Méthodes pour les scénarios cantonaux

La méthode des composantes

Pour chaque canton, l'équation fondamentale du bilan démographique s'écrit de la manière suivante:

$$P_n = P_{n-1} + N_n - D_n + I_n^E - E_n^E + I_n^I - E_n^I$$

Dans cette expression P_n désigne la population au 31 décembre de l'année n, N_n le nombre de naissances survenues l'année n, D_n le nombre de décès survenu l'année n, I_n^E le nombre d'immigration depuis l'étranger durant l'année n, E_n^E le nombre d'émigration vers l'étranger durant l'année n, I_n^I le nombre d'arrivées depuis les autres cantons durant l'année n, E_n^I le nombre de départs vers les autres cantons durant l'année n.

On désigne par $P_{n,i}$ la population résidente permanente d'âge révolu i au 31 décembre de l'année n (l'âge *100+* correspondant au groupe d'âge 100 ans ou plus).

Si on décompose la population selon l'âge i, le sexe, la nationalité (Suisses, étrangers) et le canton, on a les expressions suivantes:

$$P_{n,i} = P_{n-1,i-1} - D_{n,i} + I_{n,i}^E - E_{n,i}^E \pm A_{n,i} + I_{n,i}^I - E_{n,i}^I \quad \text{pour } i = 1, \cdots, 99$$

$$P_{n,0} = N_n - D_{n,0} + I_{n,0}^E - E_{n,0}^E \pm A_{n,0} + I_{n,0}^I - E_{n,0}^I$$

$$P_{n,100+} = P_{n-1,99} + P_{n-1,100+} - D_{n,100+} + I_{n,100+}^E - E_{n,100+}^E \pm A_{n,100+} + I_{n,100+}^I - E_{n,100+}^I$$

où $A_{n,i}$ désigne le nombre d'acquisitions de la nationalité suisse de personnes atteignant l'âge i durant l'année n, cette valeur ayant un signe positif pour les Suisses et négatif pour les étrangers.

En écrivant cette expression à l'aide de quotients perspectifs de mortalité $q^p_{n,i}$, de quotients d'émigrations internationales $e_{n,i}$, de quotients de départs intercantonaux $\varepsilon_{n,i}$, de quotients d'acquisitions de la nationalité suisse $a_{n,i}$ (nul pour les Suisses), de nombres absolus d'immigrations internationales $I^E_{n,i}$, de nombres absolus d'arrivées intercantonales $I^I_{n,i}$ et de nombres absolus d'acquisitions de la nationalité suisse $A_{n,i}$ (égal à zéro pour les étrangers), on a pour $i = 1,\ldots,99$:

$$P_{n,i} = P_{n-1,i-1}\left[\left(1 - q_{n,i}^p\right) - \left(e_{n,i} + a_{n,i} + \varepsilon_{n,i}\right)\left(1 - \frac{q_{n,i}^p}{2}\right)\right] + \left(I_{n,i}^E + A_{n,i} + I_{n,i}^I\right)\left(1 - \frac{q_{n,i}^p}{2}\right)$$

De même pour $i=0$ et $i=100+$, on a respectivement:

$$P_{n,0} = N_n\left[\left(1 - q_{n,0}^p\right) - \left(e_{n,0} + a_{n,0} + \varepsilon_{n,0}\right)\left(1 - \frac{2}{3}q_{n,0}^p\right)\right] + \left(I_{n,0}^E + A_{n,0} + I_{n,0}^I\right)\left(1 - \frac{2}{3}q_{n,0}^p\right)$$

$$\begin{aligned} P_{n,100+} = \left(P_{n-1,99} + P_{n-1,100+}\right)\Big[&\left(1 - q_{n,100+}^p\right) \\ &- \left(e_{n,100+} + a_{n,100+} + \varepsilon_{n,100+}\right)\left(1 - \frac{q_{n100+}^p}{2}\right)\Big] \\ &+ \left(I_{n,100+}^E + A_{n,100+} + I_{n,100+}^I\right)\left(1 - \frac{q_{n,100+}^p}{2}\right) \end{aligned}$$

A partir des expressions ci-dessus, on obtient que les nombres de décès projeté $D_{n,i}$ sont égaux à:

$$D_{n,i} = q_{n,i}^{p}\left[P_{n-1,i-1}\left(1-\frac{(e_{n,i}+a_{n,i}+\varepsilon_{n,i})}{2}\right)+\frac{(I_{n,i}^{E}+A_{n,i}+I_{n,i}^{I})}{2}\right] \quad \text{pour } i = 1,\cdots,99$$

$$D_{n,0} = q_{n,0}^{p}\left[N_n\left(1-\frac{2}{3}(e_{n,0}+a_{n,0}+\varepsilon_{n,0})\right)+\frac{2}{3}(I_{n,0}^{E}+A_{n,0}+I_{n,0}^{I})\right]$$

$$D_{n,100+} = q_{n,100+}^{p}\left[(P_{n-1,99}+P_{n-1,100+})\left(1-\frac{(e_{n,100+}+a_{n,100+}+\varepsilon_{n,100+})}{2}\right)+\frac{(I_{n,100+}^{E}+A_{n,100+}+I_{n,100+}^{I})}{2}\right]$$

Le nombre de naissance (soit de fille, soit de garçon) N^M_n de l'année n (selon la nationalité de la mère M) s'obtient par la formule:

$$N_n^M = \pi\sum_{i=15}^{49}\left[\frac{F_{n-1,i-1}^{M}+F_{n,i}^{M}}{2}f_{n,i}^{M}\right]$$

où $F^M_{n,i}$ désigne le nombre de femmes de nationalité M et d'âge révolu i au 31 décembre de l'année n, $f^M_{n,i}$ le taux de fécondité des femmes de nationalité M à l'âge atteint i durant l'année n et π la proportion de nouveau-nés du sexe considéré parmi les naissances vivantes(π=105/205 pour les garçon).

On trouve le nombre d'enfants de nationalité suisse en ajoutant les naissances d'enfants de mères étrangères et de pères suisses aux naissances d'enfants de mères suisses N^{CH}_n et on trouve le nombre d'enfants de nationalité étrangère en soustrayant ces mêmes naissances aux naissances d'enfants de mères étrangères $N^{étr}_n$. On doit donc partager les nouveau-nés de mères étrangères selon une proportion adéquate pour obtenir les naissances selon la nationalité de l'enfant. On a alors:

$$N_n = N_n^{CH} + \alpha^{\text{étr}\to\text{CH}}N_n^{\text{étr}} \quad \text{pour les enfants de nationalité suisse}$$

$$N_n = N_n^{étr} - \alpha^{\text{étr}\to\text{CH}}N_n^{\text{étr}} \quad \text{pour les enfants d'une autre nationalité}$$

Les émigrations internationales sont obtenues à l'aide des quotients perspectifs d'émigration, les départs intercantonaux à l'aide des quotients perspectifs de départs intercantonaux et les acquisitions de la nationalité suisse à l'aide des quotients perspectifs d'acquisitions simplement en les appliquant aux populations correspondantes.

Pour i >0

$$E_{n,i}^{E}=e_{n,i}\cdot P_{n-1,i-1},\quad E_{n,i}^{I}=\varepsilon_{n,i}\cdot P_{n-1,i-1} \quad \text{et} \quad A_{n,i}=a_{n,i}\cdot P_{n-1,i-1}$$

Pour i = 0

$$E_{n,0}^{E}=e_{n,0}\cdot N_n,\quad E_{n,0}^{I}=\varepsilon_{n,0}\cdot N_n \quad \text{et} \quad A_{n,0}=a_{n,0}\cdot N_n$$

Il faut toutefois noter que lors de la projections ces valeurs sont réajustées pour qu'en les sommant entre tous les âges leur somme correspondent aux valeurs totales de la composante correspondante de chaque canton, déterminées auparavant.

Les immigrations internationales sont déterminées complétement avant la projection et les arrivées intercantonales sont déterminées à partir des départs intercantonaux et des soldes migratoires intercantonaux fixés également avant la projection.

Toutes ces valeurs (naissances, décès, émigrations, …) subissent encore d'autres réajustements pour que leur somme à chaque âge (selon le sexe et la nationalité) corresponde à la valeur correspondante à cet âge des scénarios nationaux.

Le calcul des quotients perspectifs et des taux

Comme on l'a vu ci-dessus lors du calcul de la projection, on utilise des quotients perspectifs et des taux. Pour préparer ces projections et déterminer les hypothèses, il est nécessaire de calculer les taux ainsi que les quotients observés et ensuite les indicateurs synthétiques correspondants.

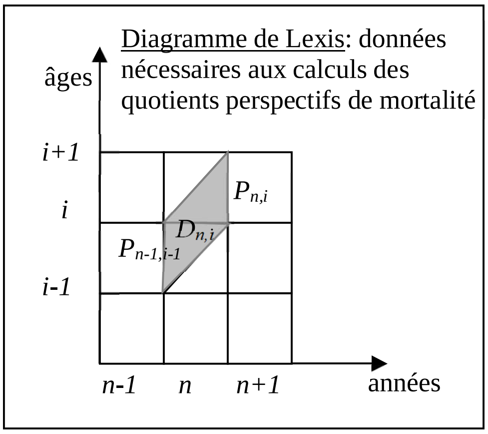
Pour la mortalité, on emploie des quotients perspectifs de mortalité. Pour ne pas trop sous-estimer (ou trop surestimer) les décès en raison d'une population en début d'année beaucoup plus basse (ou beaucoup plus haute) que la population à la fin de l'année (à cause essentiellement des flux migratoires), on détermine les quotients perspectifs de mortalité en considérant également la population à la fin de l'année. Ils sont ainsi calculés à l'aide de la formule suivante :

$$q_{n,i}^{p} = \frac{2D_{n,i}}{P_{n-1,i-1}+P_{n,i}+D_{n,i}}$$

Il s'agit des quotients perspectifs de mortalité pour les personnes atteignant ou qui aurait dû atteindre l'âge i durant l'année n avec

$P_{n,i}$:= l'effectif de la population d'âge révolu i au 31 décembre de l'année n

$D_{n,i}$:= le nombre de décès survenus l'année n parmi les personnes qui atteignent l'âge i durant l'année n



Comme les interactions avec les autres mouvements démographiques sont considérées dans le les quotients de mortalité, on peut simplement calculer les quotients d'émigration internationale, les quotients d'émigration interne et les quotients d'acquisition de la nationalité de la manière suivante:

$$e_{n,i}=\frac{E_{n,i}^{E}}{P_{n-1,i-1}} \quad \varepsilon_{n,i}=\frac{E_{n,i}^{I}}{P_{n-1,i-1}} \text{ et } a_{n,i}=\frac{A_{n,i}}{P_{n-1,i-1}}$$

Pour $i=0$ et $i=100+$, on a:

$$q_{n,0}^{p} = \frac{3D_{n,0}}{N_n+2\left(P_{n,0}+D_{n,0}\right)}$$

$$e_{n,0}=\frac{E^E_{n,0}}{N_n} \quad \varepsilon_{n,0}=\frac{E^I_{n,0}}{N_n} \text{ et } a_{n,0}=\frac{A_{n,0}}{N_n}$$

$$q^p_{n,100+} = \frac{2D_{n,100+}}{P_{n-1,99}+P_{n-1,100+}+P_{n,100+}+D_{n,100+}}$$

$$e_{n,100+}=\frac{E^E_{n,100+}}{P_{n-1,99}+P_{n-1,100+}} \quad \varepsilon_{n,100+}=\frac{E^I_{n,100+}}{P_{n-1,99}+P_{n-1,100+}} \text{ et } a_{n,100+}=\frac{A_{n,100+}}{P_{n-1,99}+P_{n-1,100+}}$$

Pour la fécondité, on emploie simplement des taux de fécondité usuels.

On calcule les taux de fécondité par âge atteint *i* durant l'année *n* de la manière suivante:

$$f_{n,i} = \frac{N_{n,i}}{(F_{n-1,i-1} + F_{n,i})/2}$$

$F_{n,i}$:= l'effectif des femmes d'âge révolu *i* au 31 décembre de l'année *n*

$N_{n,i}$:= le nombre de naissances de mères atteignant l'âge *i* durant l'année *n*

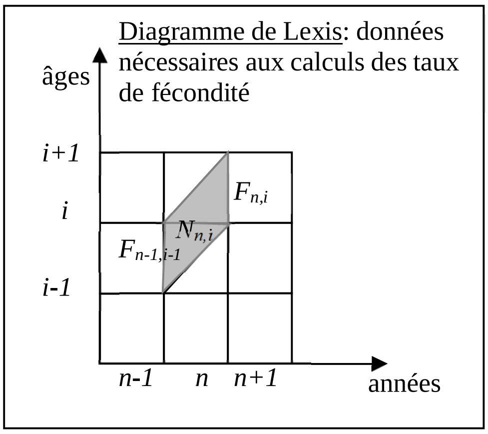


Diagramme de Lexis: données nécessaires aux calculs des taux de fécondité

Le calcul des indicateurs démographiques

L'indicateur conjoncturel de fécondité et l'âge moyen à la maternité

Pour déterminer l'évolution de la fécondité, on considère deux indicateurs synthétiques : l'indicateur conjoncturel de fécondité et l'âge moyen à la maternité. Le premier résume le niveau de la fécondité et le second résume la structure par âge de la fécondité.

L'indicateur conjoncturel de fécondité (ICF) est également appelé nombre de naissances réduites, indicateur synthétique de fécondité ou encore taux de fécondité total. Il représente le nombre moyen d'enfants que mettraient au monde un ensemble de femmes durant leur période féconde si les taux de fécondité à chaque âge se stabilisaient aux valeurs d'une année donnée.

On calcule l'ICF simplement en sommant les taux de fécondité du moment des femmes âgées de 15 ans à 49 ans. On néglige les taux des femmes de moins de 15 ans et de plus de 49 ans, car ils sont soit nuls ou soit très petits. Les naissances d'enfants de femmes de moins de 15 ans et de plus de 49 ans sont en fait des événements rares qui ne peuvent pas être projetés raisonnablement.

Nous pouvons ainsi écrire la formule suivante pour l'année *n* et les âges *i*:

$$ICF(n) = \sum_{i=15}^{49} f_{n,i}$$

Quant à l'âge moyen à la maternité (AMM), il est calculé selon la formule suivante:

$$AMM(n) = \frac{\sum_{i=15}^{49} i \cdot f_{n,i}}{\sum_{i=15}^{49} f_{n,i}}$$

Il faut noter que l'AMM est essentiel dans nos calculs, car il détermine l'évolution de la répartition des naissances selon l'âge dans nos projections, alors que l'ICF détermine seulement le niveau de la fécondité.

L'espérance de vie à la naissance et aux autres âges

Pour déterminer l'évolution de la mortalité, on considère séparément l'espérance de vie des hommes et celle des femmes. Il existe en effet une différence importante entre leur valeur.

L'espérance de vie à la naissance calculée annuellement est le nombre d'années que vivraient en moyenne les individus d'une population si les quotients de mortalité à tous les âges se stabilisaient aux valeurs de l'année donnée. Pour calculer l'espérance de vie à la naissance à partir de quotient perspectif de mortalité, il existe plusieurs possibilités. On peut, par exemple, convertir ces quotients en quotients classiques entre deux âges exacts. On peut également utiliser des proportions de survivants calculées à partir de quotients perspectifs comme dans les formules ci-dessous:

$$S_{n,0}^{p} = 1 - q_{n,0}^{p}$$

$$S_{n,i+1}^{p} = \left(1 - q_{n,i+1}^{p}\right) S_{n,i}^{p}$$

$S^{p}_{n,i}$:= la proportion de survivant à l'âge révolu *i* calculée à partir des quotients perspectifs de l'année *n*.

Dans les formules usuelles pour calculer les espérances de vie, on utilise, les proportions $S_{n,i}$ de survivants aux âges exacts *i* calculées à partir de quotients de mortalité classiques de l'année *n*, On a ainsi pour les espérances de vie (*EV*) à 0 an et aux âges *x*:

$$EV(0) = \frac{1}{2} + \sum_{i=1}^{\omega} S_{n,i}$$

$$EV(x) = \frac{1}{2} + \frac{\sum_{i=x+1}^{\omega} S_{n,i}}{S_{n,x}}$$

En utilisant l'approximation:

$$S_{n,i} = \frac{S_{n,i-1}^{p} + S_{n,i}^{p}}{2}$$

On obtient les formules suivantes:

$$EV(0) = \frac{1 + S^p_{n,0}}{2} + \sum_{i=1}^{\omega} S^p_{n,i}$$

$$EV(x) = \frac{1}{2} + \frac{S^p_{n,x} + 2\sum_{i=x+1}^{\omega} S^p_{n,i}}{S^p_{n,x-1} + S^p_{n,x}}$$

Dans le calcul effectif des espérances de vie, il faut encore régler le problème du dernier âge. Il correspond en fait à un groupe d'âge ouvert. On ne peut donc pas calculer l'espérance de vie de la même façon qu'aux autres âges. En observant que pour les âges proches de 100 ans, les valeurs des quotients perspectifs de mortalité ont tendance à se stabiliser et qu'aux âges les plus élevés le nombre des survivants est presque négligeable par rapport aux âges autour de 100 ans, il paraît raisonnable de supposer que les quotients perspectifs de mortalité des personnes de 100 ans ou plus sont assez proches pour utiliser une estimation robuste telle que $1/M_{100+}$ où M_{100+} est le taux de mortalité brut des personnes de 100 ans ou plus. En faisant cette hypothèse, on peut alors utiliser les formules complètes suivantes:

$$EV(0) = \frac{1 + S^p_{n,0}}{2} + \sum_{i=1}^{99} S^p_{n,i} + \frac{S^p_{n,100}}{q^p_{n,100+}}$$

$$EV(x) = \frac{1}{2} + \frac{S^p_{n,x} + 2\left(\sum_{i=x+1}^{99} S^p_{n,i} + \frac{S^p_{n,100}}{q^p_{n,100+}}\right)}{S^p_{n,x-1} + S^p_{n,x}}$$

$$EV(100) = \frac{2 - q^p_{n,100+}}{2q^p_{n,100+}}$$

Quand on utilise des données brutes au niveau des cantons, il est possible d'obtenir un quotient perspectif de mortalité nul pour le groupe d'âge 100 ans et plus. Les formules ci-dessus ne sont alors pas utilisables. Pour tout de même calculer les différentes espérances de vie, la démarche la plus raisonnable consiste alors à prendre un dernier groupe d'âge débutant à un âge un peu moins élevé. Bien entendu, il faut choisir cet âge de telle manière que le quotient perspectif de mortalité, correspondant à ce nouveau groupe d'âge, ne soit pas nul.

L'ajustement des structures par âge des composantes de l'évolution démographique

On procède à des ajustements d'une part pour lisser les structures par âge des différentes composantes de l'évolution démographique et d'autre part pour projeter les différents taux et quotients perspectifs en conservant une structure réaliste. On pourrait également déterminer l'évolution des quotients ou des taux séparément pour chaque âge à l'aide de différents types de régression et ensuite contrôler que la structure par âge est toujours cohérente pour les différentes années projetées. En ajustant la structure par âge à l'aide d'un modèle statistique paramétrique et ensuite en recalculant le modèle à partir des paramètres projetés, on a l'avantage d'obtenir immédiatement des structures cohérentes pour chaque année projetée.

Cette méthode nous permet même de déterminer une structure par âge unique pour une valeur donnée d'un indicateur synthétique en ne faisant varier qu'un seul paramètre.

L'ajustement des structures par âge de la fécondité et de la mortalité

Pour ajuster la courbe de la fécondité, on utilise en général des fonctions Gamma, Beta ou du 3ème degré. De même pour ajuster la courbe de la mortalité, on utilise fréquemment les fonctions de Heligman-Pollard, de Gompertz, de Makeham, de Weibull ou encore une fonction exponentielle.

On va cependant utiliser aussi bien pour la fécondité que pour la mortalité la fonction proposée par Gérard Calot dans les scénarios de la Suisse 2000-2060 qui est en fait une sorte de généralisation d'une fonction de Gompertz. Cette dernière à la forme générale suivante:

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(\sum_{s=0}^{k} a_s x^s\right)\right)$$

Pour la fécondité, *F(x)* correspond à la fonction cumulative de la forme:

$$F(x) = \frac{\int_{\alpha}^{x} f(y)\,dy}{\int_{\alpha}^{\omega} f(y)\,dy}$$

Avec *f(x)* le taux de fécondité instantané à l'âge exact x

Pour la mortalité, *F(x)* correspond à une fonction de la forme:

$$F(x) = S(\omega - x)$$

Avec *S(x)* la proportion théorique de survivants à l'âge exact *x* et ω l'âge maximal de survie (*S(ω-x)* est donc la proportion de survivant à l'âge *ω-x* et ainsi *F(x)* est une fonction croissante bornée supérieurement par 1 ayant ainsi les mêmes propriété qu'une fonction cumulative).

Pour la fécondité, on procède de la manière suivante:

On calcule d'abord la fonction cumulative empirique à partir des taux empiriques f_i

$$\hat{F}\left(i + \frac{1}{2}\right) = \frac{\sum_{j=\alpha}^{j=i} f_j}{\sum_{j=\alpha}^{j=\omega} f_j}$$

Ensuite, en utilisant la fonction ci-dessus, on calcule pour *k* valeurs particulières de *i*

$$\sum_{s=0}^{k} a_s (i + 1/2)^s = \log\left(-\log\left(\hat{F}(i + 1/2)\right)\right)$$

On a ainsi un système linéaire de *k* équations à *k* inconnues (a_s) que l'on résout sans problème. Cela nous permet d'obtenir immédiatement notre fonction *F(x)*. On constate que cette méthode n'est pas à proprement parlé un ajustement puisqu'on ne détermine pas la courbe la plus proche de toutes les observations mais une courbe que l'on force à passer par certains points particuliers. On observe néanmoins que ce procédé permet d'obtenir pour tous les points des valeurs très proches des observations. Il est bien entendu également possible d'utiliser toutes les valeurs de *i* et effectuer une régression polynomiale.

Pour la mortalité, on calcule d'abord à partir des quotients perspectifs empiriques les proportions empiriques de survivants:

$\hat{S}^r_{n+1} = \left(1 - q^p_0\right) \prod_{j=0}^{j=n} \left(1 - q^p_j\right)$ et $\hat{S}^r_0 = 1 - q^p_0$

On calcule ensuite la fonction empirique en prenant *l*=ω-i:

$$\hat{F}(i) = \hat{S}^r_l$$

A nouveau, pour *k* valeurs particulières de *i*, on calcule

$$\sum_{s=0}^{k} a_s\, i^s = \log\left(-\log\left(\hat{F}(i)\right)\right)$$

On résout ce système linéaire de *k* équations à *k* inconnues (a_s) et l'on obtient immédiatement la fonction *F(x)*. Comme pour la fécondité, il est également possible d'utiliser toutes les valeurs de *i* et effectuer une régression polynomiale.

On prend en général pour la fécondité *k* = 5 ou 6, tandis que pour la mortalité on prend *k* = 10 ou 11.

L'ajustement des structures par âge des migrations

Pour lisser les courbes des structures par âge des immigrations et des émigrations, on utilise l'ajustement proposé par Rogers et Castro. On ajuste ainsi les observations à l'aide de la fonction suivante:

$$M(x) = a_1 \exp(-\alpha_1 x) + a_2 \exp(-\alpha_2 (x - \mu_2) - \exp(-\beta_2 (x - \mu_2))) \\ + a_3 \exp(-\alpha_3 (x - \mu_3) - \exp(-\beta_3 (x - \mu_3))) + c$$

Vu la complexité de cette fonction, il n'est pas possible de calculer directement les valeurs des paramètres. On peut néanmoins déterminer de bonnes approximations de ces derniers à l'aide d'un algorithme numérique.

Le modèle de Rogers et Castro a été développé pour ajuster des taux de migrations classiques, c'est-à-dire, des taux égaux aux rapports entre les nombres de migrations d'individus d'âge révolu *i* durant l'année *n* et les populations moyennes d'âge révolu *i* l'année *n*. Nous travaillons, quant à nous, avec des quotients "perspectifs" d'émigration égaux aux rapports entre les nombres de migrations des individus atteignant l'âge *i* durant l'année *n* et les populations d'âge révolu *i-1* au 31 décembre de l'année *n-1*. En fait, pour presque tous les âges, cela ne pose pas de problème. Cependant, on ne peut pas utiliser cet ajustement pour le quotient à l'âge 0. En effet, ce dernier se calcule en ne prenant que les événements d'un triangle inférieur du diagramme de Lexis, contrairement aux autres quotients qui sont calculés à partir des événements ayant lieu dans des parallélogrammes à bords verticaux. Il ne serait ainsi pas approprié d'utiliser des quotients lissés pour l'âge de 0 an. La structure par âge des émigrations ne peut donc être ajustée qu'à partir de l'âge de 1 an. Pour les immigrations, on n'utilise pas des taux, mais les proportions d'immigrations aux différents âges par rapport à l'immigration totale. On ajuste à nouveau cette structure à partir de l'âge 1 pour les mêmes raisons que pour les émigrations. Il faut cependant observer que la somme de ces proportions doit absolument valoir l'unité, ce qui n'est plus forcément le cas après les avoir ajustées; il faut alors simplement multiplier les proportions obtenues suite à cet ajustement par la valeur égale à l'inverse de la somme de ces proportions ajustées. On procède de la même manière pour les quotients de départs intercantonaux et les proportions d’arrivées intercantonales selon l’âge.

L'ajustement des structures par âge des acquisitions de la nationalité suisse

En observant la structure par âge des acquisitions de la nationalité suisse, on remarque une ressemblance de cette dernière avec les structures par âge des migrations. A partir de cette constatation, il est raisonnable d'utiliser également un ajustement de Rogers et Castro pour lisser les structures par âge des naturalisations (sans le pic de la retraite). Comme pour les migrations, il est alors nécessaire de considérer séparément le quotient à l'âge de 0 an.

Le cheminement des composantes de l’évolution démographique

Pour déterminer les évolutions futures des différents taux ou quotients, on considère d’abord les évolutions des indicateurs démographiques correspondant tels que les espérances de vie, l’âge moyen à la maternité ou l’indicateur conjoncturel de fécondité. Ces indicateurs permettent d’estimer d’une manière synthétique le « niveau » et la structure par âge d’une composante démographique. On indique dans ce qui suit la manière de déterminer l’évolution de ces indicateurs et comment passer de ces indicateurs aux taux ou quotients par âge utilisés lors du calcul de la projection.

Le cheminement des indicateurs synthétiques

On détermine tout d’abord la valeur d’un indicateur pour la première année de la projection à l’aide de séries temporelles (ARIMA). Ce calcul nous donne également la pente initiale de la courbe utilisée pour projeté cet indicateur. A partir de la valeur supposée à un horizon temporel donné et de la valeur initiale (ainsi que des pentes de la courbe pour ces valeurs), on interpole ensuite les valeurs de l’indicateur pour chaque année de la période projetée en utilisant soit une courbe de Bézier, soit un polynôme du 3ème degré. Il faut noter que les valeurs des indicateurs synthétiques aux différents horizons temporels correspondent aux valeurs proposées par les offices cantonaux dans un questionnaire préparé par l’OFS.

Le passage des indicateurs aux taux de fécondité et quotients perspectifs de mortalité utilisés dans le calcul de la projection

Le calcul des taux de fécondité et des quotients perspectifs de mortalité utilisés lors de la projection est un processus comportant plusieurs étapes. La première étape consiste à ajuster à l'aide d'une courbe appropriée la structure par âge de la fécondité et de la mortalité (comme indiqué auparavant). La deuxième étape consiste à transformer un coefficient en un paramètre dans l'équation de la courbe ajustant la structure par âge de la fécondité ou de la mortalité. En le faisant varier, on construit une famille de courbes paramétriques. Ainsi pour chaque valeur du paramètre correspond une courbe qui elle-même correspond à une valeur de l'indicateur synthétique (âge moyen à la maternité pour la fécondité et espérance de vie à la naissance pour la mortalité). La troisième étape consiste à déterminer les taux ou les quotients par âge à partir des valeurs projetées des indicateurs en utilisant la famille des courbes paramétriques.

Détermination des migrations internationales et de leur structure par âge utilisés dans le calcul de la projection

Les niveaux des migrations sont déterminés à la suite de la consultation auprès des offices statistiques cantonaux. On demande à ces derniers de nous indiquer les niveaux (moyens) des soldes migratoires internationaux et intercantonaux à certains horizons temporels (ou pour certaines périodes). On interpole ensuite les valeurs de ces soldes pour chaque année de la projection. On transforme après les soldes migratoires internationaux en immigrations internationales et en émigrations internationales. Pour les migrations intercantonales, on utilise par contre directement les soldes migratoires lors de la projection. On applique en effet les quotients de départs intercantonaux aux effectifs de la population. On obtient les départs à tous les âges que l'on somme. En ajoutant ces départs intercantonaux totaux au solde migratoire intercantonal, on trouve les arrivées intercantonales totales. On détermine la structure par âge à ces arrivées totales en leur appliquant des proportions d'arrivées à chaque âge. Il est alors nécessaire de procéder à des réajustements pour qu'à chaque âge les arrivées vers tous les cantons correspondent aux départs depuis tous les cantons.

On emploie des soldes migratoires pour discuter des migrations avec les offices cantonaux, car il est plus facile et plus clair de parler de solde migratoire que d'immigrations et d'émigrations ou que d'arrivées intercantonales et de départs intercantonaux séparément.

Pour éviter d'obtenir des incohérences telles que des populations négatives, on utilise des quotients d'émigration et des quotients de départs vers d'autres cantons. Lorsqu'on n'utilise des flux migratoires en nombres absolus, on peut en effet obtenir à certains âges pour certaines catégories (sexe, nationalité) plus de départs que de personnes présentes dans le canton. Les nombre d'émigrations et de départs sont cependant réajustés pour que les valeurs totales correspondent aux hypothèses.

Pour déterminer les immigrations internationales de chaque canton, on procède de la manière suivante. Tout d'abord, on calcule la structure moyenne des immigrations dans chaque canton en utilisant les proportions d'une ou de plusieurs années d'observation. On lisse ces structures à l'aide de l'ajustement de Rogers et Castro. On applique ces proportions aux valeurs totales projetées, ce qui donne les immigrations absolues à chaque âge. Ensuite, on réajuste ces valeurs pour que les sommes des valeurs pour chaque âge, pour chaque sexe et pour chaque nationalité soient égales aux valeurs correspondantes de la Suisse prise dans sa totalité (du scénario pour la Suisse correspondant). Ce calcul est effectué avant la projection.

Pour déterminer les quotients d'émigration internationale de chaque canton, on calcule d'abord pour chaque âge, chaque sexe et chaque nationalité la moyenne des quotients observés au cours des dernières années. On lisse ces structures par âge à l'aide de l'ajustement de Rogers et Castro. Lors de la projection, pour chaque âge, chaque sexe et chaque nationalité, les niveaux des émigrations cantonales sont réajustés pour que leurs sommes soient égales aux niveaux de l'émigration totale vers la Suisse.

Note sur les différences entre les taux utilisés pour calculer la projection et les taux obtenus à partir des résultats

Contrairement aux scénarios nationaux, les taux et quotients utilisés aux niveaux cantonaux lors de la projection ne vont pas forcément correspondre à ceux obtenus après le calcul. La raison de cette différence qui peut être relativement grande est le réajustement sur les scénarios nationaux. On procède à ce réajustement (ou calage) pour que la somme des valeurs des cantons de chaque composante pour chaque nationalité, chaque sexe et pour tous les âges correspondent à la valeur nationale. Ce réajustement peut passablement modifier les mouvements cantonaux, obtenus après l'application des taux ou des quotients à la population cantonale. En recalculant les taux et quotients à partir des résultats des projections, il est ainsi probable d'obtenir des valeurs assez différentes des valeurs avant le calcul de la projection.

Description détaillée des 5 étapes de la projection (calcul pour l'année n):

1ère étape

I.1 Prendre la population d'âge i au 31 décembre de l'année n-1 et ajouter une année à son âge qui vaut alors i+1. On procède ainsi à tous les âges pour chaque nationalité et pour chaque sexe.

I.2 Ajouter à la nouvelle population d'âge 100 ans la population d'âge 101 ans ou plus, ce qui nous donne à nouveau la population d'âge 100 ans ou plus.

2ème étape

II.1 Calculer le nombre de départs intercantonaux par âge (de 1 à 100 ans ou plus), par sexe et par nationalité pour chacun des cantons.

II.2 Pour chaque canton, selon le sexe et la nationalité, additionner les départs intercantonaux totaux au soldes migratoires totaux pour obtenir les arrivées intercantonales totales.

II.3 Répartir entre tous les âges (de 0 à 100 ans ou plus), pour chaque canton, pour chacune des nationalités et pour chacun des sexes les arrivées déterminées en II.2 selon les proportions d'arrivées intercantonales.

II.4 Réajuster le nombre des arrivées intercantonales pour qu'à chaque âge la somme des arrivées intercantonales de tous les cantons soit égale à la somme des départs intercantonaux de tous les cantons. On procède à ces réajustements à tous les âges indépendamment pour chaque sexe et pour chaque nationalité.

3ème étape

III.1 Calculer le nombre de décès, d'émigrations internationales, d'acquisitions de la nationalité, par âge (de 1 à 100 ans ou plus pour les décès et de 0 à 100 ans pour les émigrations et les acquisitions), par sexe et par nationalité pour chacun des cantons.

III.2 Réajuster le nombre de décès, d'émigrations internationales, d'acquisitions de la nationalité pour que les sommes à chaque âge de ces valeurs pour tous les cantons soient égales aux valeurs correspondantes pour toute la Suisse à ces âges. On procède à ces réajustements indépendamment pour chaque sexe et nationalité.

III.3 Réajuster le nombre d'émigrations internationales et d'acquisitions de la nationalité pour que les valeurs totales de chaque canton soient égales aux valeurs correspondantes aux hypothèses. On procède à ces réajustements indépendamment pour chaque sexe et nationalité. Répéter III.2 et III.3 jusqu'à obtenir des valeurs se stabilisant.

III.4 Calculer les effectifs de la population au 31 décembre par âge (de 1 à 100 ans ou plus), par sexe, par nationalité et pour chacun des cantons en ajoutant à la population au 1er janvier les immigrations internationales, les arrivées intercantonales et en lui soustrayant les décès, les émigrations internationales, les départs intercantonaux. Si la population est de nationalité suisse, ajouter les acquisitions de la nationalité et si la population est étrangère, soustraire les acquisitions de la nationalité.

4ème étape

IV.1 Calculer les nombres de naissance par âge et nationalité de la mère pour chacun des cantons.

IV.2 Réajuster les nombres de naissances par âge et par nationalité de la mère pour que la somme des valeurs de tous les cantons à chaque âge et pour chaque nationalité corresponde à la valeur pour toute la Suisse à chaque âge et pour chaque nationalité.

IV.3 Pour chacun des cantons, sommer les nombres de naissances par nationalité de la mère et redistribuer les effectifs des naissances en fonction de la nationalité des enfants en ajoutant les enfants de nationalité suisse et de mères étrangères aux enfants de mères suisses, et, en soustrayant ces mêmes enfants aux enfants de mères étrangères.

IV.4 Répartir entre les 2 sexes les naissances selon la nationalité de l'enfant pour chacun des cantons.

IV.5 Pour chaque nationalité, réajuster le nombre de naissance par sexe de l'enfant pour que la somme des naissances de chaque sexe de tous les cantons corresponde aux naissances par sexe de toute la Suisse.

5ème étape

V.1 Calculer le nombre de décès des enfants de moins d'une année selon leur sexe et leur nationalité pour chacun des cantons.

V.2 Réajuster le nombre de décès des enfants de moins d'une année pour que les sommes de ces valeurs pour tous les cantons soient égales aux valeurs correspondantes pour toute la Suisse. On procède à ces réajustements indépendamment pour chaque sexe et nationalité.

V.3 Calculer les effectifs de la population au 31 décembre des enfants de moins d'une année, selon leur sexe et leur nationalité pour chacun des cantons en ajoutant les immigrations internationales et les arrivées intercantonales aux naissances redistribuées selon la nationalité des enfants et en leur soustrayant les décès, les émigrations internationales et les départs intercantonaux. Pour les enfants de moins d'une année de nationalité suisse, ajouter les acquisitions de la nationalité et pour les enfants de moins d'une année de nationalité étrangère, soustraire les acquisitions de la nationalité.