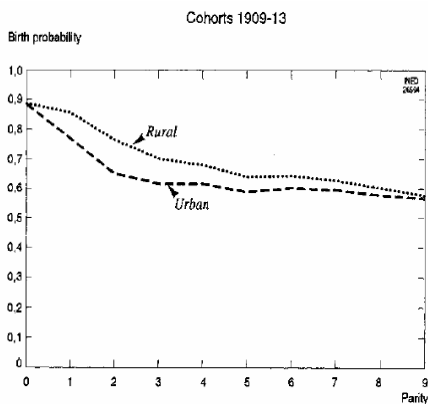
...

$$DF(k) = a_{k-1} \cdot DF(k-1) = \prod_{k=0}^{k-1} a_k$$

et

$$DF = \sum_{k=1}^{\omega} DF(k) = a_0 + a_0 a_1 + \dots + \prod_{j=0}^{\omega-1} a_j$$

Illustration: probabilité d'agrandissement de la famille dans des générations 1909-1913 et 1945 en Russie



Source : A.Avdeev et A.Monnier – "A survey of modern Russian fertility". *Population*. Vol. 7 (an English selection), 1995, p.19 // Traduction de « A la découverte de la fécondité russe contemporaine », *Population*, 1994, n°4-5, p.859-902

Analyse de fécondité basée sur la durée de l'état autre que l'âge des femmes :

Les principes d'analyse ne changent pas si on remplace l'âge des femmes comme variable explicative par une autre mesure de la durée.

Ainsi, l'analyse de la fécondité peut se baser sur *la durée du mariage*. Dans ce cas on ne considère pas la fécondité comme une fonction de l'âge des femmes, mais comme en fonction de l'âge des couples (familles) et on parle de la fécondité des promotions de mariages. De même façon on peut étudier la durée de temps écoulé depuis *la migration* ou de *la naissance précédente* etc.

Problème d'interaction:

Même si on change notre variable explicative dans l'analyse de la fécondité, l'âge des femmes y reste indirectement présent : par exemple la durée des mariages est liée à l'âge au mariage.

En outre,

- dans une promotion des mariages il y a toujours une proportion des unions où l'âge des femmes dépasse les limites de la période de procréation (15-49 ans)
- les mariages tardifs pourraient être moins féconds que ceux conclus aux âges plus jeunes
- la durée d'études, le niveau d'éducation peuvent jouer le rôle des phénomènes perturbateurs

Approche transversale : la fécondité d'une génération fictive

$$ISF = \sum_{x=15}^{49} \frac{N_x}{P_x^F} = \sum_{x=15}^{49} f(x)$$

La somme des taux (de 2^e catégorie) de fécondité par âge n'est pas considérée comme la descendance finale (cela n'a pas de sens) mais comme **la somme des naissances réduites** (Henry) ou **l'indice synthétique de la fécondité**, ou **l'indicateur conjoncturel de la fécondité** (Calot).

Dans la littérature en anglais ce sont :
total fertility – TF, ou total fertility rate – TFR, ou total period fertility rate – TPFR

L'âge moyen à la maternité est une moyenne arithmétique des âges pondérés par les taux de fécondité devient une **mesure de comportement du moment**.

$$AMM = \frac{\sum_{x=15}^{49} x \cdot f(x)}{\sum_{x=15}^{49} f(x)} = \frac{\sum_{x=15}^{49} x \cdot f(x)}{ISF}$$

$$Age\ Moyen\ des\ Mères = \frac{\sum_{x=15}^{49} x \cdot N_x}{\sum_{x=15}^{49} N_x}$$

mesure l'influence mélangée du comportement (la fécondité par âge) et de l'histoire (la structure par âge des femmes 15-49 ans)

Si on fait les calculs à partir de la fécondité par âge révolu (taux de type I), alors

$$AMF = 0.5 + \frac{\sum_{x=15}^{49} x \cdot f(x)}{\sum_{x=15}^{49} f(x)} = 0.5 + \frac{\sum_{x=15}^{49} x \cdot f(x)}{ISF}$$

Précision des formules pour les taux par groupes d'âge

Indice synthétique de fécondité :
$$ISF = n \cdot \sum_{x=15}^{\omega-n} \frac{n N_x}{n P_x^F} = n \cdot \sum_{x=15}^{\omega-n} n f_x$$

Pour les intervalles quinquennaux n=5 →
$$ISF = 5 \cdot \sum_{x=15}^{49-5} \frac{5 N_x}{5 P_x^F} = 5 \cdot \sum_{x=15}^{49-5} 5 f_x$$

Age moyen à la maternité :
$$AMM \approx \frac{n}{2} + \frac{\sum_{x=15}^{49-n} x \cdot n f_x}{\sum_{x=15}^{49-n} n f_x} = \frac{n}{2} + n \cdot \frac{\sum_{x=15}^{49-n} x \cdot n f_x}{ISF} = n \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\sum_{x=15}^{49-n} x \cdot n f_x}{ISF} \right)$$

Pour les intervalles quinquennaux n=5 →
$$AMM \approx 2,5 + \frac{\sum_{x=15}^{49-5} x \cdot 5 f_x}{\sum_{x=15}^{49-5} 5 f_x} = 2,5 + 5 \cdot \frac{\sum_{x=15}^{49-5} x \cdot 5 f_x}{ISF}$$

Fécondité transversale par rang de naissance :

Nota: on utilise les taux de deuxième catégorie (additifs)

$$n f_x^k = \frac{n N_x^k}{n P_x^F}$$
 où $n P_x^F$ → est l'effectif des femmes d'âge entre x et x+n indépendamment de leur descendance

$$ISF^k = n \cdot \sum_{x=\alpha}^{\omega-n} n f_x^k$$
 – indice synthétique de fécondité de rang k

Donc, comme les taux de deuxième catégorie sont utilisés, on a :

$$ISF = \sum_{k=1}^m ISF^k = n \cdot \sum_{k=1}^m \sum_{x=\alpha}^{\omega-n} n f_x^k$$

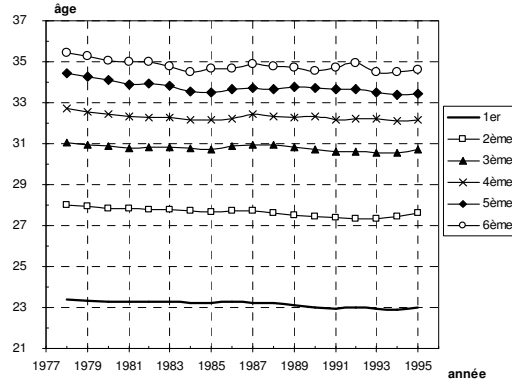
$$AMM^k = \frac{n}{2} + \frac{\sum_{x=15}^{49-n} x \cdot n f_x^k}{\sum_{x=15}^{49-n} n f_x^k} = \frac{n}{2} + n \cdot \frac{\sum_{x=15}^{49-n} x \cdot n f_x^k}{ISF^k}$$

Estimation des intervalles génésiques moyennes d'une génération fictive (transversale)

A.Avdeev, A.Monnier (1994) « A la découverte de la fécondité russe contemporaine » *Population*, vol.49, n° 4-5, p.859-901

Si on ne connaît pas la distribution des intervalles entre les naissances successives, on peut imaginer que $\bar{I}_a = \frac{AMM_a - AMM_{a-1}}{a}$

Age moyen de la fécondité par rang en Russie 1975-1995



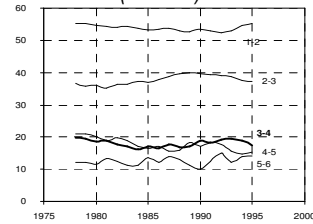
Toutefois, cette méthode ne donne pas de solution définitive pour une estimation de la durée des intervalles génésiques dans l'analyse transversale, parce qu'elle néglige la possibilité de surestimation de l'âge moyen de la fécondité de premier rang pour les femmes ayant plusieurs enfants

Cours « Analyse démographique » par Alexandre Avdeev, IDUP (M1, DDDG)

19

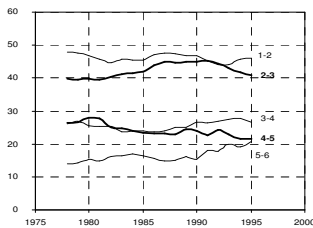
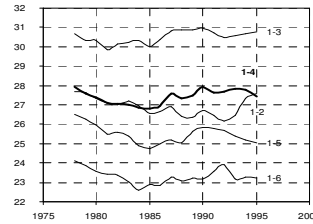
Illustration: Intervalles génésiques moyens et les différences entre les âges moyens à la fécondité de rangs consécutifs (Russie, 1975-1995)

A. Ecart des âges moyens consécutifs (en mois)

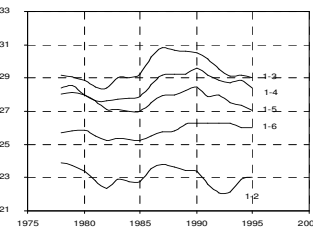


← Population urbaine →

B. Intervalles génésiques moyens (en mois)



← Population rurale →



Cours « Analyse démographique » par Alexandre Avdeev, IDUP (M1, DDDG)

20

L'interaction entre la structure du cycle de vie et le niveau de la fécondité (changement dans le calendrier)

Ryder, N. – "The process of demographic translation". Demography, 1964, Vol. 1 no.1, p. 74-82
 Bongaarts, J. and G. Feeney (1998) – "On the quantum and tempo of fertility". Population and Development Review, 1998, vol. 24 no 2, p. 271-291

« Formule de Bongaarts-Feeney »

pour mesurer l'influence des changements dans le calendrier de fécondité (tempo) sur l'indicateur conjoncturel (quantum)
réexaminer le graphique gauche sur la diapositive 6

$$ATFR^t = \sum_{i=1}^n \frac{TFR_i^t}{1 - (AMM_i^{t-1} - AMM_i^t)} \quad \text{où}$$

$ATFR^t$ - indice synthétique ajusté de fécondité totale pour l'an t ;

TFR_i^t - indice synthétique ajusté de fécondité de rang i pour l'an t ;

AMM_i^t - âge moyen de la fécondité de rang i pour l'an t ;

AMM_i^{t-1} - âge moyen de la fécondité de rang i pour l'an $t-1$;

Explications de la formule :

$ATFR_i^k = TFR_i^k \div (1 - c_{i-1,t}^k)$ → Indice synthétique ajusté de fécondité de rang k

$c_{i-1,t}^k = AMM_i^k - AMM_{i-1}^k$ → Variation de l'âge moyen de la fécondité de rang k

$ATFR = \sum_k ATFR_i^k$ → Indice synthétique ajusté de fécondité

Influence du « quantum » de la fécondité sur l'âge moyen (tempo)

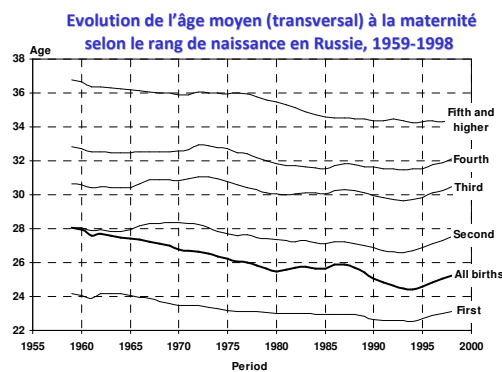
Il est possible d'exprimer l'âge moyen à la maternité tous rangs confondus (AMM) comme une moyenne arithmétique pondérée des âges moyens à la maternité de chaque parité (AMM_i)

$$AMM = AMM_1 \cdot w_1 + AMM_2 \cdot w_2 + AMM_3 \cdot w_3 + AMM_{4+} \cdot w_{4+}$$

où $w_i = \frac{ISF_i}{ISF}$ - part de la fécondité de rang i dans la fécondité totale

Ainsi, le changement dans la structure de la fécondité selon le rang (quantum) a une influence directe sur l'âge transversal à la maternité.

Par ex. : si la diminution de la fécondité de rangs 3 et 4+ est plus rapide que la diminution de la fécondité de rangs 1 et 2, l'AMM tous rangs confondu aura diminué, mais si les AMMi (à chaque rang) augmentent. On observe ce phénomène aux Etats-Unis entre 1964 et 1975 (Bongaarts-Feeney, 1998) et en Russie dans les années 1960 (Avdeev, 2003)



Avdeev A.A. (2003) "On the way to one-child family, are we beyond the point of no return? Some considerations concerning the fertility decrease in Russia", dans : Irena E. Kotowska and Janina Jzwiak (dir.) Population of Central and Eastern Europe: challenges and opportunities. Varsovie, pp.139-163.

Mesures de la reproduction

Taux brut de reproduction : nombre (moyen) de filles pour une femme à la fin de l'âge de procréation (50 ans)

$$TBR = \delta \cdot n \cdot \sum f_x \Rightarrow TBR = ISF \times \delta$$

où δ – la proportion des filles parmi les nouveaux nés

Cette mesure n'est pas tout à fait satisfaisante car elle ne tient compte à la mortalité éventuelle de filles avant l'âge de procréation.

Taux net de reproduction : nombre (moyen) de filles qui atteignent l'âge de la mère pour une femme à la fin de l'âge de procréation (50 ans)

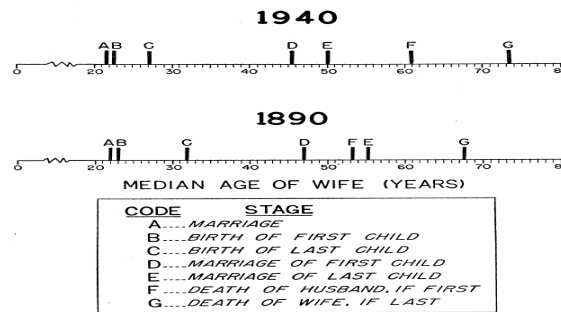
$$TNR = \delta \cdot \frac{\sum n f_x \cdot n L_x}{S_0} \quad \text{où}$$

$n L_x$ et S_0 sont les éléments de table de mortalité féminine

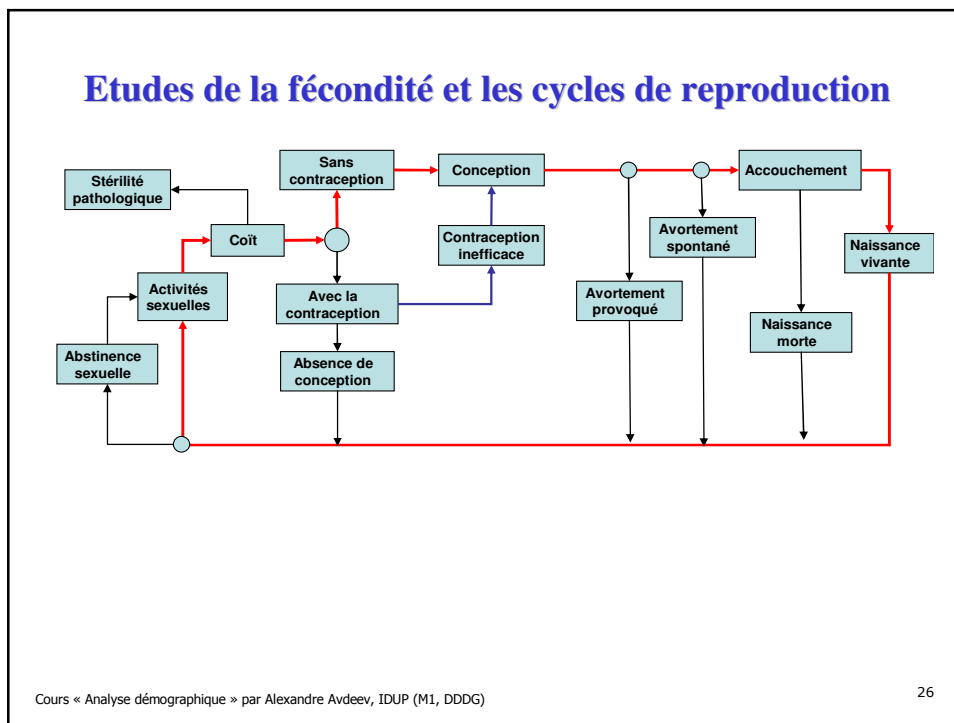
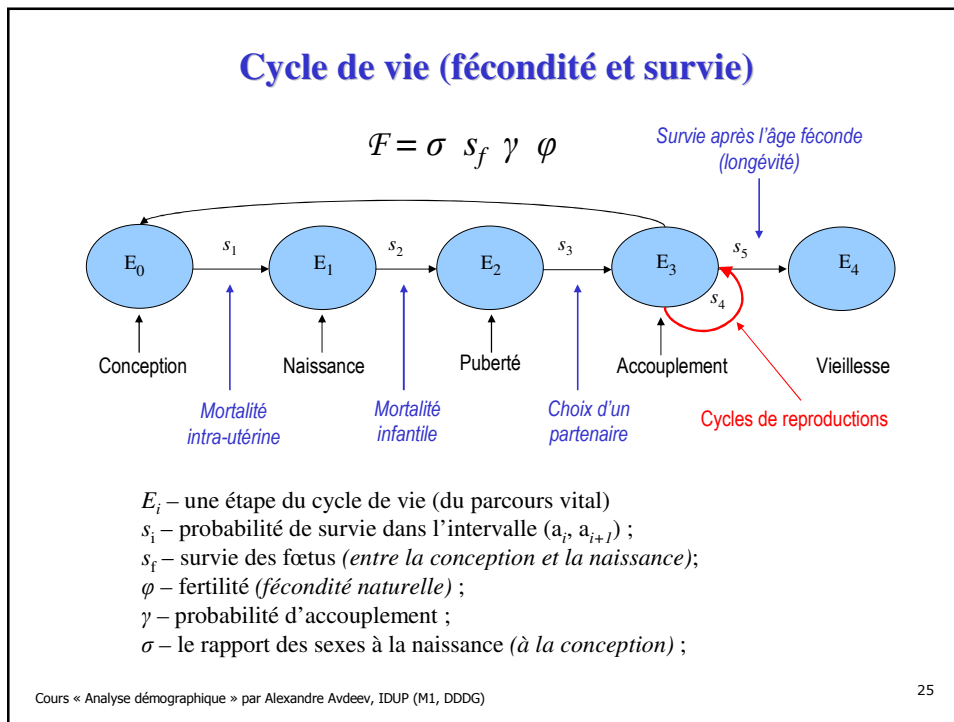
Les étapes du cycle de vie de la famille

d'après l'article de Paul S.Glick (1947)

FIG.1-STAGES OF THE FAMILY CYCLE IN THE U.S.



Paul S. Glick « The Family Life Cycle » *American Sociological Review*, 1947, vol. 12, p.166



Approche de la structure : intervalles entre les naissances

L'intervalle entre les naissances est composé de :

- 1) 5-10 mois : une **période d'attente de la fécondation** (la durée moyenne d'une période entre l'ovulation normale et la conception) ;
- 2) ~9 mois : la **durée moyenne de grossesse** ;
- 3) 3-24 mois : une **période inféconde après l'accouchement** (période anovulatoire) liée à la durée et l'intensité d'allaitement ;
- 4) 1-2 mois : les **pertes moyennes à cause des avortements spontanés**, fausses couches et mortalité fœtale (en moyenne une conception sur cinq n'arrive pas à bon terme).

L'intervalle minimal = 5 + 9 + 3 + 1 = 18 mois (1,5 d'année)

L'intervalle maximal = 10 + 9 + 24 + 2 = 45 mois (3,75 d'année)

La durée de la période de l'âge fécondé effectivement utilisée pour la procréation :

- 1) Age moyen de premier mariage (de 15 à 25 ans)
- 2) Age de ménopause (50 ans, de fait, la procréation s'arrête à 38-41 ans)

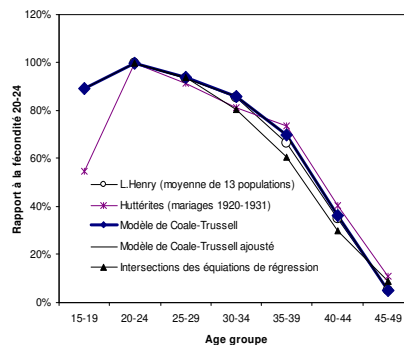
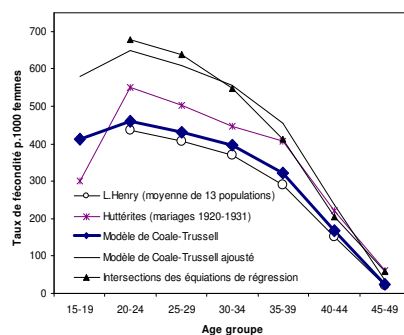
La durée minimale = 40 - 25 = 15 ans → 15 ans / 3,75 ans (intervalle max. entre les naissances) = **4 enfants**

La durée maximale = 40 - 15 = 25 ans → 25 ans / 1,5 ans (intervalle min. entre les naissances) = **16,6 enfants**

Fécondité « naturelle » ou la loi de la fécondité

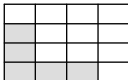
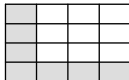
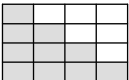
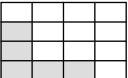
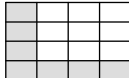
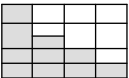
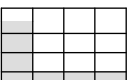
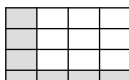
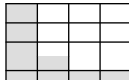
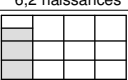
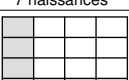
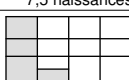
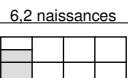
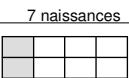
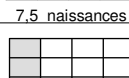
Louis Henry (1953) "Fondements théoriques des mesures de la fécondité naturelle", *Revue de l'Institut International de la Statistique*, 1953, vol.21, n°3, p.135-252

Différents schémas de la fécondité naturelle :
le niveau – à gauche et la structure relative – à droite



Sources : Henry, Louis. 1961. "Some data on natural fertility." *Eugenics Quarterly*, 1961, N°8 p.81-91; Coale A.J. and T. James Trussell – "Model fertility schedules: variations in the age of childbearing in human population" – *Population Index*, vol.40, no.2 (April 1974), p.185-258; Bongaarts John and Sharon Kirmeyer – *Estimating the Impact of Contraceptive Prevalence on Fertility: Aggregated and Age-specific Versions of a Model* Population Council, Center for Policy Studies, Working Paper No.63, December 1980.

Effet de la variation des composants de l'intervalle entre les naissances sur la descendance finale par rapport à un standard

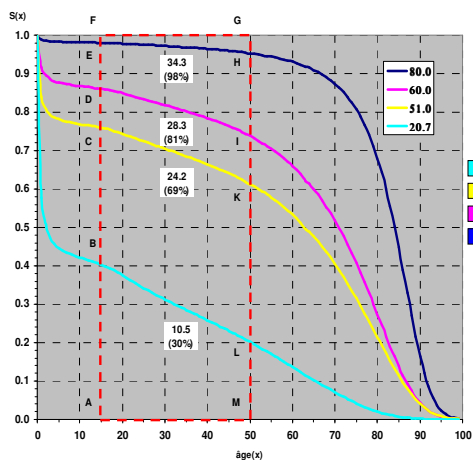
Minimum	Standard	Maximum	Composant
 5 naissances	 7 naissances	 10 naissances	Age au mariage (début des rapports sexuels) variation => 5 naissances
 5 naissances	 7 naissances	 9,5 naissances	Période anovulatoire (allaitement) variation => 4,5 naissance
 6,2 naissances	 7 naissances	 7,5 naissances	Période d'attente variation => 1,3 naissance
 6,2 naissances	 7 naissances	 7,5 naissances	Age à la dernière naissance variation => 1,3 naissance
 6,5 naissances	 7 naissances	 7,2 naissances	Mortalité intra-utérine variation => 0,7 naissance

Bongaarts J. and J. Menken – "The supply of children: A Critical Essay". In: *Determinants of Fertility in Developing Countries.*, ed. R. A. Bulatao and R. B. Lee. Academic Press, NY, 1983, Vol.1, p. 27-30. 9

Modèles de comportement procréateur et niveaux de fécondité

#	Naissance par femme	Espace utilisée	Caractéristiques bio-sociales	Population	Populations historiques
1	16	100%	Maximum biologique	Théorique	Aucune (cas individuel)
2	11,4	71%	Mariages précoces, intervalles minimales	Certains groupes isolés	Français canadiens nés avant 1660
3	9	56%	Mariages tardifs, intervalles minimales	Certains groupes isolés	Huttérites canadiens, 1926-30 (8,5)
4	7,5	47%	Mariages précoces, intervalles longs	Beaucoup de population des pays en voie de développement	Égypte, 1960-65 (7,1)
5	7	44%	Standard (Moyenne)	---	---
6	5	31%	Mariages tardifs, intervalles longs	Beaucoup de populations européennes en 18-19 e siècles	Angleterre 1751-1800 (5,1)
7	3	19%	Contrôle délibéré des naissances (diffusion moyenne)	Populations européennes de la première moitié du 20 ^e siècle	Italie, 1937 (3,0)
8	1	6%	Contrôle délibéré des naissances (diffusion totale)	Quelques populations européennes contemporaines	Ligurie (Italie), 1990 (1,0)

Engrenage de la fécondité et de la mortalité: potentiel (espace) de reproduction



Légende:

La **durée maximale** de la période féconde dans la vie féminine
 → la surface du rectangle AFGM = $(50-15) \times 1 = 35$ ans

Quatre lignes de survie correspondent à l'espérance de vie à la naissance (e_0) de

- 20,7 ans (la Gaule cisalpine),
- 51 ans (Italie, en début des années 1920, la France vers 1914)
- 60 ans (populations européennes dans les années 1950-1960)
- 80 ans (Japon d'aujourd'hui).

Les surfaces des figures **ABLM**, **ACKM**, **ADIM** et **AEHM** correspondent au nombre d'années effectivement vécues durant la période féconde sous les régimes différents de mortalité.

Démonstration:

la surface ABLM = 10,5 ans, ce qui fait ~30% du maximum.
 Si les intervalles entre les naissances sont minimales (1,5 an),
 le nombre de naissance est égale à 10,5 : 1,5 = 7 enfants ;
 si les intervalles sont maximales → 10,5 : 3,75 = 2,8 enfants.

La survie au-delà de l'âge 50 n'a que très peu d'influence sur le potentiel de reproduction (les mâles garde leur capacité d'engendrer : un mécanisme qui, théoriquement, permet de réduire le nombre des mâles sans affecter la reproduction, en outre cela récompense les pertes des jeunes mâles).

Niveau de reproduction :

1) fécondité et survie des mères

Nombre d'enfants selon un modèle de fécondité <i>en absence de la mortalité</i>	Nombre moyen de filles selon le régime de mortalité (pour une femme)				
	$e_0=80$	$e_0=60$	$e_0=51$	$e_0=30$	$e_0=21$
11,4	5.39	4.49	3.85	2.46	1.67
9,0	4.26	3.54	3.04	1.94	1.32
7,5	3.55	2.95	2.53	1.62	1.10
7,0	3.31	2.76	2.37	1.51	1.03
5,0	2.36	1.97	1.69	1.08	0.73
3,0	1.42	1.18	1.01	0.65	0.44
1,0	0.47	0.39	0.34	0.22	0.15
Maximum biologique = 16	7.57	6.30	5.41	3.45	2.35
optimum (régime Ancien) = 8.5	4.02	3.35	2.87	1.83	1.25
optimum (régime Modern) = 2.18	1.03	0.86	0.74	0.32	0.47

Niveau de reproduction :

2) fécondité et survie des mères et des filles

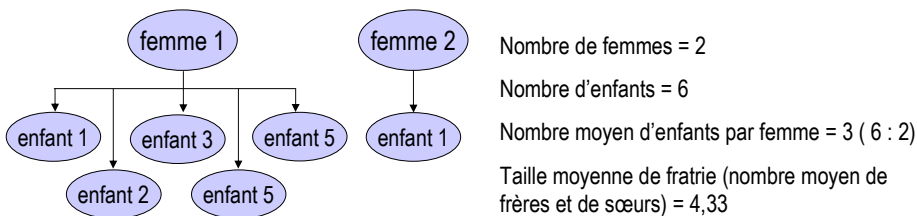
N° d'enfants selon un modèle en absence de la mortalité	Nombre de filles selon le régime de mortalité				
	e ₀ =80	e ₀ =60	e ₀ =51	e ₀ =30	e ₀ =21
11,4	5.28	3.86	2.92	1.37	0.67
9,0	4.17	3.05	2.31	1.08	0.53
7,5	3.48	2.54	1.92	0.90	0.44
7,0	3.24	2.37	1.80	0.84	0.41
5,0	2.32	1.69	1.28	0.60	0.30
3,0	1.39	1.02	0.77	0.36	0.18
1	0.46	0.34	0.26	0.12	0.06
maximum = 16	7.42	5.42	4.10	1.92	0.95
optimum (régime Ancien) = 8.5	3.94	2.88	2.18	1.02	0.50
optimum (régime Modern) = 2.18	1.01	0.74	0.56	0.13	0.26

Conclusion : les lois « naturelles » imposent un seul mode de comportement procréateur pour assurer la survie d'une population.

Cours « Analyse démographique » par Alexandre Avdeev, IDUP (M1, DDDG)

33

Fécondité des femmes et entourage familial des enfants



- 50% de femmes ont 5 enfants et 50% de femmes ont 1 enfant;
- Nombre de frères et sœurs dans la famille de 5 enfants = 25 (5 x 5) et dans la famille d'un enfant il n'y en a qu'un (1 x 1)

$$\bar{T}_f = \frac{\sum_{n=1}^m p_n \cdot (n \cdot n)}{\sum_{n=1}^m p_n \cdot n} = \frac{\sum_{n=1}^m p_n \cdot n^2}{\sum_{n=1}^m p_n \cdot n}$$

\bar{T}_f – taille moyenne de la fratrie
 p_n – proportion des femmes à parité n
 n – parité

ou $\rightarrow \bar{T}_f = \bar{n} + \frac{\sigma_n^2}{\bar{n}} \quad \sigma_f^2$ – la variance de parité

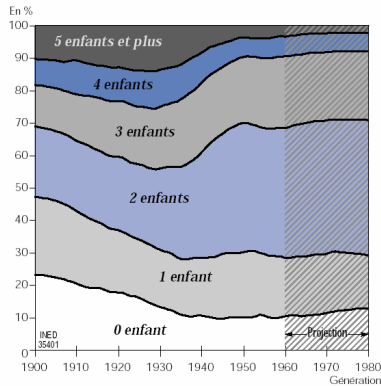
Cours « Analyse démographique » par Alexandre Avdeev, IDUP (M1, DDDG)

34

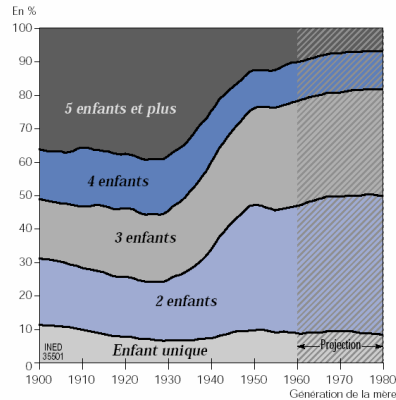
Illustration 1 :

Fécondité des générations féminines et entourage familial des enfants en France depuis 100 ans

Répartition des femmes selon le nombre finale des enfants



Répartition des enfants selon la taille de leur fratrie (eux-mêmes compris)



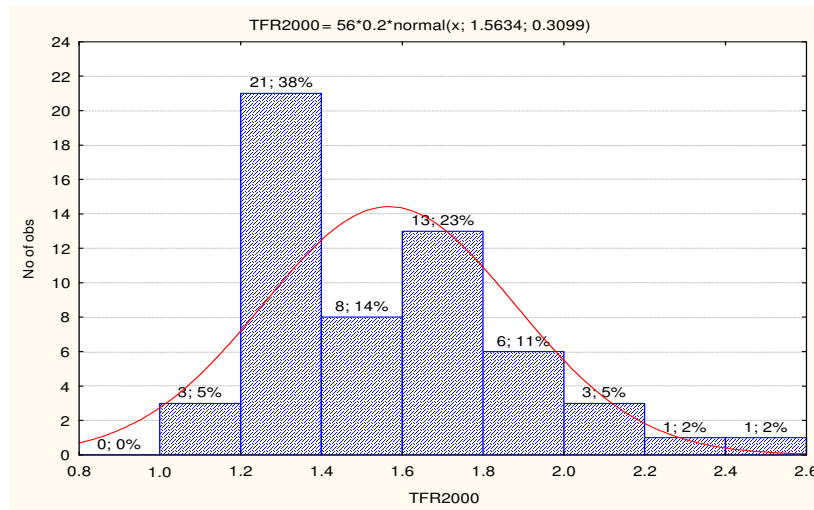
Source : L. Toulemon « Combien d'enfants, combien de frères et sœurs depuis cent ans? » *Population et Sociétés*, N°374, Décembre 2001

Cours « Analyse démographique » par Alexandre Avdeev, IDUP (M1, DDDG)

35

Illustrations 2 :

Fécondité de 56 pays les plus développés

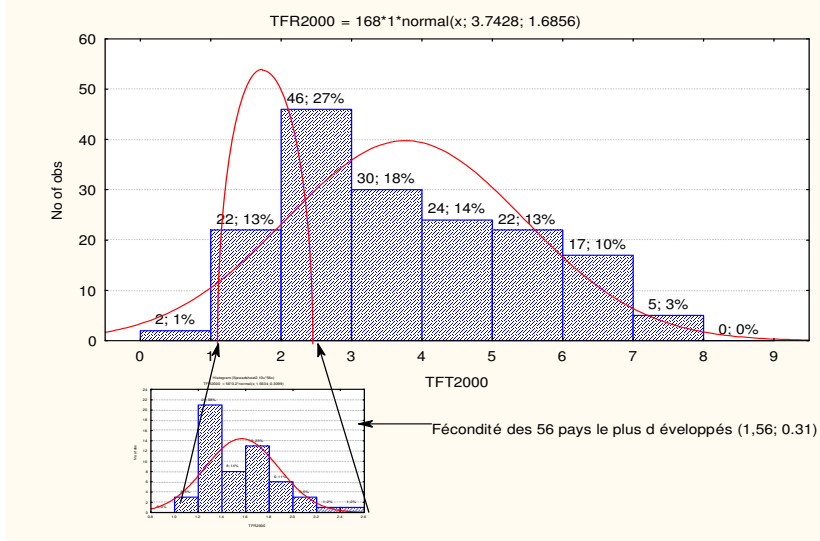


Cours « Analyse démographique » par Alexandre Avdeev, IDUP (M1, DDDG)

36

Illustrations 3 :

Fécondité de 168 pays les moins développés



Cours « Analyse démographique » par Alexandre Avdeev, IDUP (M1, DDG)