



Le modèle de microsimulation dynamique des retraites Aphrodite

Julia CUVILLIEZ

Thomas LAURENT

LE MODÈLE DE MICROSIMULATION DYNAMIQUE DES RETRAITES APHRODITE

Julia CUVILLIEZ*

Thomas LAURENT**

Ce document de travail n'engage que ses auteurs. L'objet de sa diffusion est de stimuler le débat et d'appeler commentaires et critiques.

* **Julia CUVILLIEZ** est en poste à la Direction Générale du Trésor du Ministère des Finances et des Comptes publics et du Ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique (France)

julia.cuvilliez@dgtresor.gouv.fr (+33-1-44-87-17-20)

** **Thomas LAURENT** est en poste à la Direction Générale du Trésor du Ministère des Finances et des Comptes publics et du Ministère de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique (France)

thomas.laurent@dgtresor.gouv.fr (+33-1-44-87-18-74)

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	3
Abstract	3
Remerciements	3
Introduction	4
1 Le système de retraite français : vue d'ensemble et législation	5
1.1 Le système de retraite français : éléments de cadrage financier	5
1.2 Un système de retraite basé sur une multiplicité de régimes	5
1.3 Les déterminants de l'âge de départ à la retraite : âges légaux de la retraite et durée d'assurance.....	7
1.4 Principes généraux du calcul des pensions de retraite	9
2 Structure générale d'Aphrodite	13
2.1 Projeter l'évolution du système de retraite : panorama des modèles.....	13
2.2 Structure générale d'Aphrodite.....	14
2.3 Simulation des fins de carrières	17
2.4 Simulation du départ à la retraite et calcul de la pension.....	26
3 Les applications du modèle Aphrodite : projections de l'évolution du système de retraite	30
3.1 Projeter l'évolution du système de retraite : approche par microsimulation	31
3.2 Projeter l'évolution du système de retraite : approche sur cas-types	36
4 Les applications du modèle Aphrodite : simuler des réformes	38
4.1 Effet des réformes de retraites mises en œuvre depuis 2010.....	38
4.2 Modification des règles de calcul des pensions sur le régime général.....	39
4.3 Sensibilité des projections financières du système de retraite à l'hypothèse de comportement de départ à la retraite retenue.....	41
4.4 Bouclage macroéconomique à l'aide du modèle macroéconomique Mésange.....	42
Bibliographie	44

Résumé

La direction générale du Trésor a développé le modèle Aphrodite de microsimulation dynamique des retraites. 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.) en fonction d'hypothèses préalablement définies concernant le contexte macroéconomique et démographique. Le modèle Aphrodite permet également d'évaluer *ex ante* des réformes du système des retraites. Enfin, l'utilisation conjointe d'Aphrodite avec le modèle macroéconométrique Mésange développé conjointement par la direction générale du Trésor et l'Insee permet d'évaluer les interactions du système de retraite avec la macroéconomie. Le modèle permet ainsi d'éclairer la décision publique sur le sujet des retraites. Ce document de travail présente les principes de construction et les utilisations possibles du modèle.

Mots-clés : retraite, microsimulation dynamique, politique économique.

Classification JEL : C51, C81, H55, J11, J18, J26

Abstract

The Directorate General of the Treasury has developed a dynamic microsimulation model of pensions called Aphrodite. Based upon a representative sample of the French population, the Aphrodite model simulates the evolution of the pension system (pension expenditures, retirement behaviours, replacement rates, etc.) according to pre-defined macroeconomic and demographic assumptions. The model can also be used to analyse *ex ante* reforms of the pension system. Furthermore, the concomitant use of Aphrodite with the macroeconomic model Mésange allows to study the interactions of the pension system with the macroeconomy. Given its different uses, the Aphrodite model constitutes a decision-making tool regarding the pension system. This paper presents the constructions principles and the potential uses of the model.

Key words: pension, dynamic microsimulation, economic policy.

JEL classification numbers: C51, C81, H55, J11, J18, J26

Remerciements

Les auteurs remercient tous les adjoints et chefs du bureau Polsoc3 « Retraites et redistribution » qui ont contribué au développement du modèle Aphrodite : Franck Arnaud, Boris Guannel, Geoffrey Lefevbre, Anaïs Le Gougec, Pierre Lissot, Marie Magnien et Chloé Tavan, sans qui ce travail n'aurait pas pu voir le jour. Les auteurs remercient également Nicolas Ferrari qui a développé le modèle Vénus qui a inspiré le modèle Aphrodite. La finalisation du modèle doit également beaucoup à l'excellent travail de Stanislas de La Rivière et Ludovic Lelièvre durant leur stage à Polsoc3. Enfin, les auteurs remercient particulièrement Malik Koubi, Yves Dubois et Fanny Godet pour avoir permis une collaboration productive entre la DG Trésor et l'Insee.

Introduction

Les dépenses de protection sociale liées au risque vieillesse-survie représentent environ 14,5 % du PIB en 2013, soit plus de 300 Md€. Dans le contexte actuel de vieillissement de la population, l'évolution des dépenses de retraite constitue un enjeu important pour la France. La direction générale du Trésor a développé le modèle Aphrodite de microsimulation dynamique des retraites couvrant les différents régimes de retraite publique : salariés du privé, salariés du public, travailleurs indépendants.

Les modèles originels de projection des dépenses de retraite raisonnaient sur des individus moyens. C'était le principe de construction du modèle de projection par cohorte Margaret, construit par la Direction de la Prévision et mobilisé par exemple dans le cadre de la rédaction du livre blanc sur les retraites en 1991. Au début des années 2000, la DG Trésor utilisait la maquette Mars, dans laquelle la population étudiée était représentée par deux individus moyens (une femme et un homme) pour simuler le fonctionnement des régimes de base et complémentaire des salariés du privé. En 2007, la DG Trésor a développé une nouvelle maquette de projection des dépenses de retraite des salariés du secteur privé, le modèle Vénus, qui augmentait l'hétérogénéité des individus dans le modèle : cette maquette fonctionnait sur des cas-types représentatifs de la population.

La DG Trésor utilise désormais un modèle de microsimulation dynamique : le modèle Aphrodite. Celui-ci s'appuie sur un échantillon représentatif de la population française qui contient des informations nécessaires pour le calcul des retraites (statuts, salaires, passages par le chômage ou l'inactivité, nombre d'enfants, etc.) pour chaque année jusqu'en 2060. À partir de ces biographies individuelles, le modèle Aphrodite simule les départs à la retraite, calcule les pensions à la liquidation et les fait évoluer jusqu'au décès de l'individu en fonction d'un certain nombre d'hypothèses démographiques, macroéconomiques, législatives et comportementales. Les modèles de microsimulation dynamique des retraites se sont développés progressivement en France, à l'initiative des administrations publiques, des régimes de retraite ou des instituts de recherche : on peut citer le modèle Destinie de l'Insee, le modèle Trajectoire de la Drees, le modèle PensIPP de l'Institut des politiques publiques ou encore le modèle Prisme de la Cnav.

Le modèle Aphrodite permet de projeter l'évolution du système de retraite et d'évaluer les effets *ex ante* de réformes des retraites. Lorsqu'il est associé avec d'autres modèles, le modèle Aphrodite permet aussi d'évaluer les interactions du système de retraite avec la macroéconomie, ce qui est assez novateur dans le panorama des analyses existantes.

Ce document de travail est organisé de la façon suivante. La première partie donne une vue d'ensemble du système de retraite, en présentant les principaux éléments de cadrage démographiques, financiers et législatifs. La deuxième partie décrit la structure générale du modèle Aphrodite, en détaillant les différentes étapes de construction. La troisième partie est consacrée à la présentation des résultats de la projection réalisée à législation constante, concernant en particulier l'évolution du poids des dépenses de retraite d'ici 2060. Enfin, la dernière partie conclut en illustrant des exemples d'utilisation du modèle sur quelques variantes législatives et comportementales, et présente les possibilités d'utilisation conjointe d'Aphrodite avec d'autres modèles.

1 Le système de retraite français : vue d'ensemble et législation

1.1. Le système de retraite français : éléments de cadrage financier

Les dépenses de protection sociale liées au risque vieillesse-survie représentent environ 308 Md€ en 2013, soit près de 14,5 % du PIB. Les pensions de droit direct, les pensions de droit dérivé (ou pensions de réversion) et le minimum vieillesse sont les trois principaux types de pensions servies par le système de retraite français¹ (cf. Tableau 1). Les pensions de droit direct, celles simulées par le modèle Aphrodite, représentent près de 95 % des dépenses du risque vieillesse, et 83 % des dépenses du risque vieillesse-survie, soit près de 255 Md€ en 2013.

Tableau 1 : le poids des dépenses publiques de retraite en 2013

	Montants (millions € courants, base 2010)	Poids dans le PIB (% PIB)	Évolution 2012-2013 (€ courants, base 2010)
Risque vieillesse-survie	307 541	14,5 %	3,1 %
Risque vieillesse	269 973	12,8 %	3,3 %
Pensions de droit direct	255 231	12,1 %	3,5 %
Minimum vieillesse	2 971	0,1 %	0,3 %
Prestations liées à la dépendance	8 210	0,4 %	0,9 %
Autres prestations vieillesse	3 560	0,2 %	-2,9 %
Risque survie	37 568	1,8 %	1,8 %
Pensions de droit dérivé	35 526	1,7 %	1,7 %
Minimum vieillesse	244	0,0 %	-5,4 %
Autres prestations survie	1 798	0,1 %	4,9 %

Source : comptes de la protection sociale (base 2010) de la Drees.

Note : pour plus de détails, se reporter à La protection sociale en France et en Europe en 2013, édition 2015, Drees, coll. « Études et Statistiques », juin 2015.

1.2. Un système de retraite basé sur une multiplicité de régimes

Le système français de retraite publique repose sur un système par répartition. Il est composé d'une trentaine de régimes. Il est fondé, selon une logique professionnelle, sur une mosaïque de régimes de base auxquels s'ajoutent des régimes complémentaires obligatoires. Les assurés sont affiliés, selon leur secteur (industrie, commerce et services ; salariat agricole ; hôpitaux et collectivités locales ; artisanat et commerce ; professions libérales, etc.) et leur statut professionnel (salariat, fonction publique, travailleurs indépendants), à un régime de base et à un régime complémentaire (cf. Tableau 2). Les personnes peuvent cumuler des pensions servies par plusieurs régimes. Cette division du régime de retraite obligatoire en deux parties, les régimes de base et les régimes complémentaires, est une caractéristique française originale en comparaison internationale.

¹ Dans les comptes de la protection sociale, ces dépenses sont classées dans le risque vieillesse-survie qui regroupe toutes les prestations liées à la retraite. Les pensions de droit direct, directement liées à la carrière des individus, sont classées dans le risque vieillesse ; les pensions de droit dérivé, liées à la carrière du conjoint, sont classées dans le risque survie ; le minimum vieillesse est réparti sur ces deux risques.

Au-delà de la pluralité des régimes, la singularité du système de retraite français provient également de la coexistence de régimes de nature différente. En particulier, les salariés du privé sont simultanément affiliés au régime général, qui fonctionne en annuités, et à l'Agirc et l'Arrco, qui fonctionnent par points. Plus généralement, la plupart des régimes de base fonctionnent en annuités, tandis que la plupart des régimes complémentaires fonctionnent par points (*cf. infra*).

Tableau 2 : principaux régimes de retraite

		Régime de base	Régime complémentaire obligatoire
Salariés	Industrie, commerce et services	CNAV	ARRCO pour les non-cadres
	Contractuels du secteur public		ARRCO + AGIRC pour les cadres
	Salariés agricoles	MSA	ARRCO
	Statuts particuliers	Régimes spéciaux (RATP, SNCF, CNIEG, etc.)	
Fonctionnaires	État	FPE	RAFP
	Hôpitaux et collectivités locales	CNRACL	
Travailleurs indépendants	Artisans et commerçants	RSI	RCI
	Exploitants agricoles	MSA	
	Professions libérales	CNAVPL (regroupant 10 régimes de professions libérales), CNBF (avocats), etc.	Régimes complémentaires des professions libérales : CAVP ; CARCDSF ; CARPIMKO ; CARPV ; CAVEC ; CAVAMAC ; CRN ; CAVOM ; CARMF ; CIPAV ; CNBF

Source : GIP info retraite.

La Cnav (Caisse nationale d'assurance vieillesse des travailleurs salariés) et l'Arrco (Association pour le régime de retraite complémentaire des salariés) sont les régimes de base et complémentaire des salariés du privé. Ce sont les deux principaux régimes de retraite, avec chacun 18 millions de cotisants (*cf. Tableau 3*). La Cnav verse près de 100 Md€ pour les pensions de droits directs, et l'Arrco environ 45 Md€. Les retraités dits polypensionnés cumulent des pensions de plusieurs régimes : **en 2013, un retraité sur trois reçoit une pension d'au moins deux régimes de base².**

² Source : Drees, « Les retraités et les retraites », édition 2015, coll. *Études et statistiques*.

Tableau 3 : effectifs de cotisants et de pensionnés, et dépenses de pensions des régimes de retraite en 2014

	Cotisants (milliers)	Pensionnés de droit direct (milliers)	Dépenses de droit direct (millions €)
Cnav	17 569	12 862	97 531
CNAVPL	643	262	1 185
MSA salariés	688	1 910	4 657
Arrco	18 140	10 919	44 125
Agirc	4 130	2 344	23 246
FPE	2 046	1 759	43 557
CNRACL	2 223	884	14 506
Régimes spéciaux	544	763	13 786
RSI	2 099	1 588	6 155
MSA exploitants	496	1 442	6 771

Source : comptes de la sécurité sociale 2015, CNAV, Agirc-Arrco.

Note : 1) les effectifs ne peuvent pas être sommés entre régimes : un même assuré peut cotiser ou recevoir une pension dans plusieurs régimes à la fois. 2) Les régimes spéciaux rassemblent le FSPOEIE, la SNCF, la CNIEG, la RATP, la CRPCEN, la CAVIMAC, l'ENIM, la CANSSM, la CNBF. 3) Les dépenses de pensions à l'Agirc et l'Arrco ne sont pas limitées au seul champ des droits directs.

1.3. Les déterminants de l'âge de départ à la retraite : âges légaux de la retraite et durée d'assurance

Dans la plupart des régimes, les droits à la retraite dépendent à la fois de l'âge de l'assuré et de sa durée d'assurance. Dès qu'il a atteint l'**âge d'ouverture des droits** (62 ans à partir de la génération 1955 au régime général, cf. Tableau 4), l'assuré peut liquider sa pension. Il se voit néanmoins appliquer une décote sur sa pension (1,25 % au régime général par trimestre manquant, dans la limite de 20 trimestres) s'il n'a pas validé la **durée d'assurance** de référence de sa génération (43 ans à partir de la génération 1973 au régime général)³. Même s'il n'a pas la durée d'assurance requise, il peut liquider sa pension à taux plein à l'**âge d'annulation de la décote** (67 ans à partir de la génération 1955 au régime général). S'il cotise au-delà de la durée d'assurance, il se voit appliquer une surcote (1,25 % au régime général par trimestre cotisé supplémentaire).

³ L'accord des régimes complémentaires Agirc et Arrco signé en octobre 2015 prévoit, à partir de 2019, la création d'un système de décote et de surcote temporaires (appelés coefficient de solidarité et coefficient majorant), liées à l'âge auquel les assurés obtiennent le taux plein à la Cnav. Ainsi, les assurés liquidant moins d'une année calendaire après cet âge voient leur pensions à l'Agirc et l'Arrco réduites de 10 % pendant 3 ans ou jusqu'à leur 67 ans. Les assurés liquidant entre 1 et 2 ans après cet âge n'ont ni décote ni surcote. Pour chaque année de report supplémentaire, les assurés voient leur pension augmentée de 10 % pendant un an (maximum 30 %).

Au régime général, pour les périodes postérieures au 31 décembre 2013, la règle de calcul de **la durée d'assurance** consiste à rapporter le salaire annuel à la valeur de 150 heures⁴ de Smic, et à retenir la partie entière du quotient ainsi obtenu, dans la limite de 4 trimestres par année civile. Dans la fonction publique, un trimestre est validé dès 45 jours d'activité, toujours dans une limite de 4 trimestres par année. On distingue **la durée d'assurance cotisée**, qui fait référence aux périodes travaillées, de **la durée d'assurance validée**, qui ajoute à la durée cotisée les périodes cotisées par autrui pour le compte de l'assuré (l'assurance vieillesse des parents au foyer – AVPF), les périodes assimilées (pour maladie, maternité, invalidité, chômage) et les majorations de durée d'assurance pour enfants (2 ans par enfant au régime général, 1 an à la fonction publique d'État par exemple). Le nombre de trimestres validés est évalué par année civile : valider des trimestres *via* plusieurs dispositifs (travail, AVPF, maladie, maternité, invalidité, chômage...) ne permet pas de dépasser la limite de 4 trimestres validés par année civile. Les majorations de durée d'assurance pour enfants ne sont en revanche pas attribuées à une année civile en particulier et sont donc toujours comptabilisées dans la durée validée.

Des dispositifs dérogatoires permettent néanmoins de liquider sa pension avant l'âge légal d'ouverture des droits. En particulier, le dispositif de **départ anticipé pour carrières longues**, créé en 2003 puis élargi en 2010 et en 2012, permet de liquider sa retraite avant l'âge légal d'ouverture des droits, à condition d'avoir commencé à travailler jeune (avant 20 ans) et d'avoir cotisé suffisamment de trimestres. La **retraite anticipée pour handicap** abaisse l'âge de la retraite pour les individus qui ont effectué une grande part de leur vie professionnelle en situation d'incapacité permanente d'au moins 50 %. L'âge de la retraite, qui peut être abaissé jusqu'à 55 ans, dépend alors de la durée totale d'assurance validée et cotisée par l'assuré, et la retraite est liquidée à taux plein. Les assurés du régime général et des régimes agricoles peuvent également liquider leur retraite de manière anticipée dans le cadre d'un **départ pour carrière pénible** : l'âge de la retraite est abaissé à 60 ans et la retraite est calculée sur la base du taux plein pour les individus qui justifient d'une incapacité permanente au moins égale à 10 % reconnue au titre d'un accident du travail ou d'une maladie professionnelle. Enfin, la réforme des retraites de 2014 a créé un **compte personnel de prévention de la pénibilité** qui permet aux individus exposés à un ou plusieurs facteurs de pénibilité de liquider leur retraite avant l'âge légal d'ouverture des droits⁵.

Il est également possible grâce à certains dispositifs de partir à taux plein dès l'âge d'ouverture des droits sans disposer de la durée validée. Ainsi, les individus qui atteignent l'âge d'ouverture des droits et qui ont été reconnus inaptes au travail, avec une incapacité permanente d'au moins 50 %, peuvent liquider leur retraite au taux plein dès l'âge d'ouverture des droits, dans le cadre d'un **départ pour inaptitude**. En particulier, les bénéficiaires d'une pension d'invalidité ou de l'allocation aux adultes handicapés perçoivent, en remplacement de ces pensions dès qu'ils atteignent l'âge d'ouverture des droits à la retraite, une pension de retraite pour inaptitude au travail calculée sur la base du taux plein.

⁴ Depuis 1972, le seuil pour valider un trimestre était fixé à 200 heures Smic. La réforme des retraites de 2014 a abaissé ce seuil.

⁵ Les points accumulés peuvent également être utilisés pour des heures de formation professionnelle, ou pour un passage à temps partiel avec compensation salariale.

Tableau 4 : principaux paramètres du régime général (Cnav)

Génération	Âge d'ouverture des droits	Âge d'annulation de la décote	Durée de référence
1948 et avant	60 ans	65 ans	160 trimestres
1949	60 ans	65 ans	161
1950	60 ans	65 ans	162
Janvier à juin 1951	60 ans	65 ans	163
Juillet à décembre 1951	60 ans et 4 mois	65 ans et 4 mois	163
1952	60 ans et 9 mois	65 ans et 9 mois	164
1953	61 ans et 2 mois	66 ans et 2 mois	165
1954	61 ans et 7 mois	66 ans et 7 mois	165
1955, 1956 et 1957	62 ans	67 ans	166
1958, 1959 ou 1960	62 ans	67 ans	167
1961, 1962 ou 1963	62 ans	67 ans	168
1964, 1965 ou 1966	62 ans	67 ans	169
1967, 1968 ou 1969	62 ans	67 ans	170
1970, 1971 ou 1972	62 ans	67 ans	171
1973 et après	62 ans	67 ans	172

La distribution des âges de départ à la retraite est liée aux âges pivots du système de retraite : en 2013, 17,3 % des primo-liquidants d'un droit direct dans un régime de base ont liquidé leur pension à 60 ans, et 14,9 % l'ont fait à 65 ans⁶. En raison du décalage de l'âge d'ouverture des droits lié à la réforme de 2010, les retraités sont aussi très nombreux à avoir liquidé leur pension à 61 ans en 2013 (40 %), qui correspond à l'âge d'ouverture des droits de la génération née en 1952.

La part des bénéficiaires qui liquident avec une surcote a légèrement augmenté ces dernières années : en 2013, elle s'établit à 12,0 % au régime général, et 30,7 % dans la fonction publique d'État civile. La part des liquidations avec décote a également augmenté ces dernières années, mais la décote reste un comportement plus rare que la liquidation au taux plein ou la liquidation avec surcote : 8,2 % au régime général, 16,1 % à la fonction publique d'État civile.

1.4. Principes généraux du calcul des pensions de retraite

Les régimes de base sont pour la plupart des régimes en annuités, alors que les régimes complémentaires sont souvent des régimes à points (avec toutefois des conditions sur l'âge et la durée d'assurance). Les pensions de droit direct sont dites contributives car elles dépendent de la carrière des individus.

Régimes de base :

Dans les régimes de base, sauf exception, la pension est calculée par le produit de trois termes :

$$\text{Pension} = \text{ Salaire de référence} \times \text{taux de liquidation} \times \text{coefficient de proratisation}$$

Au régime général et dans les régimes alignés (RSI, MSA), le salaire de référence est la moyenne des 25 meilleurs salaires annuels au régime général (chaque salaire étant retenu dans la limite du plafond de la sécurité sociale⁷ de l'année concernée). Ces salaires dits « portés au compte » sont revalorisés par l'inflation pour calculer la moyenne sur les 25 meilleures années. **Le taux de liquidation** est de 50 % au régime général si l'individu liquide

⁶ Source : Drees, « Les retraités et les retraites », édition 2015, coll. *Études et statistiques*.

⁷ Le plafond annuel de la sécurité sociale est de 38 616 € en 2016.

au taux plein (par l'âge ou la durée). Ce taux peut être majoré par une surcote (1,25 % par trimestre) si l'individu a validé plus de trimestres que la durée de référence de sa génération. À l'inverse, il est minoré par une décote (1,25 % par trimestre dans la limite de 25 %) pour les individus qui liquident leur pension avant l'âge du taux plein et sans avoir atteint la durée de cotisation de référence. **Le coefficient de proratisation**, plafonné à l'unité, rapporte la durée d'assurance validée par l'individu à la durée de référence de sa génération.

Dans la fonction publique, le **salaire de référence** correspond au traitement indiciaire perçu depuis au moins six mois au moment de la date de cessation d'activité. Les primes, qui peuvent représenter une part substantielle de la rémunération, sont ainsi exclues du calcul de la pension de base des fonctionnaires. Le **taux de liquidation** est de 75 %, potentiellement majoré ou minoré par une surcote ou une décote. **Le coefficient de proratisation** est calculé de la même façon qu'au régime général.

Régimes complémentaires :

Dans les régimes complémentaires à points (Agirc, Arrco, régime complémentaire des indépendants, etc.), les salariés acquièrent chaque année un certain nombre de points dont le prix d'achat est fixé (**valeur d'achat du point** ou salaire de référence) et évolue d'année en année. À l'Agirc et l'Arrco par exemple, les cotisations sont prélevées par tranche en fonction du plafond de la Sécurité Sociale⁸.

Tableau 5 : formules de calcul des cotisations, des points et du taux de rendement des régimes par point

	Formule
Cotisations effectives	= salaire * taux de cotisation effectif
Taux de cotisation effectif	= taux de cotisation contractuel * taux d'appel
Nombre de points acquis	= salaire * taux de cotisation contractuel / valeur d'achat du point
Taux de rendement du régime	= valeur de service / (valeur d'achat * taux d'appel)

Lorsqu'ils liquident leur pension, le nombre de points acquis par les individus tout au long de leur carrière est valorisé selon un prix de vente fixé et qui évolue également d'année en année (**valeur de service du point**). Le ratio entre la valeur de service et la valeur d'achat du point, éventuellement divisé par le taux d'appel si le régime en applique un, définit le rendement du régime (cf. Tableau 5). Plus le taux de rendement est élevé, plus les pensions versées seront élevées en regard des cotisations acquittées. En 2015, à l'Arrco, le taux de rendement instantané est égal à : valeur de service du point (1,2513 €) / valeur d'achat du point (15,2589 €) / taux d'appel (125 %) = 6,56 %.

Les mécanismes de solidarité :

Minimum vieillesse

Le minimum vieillesse, remplacé depuis 2006 pour les nouveaux liquidants par l'allocation de solidarité aux personnes âgées (Aspa) est un minimum social différentiel, destiné à assurer un revenu minimum aux ménages résidents sur le territoire français âgés d'au moins 65 ans et dont les ressources sont en-dessous d'un certain plafond. En 2016, le montant de l'Aspa est de 800 € par mois pour les personnes seules, et 1 242 € par mois pour les couples. Entre 2008 et 2012, un plan de revalorisation de 25 % de l'Aspa pour les personnes seules a été

⁸ Un taux d'appel peut être appliqué au taux de cotisation contractuel, comme c'est le cas à l'Agirc et l'Arrco : la cotisation acquittée est calculée avec le taux effectif de cotisation, mais les points sont acquis sur la base du taux contractuel. Le taux d'appel est fixé à l'Agirc et à l'Arrco à 125 % depuis le milieu des années 1990 : quand le cotisant verse 125 €, seuls 100 € servent à acquérir des droits. L'accord du 30 octobre 2015 prévoit une augmentation à 127 % de ce taux à partir de 2019.

mis en place afin de lutter contre la pauvreté des séniors. L'Aspa a également fait l'objet d'une revalorisation exceptionnelle de 1 % au 1^{er} octobre 2014. Ces revalorisations exceptionnelles expliquent en partie la baisse récente (-3,2 points entre 2008 et 2013) du taux de pauvreté des séniors, qui s'établit désormais sensiblement en-dessous de celui de l'ensemble de la population (7,9 % contre 13,6 % en 2013⁹). La France est ainsi le quatrième État de l'Union européenne pour lequel le risque de pauvreté ou d'exclusion sociale des séniors est le plus faible¹⁰.

En 2013, les dépenses liées au minimum vieillesse ont représenté un peu plus de 3 Md€, soit 0,2 % du PIB. Le minimum vieillesse n'est pas modélisé dans Aphrodite.

Le minimum contributif

Le minimum contributif est un minimum de pension destiné aux assurés du régime général ou des régimes alignés du privé. Créé en 1983, il vise à porter à un minimum le montant des pensions des assurés ayant effectué des carrières faiblement rémunérées. Il n'est ouvert que pour les personnes qui liquident au taux plein. Le minimum contributif est une prestation différentielle qui complète la pension de retraite des régimes de base par deux éléments :

- le minimum proprement dit qui dépend de la durée d'assurance *validée* par l'assuré (629,62 € au 1^{er} octobre 2015 pour une carrière complète ; la valeur est ensuite réduite au prorata du ratio entre la durée validée par l'individu et la durée de référence de sa génération pour les personnes qui liquident au taux plein sans avoir validé tous leurs trimestres, par exemple pour un départ à l'âge d'annulation de la décote) ;
- une majoration, appelée « minimum contributif majoré », qui dépend de la durée d'assurance *cotisée* par l'assuré : cette majoration, réservée aux assurés dont la durée cotisée dépasse 120 trimestres, porte le minimum contributif à 688 € pour une carrière cotisée complète (montant réduit au prorata du ratio entre la durée cotisée par l'individu et la durée de référence de sa génération).

Le minimum contributif est donc un complément de la retraite de base, qui dépend des durées validées et cotisées, alors que le minimum vieillesse est versé indépendamment des droits acquis à la retraite.

Un dispositif proche, appelé minimum garanti, existe dans les régimes de la fonction publique.

Les droits familiaux de retraite

La plupart des régimes de base et complémentaires appliquent des majorations de pension pour les individus qui ont eu (ou élevé) plus de 3 enfants : c'est par exemple le cas au régime général, à l'Agirc et à l'Arrco où la pension est majorée de 10 % pour ces personnes. La pension des personnes peut également être majorée pour d'autres raisons : majoration pour aide constante d'une tierce personne, majoration liée au handicap, majoration pour conjoint à charge, etc.

Les pensions de réversion

Le régime de retraite français prévoit le versement d'une pension de réversion, ou pension de droit dérivé, aux individus dont le conjoint est décédé. Cette pension de réversion est en général calculée comme une fraction de la pension de droit direct de l'individu décédé (54 %

⁹ Source : Conseil d'orientation des retraites (2016), « Évolutions et perspectives des retraites en France », rapport annuel du COR, juin.

¹⁰ Après les Pays-Bas, le Luxembourg et la République Tchèque. Source : Commission européenne et Comité de Protection sociale (2015), "The 2015 Pension Adequacy Report: current and future income adequacy in old age in the EU".

au régime général et dans les régimes alignés, 60 % dans les régimes complémentaires Agirc et Arrco, 50 % dans les fonctions publiques). La pension de réversion peut être soumise à plusieurs conditions qui varient en fonction des régimes¹¹ :

- une condition de non-remariage, comme dans les fonctions publiques (où il ne faut pas non plus vivre en couple), à l'Agirc, à l'Arrco et dans le régime complémentaire des contractuels de la fonction publique ;
- une condition de durée de mariage, comme dans les fonctions publiques (4 ans, ou 2 ans avant la cessation d'activité, sauf si un ou plusieurs enfants sont issus du mariage) ;
- une condition de ressources comme au régime général et au régime des indépendants (en 2016, 20 113,6 € pour une personne seule, 32 181,76 € pour un couple) ;
- une condition d'âge (55 ans au régime général, dans les régimes alignés et à l'Arrco ; 60 ans à l'Agirc).

Les dépenses liées aux pensions de réversion représentent 1,7 % du PIB en 2013, soit 35 Md€ environ. Ces pensions ne sont pas simulées par le modèle Aphrodite.

Indexation des pensions :

Toutes les prestations des régimes alignés, des régimes spéciaux ainsi que le régime de base des professions libérales sont revalorisées chaque année au 1^{er} octobre selon l'évolution de l'indice des prix à la consommation hors tabac¹². L'Aspa est également indexée sur l'évolution de l'indice des prix à la consommation hors tabac, et est revalorisée au 1^{er} avril de chaque année. L'indexation des pensions de la plupart des régimes complémentaires est décidée par accord entre les partenaires sociaux : à l'Agirc et l'Arrco par exemple, la revalorisation de la valeur de service du point a suivi peu ou prou l'inflation depuis les années 1980¹³. Cependant, la dégradation de la situation financière de ces régimes a conduit les partenaires sociaux à prendre des mesures exceptionnelles ces dernières années concernant la revalorisation des pensions : par exemple, celles-ci ont été revalorisées sur l'inflation minorée de 1 point entre 2014 et 2018 (sans pour autant que le niveau des pensions ne puisse baisser). La date de revalorisation des pensions des régimes complémentaires Agirc et Arrco a été décalée au 1^{er} novembre par le dernier accord signé en octobre 2015¹⁴.

¹¹ Voir le sixième rapport du Conseil d'orientation des retraites (2008), « Retraites : droits familiaux et conjugaux », pour une description des règles en matière de réversion (p. 32-33) ou encore le chapitre XI du rapport de la Cour des comptes 2015 sur la sécurité sociale, « Les pensions de réversion : un rôle toujours majeur, une modernisation souhaitable » (Cour des comptes (2015), La sécurité sociale : rapport sur l'application des lois de financement de la sécurité sociale).

¹² Avant la réforme des retraites de 2014, les pensions étaient revalorisées chaque année au 1^{er} avril.

¹³ Secrétariat général du Conseil d'orientation des retraites (2015), « Les revalorisations appliquées depuis les années 1980 dans les principaux régimes de retraite français », document pour le Conseil d'orientation des retraites, séance plénière de février 2015 : « La revalorisation des pensions et des droits à la retraite : problématique et résultats de projection ».

¹⁴ Pour plus d'informations sur les règles de revalorisation des pensions, se reporter au dossier mensuel du Conseil d'orientation des retraites de février 2015, et en particulier document n°2 « Règles de revalorisation des différents paramètres de retraite », Direction de la Sécurité Sociale.

2 Structure générale d'Aphrodite

Le modèle Aphrodite développé par la DG Trésor est un modèle de microsimulation dynamique des retraites, c'est-à-dire qu'il simule la situation des individus sur le marché du travail puis au moment de la retraite année après année à partir d'un échantillon représentatif de la population française. Cette seconde partie du document de travail dresse un panorama rapide des modèles de simulation des retraites puis présente la structure du modèle Aphrodite.

2.1. Projeter l'évolution du système de retraite : panorama des modèles

Depuis une vingtaine d'années, une quinzaine de modèles de simulation des retraites se sont développés, à l'initiative des administrations publiques, des régimes de retraite ou des instituts de recherche¹⁵ : on peut citer le modèle Destinie de l'Insee¹⁶, le modèle Trajectoire¹⁷ de la Drees et plus récemment le modèle Aphrodite de la DG Trésor pour les modèles tous régimes, ou encore le modèle Prisme de la Cnav¹⁸. Un point commun à tous ces modèles est leur caractère dynamique, élément indispensable dans l'analyse du système de retraite : la législation en vigueur aujourd'hui, les réformes des retraites, le contexte économique ont des conséquences sur la situation des individus qui seront à la retraite dans plusieurs décennies. Toutefois, tous ces modèles n'ont pas la même approche, que ce soit concernant le champ couvert (modèles tous régimes / modèles limités à un régime) ou encore les hypothèses de modélisation retenues (modélisation des carrières, comportement de départ, etc.).

On peut distinguer deux catégories de modèles, selon les choix méthodologiques retenus pour modéliser la population étudiée¹⁹ :

1. **Les modèles de macroprojection** relèvent d'une approche agrégée, où une génération est représentée par un nombre limité d'individus, par exemple dans le modèle de projection par cohorte Margaret, développé par la direction de la prévision et mobilisé dans le cadre de la rédaction du livre blanc sur les retraites en 1991²⁰, ou encore dans la maquette Mars²¹, utilisée au milieu des années 2000 par la DGTPE et la direction de la Sécurité Sociale. Par exemple, cette maquette a participé à l'évaluation de l'impact de la réforme des retraites de 2003²². Ces modèles ne rendent pas compte de l'hétérogénéité

¹⁵ Voir : Secrétariat général du Conseil d'orientation des retraites (2012), « Vue d'ensemble des modèles de projection en matière de retraite en France », document pour le Conseil d'orientation des retraites, séance plénière de janvier 2012 : « Exercices de projections financières du système de retraite : aspects méthodologiques ».

¹⁶ Voir les deux documents de travail : Blanchet D., Buffeteau S., Crenner E. et Le Minez S. (2010), « Le modèle de microsimulation Destinie 2 : principales caractéristiques et premiers résultats », *Document de travail* de la Direction des études et synthèses économiques de l'Insee, G2010/13 ; Bachelet M., Leduc A. et Marino A. (2014), « Les biographies du modèle Destinie II : rebasage et projection », *Document de travail* de la Direction des études et synthèses économiques de l'Insee, G2014/01.

¹⁷ Voir le document de travail : Duc C., Lequien L., Housset F. et Plouhinec C. (2013), « Le modèle de microsimulation TRAJECTOIRE, trajectoire de carrières tous régimes », *Document de travail* de la Drees, série Sources et méthodes, n°40.

¹⁸ Voir le document de travail : Albert C., Berteau-Rapin C. et Di Porto A. (2009), « Le modèle de microsimulation dynamique de la CNAV, régime français de pension de retraite ».

¹⁹ Pour un panorama plus complet, voir Blanchet D., Hagneré C., Legendre F. et Thibault F. (2015), « Microsimulations statique et dynamique appliquées aux politiques fiscales et sociales : modèles et méthodes », *Économie et statistique* n°481-482.

²⁰ Voir : Vernière L. (1989), « Margaret, maquette d'analyse des régimes de retraite », Direction de la Prévision ; *Livre blanc sur les retraites : garantir dans l'équité les retraites de demain* (1991), *La documentation française*.

²¹ Voir : Vincent A. et Bellone B. (2004), « Présentation de la maquette retraites Mars-2003 », *Document de travail* de la Direction de la prévision et de l'analyse économique.

²² Se reporter au chapitre « Réforme des retraites : présentation et premières évaluations » p. 105-142, *Rapport Économique, Social et Financier, Projet de loi de finances 2004*, Tome 1.

des trajectoires individuelles et ont donc progressivement été délaissés au profit d'une approche plus détaillée.

2. **Les modèles de microsimulation** relèvent d'une volonté d'accroître l'hétérogénéité dans les trajectoires individuelles et sont utilisés désormais par l'ensemble des administrations françaises. Ces modèles reposent sur des données à un niveau de détails fin. Les données sont généralement issues d'enquêtes (enquête Patrimoine 2010 pour Destinie-Insee, Échantillon Interrégimes de Cotisants (EIC) 2012 pour Trajectoire-Drees, base de gestion Cnav pour Prisme-Cnav), et l'échantillon est représentatif de la population étudiée²³. Si les modèles de microsimulation sont en général des outils informatiques complexes (en termes de programmation, de temps de calcul), ils sont néanmoins considérés aujourd'hui comme incontournables pour rendre compte de l'hétérogénéité des situations individuelles et produire des analyses fines sur les questions de redistribution.

Les modèles de microsimulation des retraites sont traditionnellement construits sur deux niveaux :

- une base de données qui reproduit la population française jusqu'à un horizon prédéfini, ainsi que la situation des individus sur le marché du travail à chaque âge.
- un module centré sur les transitions professionnelles en fin de carrière et qui simule l'âge de départ en retraite et calcule les pensions.

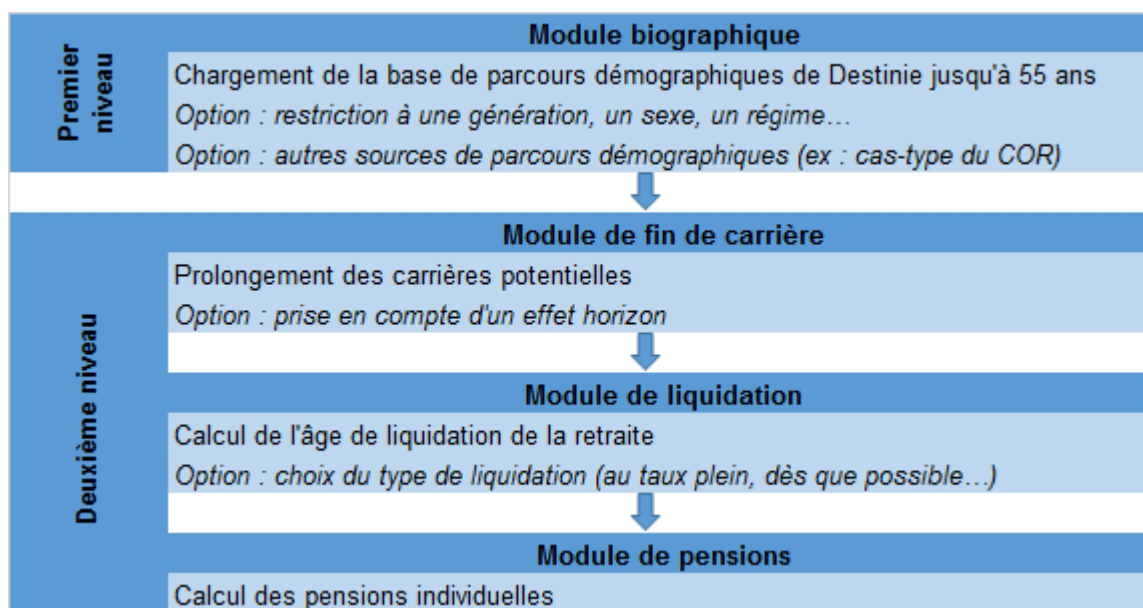
2.2. Structure générale d'Aphrodite

Le modèle Aphrodite de la DG Trésor s'appuie sur l'échantillon démographique du modèle Destinie fourni par l'Insee. Le module de simulation des fins de carrière, des départs en retraite et de calcul des pensions, est développé en propre par la DG Trésor²⁴ (cf. Graphique 1). Tel que le modèle a été construit, les temps de calcul du modèle Aphrodite sont faibles ce qui permet ainsi d'évaluer plusieurs scénarios au cours de la réflexion sur une réforme, et le modèle permet à la fois d'avoir une analyse sur un échantillon représentatif et sur des cas-types spécifiques.

²³ On distingue deux types de modèles de microsimulation selon la façon dont l'échantillon initial est utilisé. Dans le premier type de modèle, on réalise une segmentation des individus ayant des caractéristiques similaires dans l'échantillon initial : on parle de cas-types pondérés. Par exemple, le modèle Vénus de la DGTPE s'appuyait sur la construction d'un nombre limité de cas-types représentatifs des assurés de la Cnav. Le modèle Promess de la Drees agrège également les individus selon leurs caractéristiques principales (génération, sexe, pays de naissance, durée d'assurance validée à 54 ans, quartile de niveau de salaire et régime de retraite). Dans le deuxième type de modèle, la population étudiée est celle de l'échantillon initial, comme le font les modèles Destinie pour l'Insee et Prisme pour la Cnav.

²⁴ Une programmation orientée « objet » avec le logiciel R a été retenue. Ce choix méthodologique centre l'analyse autour d'un objet, une matrice d'individus, auquel est associé un ensemble de fonctions et de méthodes. L'avantage de la programmation orientée « objet » réside avant tout dans la facilité d'organisation du code informatique. Voir Blanchet D. (2014), « La microsimulation dynamique : principes généraux et exemples en langage R », *Document de travail* de l'Insee, M 2014/01.

Graphique 1 : structure générale d'Aphrodite



a. Le générateur de biographies démographiques et professionnelles du modèle Destinie (Insee) : principes de construction

Le modèle Aphrodite est construit sur la base du module biographique du modèle Destinie de l'Insee. À partir d'un échantillon de ménages issu de l'enquête Patrimoine 2009 de l'Insee, le module biographique de Destinie simule les parcours démographiques (naissances, décès, mariages, divorces) et les trajectoires professionnelles des individus jusqu'à leur 55 ans (niveau scolaire, trajectoires salariales, périodes de chômage et d'inactivité, affiliation aux différents régimes de retraite, etc.). L'échantillon est construit en projection de manière à être calé année après année sur la structure démographique et macroéconomique (Blanchet *et alii*, 2010 ; Bachelet *et alii*, 2014) définie en amont de la projection (*cf.* Encadré 1).

Encadré 1 : le cadre macroéconomique et démographique des projections

Les projections de dépenses de retraite se fondent sur des hypothèses définies pour un certain nombre d'indicateurs macroéconomiques (productivité horaire du travail, prix, taux de participation au marché du travail et taux de chômage) et démographiques (natalité, espérance de vie, migration).

En France, le Conseil d'orientation des retraites (COR) qui a réalisé son dernier exercice de projection en juin 2016²⁵, s'appuie sur les projections de population réalisées par l'Insee en 2010²⁶, et des hypothèses macroéconomiques cohérentes à court terme avec celles du programme de stabilité et dont les cibles de long terme sont fixées à l'issue d'une discussion avec l'ensemble des membres du COR.

Au niveau européen, les projections du groupe de travail européen sur le vieillissement (*Ageing Working Group*) constituent une référence puisque c'est le seul exercice de projections des dépenses de pensions harmonisé au niveau international : les hypothèses sont définies de manière cohérente entre les pays par le groupe de travail et Eurostat, et les résultats sont présentés par chacun des pays.

S'agissant des gains de productivité du travail (5 scénarios principaux entre 1 % et 2 %) comme du chômage (7 % dans les scénarios principaux et des variantes à 4,5 % ou 10 %), les hypothèses retenues par le COR encadrent des hypothèses retenues par les organisations internationales et couvrent un vaste champ des possibles²⁷. Dans le cadre de l'analyse du système de retraite, ces hypothèses ont un impact direct sur le solde financier du système parce qu'elles déterminent les recettes perçues ainsi que les pensions versées.

En pratique, l'Insee met à disposition de la DG Trésor une base de données par scénario (macroéconomique et démographique). Cette base contient des informations pour un certain nombre d'individus (échantillons au 1/1000^e ou au 1/2000^e de la population française, soit 800 ou 400 personnes environ par génération) sur leur date de naissance et de décès, leur statut et leur salaire depuis leur entrée sur le marché du travail jusqu'à leur 55 ans. C'est sur cette base que sont construits les modules « fin de carrière », « liquidation » et « pensions » d'Aphrodite.

b. Le champ d'Aphrodite est déterminé par le module biographique de Destinie : le modèle simule les principaux régimes de retraite

Le module biographique de Destinie modélise l'appartenance 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 des régimes de retraite en 2014 (cf. Tableau 3). Le modèle Aphrodite simule les mêmes régimes de retraite que Destinie puisque le modèle de la DG Trésor s'appuie sur la base de données de l'Insee (cf. Tableau 6). 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. Les projections du modèle Aphrodite couvrent les dépenses de droit direct qui représentent 83 % des dépenses du risque vieillesse-survie.

²⁵ Conseil d'orientation des retraites (2016), « Évolutions et perspectives des retraites en France », rapport annuel du COR, juin.

²⁶ Blanpain N. et Chardon O. (2010), « Projections de population 2007-2060 pour la France métropolitaine », *Insee Résultats* n° 117 Société.

²⁷ Voir les documents de la séance plénière du COR de janvier 2016, consacrée au cadre macroéconomique à long terme des projections, et en particulier le document n°2 : Direction générale du Trésor (2016), « Scénarios économiques pour les projections du Conseil d'orientation des retraites : méthode de construction et enjeux », document pour le Conseil d'orientation des retraites, séance plénière de janvier 2016 : « Le cadre macroéconomique à long terme ».

Tableau 6 : champ des projections des principaux modèles de simulation des retraites

		Aphrodite (DG Trésor)	Destinie (Insee)	Trajectoire et Caliper (Drees)	Prisme (Cnav)
Régimes de base	Cnav		X	X	X
	FPE	X	X (y.c. catégories actives)	X	
	CNRACL		X (assimilés à la FPE)	X	
	RSI		X	X	
	CNAVPL				
	MSA salariés		X (assimilés à la Cnav)	X	
	MSA exploitants			X	
Régimes complémentaires	Ircantec	X (assimilés Cnav + Arrco)		X	
	RAFP			X	
	Arrco		X	X	
	Agirc		X	X	
	RCI			X	
Types de dépenses	Pensions de droit direct	X	X	X	X
	Pensions de droit dérivé		X		X
	Minimum vieillesse		X		

Source : Blanchet et alii (2010) ; Bachelet et alii (2014), Duc et alii (2013).

Note : l'information sur les mariages et les divorces permettant de calculer les pensions de réversion et le minimum vieillesse sont disponibles dans l'échantillon biographique de Destinie, mais celle-ci n'est pas encore exploitée dans le modèle Aphrodite. Le modèle Caliper de la Drees calcule les pensions des individus, à partir des carrières professionnelles simulées avec le modèle Trajectoire, et des âges de cessation d'activité simulés avec le modèle Promess. Voir le document de travail : Lerméchin H. et Duc C. (2013), « CALIPER. Un outil de simulation pour le CALcul Interrégimes des Pensions de Retraite », dossiers Solidarité et Santé, n°37.

2.3 Simulation des fins de carrières

La plupart des modèles de microsimulation des retraites (Aphrodite, Destinie, Trajectoire, Prisme, etc.) distingue la fin de carrière (à partir de 55 ans) du reste de la carrière lors de la simulation des trajectoires professionnelles. En effet, la situation des séniors sur le marché du travail présente de nombreuses spécificités : 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. (Givord, 2002²⁸) mais également changements moins fréquents de statut sur le marché du travail que leurs cadets (Tavan, 2008²⁹). Une illustration de cette spécificité de la situation sur le marché du travail des séniors est que le taux d'activité par âge baisse ainsi fortement entre 55 et 59 ans, passant de 80 % à 60 % pour les femmes, et de 90 % à 65 % pour les hommes en 2013 selon l'enquête Emploi³⁰. 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 à l'autre année après année. Ces transitions dépendent des caractéristiques individuelles et professionnelles à chaque âge : en d'autres termes, 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

²⁸ Givord P. (2002), « Prévoir l'évolution des taux d'activité aux âges élevés : un exercice difficile », dans *Économie et Statistique*, n°355-356.

²⁹ 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.

³⁰ Minni C. (2015), « Emploi et chômage des 55-64 ans en 2013 », *Dares Analyses* n°12.

caractéristiques sociodémographiques de l'individu mais également de la carrière passée). Six statuts différents sont modélisés :

- salarié du privé
- travailleur indépendant,
- employé du secteur public,
- chômeur,
- personne en arrêt maladie de longue durée,
- inactif.

a. Les déterminants des trajectoires professionnelles des séniors

Dans un document de travail de France Stratégie, J. Flamand (2016³¹) examine les transitions sur le marché du travail entre 2003 et 2014 à partir d'un panel de données issues de l'enquête Emploi. Ce travail met en lumière quelques spécificités sur le chômage des séniors. Notamment, la probabilité de reprendre un emploi après une période de chômage baisse d'autant plus que l'individu est âgé (10 % de chances pour les individus entre 55 et 59 ans, contre moins de 5 % pour les plus de 60 ans, selon les données de l'enquête Emploi entre 2009 et 2011). Ces résultats suggèrent que **l'âge de l'individu** peut influencer sur la probabilité de retour à l'emploi.

Par ailleurs, le marché du travail se caractérise par une persistance des situations individuelles favorables et défavorables notamment en ce qui concerne les séniors. Ainsi, le type de contrat de travail (CDI plutôt que CDD) et la durée passée dans ce contrat sont des déterminants du maintien dans l'emploi (Flamand, 2016). Le phénomène de baisse du retour à l'emploi est davantage marqué pour les chômeurs de longue durée (Flamand, 2016 ; Govillot et Rey, 2013³² ; Givord, 2002). Le phénomène de persistance des situations sur le marché du travail est approché dans le modèle par la prise en compte des variables suivantes : **durée cumulée passée dans le dernier état, durée en emploi dans les quinze dernières années et durée passée au chômage ou en inactivité** dans les années récentes.

Les probabilités de perdre/conservé son emploi varient également selon la catégorie socioprofessionnelle : les 55-59 ans en emploi sont plus souvent cadres, professions intermédiaires ou non-salariés et les séniors qui retrouvent un emploi sont plus fréquemment à temps partiel que les autres (Govillot et Rey, 2013). Les données disponibles dans Aphrodite permettent d'intégrer des informations sur la catégorie socioprofessionnelle en distinguant les employés du privé des **cadres**, des **fonctionnaires titulaires**, des **fonctionnaires contractuels** et des **indépendants**.

b. Le module de simulation des fins de carrières d'Aphrodite

Les probabilités de passer d'un statut à un autre (par exemple de l'emploi vers le chômage) sont estimées à partir de transitions observées sur l'enquête EIC 2009, dont l'objectif est de rassembler des éléments de la carrière professionnelle auprès de chacune des caisses de retraite. Cette diversité des données permet de retracer la carrière des individus à un niveau

³¹ Flamand J. (2016), « Dix ans de transitions professionnelles : un éclairage sur le marché du travail français », *Document de travail* n°2016-03, France Stratégie.

³² Voir : Govillot S. et Rey M. (2013), « Rechercher et retrouver un emploi après 55 ans », dans *Emploi et salaires*, coll. « Insee références ».

fin de détails³³. 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.

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.

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 inactives³⁴ 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 :
 - o Un salarié du privé ou un travailleur indépendant ne peut que rester dans son statut ou devenir chômeur, inactif ou en arrêt maladie. 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).
 - o Les chômeurs peuvent rester chômeurs, passer en arrêt maladie, devenir inactifs ou reprendre leur dernier emploi. Un chômeur qui retourne en emploi ne peut donc pas cotiser à une caisse de retraite différente de sa dernière caisse de retraite.
 - o Les inactifs, les personnes en arrêt maladie et les employés du secteur public sont supposés conserver leur statut jusqu'à la liquidation de leur retraite³⁵.

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 « logistiques³⁶ » 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) :

- Dans un premier temps, le modèle sélectionne les assurés devenant inactifs.

³³ L'EIC 2009 est, à la date de rédaction de ce document de travail, le dernier millésime disponible de l'échantillon interrégime de cotisants de la Drees.

³⁴ Le dispositif de dispense de recherche d'emploi a été créé en 1984 : sous condition d'âge, les bénéficiaires de ce dispositif continuent de percevoir l'allocation chômage sans devoir respecter l'obligation de rechercher activement un emploi. Ce dispositif a été supprimé sur les nouveaux flux à partir du 1^{er} janvier 2012.

³⁵ Dans la mesure où les données de l'EIC ne permettent pas d'étudier finement les transitions des séniors appartenant à ces catégories, nous avons supposé que les probabilités de sortie de ces statuts étaient nulles. Cette hypothèse paraît raisonnable au regard de la stabilité des carrières de fonctionnaires d'une part, et des difficultés pour les séniors malades de longue durée et les inactifs âgés à retrouver un emploi d'autre part.

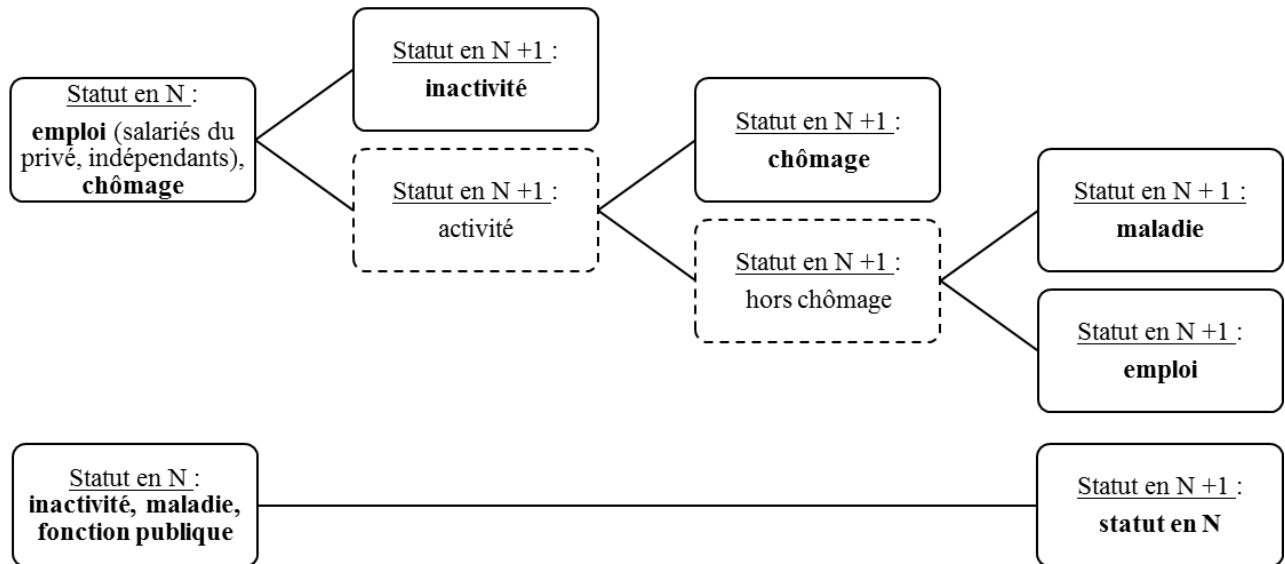
³⁶ Dans un modèle logistique ou logit, on modélise une variable binaire qui représente la survenue d'un événement. La probabilité pour un individu i de l'événement k vaut :

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

où X_i est le vecteur des caractéristiques de l'individu i et β les coefficients du modèle logit.

- Ensuite, parmi ceux n'étant pas devenus inactifs, le modèle sélectionne ceux devenant chômeurs.
- Enfin, pour ceux n'étant devenus ni chômeurs ni inactifs, il sélectionne ceux devenant malades.
- Le reste des assurés reste ou passe en emploi.

Graphique 2 : estimation des probabilités de transition : arbre de décision



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.

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 avec une faible probabilité d'aller vers l'emploi. Cela est dû notamment au fait que passer au chômage et passer en emploi ont des déterminants communs (insertion sur le marché du travail). Le « logit emboîté » est le type de modèle économétrique qui permet de tenir compte de ces liens entre les différentes probabilités de transition³⁷, 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. 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. En effet, une des hypothèses sous-jacentes au modèle de « logit multinomial » est que la probabilité d'aller vers le chômage plutôt que l'inactivité est supposée indépendante de la probabilité d'aller vers l'emploi³⁸. L'Insee et la Cnav ont d'ailleurs

³⁷ 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.

³⁸ 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.

également retenu une approche par « logits emboîtés » pour la modélisation des fins de carrières dans leur modèle de microsimulation respectif (cf. Encadré 2).

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

- le nombre d'années en emploi durant les 15 dernières années : **durée_en_emploi** ;
- le nombre d'années au chômage durant les 5 dernières années : **durée_au_chômage** ;
- le nombre d'années en inactivité durant les 5 dernières années : **durée_en_inactivité** ;
- le nombre d'années consécutives passées dans le dernier état depuis le début de la carrière : **durée_dernier_état** ;
- 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) : **age55 – age60** ;
- le statut de cadre (pour les salariés du privé) : **cadre** ;
- le statut d'indépendant : **indépendant**.

L'utilisation des variables **durée_en_emploi**, **durée_au_chômage**, **durée_en_inactivité** et **durée_dernier_état** permet 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). Par exemple, si un individu est au chômage depuis un an, ses chances de retourner en emploi seront probablement plus élevées s'il a déjà passé 10 années en emploi sur les 15 dernières années plutôt que 5 années (effet de la variable **durée_en_emploi**). Mais la transition de cet individu dépend également de la durée qu'il aura passé en inactivité sur les cinq dernières années : ce même individu au chômage depuis un an et ayant passé 10 années en emploi sur les 15 dernières années aura vraisemblablement un plus grand risque de devenir inactif s'il a déjà passé 3 années en inactivité sur les cinq dernières années que s'il n'en a passé aucune (effet de la variable **durée_en_inactivité**). De même, pour quelqu'un en emploi, une valeur élevée de **durée_en_emploi** est associée avec une forte probabilité de rester en emploi alors qu'une valeur élevée de **durée_au_chômage** indique que l'assuré a déjà fait des allers-retours entre chômage et emploi et a donc une plus forte probabilité de passer au chômage.

Ces variables présentent toutefois des corrélations entre elles. Par exemple, pour les personnes en emploi, les variables **durée_dernier_état** et **durée_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 **durée_en_emploi** des modèles des personnes en emploi et la variable **durée_au_chômage** des modèles des chômeurs. Les variables **durée_en_emploi**, **durée_au_chômage** et **durée_en_inactivité** sont également corrélées entre elles ; néanmoins, pour chaque modèle, la corrélation entre ces variables deux à deux est limitée (0,5 au maximum). Par ailleurs, toutes les variables ne sont pas significatives dans les modèles et sont parfois écartées lors de l'estimation du modèle³⁹.

³⁹ Par exemple **durée_au_chômage** et **durée_en_inactivité** ne sont pas retenues dans la modélisation des transitions entre emploi et maladie pour les hommes.

Ces corrélations ne nuisent pour autant pas ou peu à la capacité prédictive du modèle, dont l'objectif est de reproduire les principales caractéristiques des carrières des seniors. Les variables ont été choisies 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. À cet égard, les coefficients issus de l'estimation doivent être interprétés avec une certaine prudence (cf. Tableaux 7 et 8).

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 15 dernières années, nombre d'années au chômage durant les 5 dernières années, nombre d'années en inactivité durant les 5 dernières années).

Encadré 2 : la simulation des fins de carrière dans les autres modèles de microsimulation dynamique des retraites

Dans le modèle Destinie de l'Insee, les fins de carrière sont simulées à partir d'une version précédente de l'enquête EIC (2005), avec un modèle très proche de celui d'Aphrodite. L'approche économétrique retenue dans Destinie repose également sur des logits emboîtés, autrement dit un arbre de décision comportant deux alternatives à chaque niveau⁴⁰. À la différence d'Aphrodite, le modèle Destinie n'applique pas d'indicatrice pour le statut de cadre⁴¹. Destinie inclut dans les variables explicatives l'âge de fin d'études moyen par génération pour tenir compte du fait que les individus entrent de plus en plus tard sur le marché du travail.

Le modèle Promess de la Drees utilise également les données de l'EIC pour calculer les probabilités d'être encore en emploi ou en dispositif validant à un âge donné à partir d'un modèle logistique. Les variables explicatives incluent par exemple des indicatrices de quartile de salaire annuel, le taux de chômage observé au cours de l'année ou une indicatrice valant 1 si une durée supérieure ou égale à la durée requise pour le taux plein a été validée au cours de l'année. Le modèle Promess distingue trois modèles selon la situation des individus en fin de carrière : un modèle pour les salariés du régime général, des régimes alignés et du régime des indépendants, un modèle pour le régime de la fonction publique et les régimes spéciaux, et un modèle spécifique pour les personnes qui ont cessé définitivement tout emploi avant 50 ans⁴².

Les résultats de l'estimation sont conformes à l'intuition. Par exemple, pour les femmes salariées du privé ou indépendantes (cf. Tableau 7), avoir eu une période récente de chômage ou d'inactivité est associé à des probabilités plus faibles de conserver ou de retrouver un emploi. Les statuts de cadre ou d'indépendante sont 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 8).

⁴⁰ Voir Bachelet *et alii* (2014).

⁴¹ Les statuts de cadre et non-cadre sont ventilés à partir des salaires des employés du secteur privé, en considérant une proportion de cadres évoluant de 20 % en 2005 à 25 % en 2050.

⁴² Voir Aubert *et alii* (2010).

Tableau 7 : effet des coefficients sur les probabilités de transition simulées pour les femmes salariées du privé ou indépendantes

	Transition vers :			
	Emploi	Chômage	Inactivité	Maladie
Probabilité moyenne à 55 ans	93%	4%	3%	1%
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%
Répartition à 55 ans	69%	5%	22%	3%

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 8 : effet des coefficients sur les probabilités moyennes de transition simulées pour les hommes salariés du privé ou indépendants

	Transition vers :			
	Emploi	Chômage	Inactivité	Maladie
Probabilité moyenne à 55 ans	93%	4%	2%	1%
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%
Répartition à 55 ans	77%	5%	12%	6%

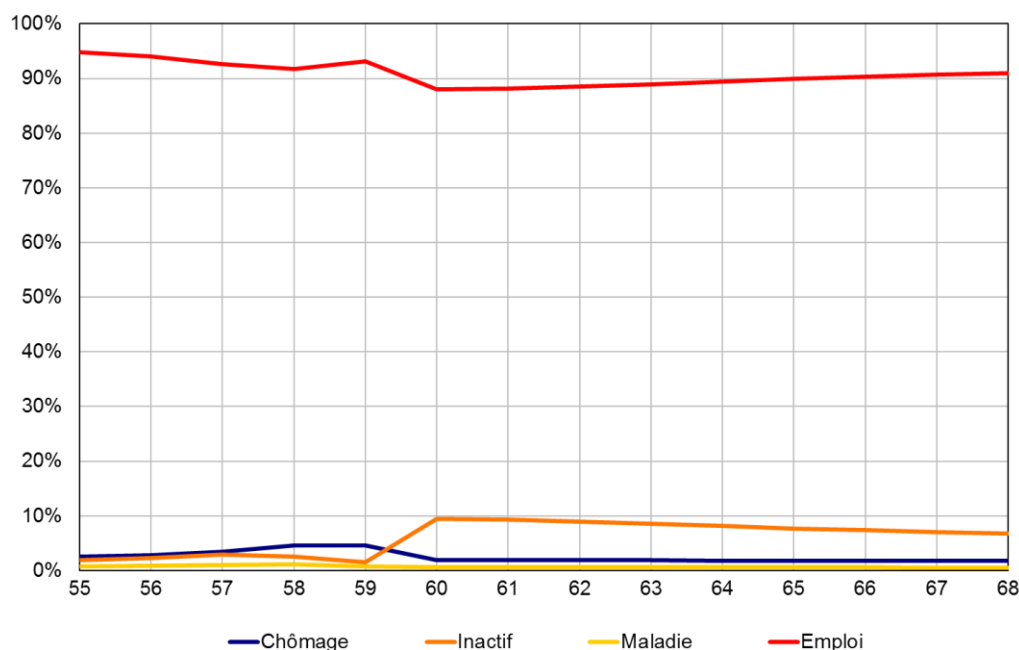
Source : modèle Aphrodite, DG Trésor ; estimation à partir de l'EIC 2009.

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 d'aller au chômage décroissent avec l'âge, quand la probabilité de passer dans l'inactivité augmente (cf. Graphique 3 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 évoluent peu après 60 ans par construction du modèle. On considère en effet 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 (*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 3 : 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 %.

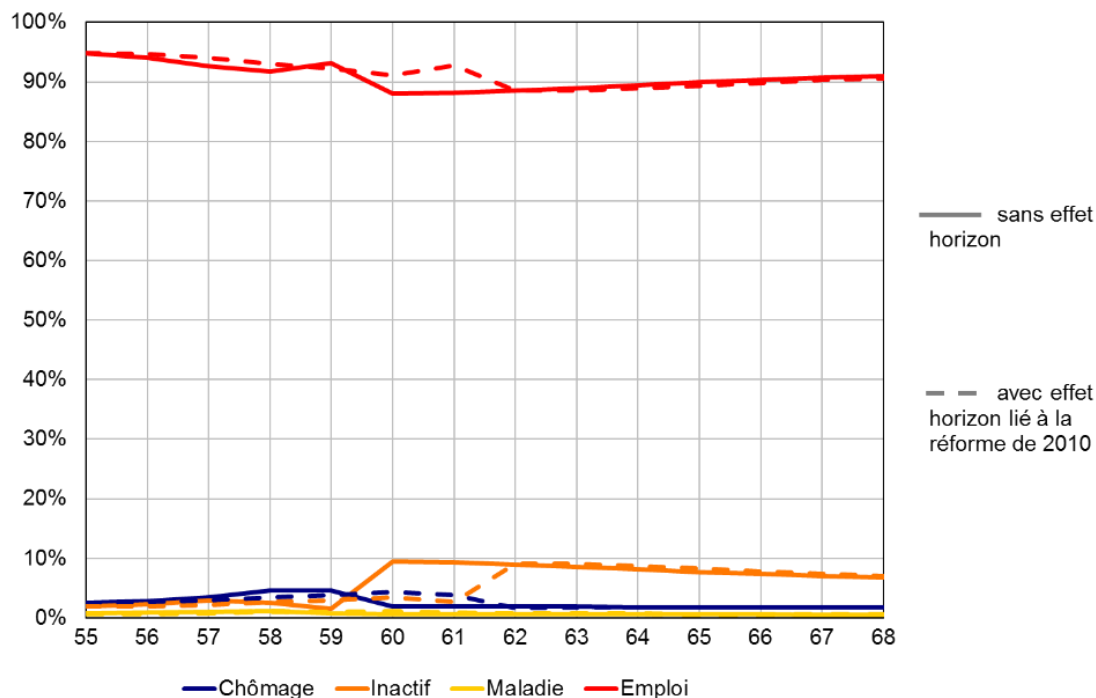
Les salaires de fin de carrière sont simulés de façon simplifiée : les séniors bénéficient de la hausse des salaires lorsqu'ils sont en emploi. Ainsi tant qu'un individu reste en emploi, son salaire évolue comme le SMPT. S'il retrouve un emploi après une période de chômage ou d'activité, il conserve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

c. Prise en compte des effets à rebours de la législation des retraites : l'effet horizon

Un effet horizon peut être intégré, pour tenir compte de l'effet à rebours de la législation des retraites sur l'emploi des séniors (*cf. Encadré 3*) 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. 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, de façon conventionnelle, à long terme de 2 ans, soit 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.

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 4).

Graphique 4 : 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 %.

Encadré 3 : l'effet horizon

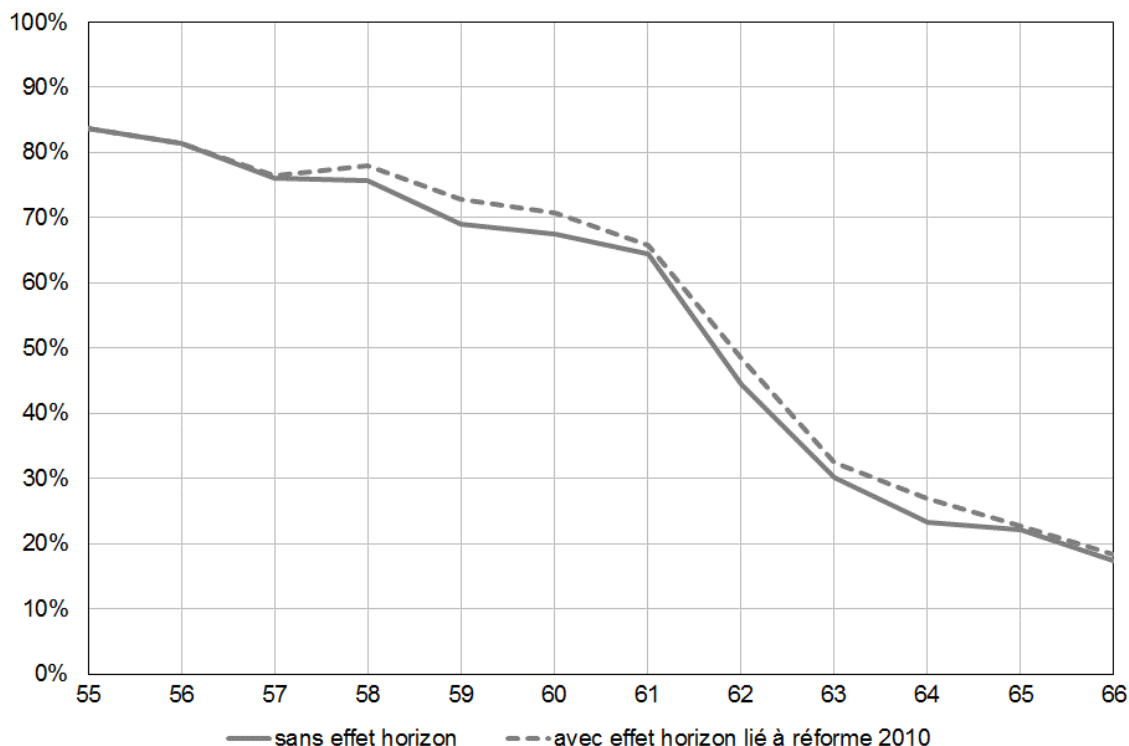
On appelle « effet horizon » l'effet à rebours de la législation des retraites (en particulier les bornes d'âges) sur la situation des séniors sur le marché du travail⁴³. L'argument théorique est que la baisse de l'activité des séniors avec l'âge, observée empiriquement, n'est pas uniquement liée à l'âge (par exemple *via* la dégradation de l'état de santé) mais reflète la distance à l'âge moyen de la retraite. La distance à l'âge de la retraite influencerait la situation des séniors sur le marché du travail à la fois *via* l'offre de travail de la part des séniors (qui anticipent qu'ils devront travailler plus longtemps) et *via* la demande de travail des entreprises (qui anticipent qu'elles pourront garder plus longtemps les séniors qu'elles embauchent). Ainsi, en décalant les bornes d'âge de la retraite, la baisse de l'activité des séniors liée à l'âge serait retardée. Par exemple, selon Bachelet et *alii*, la réforme de 2010, en décalant les âges légaux de la retraite, a des effets sur la population active qui dépendent sensiblement de la prise en compte de l'effet horizon⁴⁴.

⁴³ Voir Aubert, P. (2011) « L'effet horizon : de quoi parle-t-on ? » séance du COR du 4 mai 2011 pour une description détaillée de l'effet horizon.

⁴⁴ Voir Bachelet et *al.*, *op. cit.* pour une présentation de l'ampleur de l'effet horizon à attendre de la réforme des retraites de 2010.

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 5).

Graphique 5 : 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 %.

2.4 Simulation du départ à la retraite et calcul de la pension

En se basant sur la carrière simulée (cf. supra), Aphrodite simule l'âge de liquidation de la retraite qui dépend de l'âge et du nombre de trimestres validés. Parmi les dispositifs permettant un départ anticipé à la retraite (cf. partie 1.3), le modèle simule uniquement les départs pour carrière longues et pour inaptitude. Le modèle calcule ensuite la pension à la liquidation et la fait évoluer jusqu'au décès de l'individu.

a. La liquidation de la retraite peut se faire selon plusieurs hypothèses comportementales

À partir des trajectoires issues du générateur de biographies de Destinie, et de la simulation des fins de carrières réalisée par Aphrodite, le module de liquidation calcule l'âge de départ à la retraite pour chaque individu de l'échantillon, selon différentes options de comportement de départ. En effet, les assurés ont une liberté de choix quant à leur âge de départ à la retraite. Les comportements de départ s'organisent autour des deux âges pivots du système de retraite : (i) l'âge d'ouverture des droits (de 60 ans à 62 ans selon la génération) avant lequel il est impossible de liquider sa pension⁴⁵, et (ii) l'âge d'annulation de la décote (de 65 à 67 ans selon les générations), auquel les individus liquident leur pension au taux plein, quelle que soit

⁴⁵ À l'exception notamment des départs anticipés pour carrières longues pour les individus ayant commencé à travailler tôt.

la durée validée. Entre ces deux âges, si les individus n'ont pas validé un nombre de trimestres suffisant, le taux de liquidation de leur pension est minoré par une décote. Les individus peuvent également choisir de continuer à travailler au-delà du nombre de trimestres requis pour le taux plein : leur pension est alors majorée par une surcote (cf. partie 1.4).

L'hypothèse comportementale de recherche du taux plein (par l'âge ou la durée) s'est imposée comme une référence dans les modèles de microsimulation étant donnée la place centrale qu'occupe le taux plein dans le fonctionnement du système.

Ces dernières années, d'autres modules de comportement simulant une plus grande hétérogénéité des comportements individuels ont été développés (Blanchet *et alii*, 2010) (cf. Encadré 4). Ce développement a accompagné des modifications législatives comme la réforme des retraites de 2003 (réduction de la décote et réintroduction de la surcote au régime général) qui visait, entre autre, à laisser un plus large choix aux assurés pour leur âge de liquidation. D'autres approches peuvent donc parfois être utilisées, dans lesquelles les personnes cherchent le meilleur moment pour liquider leur pension (approche par cible de taux de remplacement ou de maximisation de l'utilité à la « Stock et Wise⁴⁶ »). Les résultats en projection en matière de dépenses de pensions sont assez proches entre les différents modules de liquidation, car le système de retraite français est actuariellement neutre à la marge⁴⁷ : quand un individu reporte sa liquidation, il obtient une pension plus élevée dont il bénéficiera pendant moins longtemps. À l'inverse, s'il avait liquidé sa retraite plus tôt, il aurait été retraité pendant plus longtemps mais avec une pension moins élevée, de sorte que la somme des pensions versées sur son cycle de vie est peu sensible à son âge de liquidation. Les différents modules de départ mis en place dans Aphrodite sont détaillés ci-dessous.

Module de départ au taux plein

Connaissant la carrière de l'individu année après année, le modèle détermine à quelle date il remplira soit la condition de durée d'assurance de référence, soit la condition de l'âge d'annulation de la décote. Cette hypothèse de comportement est retenue par défaut dans les simulations réalisées par Aphrodite.

De fait, le départ « au taux plein » est la trajectoire classique pour les assurés du régime général, qui représentent 4/5^{ème} de la population des retraités. En effet, parmi les nouveaux retraités de la Cnav, seulement 8 % ont liquidé leur retraite avec une décote en 2013 et 12 % avec une surcote⁴⁸. L'atteinte du taux plein reste également le premier motif déclaré de départ (environ 70 % des retraités du régime général), à égalité avec l'atteinte de l'âge minimum de la retraite⁴⁹ (pour lequel le départ peut également se faire à taux plein). Par ailleurs, l'existence d'un comportement de « recherche du taux plein » a été mis en lumière par plusieurs études

⁴⁶ Stock J. et Wise D. (1990), "Pension, the option value of work and retirement", *Econometrica*, vol. 58, n°5, p. 1151-1180.

⁴⁷ Voir : Briard K. et Mahfouz S. (2011), « Modulations de la retraite selon l'âge de départ : principes directeurs et évolutions depuis les années 1980 », *Économie et Statistique* n°441-442, p. 15-38.

⁴⁸ Source : Drees, *Les retraités et les retraites*, édition 2015, coll. « Études et statistiques ».

⁴⁹ Source : Barthélémy N., Di Porto A. et Samak J. (2015), « Retraites : le recul de l'âge minimal a peu d'effet sur les motivations de départ », Drees, coll. *Études et résultats* n°902.

(par exemple Aubert, 2009⁵⁰ et Bozio, 2011⁵¹ sur le régime général ; Baraton *et alii*, 2011⁵² pour les enseignants du second degré public).

Sous cette hypothèse conventionnelle de comportement de liquidation de la retraite, un individu liquide sa pension dès qu'il atteint le taux plein. 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 individu⁵³. On fait donc l'hypothèse que les polypensionnés 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)⁵⁴.

Optimisation de l'âge de départ à la retraite

Un autre type d'hypothèse de comportement de liquidation de la retraite consiste à considérer les assurés comme des agents optimisateurs, qui cherchent le meilleur moment pour prendre leur retraite. Ceci permet de mieux prendre en compte la dimension financière du comportement de liquidation de la retraite. L'implémentation la plus simple est de simuler la recherche d'un taux de remplacement cible : l'assuré poursuit son activité jusqu'à ce que ses droits à pension dépassent une part cible de ses revenus d'activité. Cette cible peut être individuelle ou identique pour tous les assurés. Le fait que la cible soit inférieure à 100 % traduit la préférence de l'assuré pour le loisir, qui consent à une baisse de ses revenus lors de l'arrêt de son activité professionnelle.

Une implémentation plus complexe est le modèle dit de « Stock & Wise », où les assurés maximisent une fonction d'utilité dépendant de leurs revenus d'activité et des montants de pensions futurs. Ils valorisent davantage les revenus de pensions, ce qui traduit leur préférence pour le loisir. L'inconvénient de cette méthode est que la fonction d'utilité dépend de nombreux paramètres (préférence pour le loisir, préférence pour le présent, élasticité de substitution intertemporelle, espérance de vie) qui peuvent être individuels et dont le calibrage peut nécessiter un grand nombre d'hypothèses *ad hoc*.

Une des limites de l'utilisation de ces méthodes d'optimisation individuelle est que les modèles de simulation des retraites ne simulent pas les autres sources de revenus des assurés (prestations chômage, minimums sociaux ou minimum vieillesse, etc.), qui pourtant peuvent entrer en compte dans les décisions de départ à la retraite.

⁵⁰ 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 ».

⁵¹ 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.

⁵² Voir : Baraton M., Beffy M. et Fougère D. (2011), « Une évaluation de l'effet de la réforme de 2003 sur les départs en retraite : le cas des enseignants du second degré public », *Économie et Statistique* n°441-442, p. 55-78.

⁵³ Le modèle Destinie de l'Insee fonctionne également sur cette hypothèse. Le modèle Promess de la Drees ne simule pas les dispositifs de cumul emploi-retraite. En revanche, ce modèle inclut le calcul, pour les personnes affiliées à la fois à un régime du public et à un régime du privé, d'une date de liquidation de la pension pour chacun de ces deux régimes, la liquidation dans le privé intervenant souvent plus tardivement que dans le public (Duc *et alii*, 2013).

⁵⁴ 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.

Autres règles de départ

Il est possible de simuler d'autres règles de départ, comme par exemple un départ dès que possible pour l'assuré. Ces variantes peuvent permettre de tester la robustesse des résultats des simulations, en vérifiant qu'ils ne dépendent pas du choix conventionnel d'un départ au taux plein. Elles permettent également de vérifier la neutralité actuarielle à la marge en régime permanent, c'est-à-dire le fait que le choix de l'âge de liquidation par l'assuré est neutre du point de vue des régimes de retraite.

Encadré 4 : la simulation des comportements de liquidation dans les autres modèles de simulation des retraites

Le modèle Destinie de l'Insee intègre plusieurs modules de comportements de départ mais privilégie l'hypothèse de départ au taux plein. Le modèle Promess de la Drees et Prisme de la Cnav fonctionnent avec des variantes d'un module de départ au taux plein : ces modèles ne s'appuient pas sur un départ systématique au taux plein mais sur une distribution des probabilités de partir à chaque âge en fonction de l'état de la carrière à 54 ans, et notamment de la durée validée⁵⁵. En pratique, le fait d'avoir une durée suffisante pour le taux plein est un déterminant très fort du départ à la retraite dans ces modèles, comme le montre le document de travail du modèle Promess (Aubert *et alii*, 2010).

b. Calcul de la pension

Une fois l'âge de liquidation déterminé, le module « 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.

⁵⁵ Au prix toutefois d'une complexification du modèle.

3 Les applications du modèle Aphrodite : projections de l'évolution du système de retraite

Une utilisation possible du modèle Aphrodite est de projeter l'évolution du système de retraite à législation donnée, dans un cadre démographique et macroéconomique prédéfini. Le modèle Aphrodite permet ainsi de :

- réaliser des projections financières et des variables associées : pensions moyennes, taux de remplacement à la liquidation, etc. ;
- projeter l'évolution des comportements de liquidation : âges moyens de liquidation, durée de la retraite, etc. ;
- présenter ces évolutions en prenant en compte différentes dimensions : comparaison par sexe, quintiles de salaire, etc.
- simuler la situation de cas-types.

Les trois premiers items sont traités par la microsimulation tandis que l'approche par cas-types fait l'objet d'un traitement spécifique.

Les résultats présentés ci-dessous ont été réalisés sur la base des hypothèses du Programme de stabilité 2016 à court terme, et sur les hypothèses de long terme du scénario B du COR de juin 2015 (chômage à 4,5 %, croissance de la productivité du travail de 1,5 %, démographie issue des projections de population de l'Insee de 2010, *cf.* Encadré 5). À la date de rédaction de ce document de travail, nous ne disposons pas de la base biographique calée sur les nouveaux scénarios macroéconomiques du rapport annuel du COR 2016. La législation est celle en vigueur au 1^{er} janvier 2016, c'est-à-dire tenant compte des mesures de la réforme des retraites de janvier 2014 et des mesures de l'accord Agirc-Arrco d'octobre 2015.

Encadré 5 : les projections du COR sur l'évolution du système de retraite

Créé en 2000, le Conseil d'orientation des retraites (COR) est chargé d'analyser le système de retraite français. Le COR met à jour, chaque année depuis 2014, ses projections financières à long terme du solde des systèmes de retraite, à l'occasion de la publication de son rapport annuel. Le COR a mis à jour ses projections en juin 2016⁵⁶. Ces projections sont fondées sur un panel de cinq scénarios macroéconomiques de long terme qui doivent couvrir avec une grande probabilité le champ des possibles.

Dans le rapport 2015, les scénarios (A', A, B, C et C') différaient à la fois par la cible de croissance de la productivité de long terme (entre 1 % et 2 %) et la cible de chômage de long terme (entre 4,5 % et 7 %). Des variantes avec un taux de chômage de long terme de 10 % étaient également présentées. Pour le rapport 2016, le COR a modifié ses scénarios : les 5 principaux scénarios ne diffèrent que par la cible de croissance de la productivité (1 %, 1,3 %, 1,5 %, 1,8 % et 2 %), le taux de chômage convergeant à long terme vers 7 % dans tous les scénarios. En plus de ces 5 scénarios principaux, des variantes avec un taux de chômage convergeant vers 4,5 % ou 10 % sont présentées.

Les résultats d'Aphrodite présentés dans ce document de travail sont basés sur le scénario B du rapport 2015 du COR car nous ne disposons pas encore de la base biographique calée sur les scénarios du rapport 2016. La variante [1,5 % de productivité, 4,5 % de chômage] du rapport 2016 est très proche du scénario B du rapport de 2015, et nous l'utilisons pour comparer le poids des dépenses de retraite dans le PIB (*cf.* Graphique 6). La projection de l'âge de liquidation par génération réalisée par le COR dans son rapport 2016 est commune à tous les scénarios (*cf.* Graphique 7). Le ratio des pensions moyennes des hommes et des femmes n'est disponible que dans les scénarios principaux du rapport 2016 : nous comparons donc les résultats d'Aphrodite avec les résultats du scénario à 1,5 % de croissance de la productivité et 7 % de chômage pour cet indicateur (*cf.* Graphique 10).

Les prestations simulées dans l'exercice du COR sont les pensions de droit direct, les pensions de droit dérivé, les dépenses de minimum vieillesse et les pensions d'invalidité des régimes de la fonction publique versées à des personnes de 60 ans et plus. Le COR projette également l'évolution des recettes des régimes de retraite, ce qui permet de calculer des soldes financiers.

3.1 Projeter l'évolution du système de retraite : approche par microsimulation

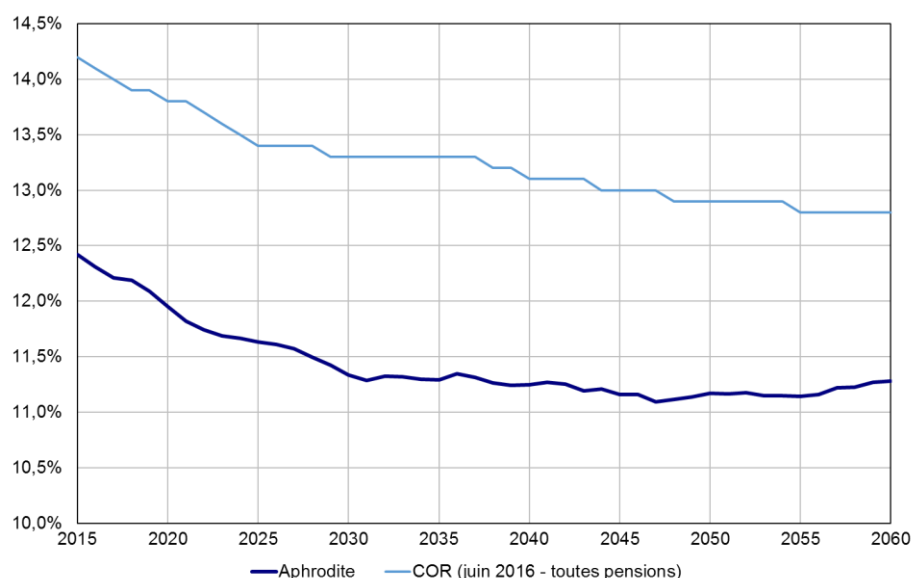
a. Le poids des dépenses de retraite dans le PIB baisserait d'ici 2060

Dans l'état actuel de la législation, le poids dans le PIB des dépenses de retraite de droit direct devrait décroître de 1,1 point de PIB jusqu'en 2060, selon les projections d'Aphrodite (*cf.* Graphique 6). La baisse des dépenses simulée par Aphrodite est similaire à celle des projections du COR, à la différence de champ près (prise en compte des pensions de réversion⁵⁷ et du minimum vieillesse dans la projection du COR). La baisse des dépenses de retraite serait en effet de 1,4 point de PIB selon le COR.

⁵⁶ Conseil d'orientation des retraites (2016), « Évolutions et perspectives des retraites en France », rapport annuel du COR, juin.

⁵⁷ Voir le document 12 de la séance plénière du COR d'octobre 2014 : « La projection des pensions de réversion dans l'exercice 2012 du COR ».

Graphique 6 : évolution du poids des dépenses de retraite (% PIB)



Source : modèle Aphrodite, DG Trésor ; modèle Destinie, Insee (données biographiques) ; projections du COR de juin 2016.

Note : les projections du modèle Aphrodite sont limitées aux dépenses de droit direct. Les projections du COR incluent les dépenses de droit direct, de droit dérivé et le minimum vieillesse.

Cadre de la projection Aphrodite : législation 2016, scénario B du COR de juin 2015 [croissance de la productivité de long terme = 1,5 %, chômage de long terme = 4,5 %], départ au taux plein.

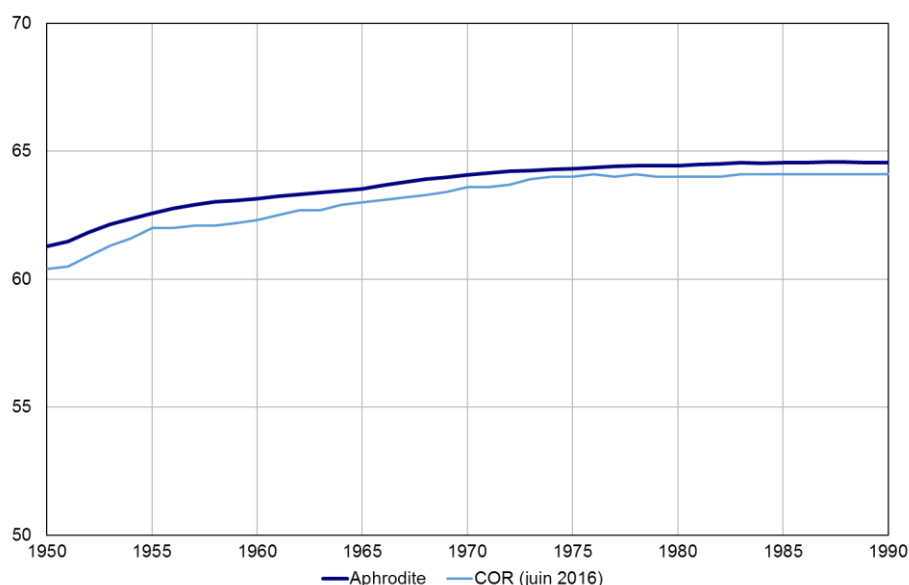
Cadre de la projection COR : législation 2016, scénario [1,5 %, 4,5 %] du rapport du COR 2016.

Lecture : le poids des dépenses de retraite de droit direct, égal à 12,4 % du PIB en 2015, devrait atteindre 11,3 % du PIB en 2060 selon le modèle Aphrodite.

b. L'âge effectif de liquidation augmenterait de près de 3 ans à long terme

Sous l'effet des réformes des retraites et des évolutions des carrières au fil des générations, l'âge effectif de départ à la retraite devrait augmenter de plus de 3 ans entre la génération 1950 et la génération 1990, passant de 61 ans à plus de 64 ans. L'augmentation de l'âge effectif de départ est légèrement moins forte que dans les projections du COR (cf. Graphique 7) mais légèrement plus forte que dans les projections de la Drees (Duc, 2015). Les âges de liquidation d'Aphrodite sont légèrement supérieurs en niveau à ceux du COR ou de la Drees. L'une des explications est que les régimes spéciaux, dont les âges de liquidation sont plus bas que ceux des autres régimes, ne sont pas modélisés dans le modèle de la DG Trésor.

Graphique 7 : évolution de l'âge effectif moyen de liquidation par génération



Source : modèle Aphrodite, DG Trésor ; modèle Destinie, Insee (données biographiques) ; projections du COR de juin 2016.

Note : l'âge effectif de liquidation par génération est calculé par la moyenne des âges de liquidation de tous les individus d'une génération dans Aphrodite, et la série est lissée. Dans les projections du COR, la projection des âges de liquidation est réalisée à partir de la projection des taux de retraités par âge fin : l'âge moyen de liquidation d'une génération correspond à la somme, sur l'ensemble des âges, des taux de non-retraités.

Cadre de la projection Aphrodite : législation 2016, scénario B du COR de juin 2015, départ au taux plein.

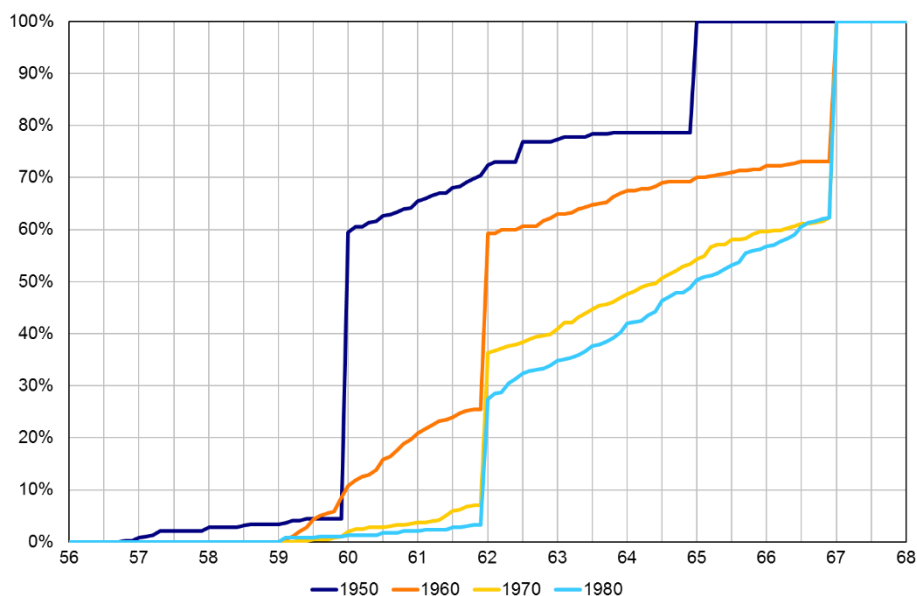
Cadre de la projection COR : législation 2016, l'âge de départ est commun à tous les scénarios.

Lecture : les individus de la génération 1980 liquideront en moyenne leur pension de retraite à 64 ans et 5 mois.

L'augmentation de l'âge effectif de liquidation se fait en deux temps, ce qu'illustre la distribution des âges effectifs moyens de liquidation par génération (cf. Graphique 8) :

- 1) Pour les générations 1950 à 1965 environ (qui liquident leur retraite entre 2005 et 2030), le décalage de l'âge d'ouverture des droits introduit par la réforme des retraites de 2010 explique en grande partie le décalage de leur liquidation. Ces générations qui liquidaient massivement avant ou à l'âge d'ouverture des droits (près de 60 % pour la génération 1950 par exemple, cf. Graphique 8) sont obligées de reporter leur liquidation : c'est le décalage vers la droite de la distribution des âges de liquidation entre 60 et 62 ans de la génération 1950 (courbe bleu foncé) vers celle de la génération 1960 (courbe orange) et des générations ultérieures.
- 2) Dans un deuxième temps, à partir de la génération 1965 (qui liquide sa retraite aux alentours de 2030), sous l'effet de l'augmentation de l'âge d'entrée sur le marché du travail et de carrières plus heurtées, les individus atteignent la condition de durée d'assurance de plus en plus tard, d'autant plus que la durée augmente au fil des générations. En effet, les réformes successives ont augmenté de trois ans la condition de durée d'assurance pour le taux plein (43 ans pour les générations 1972 et ultérieures depuis la réforme de 2014). En conséquence, les individus sont de moins en moins nombreux à liquider leur retraite à l'âge d'ouverture des droits.

Graphique 8 : distribution des âges effectifs moyens de liquidation par génération



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

Cadre de la projection : législation 2016, scénario B du COR de juin 2015, départ au taux plein.

Lecture : 60 % des individus de la génération 1950 ont déjà liquidé leur retraite lorsqu'ils ont 60 ans ; près de 75 % des individus de cette génération ont liquidé leur pension de retraite avant 65 ans (exclus). Du fait de l'hypothèse de départ au taux plein, tous les individus de la génération 1950 ont liquidé leur pension à 65 ans.

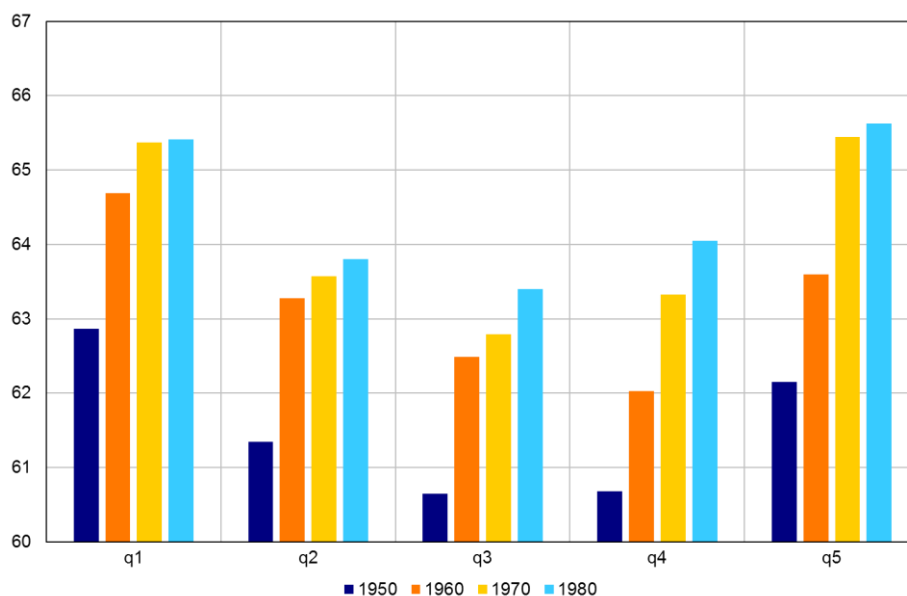
Le modèle Aphrodite permet également d'étudier les effets différenciés du système de retraite sur les individus, en fonction de leur génération et de leur niveau de salaire⁵⁸, pour éclairer les problématiques d'équité inter et intragénérationnelle. En ce qui concerne les âges de liquidation (cf. Graphique 9) quelle que soit la génération, les individus du premier et du dernier quintile liquident leur pension plus tardivement que les individus des quintiles intermédiaires. En effet, le premier quintile rassemble les personnes ayant les carrières les plus heurtées qui attendent donc d'atteindre l'âge d'annulation de la décote pour avoir une retraite à taux plein et pouvoir bénéficier du minimum contributif au régime général. Au contraire, les individus du dernier quintile sont beaucoup plus fréquemment des cadres⁵⁹ qui ont intégré le marché du travail assez tardivement et qui satisfont la condition de durée d'assurance plus tard que les autres malgré leur carrière complète. Les individus des quintiles intermédiaires ont à la fois des carrières assez complètes et des âges d'entrée sur le marché du travail relativement précoces : ils liquident leur pension avant d'atteindre l'âge d'annulation de la décote, ou même peuvent liquider leur retraite dans le cadre d'un départ anticipé pour carrières longues. Ce constat est cohérent avec la littérature existante (Di Porto, 2015⁶⁰ sur les retraités du régime général et Duc, 2015 sur les retraités tous régimes).

⁵⁸ Pour analyser la distribution des âges de liquidation selon le niveau de salaire, on calcule pour chaque individu la moyenne du ratio entre son revenu et le salaire moyen par tête de l'année en cours, en moyenne pour tous les âges entre 50 et 57 ans, ce qui permet d'évaluer la place de l'individu dans la distribution des revenus d'activité avant la fin de sa carrière.

⁵⁹ Par exemple, 76 % des individus de la génération 1980 appartenant au dernier quintile de salaire sont des cadres, contre 7 % dans le premier quintile de cette même génération.

⁶⁰ Voir : Di Porto A. (2015), « Les âges conjoncturels de départ à la retraite : différences entre genres et entre quartiles de niveau de salaire », document pour le Conseil d'orientation des retraites, séance plénière de mai 2015 : « Les comportements et les âges de départ à la retraite ».

Graphique 9 : âges effectifs de liquidation moyens, par quintile de salaire et par génération



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

Cadre de la projection : législation 2016, scénario B du COR de juin 2015, départ au taux plein. Moyennes sur 9 générations.

Note : les individus sont classés dans chaque génération selon leur salaire moyen entre 50 et 57 ans.

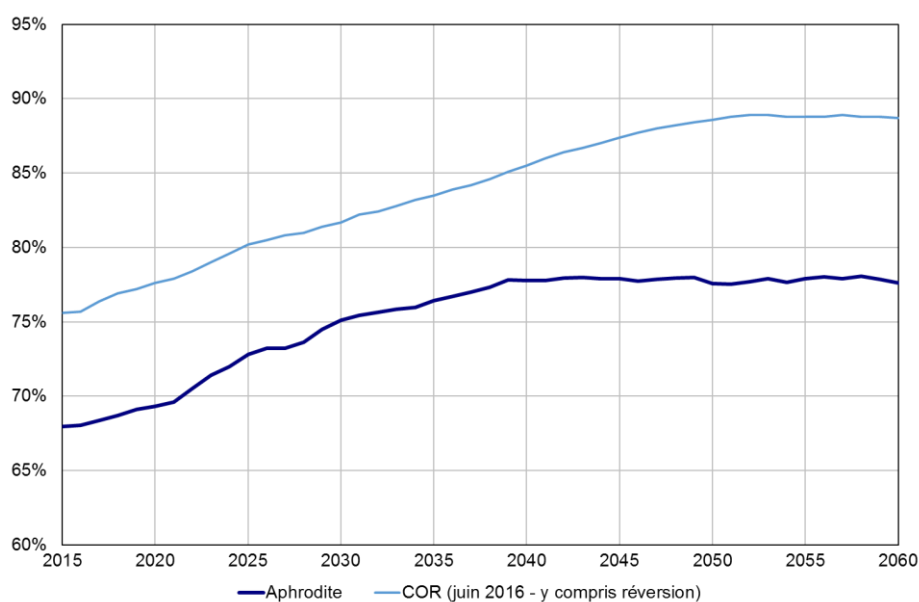
Lecture : les individus de la génération 1950 appartenant au dernier quintile de salaire ont liquidé en moyenne leur pension à un peu plus de 62 ans. Les individus du 4^e quintile de la génération 1950 ont liquidé leur pension près de 1,5 an plus tôt, à 60,7 ans environ.

c. Les situations comparées des femmes et des hommes devraient se rapprocher

Le Modèle Aphrodite permet aussi d'évaluer la situation respective des hommes et des femmes vis-à-vis de la retraite. Le modèle Aphrodite projette une amélioration de la situation comparée des femmes par rapport à celle des hommes, avec une augmentation du ratio entre les pensions moyennes par sexe (cf. Graphique 10). En effet, les femmes participant de plus en plus au marché du travail, elles acquièrent d'avantage de droits à la retraite. Les pensions de réversion ne sont pas simulées dans le modèle Aphrodite : la prise en compte de ces pensions dans la pension moyenne réduit significativement l'écart entre hommes et femmes car près de 90 % des bénéficiaires des pensions de réversion sont des femmes⁶¹. Ainsi, le ratio des pensions est plus élevé dans les projections du COR, qui incluent les droits dérivés.

⁶¹ Source : Drees, 2015.

Graphique 10 : évolution du ratio entre la pension moyenne des femmes et celle des hommes



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

Cadre de la projection Aphrodite : législation 2016, scénario B du COR de juin 2015 (croissance de la productivité de long terme = 1,5 %, chômage de long terme = 4,5 %), départ au taux plein.

Cadre de la projection COR : législation 2016, scénario [1,5 %, 7 %] du rapport du COR 2016.

Note : la pension moyenne est limitée à la pension de droit direct (y compris majorations éventuelles) dans le modèle Aphrodite. La série de pension moyenne du COR inclut à l'inverse les pensions de réversion.

Lecture : la pension moyenne de droit direct des femmes représente 68 % de celle des hommes en 2015. Ce ratio devrait augmenter jusqu'à atteindre 78 % en 2060.

3.2 Projeter l'évolution du système de retraite : approche sur cas-types

Le modèle Aphrodite permet également de simuler les droits à la retraite de cas-types. Ceci permet par exemple de projeter les âges de liquidation, les taux de remplacement des cas-types, etc.

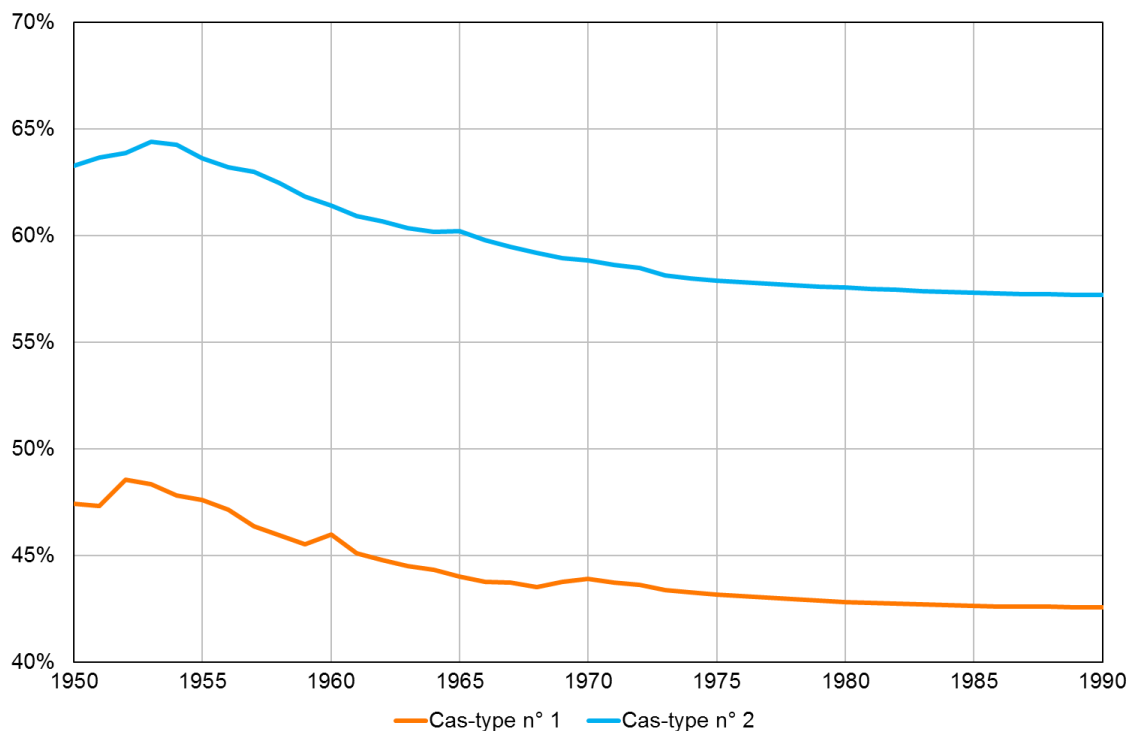
Le cas-type n°1 du COR⁶² correspond à un cadre du privé ayant travaillé sans interruption, et rémunéré au salaire moyen du décile de salaire le plus élevé. Il commence sa carrière entre 19 ans (génération 1950) et 22 ans (génération 1990).

Le cas-type n°2 du COR correspond à un salarié du privé non-cadre ayant travaillé sans interruption, et rémunéré au salaire moyen du premier tercile. Il commence sa carrière entre 18 ans (génération 1950) et 21 ans (génération 1990).

Le taux de remplacement brut du non-cadre est plus élevé que celui du cadre, du fait notamment que les revenus au-delà du plafond de la sécurité sociale ne génèrent pas de droit à la Cnav (cf. Graphique 11).

⁶² Pour une description précise des cas-types présentés ici, voir : Direction de la Sécurité Sociale (2013), « Calcul de taux de remplacement sur cas-types de salariés du secteur privé et de fonctionnaires de l'État », document pour le Conseil d'orientation des retraites, séance plénière de février 2013 : « Compléments aux perspectives du système de retraite en 2020, 2040 et 2060 ».

Graphique 11 : taux de remplacement brut en fonction de la génération pour les cas-types n° 1 et 2 du COR



Source : modèle Aphrodite, DG Trésor.

Cadre de la projection : législation 2016, scénario B du COR de juin 2015, départ au taux plein.

Note : le taux de remplacement rapporte la première pension au dernier salaire. La première pension est exprimée hors coefficient de solidarité à l'Agirc et à l'Arcco.

Lecture : le taux de remplacement brut (ratio entre la première pension de retraite brute et le dernier revenu brut) du cas-type n°1 né en 1955 est de 48 %.

4 Les applications du modèle Aphrodite : simuler des réformes

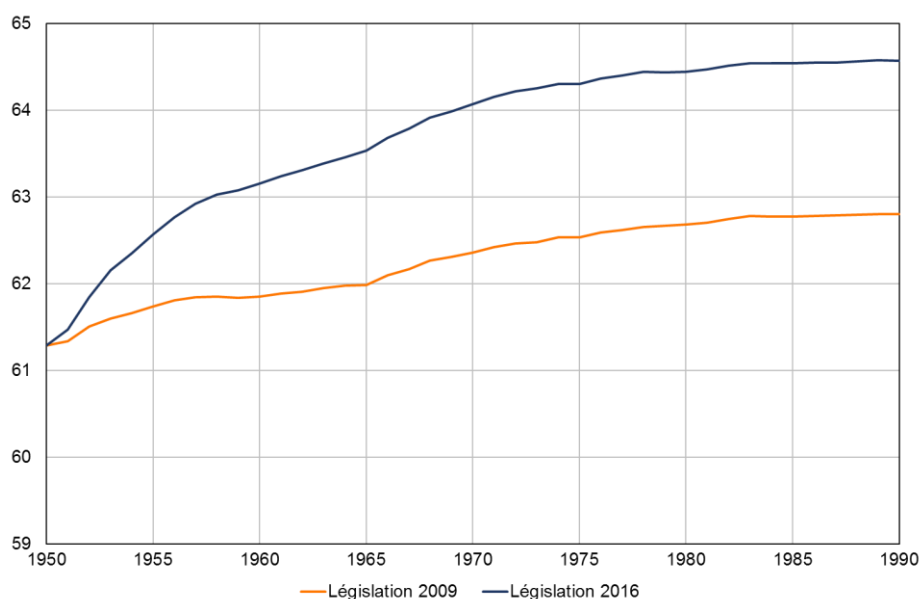
Le modèle Aphrodite a également été conçu pour réaliser des variantes législatives ou comportementales, afin d'aider à la réflexion et la décision sur le système de retraite. L'utilisation conjointe d'Aphrodite avec le modèle macroéconomique Mésange développé par la DG Trésor et l'Insee permet d'évaluer les interactions du système de retraite avec la macroéconomie.

4.1 Effet des réformes de retraites mises en œuvre depuis 2010

Le modèle Aphrodite permet d'évaluer les conséquences *ex ante* de réformes des retraites, à la fois sur l'équilibre financier du système de retraite et sur la situation des assurés. Depuis 2010, plusieurs réformes d'envergure ont été mises en place : les lois du 9 novembre 2010 et du 20 janvier 2014 ont notamment augmenté respectivement les âges légaux et la durée d'assurance dans l'ensemble des régimes de base de retraite. Le décret du 2 juillet 2012 a assoupli le dispositif de départ anticipé pour carrières longues, qui permet aux assurés ayant commencé à travailler tôt de partir à la retraite avant l'âge légal d'ouverture des droits. Parallèlement, des accords ont été conclus entre les partenaires sociaux en 2011, 2013 et 2015 pour réformer les régimes complémentaires Agirc et Arrco.

Ces réformes entraînent une hausse progressive de l'âge moyen de liquidation, qui serait, à partir de la génération 1975, 21 mois plus élevé qu'en l'absence de réformes, un résultat cohérent avec l'évaluation de la Drees⁶³. Pour la génération 1990, l'âge moyen de liquidation serait ainsi de 64 ans et 6 mois (*cf.* Graphique 12).

Graphique 12 : âge effectif moyen de liquidation par génération, selon les législations en vigueur en 2009 et en 2016



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

Cadre de la projection : législation 2009 et 2016, scénario B du COR.

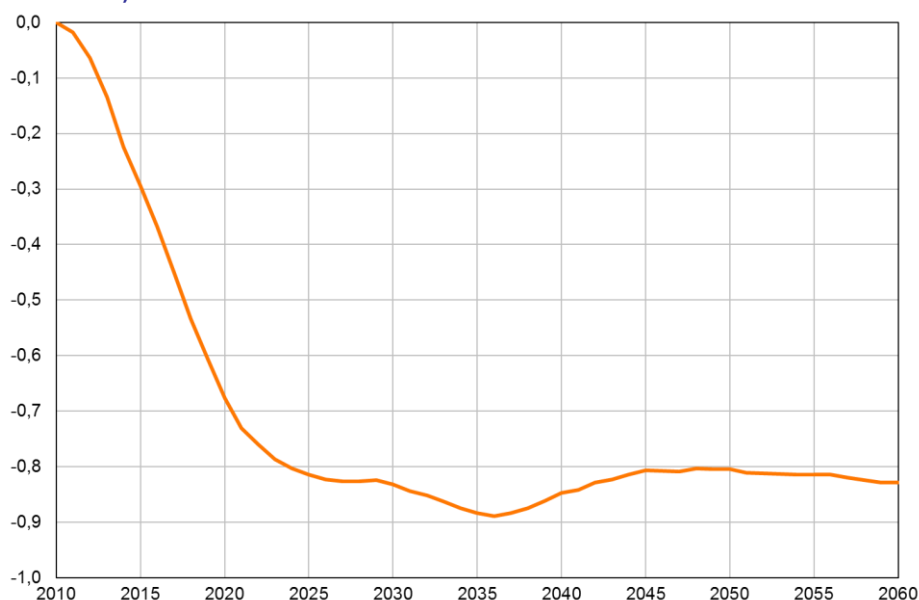
Note : les séries sont lissées.

Lecture : en appliquant la législation en vigueur en 2016, les assurés de la génération 1990 liquideraient leur pension à 64,5 ans en moyenne.

⁶³ Voir : Duc C. (2015), « Les réformes des retraites depuis 1993 augmentent à terme l'âge moyen de départ de deux ans et demi », *Drees, Études et résultats n°0915*.

Les dépenses de pensions baisseraient à terme d'un peu plus de 0,8 point de PIB par rapport à leur niveau projeté en l'absence de réforme (cf. Graphique 13). Cette baisse est principalement due au raccourcissement de la durée passée à la retraite : la pension annuelle moyenne est quant à elle plus élevée du fait de ces réformes car l'allongement des carrières permet d'accumuler plus de droits.

Graphique 13 : effet cumulé des réformes mises en œuvre entre 2010 et 2015 sur les dépenses de pensions (point du PIB)



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

Cadre de la projection : législation 2009 et 2016, scénario B du COR.

Note : les séries sont lissées à l'aide d'une moyenne mobile. Projections sans bouclage macroéconomique avec le modèle Mésange.

Lecture : les réformes mises en œuvre entre 2010 et 2015 feraient baisser d'un peu plus de 0,8 point de PIB les dépenses de pensions en 2060.

4.2 Modification des règles de calcul des pensions sur le régime général

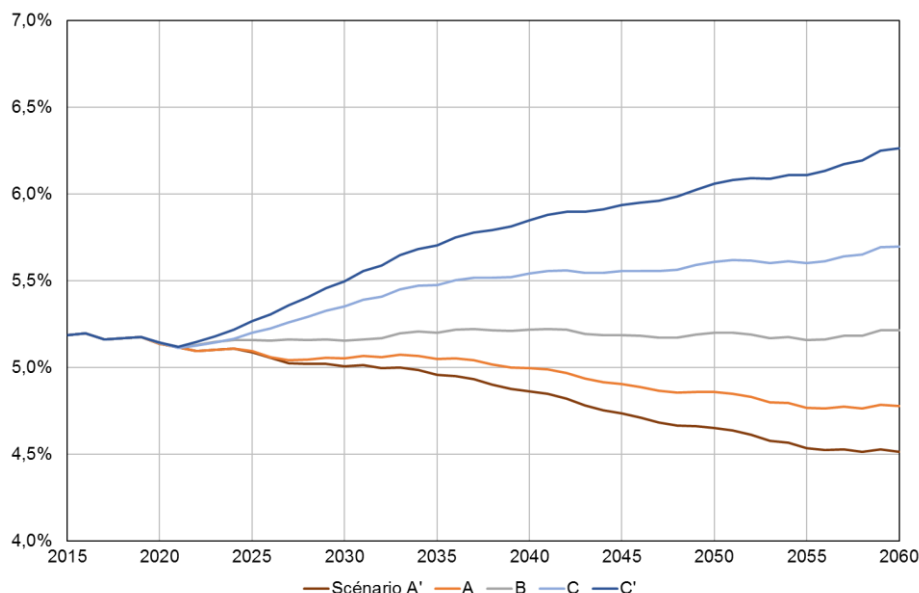
Avant la réforme du régime général de 1993, les salaires portés au compte (qui servent au calcul du salaire annuel moyen, cf. partie 1) étaient revalorisés comme le salaire moyen par tête (SMPT). De même, une fois liquidées, les pensions étaient revalorisées annuellement selon le SMPT nominal au moins jusqu'en 1987. Après 1993, l'inflation est utilisée pour ces revalorisations⁶⁴. Ces nouvelles règles de calcul entraînent une forte sensibilité du solde du régime général à la croissance (cf. 2^e avis du Comité de suivi des retraites⁶⁵). En effet, toutes choses égales par ailleurs, l'évolution du poids des pensions dans le PIB est liée à la différence d'évolution entre les salaires et les pensions. Plus le SMPT réel est dynamique, plus la masse salariale et le PIB croissent vite par rapport aux pensions (qui, elles, suivent l'inflation). Le

⁶⁴ Cette règle était déjà appliquée *de facto* depuis 1987 au régime général : une revalorisation sur les prix était fixée chaque année par le législateur. La loi du 22 juillet 1993 instaure une revalorisation le 1^{er} janvier sur l'évolution prévue de l'indice des prix hors tabac, ainsi qu'un ajustement d'une année sur l'autre de l'écart prévision-réalisation. Ce dispositif est prévu pour 5 ans à compter du 1^{er} janvier 1994 par la loi de 1993 et prolongé un an par la LFSS pour 1999. De 2000 à 2003, le taux de revalorisation est directement fixé par le législateur. La réforme des retraites de 2003 (loi du 21 août 2003) consacre l'indexation sur les prix, avec toutefois la possibilité d'une dérogation à cette règle : une conférence réunissant le gouvernement et les partenaires sociaux pouvait proposer au Parlement une correction au taux de revalorisation. La LFSS pour 2009 décale la date de revalorisation au 1^{er} avril. La loi du 20 janvier 2014 décale au 1^{er} octobre la date de revalorisation et supprime la référence à la possibilité de déroger à la règle d'indexation sur les prix.

⁶⁵ Voir : Comité de suivi des retraites (2015), Deuxième avis annuel du Comité de suivi des retraites.

le poids des pensions dans le PIB baisse sensiblement pour les scénarios à croissance du SMPT forte (scénario A et A' du COR) et croît pour les scénarios à croissance faible (C et C') (cf. Graphique 14).

Graphique 14 : évolution du poids des pensions de la Cnav (% PIB) avec une indexation des salaires portés au compte et des pensions sur l'inflation



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

Cadre de la projection : législation 2015, scénarios du COR.

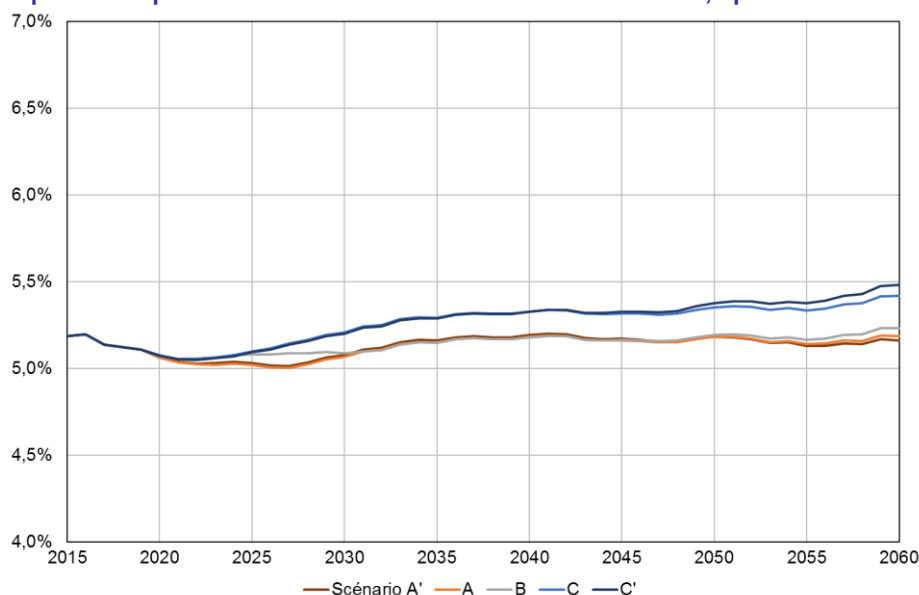
Lecture : avec les règles d'indexation actuelles, les pensions de la Cnav représenteraient 4,5 % du PIB en 2060 dans le scénario A' du COR. Elles représenteraient 6,3 % du PIB dans le scénario C' du COR, soit une différence de 1,8 point.

À titre illustratif, et sans préjuger de l'opportunité d'une telle réforme, Aphrodite permet de simuler une règle d'indexation alternative, qui s'inspire d'un scénario proposé dans le rapport de la commission présidée par Yannick Moreau (2013)⁶⁶. En indexant salaires portés au compte et pensions sur le SMPT⁶⁷ (minorés conventionnellement de 1,5 point), la dynamique des pensions est similaire à celle des salaires, ce qui rend le poids des pensions dans le PIB moins sensible aux aléas pesant sur la croissance de la productivité (cf. Graphique 15).

⁶⁶ Voir « Nos retraites demain : équilibre financier et justice », Rapport au Premier ministre, 2013, p. 114. Le scénario présenté dans le rapport n'envisage pas de changement de la règle d'indexation des pensions.

⁶⁷ En pratique, on indexe les salaires portés au compte et les pensions sur la nouvelle règle à partir de 2017. Un individu qui n'a pas encore liquidé sa retraite à cette date aura donc une partie de ses salaires portés au compte indexés selon l'ancienne règle d'indexation, et une autre partie selon la nouvelle règle d'indexation.

Graphique 15 : évolution du poids des pensions de la Cnav (% PIB) avec une indexation des salaires portés au compte et des pensions sur l'évolution du SMPT minorée de 1,5 point



Source : modèle Aphrodite, DG Trésor ; modèle Destinie, Insee (données biographiques).
Cadre de la projection : législation 2015, scénarios du COR.

4.3 Sensibilité des projections financières du système de retraite à l'hypothèse de comportement de départ à la retraite retenue

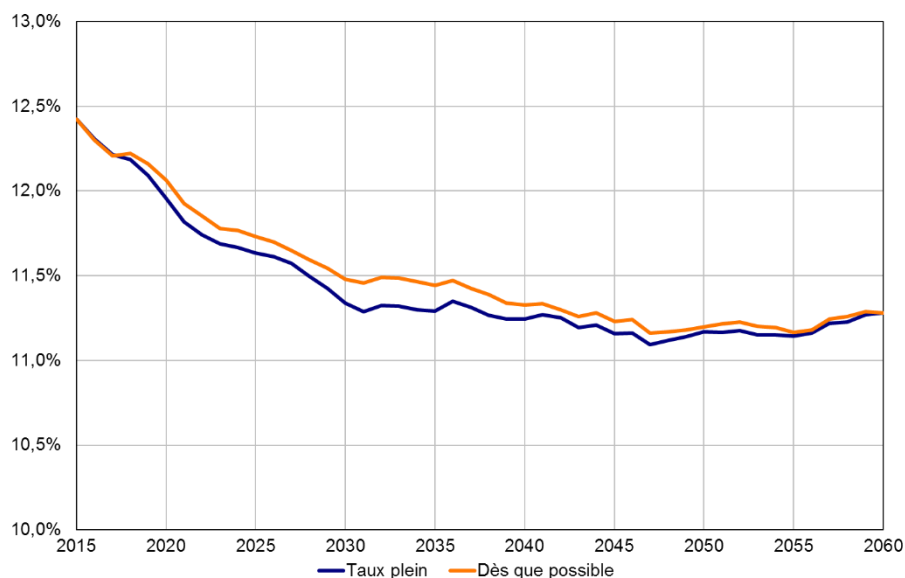
L'hypothèse comportementale de recherche du taux plein (par l'âge ou la durée) s'est imposée comme une référence dans les modèles de microsimulation. Les individus ont pourtant une marge de choix quant à leur comportement de départ, puisqu'ils peuvent liquider leur retraite quand ils le souhaitent à partir du moment où ils ont atteint l'âge d'ouverture des droits de leur génération (ou l'âge de départ anticipé pour carrière longue pour ceux qui y sont éligibles). La décote et la surcote viennent minorer ou majorer la pension selon le moment du départ, et sont donc un moyen d'influencer les comportements de départ en retraite (cf. partie 1). La décote et la surcote sont viagères : elles s'appliquent pendant toute la durée de perception de la pension. Ainsi, un sénior inactif peut avoir intérêt à attendre d'atteindre l'âge du taux plein avant de liquider sa pension. Depuis qu'elles existent, la décote et la surcote ont évolué plusieurs fois : suppression de la surcote en 1982, réintroduction de la surcote et réduction du taux de décote en 2003, augmentations de la surcote en 2007 et 2009. Ces évolutions successives ont rapproché la décote et la surcote d'un barème neutre pour le système de retraite : on parle alors de neutralité actuarielle à la marge (Briard et Mahfouz, 2011)⁶⁸.

Une façon de tester la sensibilité des résultats aux comportements des assurés est de réaliser une simulation avec une hypothèse comportementale alternative à la recherche du taux plein. Dans cette nouvelle simulation, les individus liquident leur pension dès qu'ils sortent de l'emploi, et à condition qu'ils aient atteint l'âge d'ouverture des droits. On suppose donc que les séniors inactifs ou au chômage avant d'atteindre l'âge du taux plein n'attendent pas cet âge, et liquident leur retraite dès qu'ils ne sont plus en emploi, ou à l'âge d'ouverture des droits s'ils n'étaient déjà pas en emploi à ce moment. Cela se traduit par une baisse conséquente de

⁶⁸ Par exemple, au régime général, un individu qui liquide sa pension de retraite un an avant d'obtenir le taux plein a une décote de 5 % sur sa pension, mais il bénéficiera de cette pension une année de plus. Il cotisera également une année de moins au régime général. Le régime général est alors quasiment indifférent entre payer une année de retraite en plus (qui représente environ 1/25 de la durée totale de la retraite) à un montant réduit de 5 % ou ne pas payer d'année de retraite en plus, et bénéficier d'une année de cotisation en plus (environ 1/42 de la durée totale de carrière).

la part des inactifs non retraités, et par une baisse de l'âge de liquidation moyen d'environ 1 an et 3 mois pour les individus de la génération 1990 par rapport à une situation avec un départ au taux plein. Les conséquences financières pour le régime de retraite sont cependant très faibles (au maximum 0,1 point de PIB, cf. Graphique 16), puisque le poids des dépenses dans le PIB serait très proche selon l'hypothèse de comportement retenue. Le scénario présenté de départ à la retraite dès que possible ne prend pas en compte, comme pour les autres variantes présentées plus haut, les effets macroéconomiques possibles : réduction de la population active et pensions individuelles potentiellement plus faibles mais versées plus tôt aux assurés.

Graphique 16 : évolution du poids des dépenses de retraite (% PIB) selon l'hypothèse de comportement retenue



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

Cadre de la projection : législation 2016, scénario B du COR.

Projections sans bouclage macroéconomique avec le modèle Mésange.

Lecture : les dépenses de retraite représenteraient environ 11,3 % du PIB en 2060, que l'on retienne une hypothèse de départ au taux plein, ou de départ dès que possible après une sortie de l'emploi.

4.4 Bouclage macroéconomique à l'aide du modèle macroéconomique Mésange

Il est souvent reproché aux modèles de microsimulation d'adopter une approche en équilibre partiel (Briard, 2009)⁶⁹. Il peut être intéressant d'évaluer l'effet d'une réforme sur l'environnement macroéconomique, ainsi que l'effet de retour de cet environnement modifié sur les pensions versées aux assurés. Une solution consiste à réaliser un bouclage macroéconomique des résultats de la microsimulation à l'aide d'un modèle macroéconomique⁷⁰.

⁶⁹ Briard K. (2009), « Un modèle de carrières types dynamiques pondérées pour le Régime général d'assurance vieillesse : une application aux conséquences de la réforme de 2003 », *Économie et Prévision* n°189 2009-1, p. 47-64.

⁷⁰ Cette approche a déjà été développée dans le passé mais elle reste rare car elle est relativement lourde à mettre en œuvre. Voir par exemple : Robilliard A.-S., Bourguignon F. et Robinson S. (2008), « *Crisis and income distribution: a micro-macro model for Indonesia, the impact of macroeconomic policies on poverty and income distribution* », Banque mondiale et Palgrave Macmillan ; ou encore : Blanchet D. (2003), « Modéliser l'avenir des retraites dans un cadre macroéconomique bouclé : quelques mécanismes de base », *Retraite et société* 2003/3 n°40, p. 129-155.

La direction générale du Trésor dispose d'outils lui permettant de réaliser ce bouclage : le modèle Aphrodite comme modèle de microsimulation des retraites, et le modèle Mésange comme modèle macroéconomique de l'économie française⁷¹. Le modèle Mésange a déjà été utilisé pour étudier l'impact macroéconomique de la mesure d'allongement de la durée de cotisation prévue par la réforme des retraites de 2014⁷², à partir d'une estimation du modèle de microsimulation Destinie de l'Insee (dans le Programme National de Réforme de 2014).

Le modèle Aphrodite, associé au modèle Mésange, peut réaliser un bouclage macroéconomique de l'effet d'une mesure sur le système de retraite. En pratique, les deux modèles fonctionnent séquentiellement :

- On simule une réforme des retraites avec le modèle Aphrodite, et on quantifie l'impact de cette réforme sur la population active et les dépenses de pensions.
- Le modèle Mésange s'appuie sur ces résultats pour étudier l'effet de la réforme sur un certain nombre de variables macroéconomiques : la croissance, l'emploi, les salaires, les prix, etc.
- La variation des prix et des salaires obtenue à l'aide de Mésange est alors intégrée au modèle Aphrodite⁷³, ce qui modifie l'effet de la réforme sur les dépenses de pensions. En effet, les dépenses de pensions dépendent à la fois de l'évolution des salaires (les salaires portés au compte utilisés pour le calcul de la pension d'un individu étant ses 25 meilleurs salaires annuels) et des prix (à travers la revalorisation des salaires portés au compte et des pensions déjà liquidées sur l'inflation).
- Les nouveaux résultats d'Aphrodite sont implémentés dans le modèle Mésange, et les deux modèles sont utilisés ainsi séquentiellement jusqu'à ce que les résultats convergent.

⁷¹ Le modèle Mésange est un modèle macroéconométrique trimestriel de l'économie française développé et utilisé conjointement par la direction générale du Trésor et par l'Insee. Voir : Klein C. et Simon O. (2010), « Le modèle MÉSANGE : nouvelle version réestimée en base 2000 », *Document de travail de la DGTPE*, n°2010/02.

⁷² Voir le programme national de réforme 2014 pour la France, page 26, encadré 2 : « Impact macroéconomique de la mesure d'allongement de la durée de cotisation ».

⁷³ Les effets du chômage sont pris en compte au niveau macroéconomique. En revanche, pour des raisons techniques, il n'est pas possible de prendre en compte les effets du chômage sur les trajectoires professionnelles et l'acquisition de droits à la retraite, à la date de rédaction de ce document de travail.

Bibliographie

Albert C., Berteau-Rapin C. et Di Porto A. (2009), « Le modèle de microsimulation dynamique de la CNAV, régime français de pension de retraite ».

Aubert P., Duc C. et Ducoudre B. (2010), « Le modèle PROMESS : Projection « méso » des âges de cessation d'emploi et de départ à la retraite », *Document de travail* de la Drees, série Études et Recherches, n°102.

Bachelet M., Leduc A. et Marino A. (2014), « Les biographies du modèle Destinie II : rebasage et projection », *Document de travail* de la Direction des études et synthèses économiques de l'Insee, G2014/01.

Blanchet D. (2003), « Modéliser l'avenir des retraites dans un cadre macroéconomique bouclé : quelques mécanismes de base », *Retraite et société* 2003/3 n°40, p. 129-155.

Blanchet D., Buffeteau S., Crenner E. et Le Minez S. (2010), « Le modèle de microsimulation Destinie 2 : principales caractéristiques et premiers résultats », *Document de travail* de la Direction des études et synthèses économiques de l'Insee, G2010/13.

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

Blanpain N. et Chardon O. (2010), « Projections de population 2007-2060 pour la France métropolitaine », *Insee Résultats* n° 117 Société.

Briard K. et Mahfouz S. (2011), « Modulations de la retraite selon l'âge de départ : principes directeurs et évolutions depuis les années 1980 », *Économie et Statistique* n°441-442.

Comité de suivi des retraites (2015), *Deuxième avis annuel du Comité de suivi des retraites*.

Commission européenne et Comité de Politique Économique (groupe de travail sur le vieillissement) (2015), « *The 2015 Ageing Report: economic and budgetary projections for the 28 EU Member States (2013-2060)* », *European Economy*, n°3/2015.

Commission européenne (2016), « *Fiscal Sustainability Report 2015* », *Institutional paper*, n°018/2016.

Conseil d'orientation des retraites (2016), « Évolutions et perspectives des retraites en France », rapport annuel du COR, juin.

Conseil d'orientation des retraites (2015), « Évolutions et perspectives des retraites en France », rapport annuel du COR, juin.

Direction du Budget (2004), « Présentation de l'outil de projection du régime de retraite de la fonction publique d'État (modèle ARIANE) », document pour le Conseil d'orientation des retraites, séance plénière de février 2005 : « Fonds de réserve pour les retraites et modèles de projection ».

Drees (2015), *La protection sociale en France et en Europe en 2013*, édition 2015, coll. « *Études et Statistiques* ».

Drees (2015), *Les retraités et les retraites*, édition 2015, coll. « *Études et statistiques* ».

Duc C., Lequien L., Housset F. et Plouhinec C. (2013), « Le modèle de microsimulation TRAJECTOIRE, trajectoire de carrières tous régimes », *Document de travail* de la Drees, série Sources et méthodes, n°40.

Duc C. (2015), « Les réformes des retraites depuis 1993 augmentent à terme l'âge moyen de départ de deux ans et demi », *Drees, Études et résultats n°0915*.

Klein C. et Simon O. (2010), « Le modèle MÉSANGE : nouvelle version réestimée en base 2000 », Document de travail de la DGTPE, n° 2010/02.

Lellouch T., Magnien M. et Sorbe S. (2010), « La soutenabilité des finances publiques après la crise : quelle contribution de la réforme des retraites ? », *Lettre Trésor-Éco n°91*, direction générale du Trésor.

Lermechin H et Duc C. (2013), « CALIPER. Un outil de simulation pour le CALCUL Interrégimes des PENSIONS de Retraite », dossiers Solidarité et Santé, n°37.

Marino A. (2014), « Vingt ans de réformes des retraites : quelle contribution des règles d'indexation ? », *Insee Analyses n°17*.

Vernière L. (1989), « Margaret, maquette d'analyse des régimes de retraite », Direction de la Prévision.

Vincent A. et Bellone B. (2004), « Présentation de la maquette retraite Mars-2003 », *Document de travail de la Direction de la prévision et de l'analyse économique*, mai.