

CONSEIL D'ORIENTATION DES RETRAITES  
Séance plénière du 5 mars 2020 à 9h30  
« Point sur les modèles de microsimulation »

<b>Document N° 6</b>
<i>Document de travail, n'engage pas le Conseil</i>

**Le modèle de microsimulation dynamique des retraites Aphrodite**

*Extraits du Document de travail DG-Trésor Numéro 2016/04 – Juillet 2016*



## Modèle de microsimulation de la DG Trésor : Aphrodite

### 1. Présentation générale du modèle

#### 1.1. Caractéristiques principales

Aphrodite est le modèle de microsimulation dynamique des retraites développé depuis 2016 par la direction générale du Trésor (DG Trésor). S'appuyant sur une base de données représentative de la population française, le modèle projette l'évolution du système de retraite (poids des dépenses de retraite, comportements de liquidation, taux de remplacement des assurés, etc.) à horizon 2070, en fonction d'hypothèses préalablement définies concernant le contexte macroéconomique et démographique. Ce document de travail présente les principes de construction et les utilisations possibles du modèle.

Le modèle s'appuie sur l'échantillon biographique du modèle Destinie de l'Insee, qui fournit les parcours démographiques (naissances, décès, mariages, divorces) et les trajectoires professionnelles (niveau scolaire, trajectoires salariales, périodes de chômage et d'inactivité, affiliation aux différents régimes de retraite, etc.) sous-jacents au calcul des pensions. Le module de simulation des fins de carrière, des départs en retraite et de calcul des pensions, est développé en propre par la DG Trésor.

#### 1.2. Population modélisée

Le champ couvert par le modèle Aphrodite est déterminé par le module biographique de Destinie, qui modélise l'appartenance des individus de l'échantillon<sup>1</sup> aux principaux régimes de retraite : le régime général Cnav, les régimes complémentaires à points Agirc et Arrco, le régime de la Fonction Publique d'État auquel sont assimilés tous les régimes de fonctionnaires, et enfin un régime pour les non-salariés. Ces régimes représentent près de 90 % des dépenses de droit direct des principaux régimes de retraite en 2014. Les autres régimes, de taille beaucoup plus réduite, sont rattachés à celui des principaux régimes qui a les règles de fonctionnement les plus proches, ce qui assure une représentativité des résultats.

#### 1.3. Objectifs du modèle

Le modèle Aphrodite a vocation à éclairer la décision publique sur le sujet des retraites ; il permet d'évaluer plusieurs scénarios au cours des travaux de réflexion en amont d'une réforme pour fournir une analyse sur un échantillon représentatif et sur des cas-types spécifiques. Son utilisation conjointe avec le modèle macro-économétrique Mésange développé par la direction générale du Trésor et l'Insee permet d'évaluer les interactions du système de retraite avec la macroéconomie.

#### 1.4. Pourquoi adopter la modélisation en micro-simulation dynamique ?

Par rapport aux anciens outils de la DG Trésor, fondés sur des cas-types représentatifs, le modèle Aphrodite permet de produire des analyses sur un échantillon représentatif de la population. La technique de microsimulation dynamique permet ainsi de tenir compte de la variabilité des caractéristiques et des comportements individuels en matière de carrières et de retraites – nécessaire pour étudier les effets redistributifs d'un changement législatif, par exemple –, mais aussi de les faire évoluer à long terme, sur des horizons temporels adaptés au système de retraite, tout en introduisant une forme d'endogénéisation du comportement des assurés. Le modèle Aphrodite offre aussi l'opportunité d'évaluer les interactions du système de retraite avec la macroéconomie, ce qui est assez novateur dans le panorama des analyses existantes.

---

<sup>1</sup> Le champ est celui de l'enquête Patrimoine, à savoir, dans la France entière, l'ensemble des ménages ordinaires (plus précisément, des ménages principaux lorsque plusieurs personnes font budget à part dans le logement), ce qui exclut les individus vivant dans des résidences universitaires ou des maisons de détention, par exemple.

## 2. Sources et architecture du modèle

### 2.1. Description générale des sources

Aphrodite repose sur un échantillon de trajectoires individuelles passées et projetées, représentatives de la population française.

- Avant 2010, les trajectoires (jusqu'à 55 ans) sont issues du modèle Destinie et construites à partir d'un échantillon représentatif de la population française au 1<sup>er</sup> janvier 2010, issu de l'enquête Patrimoine 2009-2010. Cette enquête fournit des informations sur (i) la situation familiale et les liens familiaux des enquêtés moment de l'enquête, (ii) la situation sur le marché du travail au moment de l'enquête ainsi que l'historique des positions occupées par les enquêtés depuis le début de vie active (les revenus sont en revanche reconstitués à partir de sources externes<sup>2</sup>, cf. *infra*). Cet historique des carrières – renseigné également pour les personnes qui se déclarent retraitées dans l'enquête Patrimoine – permet de recalculer sur barème le montant de retraite perçu par ces personnes au moment de l'enquête (sauf pour les droits dérivés, cf. *infra*).
- A compter de 2010, cet échantillon est renouvelé en simulant des naissances, des décès, des unions, des séparations et des flux migratoires sur la base (i) des projections démographiques de l'Insee publiées en 2016, qui couvrent la France entière sur la période 2013-2070, ou (ii) des scénarios démographiques de l'*Ageing Working Group* (AWG) de la Commission européenne. Les parcours professionnels sont également projetés au niveau individuel<sup>3</sup>, puis calés notamment sur les cibles de chômage, d'évolution des salaires réels et d'emploi public des différents scénarios du COR ou de l'AWG.

### 2.2. Echantillonnage éventuel

Les trajectoires individuelles issues du modèle Destinie sont construites à partir de l'enquête Patrimoine, échantillonnée au 1/1000<sup>e</sup>, soit environ 62 000 individus.

### 2.3. Informations connues et imputations

La plupart des imputations sont effectuées dans le module biographique du modèle de l'Insee (rattachement des enfants hors domicile à leurs parents, imputation de l'âge de fin d'études, reconstitution de la séquence des salaires passés notamment).

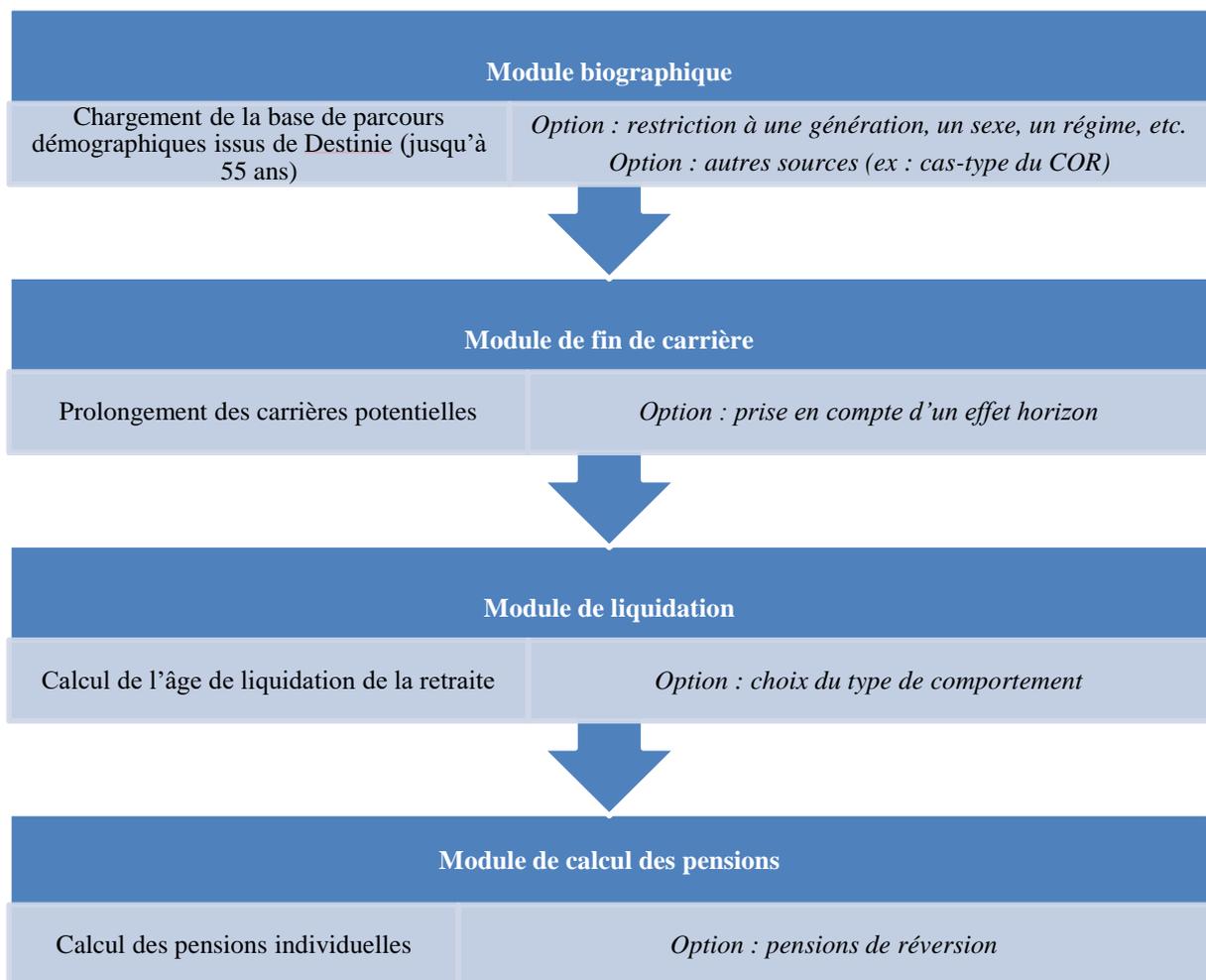
Un point d'attention particulier concerne les pensions de réversion (droits dérivés) perçues par les enquêtés au moment de l'enquête, dont le calcul est rendu complexe par l'absence d'information dans les données sur les carrières des conjoints décédés (hors du champ de l'enquête) : le stock de pension de réversion est simulé dans Aphrodite sur la base de l'imputation par l'Insee de conjoints fictifs à certains individus veufs, ainsi que de leurs carrières. Au-delà de 2010, les décès concernent des personnes présentes dans l'échantillon biographique de Destinie (échantillon de l'enquête Patrimoine ou renouvelé), dont les carrières sont connues ou simulées, et les unions simulées dans le cadre du vieillissement de l'échantillon.

### 2.4. Schéma de l'enchaînement des différents modules

Le graphique ci-dessous récapitule l'enchaînement des différents modules de calcul dans Aphrodite. Le module « biographique » importe les parcours démographiques (naissances, mariages, divorces, décès) et professionnels avant 55 ans issus du modèle de l'Insee ; le module « de fin de carrière » prolonge les trajectoires sur le marché du travail après 55 ans ; le module « de liquidation » détermine l'âge de départ en retraite des assurés ; enfin, le module de « calcul des pensions » applique la législation pour calculer la série des montants de retraite de droits directs et, le cas échéant, de réversion perçue par chaque individu.

<sup>2</sup> La méthode est explicitée dans Aubert et Bachelet (2012). L'échantillon inter-régimes de cotisants de la Drees (EIC) est notamment utilisé pour estimer une équation de salaire selon le sexe et le statut (salarié du privé, du public, indépendant).

<sup>3</sup> Les probabilités de transition sur le marché du travail sont estimées à partir de l'EIC et de l'enquête Génération pour les débuts de carrière.

**Graphique 1 : Structure générale d'Aphrodite**

### 3. Description des différents modules

#### 3.1. Démographie et affiliation

Les parcours démographiques et professionnels (avant 55 ans) sont issus du modèle Destinie. Aphrodite réalise quelques traitements supplémentaires éventuels (pour limiter les temps de calcul, on peut choisir de restreindre la simulation à un sexe, une génération, un régime, etc.) et calcule le poids d'échantillonnage en rapportant le nombre d'individus présents dans la base envoyée par l'Insee à la population française totale au 1<sup>er</sup> janvier 2010.

#### 3.2. Carrières et rémunérations

Les carrières et rémunérations des individus avant et après 55 ans sont modélisées de manière séparée dans le modèle Destinie. Dans Aphrodite, seules les carrières après 55 ans font l'objet d'une modélisation (les informations avant 55 ans sont issues de Destinie), ce qui présente l'avantage d'alléger les temps de calcul par rapport à une simulation complète et offre une certaine souplesse pour modéliser les fins de carrière, déterminantes pour le calcul des pensions.

Cet âge de 55 ans a été déterminé en fonction des spécificités de la situation des seniors sur le marché du travail après cet âge : dégradation éventuelle de l'état de santé, demande de travail contrainte des entreprises ou encore interactions avec le système de protection sociale (indemnisation chômage,

préretraites, etc. ; cf. Givord, 2002<sup>4</sup>), mais également changements moins fréquents de statut sur le marché du travail que leurs cadets (Tavan, 2008<sup>5</sup>). Le taux d'activité par âge baisse ainsi fortement entre 55 et 65 ans, passant de 82 % à 11 % en 2018 selon l'enquête Emploi<sup>6</sup>. Un modèle spécifique pour les fins de carrière se justifie également par le fait que l'âge, et en particulier la durée restante avant l'âge de la retraite, devient un facteur déterminant des trajectoires de carrières des séniors.

Le module de fin de carrière d'Aphrodite construit les carrières des individus après 55 ans en simulant les transitions individuelles d'un statut sur le marché du travail à l'autre, année après année.

Six statuts différents sont modélisés : salarié du privé, travailleur indépendant, employé du secteur public, chômeur, personne en arrêt maladie de longue durée, inactif. Les transitions d'un statut à l'autre dépendent des caractéristiques individuelles et professionnelles à chaque âge :

- le modèle calcule pour les différentes transitions possibles entre l'état l'année  $n-1$  et l'état l'année  $n$ , les probabilités associées à chaque transition (qui dépendent des caractéristiques sociodémographiques de l'individu comme son niveau d'études, mais également de la carrière passée) ;
- ces probabilités sont estimées à partir de transitions observées sur l'enquête EIC 2009, qui rassemble des éléments de la carrière professionnelle auprès de chacune des caisses de retraite et permet de retracer la carrière des individus à un niveau fin de détails. L'estimation est réalisée sur les cotisants des générations 1934 à 1950 ayant entre 55 et 60 ans, soit une période d'estimation allant de 1989 à 2009<sup>7</sup>.

Un effet horizon peut être intégré, pour tenir compte de l'effet à rebours de la législation des retraites sur l'emploi des séniors<sup>8</sup> qui peut transiter à la fois par l'offre et la demande de travail. La prise en compte d'un effet horizon peut être réalisée sous la forme, par exemple, d'un décalage des probabilités de transition d'un statut à l'autre en fonction de l'âge selon une hypothèse conventionnelle<sup>9</sup>.

---

<sup>4</sup> Givord P. (2002), « Prévoir l'évolution des taux d'activité aux âges élevés : un exercice difficile », dans *Économie et Statistique*, n°355-356.

<sup>5</sup> Voir : Tavan C. (2008), « Public, privé, indépendant : des changements de statut nombreux au fil de la carrière », dans *L'emploi, nouveaux enjeux – Édition 2008*, Insee.

<sup>6</sup> Dares (2019), « Emploi et chômage des séniors en 2018 », *Dares Analyses* n°13.

<sup>7</sup> Exclure de l'estimation les individus de plus de 60 ans s'explique par le fait que les effets estimés à ces âges ne seraient pas statistiquement significatifs. En effet, l'EIC 2009 compte relativement peu d'individus de plus de 60 ans qui travaillent car au-delà de cet âge de nombreux séniors ont déjà liquidé leur retraite pour les générations concernées par l'EIC 2009. On considère dans Aphrodite que les individus de plus de 60 ans ont en fait 60 ans lorsqu'on leur applique les coefficients pour l'estimation des probabilités de transition.

<sup>8</sup> Voir le document 6 de la séance du COR du 4 mai 2011, « L'effet horizon : de quoi parle-t-on ? », P. Aubert, Drees (2011).

<sup>9</sup> Par exemple, dans le cas de la réforme 2010 (passage de l'âge d'ouverture des droits de 60 ans à 62 ans et de l'âge d'annulation de la décote de 65 à 67 ans), les probabilités sont décalées à long terme de 2 ans, de façon conventionnelle, ces 2 ans correspondant à la distance entre les nouveaux âges légaux et les anciens âges légaux de la retraite (60 ans et 65 ans). L'effet horizon est supposé monter en charge progressivement, au même rythme que la réforme, puisque le décalage de l'âge d'ouverture des droits dépend de la génération de l'individu.

**Encadré : hypothèse de modélisation des trajectoires professionnelles**

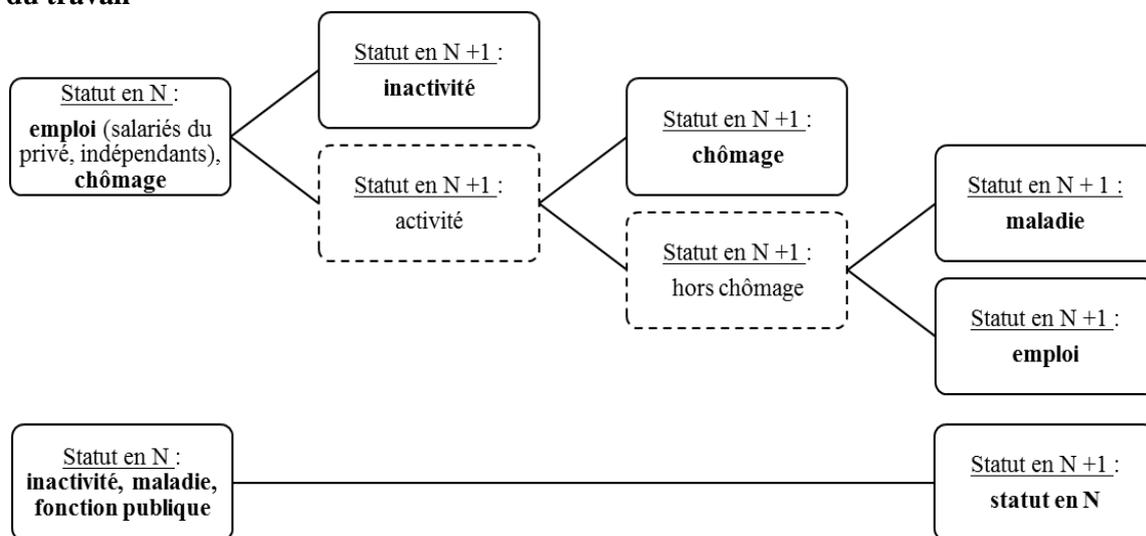
Les hypothèses de modélisation retenues sont les suivantes :

- Les transitions vers la retraite sont exclues de l'échantillon pour l'estimation.
- Les personnes bénéficiant du dispositif de dispense de recherche d'emploi (DRE) sont considérées comme inactives pour estimer les transitions d'un statut à un autre.
- Les probabilités de transition des salariés du privé et des indépendants sont estimées dans le même modèle.
- Par souci de parcimonie, toutes les transitions ne sont pas autorisées après 55 ans : en particulier, il n'y a pas de transition possible d'un statut d'emploi à un autre (du privé vers le public par exemple) et un individu au chômage qui reprend un emploi ne peut qu'occuper son dernier emploi ; les inactifs, les personnes en arrêt maladie et les employés du secteur public sont supposés conserver leur statut jusqu'à la liquidation de leur retraite.

On estime donc sur l'EIC quatre modèles (un modèle par sexe sur les salariés du privé et indépendants et un modèle par sexe sur les chômeurs), les autres assurés conservant leur statut jusqu'à leur retraite (cf. *supra*). Dans chacun de ces quatre modèles, les probabilités de transition sont estimées par un modèle de « logits emboîtés », c'est-à-dire un enchaînement d'équations dites « logistiques<sup>10</sup> » qui prend la forme d'un arbre de décision (cf. Graphique 2). Chaque nœud de l'arbre représente une alternative à l'issue de laquelle la modélisation peut s'arrêter (traits pleins dans le graphique) ou continuer (traits pointillés dans le graphique) :

1. Dans un premier temps, le modèle sélectionne les assurés devenant inactifs.
2. Ensuite, parmi ceux n'étant pas devenus inactifs, le modèle sélectionne ceux devenant chômeurs.
3. Enfin, pour ceux n'étant devenus ni chômeurs ni inactifs, il sélectionne ceux devenant malades.
4. Le reste des assurés reste ou passe en emploi.

**Graphique 3 : Arbre de décision pour l'estimation des probabilités de transition sur le marché du travail**



*Lecture : un individu en emploi à l'âge N peut rester en emploi ou devenir inactif, chômeur ou malade à l'âge N+1. Un individu inactif à l'âge N le reste à l'âge N+1.*

<sup>10</sup> Dans un modèle logistique ou logit, on modélise une variable binaire qui représente la survenue d'un événement. La probabilité pour un individu *i* de l'événement *k* vaut :

$$P_i(k) = \frac{e^{\beta X_i}}{1 + e^{\beta X_i}}$$

où *X<sub>i</sub>* est le vecteur des caractéristiques de l'individu *i* et *β* les coefficients du modèle logit.

Ce type de modèle de « logits emboîtés » est particulièrement adapté à la situation étudiée. Dans le cas de la simulation des fins de carrières, un individu ayant une forte probabilité d'aller vers l'emploi a par exemple vraisemblablement une plus forte probabilité d'aller vers le chômage plutôt que l'inactivité par rapport à un individu qui, toutes choses égales par ailleurs, a une faible probabilité d'aller vers l'emploi. Le « logit emboîté » est le type de modèle économétrique qui permet de tenir compte de ces liens entre les différentes probabilités de transition<sup>11</sup>, et notamment du fait que les individus présents sur le marché du travail (et donc en emploi ou au chômage) partagent plus de caractéristiques que les individus inactifs<sup>12</sup>. La modélisation des fins de carrières est faite par « logits emboîtés » dans plusieurs autres modèles de microsimulation.

Les variables individuelles suivantes ont été retenues pour l'estimation des modèles :

- le nombre d'années en emploi, au chômage et en inactivité durant les 15 dernières années, ainsi que le nombre d'années consécutives passées dans le dernier état depuis le début de la carrière ; ces variables permettent de rendre compte à la fois de la forte persistance des situations individuelles et de la propension à faire des allers-retours entre les états (entre chômage et emploi).
- une indicatrice pour chaque âge entre 55 et 60 ans (l'indicatrice pour 60 ans correspondant à un âge supérieur ou égal à 60 ans) ;
- le statut de cadre (pour les salariés du privé) ;
- le statut d'indépendant.

Ces variables font l'objet d'une sélection, notamment pour tenir compte de leurs corrélations<sup>13</sup>. A noter que les variables ont été choisies davantage pour avoir une vue d'ensemble sur les probabilités de transition plutôt que pour identifier les effets propres de chacune de ces variables qui présentent de légères corrélations entre elles. A cet égard, les coefficients issus de l'estimation doivent être interprétés avec une certaine prudence même s'ils sont conformes à l'intuition (*cf.* Annexe).

Enfin, les résultats de l'estimation sont robustes à des changements de la plage temporelle considérée pour les variables relatives aux précédents statuts sur le marché du travail (nombre d'années en emploi durant les quinze dernières années, nombre d'années au chômage durant les cinq dernières années, nombre d'années en inactivité durant les cinq dernières années).

Enfin, les salaires de fin de carrière sont simulés de façon simplifiée : les seniors bénéficient de la hausse des salaires lorsqu'ils sont en emploi. Ainsi tant qu'un individu reste en emploi, son salaire évolue comme le SMPT. S'il retrouve un emploi après une période de chômage ou d'activité, il conserve son dernier salaire, revalorisé selon l'inflation cumulée durant toutes les années où il n'a pas perçu de salaire.

<sup>11</sup> Techniquement, on dit que le modèle ne vérifie pas l'hypothèse d'indépendance des alternatives non pertinentes, qui traduit le fait que le rapport entre deux probabilités associées à deux événements particuliers est indépendant des autres événements. Voir par exemple : Afsa Essafi C. (2003), « Les modèles logit polytomiques non ordonnés : théorie et applications », *Document de travail* de la Direction des statistiques démographiques et sociales de l'Insee, n°0301.

<sup>12</sup> Une autre modélisation, le modèle dit « logit multinomial », dans lequel les 4 alternatives (inactivité, chômage, maladie ou emploi) sont mises sur le même plan, aurait pu être envisagée. Toutefois ce type de modèle ne permet pas de tenir compte de ces liens entre les probabilités de transition ; à titre d'exemple, ce modèle suppose que la probabilité d'aller vers le chômage plutôt que l'inactivité est indépendante de la probabilité d'aller vers l'emploi. Or, plus une personne a de chance d'aller en emploi moins elle risque en moyenne de passer dans l'inactivité plutôt qu'au chômage car elle est plus « proche » du marché du travail.

<sup>13</sup> Par exemple, pour les personnes en emploi, la durée passée dans le dernier état et la durée passée en emploi sont corrélées : pour un assuré qui a passé 5 ans au chômage puis 10 ans en emploi, les deux variables valent 10. Pour réduire les problèmes d'identification des effets de chaque variable posés par ces corrélations, on enlève la variable de durée passée en emploi des modèles des personnes en emploi et réciproquement pour les assurés au chômage. Par ailleurs, toutes les variables ne sont pas significatives et sont parfois écartées lors de l'estimation du modèle.

### 3.3. Départ à la retraite et calcul des pensions

À partir des trajectoires issues du générateur de biographies de Destinie et de la simulation des fins de carrières réalisée par Aphrodite, le modèle simule l'âge de liquidation de la retraite pour chaque individu de l'échantillon, qui dépend de l'âge et du nombre de trimestres validés. Parmi les dispositifs permettant un départ anticipé à la retraite, le modèle simule uniquement les départs pour carrière longues et pour inaptitude. Le modèle applique ensuite la législation retenue pour calculer la pension à la liquidation et la fait évoluer selon les règles de revalorisation considérées jusqu'au décès de l'individu.

L'hypothèse comportementale de recherche du taux plein (par l'âge ou la durée) se justifie au regard des comportements observés<sup>14</sup> : au sein de la génération 1950, près de huit retraités sur dix ont liquidé leur pension de retraite au taux plein, et seulement 7 % d'entre eux ont subi une décote tandis que 12 % ont bénéficié d'une surcote<sup>15</sup>. L'atteinte du taux plein reste également un motif majeur déclaré de départ (cité par les trois quarts des nouveaux retraités), avec l'atteinte de l'âge minimum de la retraite et la volonté de profiter de sa retraite le plus longtemps possible<sup>16</sup> (pour lesquels le départ peut également se faire à taux plein). Par ailleurs, l'existence d'un comportement de « recherche du taux plein » a été mise en lumière par plusieurs études (par exemple Aubert, 2009<sup>17</sup> et Bozio, 2011<sup>18</sup> sur le régime général).

C'est pourquoi le module de « départ au taux plein » est celui qui est principalement utilisé dans Aphrodite<sup>19</sup> : il est fait l'hypothèse conventionnelle qu'un individu liquide sa pension dès qu'il atteint le taux plein, en remplissant soit la condition de durée d'assurance de référence, soit la condition de l'âge d'annulation de la décote. Cette date est déterminée par le modèle à partir de la carrière de l'individu année. A noter que le modèle Aphrodite ne modélise pas les dispositifs de cumul d'un emploi et d'une retraite et n'autorise qu'une seule date de liquidation par individu. On fait donc l'hypothèse que les poly-pensionnés liquident à la date où ils atteignent le taux plein dans leur régime principal (défini comme le régime où ils ont cumulé le plus de trimestres)<sup>20</sup>.

Une fois l'âge de liquidation déterminé, le module « calcul des pensions » d'Aphrodite permet de calculer pour chaque individu, sur la base de la législation de chacun des régimes implémentés, le montant de sa pension de base, des pensions complémentaires et des compléments de pension s'il est éligible au minimum contributif (ou minimum garanti dans la fonction publique) ou aux majorations de pensions pour enfants.

### 3.4. Mortalité et réversion

Les informations sur les mariages, les divorces et les décès issues des bases biographiques fournies par l'Insee permettent de modéliser les pensions de réversion. Les pensions de réversion sont calculées pour quatre mariages successifs éventuels, avec application des éventuelles conditions (de ressources, de non-

---

<sup>14</sup> Voir la séance du COR du 21 mars 2019, « Les comportements de départ à la retraite ».

<sup>15</sup> Source : Drees, Les retraités et les retraites, édition 2019, coll. « Études et statistiques ».

<sup>16</sup> Source : Drees et SG-COR « Âge idéal, âge effectif et motivations de départ à la retraite selon les niveaux de pension », séance du 21 mars 2019.

<sup>17</sup> Voir : Aubert P. (2009), « Allongement de la durée requise pour le taux plein et âge de départ en retraite des salariés du secteur privé : une évaluation de l'impact de la réforme des retraites de 1993 », document pour le Conseil d'orientation des retraites, séance plénière de juillet 2010 : « Effets des réformes récentes sur les comportements de départ à la retraite ».

<sup>18</sup> Voir : Bozio A. (2011), « La réforme des retraites de 1993 : l'impact de l'augmentation de la durée d'assurance », *Économie et Statistique* n°441-442, p. 39-54.

<sup>19</sup> D'autres comportements de départ peuvent être modélisés, notamment le départ en retraite dès l'âge légal ou pour atteindre un taux de remplacement ou montant de pension cible.

<sup>20</sup> Par conséquent, toutes les pensions ne sont pas *stricto sensu* liquidées au taux plein dans ce module : il est possible que si les règles d'un éventuel régime secondaire sont plus ou moins avantageuses que celles de leur régime principal, les individus liquident cette autre pension avec surcote ou décote. Cependant, avec la convergence des règles des régimes mises en place depuis 2003, en pratique la plupart des régimes ont les mêmes conditions de durée d'assurance et d'âges légaux et les pensions sont calculées dans les mêmes conditions quel que soit le régime.

remariages, de durée de mariage etc.) selon la législation en vigueur au moment du décès. Le champ des pensions de réversion diffère légèrement entre Aphrodite et le modèle de l'Insee : les conditions retenues sont notamment un peu plus strictes (par exemple, l'Insee ne modélise pas le partage de la pension entre les ex-conjoints).

Pour les assurés décédés avant d'avoir liquidé, le modèle calcule la « pension fictive » qu'ils auraient eue au moment de leur décès, ensuite utilisée pour calculer la pension de réversion du conjoint survivant. Ces pensions fictives sont calculées à taux plein sur la base des salaires observés et d'un coefficient de proratisation qui reflète la durée validée par le défunt.

#### **4. Méthodes de validation du modèle et contrôles de cohérence**

Le programme d'Aphrodite présente plusieurs méthodes de validation interne. En effet, une programmation orientée « objet » avec le logiciel R a été retenue<sup>21</sup>. Ce choix méthodologique centre l'analyse autour d'un objet, une matrice d'individus, auquel est associé un ensemble de fonctions et de méthodes ; il facilite l'organisation du code informatique, découpé en plusieurs modules distincts. Dans ce cadre, toute modification d'objet (qui intervient au cours des différents modules) est soumise à une fonction de vérification, qui déclenche une erreur si la modification ne satisfait pas à certains critères de cohérence interne.

En matière de cohérence externe, Aphrodite réalise un calage sur le taux d'activité et sur le taux de chômage, à partir de cible par sexe et par tranches d'âges quinquennales, pour chaque année simulée. Pour respecter les hypothèses macroéconomiques, le statut sur le marché du travail de certains individus peut être modifié à la marge, en tenant compte de leurs probabilités de transition individuelles<sup>22</sup> : ainsi, si le modèle a simulé trop d'individus inactifs, on retire de l'inactivité ceux ayant la plus faible probabilité de devenir inactifs, et on leur attribue leur dernier statut en activité ; de même, si trop peu d'individus au chômage ont été simulés, ce sont les individus actifs ayant la plus forte probabilité de connaître un épisode de chômage qui sont sélectionnés pour le calage. Les statuts des individus pour l'année suivante sont alors recalculés en tenant compte du statut passé calé, afin de préserver la cohérence des trajectoires professionnelles. Les salaires font aussi l'objet d'un calage sur le SMPT par tranches d'âges.

#### **5. Un cas d'usage du modèle : effet de l'accord Agirc-Arrco d'octobre 2015 sur le solde du système de retraite<sup>23</sup>**

Face au risque d'épuisement de leurs réserves financières qui, sans mesures supplémentaires, aurait pu intervenir dès 2018 pour l'Agirc et dès 2027 pour l'Arrco, les partenaires sociaux ont conclu un accord sur un ensemble de mesures d'amélioration des comptes le 30 octobre 2015. Les mesures décidées dans le cadre de cet accord ont concerné : (i) le niveau des pensions servies aux assurés, (ii) l'âge de liquidation via des incitations à décaler son départ à la retraite, (iii) la gouvernance du système avec la fusion du régime des cadres et du régime des non-cadres et (iv) les cotisations acquittées.

- Les mesures concernant le niveau des pensions, mises en œuvre entre 2016 et 2018, font porter une partie de l'ajustement sur les retraités actuels, en contenant le dynamisme des pensions déjà liquidées, et une partie sur les retraités futurs, en baissant la générosité du régime à long terme.
- Les incitations à poursuivre son activité (« coefficients de solidarité » et « coefficients majorants ») devraient permettre d'augmenter l'âge de liquidation et d'augmenter la population

---

<sup>21</sup> Voir Blanchet D. (2014), « La microsimulation dynamique : principes généraux et exemples en langage R », Document de travail de l'Insee, M 2014/01.

<sup>22</sup> Ce choix est intuitif mais présente l'inconvénient de modifier les effectifs dans les statuts corrélés à l'activité et au chômage. A titre d'exemple, le recalage à la hausse des taux d'activité se fait par modification des individus inactifs qui ont une forte probabilité de devenir actifs, ce qui concerne davantage les individus malades ou en congé maternité que les inactifs purs. Le calage sur le taux d'activité modifie ainsi proportionnellement le nombre d'individus en maladie/maternité.

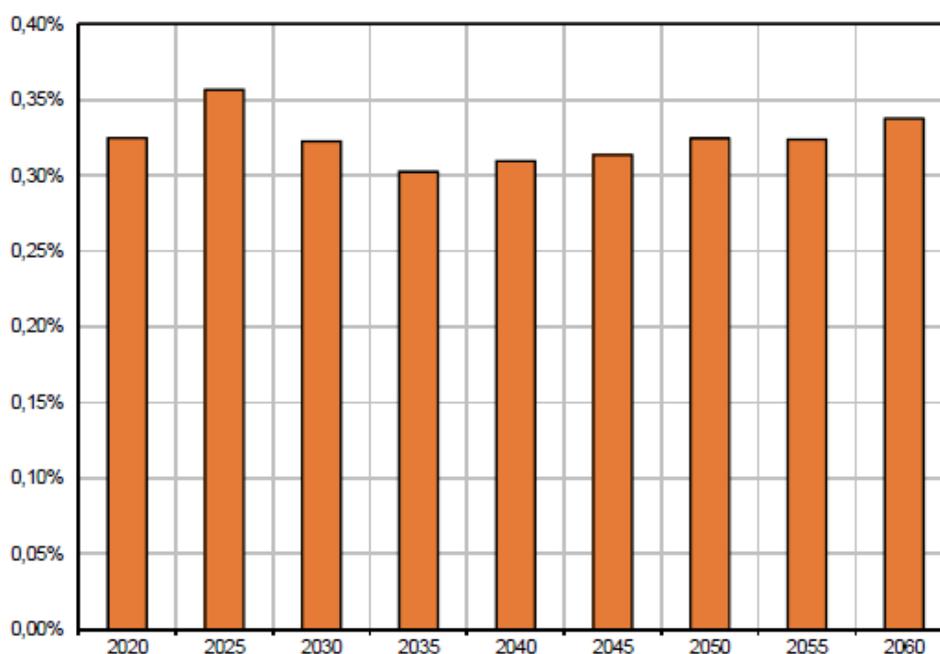
<sup>23</sup> Trésor-Eco n°178 : « L'accord Agirc-Arrco d'octobre 2015 améliore le solde du système de retraite de 0,3 point de PIB entre 2020 et 2060 », août 2016.

active d'environ 100 000 personnes en 2025 ce qui permettrait en retour de percevoir plus de cotisations.

- Par ailleurs, la fusion des régimes Agirc et Arrco à partir de 2019 simplifie le système de retraite et permet de réaliser des économies en gestion. Dans ce nouveau régime unifié, l'assiette des cotisations est élargie et certains taux de cotisations sont augmentés.

L'ensemble de ces mesures aurait permis d'améliorer le solde de l'ensemble des régimes de retraite de 0,3 point de PIB dès 2020 (cf. graphique 2), selon les projections de la DG Trésor réalisées avec le modèle de microsimulation des retraites Aphrodite. Cette amélioration se maintiendrait jusqu'à l'horizon de la projection en 2060. L'évaluation présentée ici est globalement cohérente avec l'estimation à horizon 2030 présentée dans le texte de l'accord entre les partenaires sociaux.

**Graphique 2 : effet sur le solde du système de retraite de l'accord Agirc-Arrco (en % du PIB)**



Source : modèle Aphrodite, DG Trésor.

**Annexe : interprétation des résultats de probabilités de transitions sur le marché du travail en fin de carrière**

L'estimation des transitions sur le marché du travail après 55 ans par la méthode des « logits emboîtés » montre que pour les femmes salariées du privé ou indépendantes, avoir eu une période récente de chômage ou d'inactivité est associé à des probabilités plus faibles de conserver ou de retrouver un emploi (cf. Tableau 1). Les statuts de cadre ou d'indépendante sont au contraire associés avec une plus grande chance de conserver son emploi. La probabilité de conserver son emploi diminue également avec l'âge. On trouve des résultats semblables pour les hommes (cf. Tableau 2).

**Tableau 1 : Effet des coefficients sur les probabilités de transition simulées pour les femmes salariées du privé ou indépendantes**

	Transition vers :			
	Emploi	Chômage	Inactivité	Maladie
<b>Probabilité moyenne à 55 ans</b>	<b>93%</b>	<b>4%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>
Effet de :				
une année supp. dans le même statut d'emploi	0%	0%	0%	0%
une année supp. de chômage dans les 5 dernières années	-3%	2%	0%	0%
une année supp. d'inactivité dans les 5 dernières années	-1%	0%	1%	0%
être cadre	4%	-3%	-1%	-1%
être travailleuse indépendante	4%	-2%	-2%	-1%
avoir 56 ans	-1%	0%	0%	0%
avoir 57 ans	-2%	0%	1%	0%
avoir 58 ans	-2%	2%	0%	1%
avoir 59 ans	-2%	2%	-1%	0%
avoir 60 ans	-4%	0%	5%	0%
<b>Répartition à 55 ans</b>	<b>69%</b>	<b>5%</b>	<b>22%</b>	<b>3%</b>

*Source : modèle Aphrodite, DG Trésor ; estimation à partir de l'EIC 2009.*

*Lecture : une femme de 55 ans ayant les caractéristiques moyennes des femmes salariées du privé ou travailleuses indépendantes a 93 % de chance de conserver son statut dans la simulation faite par Aphrodite. Elle a 4 % de risque de devenir chômeuse, 3 % inactive et 1 % malade. Une femme ayant les mêmes caractéristiques mais 58 ans (au lieu de 55 ans) a 91 % (93 % - 2 %) de chance de conserver son emploi, 6 % de risque de devenir chômeuse, 3 % inactive et 2 % malade.*

**Tableau 2 : Effet des coefficients sur les probabilités moyennes de transition simulées pour les hommes salariés du privé ou indépendants**

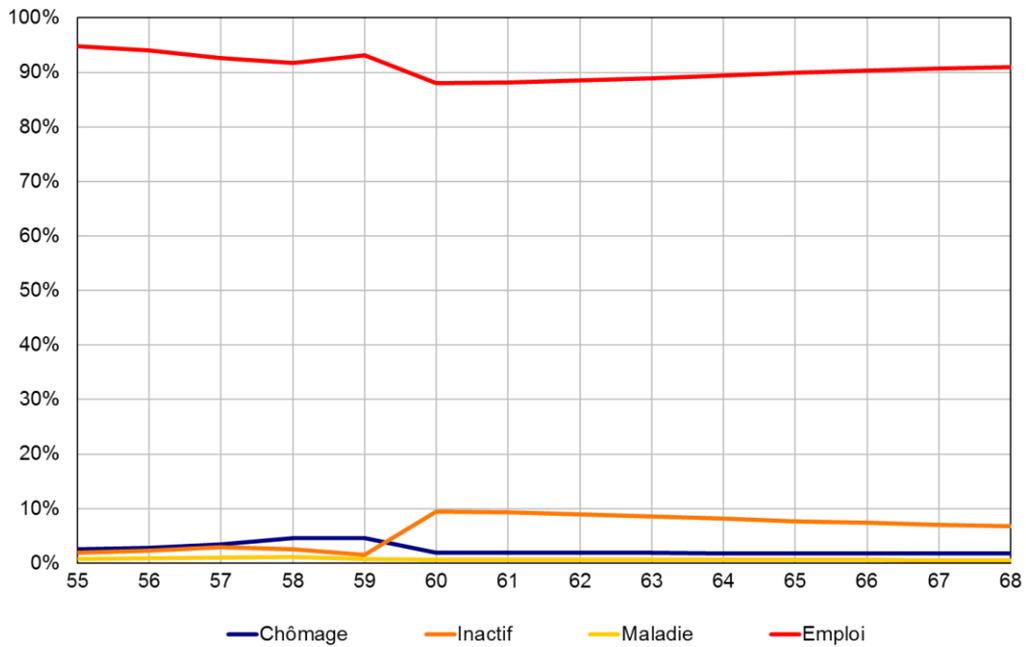
	Transition vers :			
	Emploi	Chômage	Inactivité	Maladie
<b>Probabilité moyenne à 55 ans</b>	<b>93%</b>	<b>4%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>
Effet de :				
une année supp. dans le même statut d'emploi	0%	0%	0%	0%
une année supp. de chômage dans les 5 dernières années	-3%	3%	0%	0%
une année supp. d'inactivité dans les 5 dernières années	-2%	1%	1%	0%
être cadre	5%	-3%	-1%	-1%
être travailleur indépendant	5%	-3%	-1%	-1%
avoir 56 ans	-2%	1%	1%	0%
avoir 57 ans	-3%	2%	1%	0%
avoir 58 ans	-5%	4%	1%	0%
avoir 59 ans	-2%	3%	0%	0%
avoir 60 ans	-12%	-3%	14%	0%
<b>Répartition à 55 ans</b>	<b>77%</b>	<b>5%</b>	<b>12%</b>	<b>6%</b>

Source : modèle Aphrodite, DG Trésor ; estimation à partir de l'EIC 2009.

Lecture : un homme de 55 ans ayant les caractéristiques moyennes des hommes salariés du privé ou indépendant a 93 % de chance de conserver son statut dans la simulation faite par Aphrodite. Il a 4 % de risque de devenir chômeur, 2 % inactif et 1 % malade. Un homme ayant les mêmes caractéristiques mais 58 ans (au lieu de 55 ans) a 88 % (93 % - 5 %) de chance de conserver son emploi, 8 % de risque de devenir chômeur, 3 % inactif et 1 % malade.

Les probabilités moyennes de rester en emploi ou de connaître un épisode de chômage décroissent avec l'âge, quand la probabilité de devenir inactif augmente (cf. Graphique 4 pour les travailleurs indépendants et les salariés du privé). L'évolution de ces probabilités avec l'âge découle de l'effet direct de l'âge simulé par le modèle mais aussi de l'évolution des autres variables du modèle avec l'âge. Les probabilités sont supposées stables après 60 ans par construction du modèle (cf. *supra*). Il n'y a donc plus d'effet direct de l'âge après 60 ans, mais les probabilités individuelles continuent d'évoluer sous l'effet de la modification des autres variables qui évoluent avec l'âge (comme la durée en emploi par exemple).

**Graphique 4 : Probabilités moyennes de transition des salariés du privé et des indépendants (hommes et femmes)**



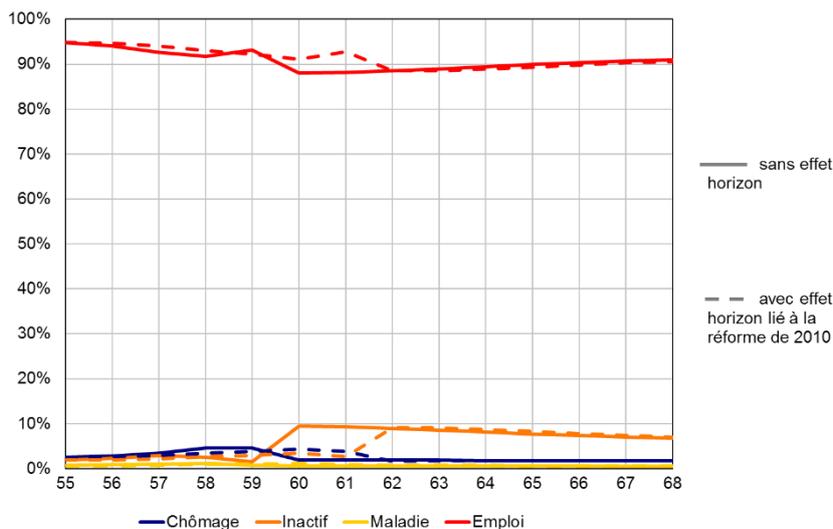
Source : modèle Aphrodite, DG Trésor ; modèle Destinie, Insee (données biographiques).

Note : moyenne sur toutes les générations simulées.

Lecture : la probabilité moyenne pour un salarié du privé ou un indépendant de 60 ans de garder son statut est de 88 %.

La prise en compte de l'effet horizon décrite *supra* a pour effet de prolonger de deux ans la phase où la probabilité de rester en emploi est la plus haute (cf. Graphique 5).

**Graphique 5 : Probabilités moyennes de transition des salariés du privé et des indépendants, selon l'effet horizon utilisé**



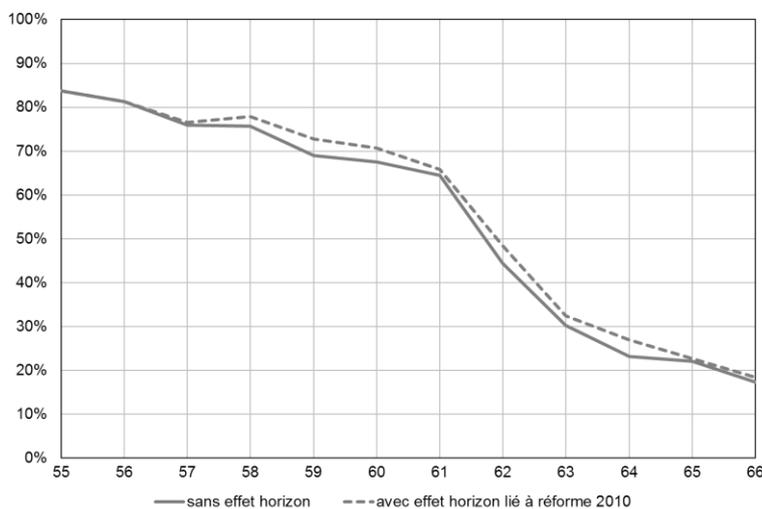
Source : modèle Aphrodite, DG Trésor ; modèle Destinie, Insee (données biographiques).

Note : moyenne sur toutes les générations simulées.

Lecture : si aucun effet horizon n'est pris en compte, la probabilité pour un salarié du privé ou un travailleur indépendant de 61 ans de garder son statut est de 88 %. En prenant en compte un effet horizon lié à la réforme 2010, cette probabilité passe à 93 %.

Le décalage des probabilités de transition se traduit par une hausse des taux d'emploi et d'activité à chaque âge. La hausse du taux d'emploi serait de 2 points en moyenne entre 57 ans et 66 ans en 2040 (cf. Graphique 6).

**Graphique 6 : Taux d'emploi par âge en 2040, selon l'effet horizon utilisé**



Source : modèle Aphrodite, DG Trésor ; modèle Destinie, Insee (données biographiques).

Note : législation 2016, scénario B du COR.

Lecture : le taux d'emploi à 62 ans en 2040 serait de 44 % si l'on se base sur les probabilités de transition observées récemment. En prenant en compte l'effet horizon lié à la réforme 2010, il passerait à 48 %.