

CONSEIL D'ORIENTATION DES RETRAITES
Séance plénière du 23 novembre 2011 - 9 h 30
« Niveaux des pensions et taux de remplacement »

Document N°7

<i>Document de travail, n'engage pas le Conseil</i>

**Le modèle de microsimulation Destinie 2 :
principales caractéristiques et premiers résultats**

*Didier Blanchet, Sophie Buffeteau, Emmanuelle Crenner
et Sylvie Le Minez (INSEE)
Economie & Statistique n°441-442, octobre 2011, INSEE*

Le modèle de microsimulation Destinie 2 : principales caractéristiques et premiers résultats

**Didier Blanchet, Sophie Buffeteau, Emmanuelle Crenner
et Sylvie Le Minez***

Le modèle Destinie est un modèle de microsimulation dynamique qui a été développé et utilisé à l'Insee depuis le milieu des années 1990 et dont les principales applications concernent la retraite. Une nouvelle version de ce modèle a été mise en chantier à partir de 2005 et cet article en présente les principales caractéristiques. L'objectif de sa rénovation a été de disposer d'un outil plus flexible. La nouvelle version est constituée de deux blocs séparés : un générateur de biographies démographiques et professionnelles, dont on a renforcé la cohérence avec les projections démographiques et de population active, et un simulateur de droits à retraite permettant la construction de projections de retraite sur mesure, sur la base des biographies issues de la première étape.

Quelques exemples de simulations servent à illustrer les possibilités du nouveau modèle. L'un de ses avantages est de permettre des calculs de droits au niveau des ménages. Le modèle montre par exemple que le niveau de vie relatif des retraités se stabiliserait à l'horizon 2050 entre 70 % et 75 % de celui des actifs, hors revenus du patrimoine et hors loyers imputés.

** Didier Blanchet appartient au département des Études Économiques d'Ensemble de l'Insee. Sophie Buffeteau, Emmanuelle Crenner et Sylvie Le Minez appartenaient à la division redistribution et politiques sociales du même département lors de la réalisation de ce travail. La construction du modèle Destinie 2 a également bénéficié de la collaboration de Cédric Afsa, Michel Duée, Cyril Rebillard, Jean-François Foucher et Sophie Ricci. Sa mise au point a aussi beaucoup profité des premiers travaux d'exploitation conduits par Magali Beffy, Marion Bachelet et Claire Marbot. Les auteurs remercient également Vincent Poubelle, Christophe Albert, Nathanaël Grave et Selma Mahfouz ainsi que les deux rapporteurs de la revue pour leurs commentaires sur des versions précédentes de ce texte.*

Le modèle Destinie est un modèle de micro-simulation dynamique initié à l'Insee durant les années 1990 (Blanchet et Chanut, 1998 ; division « Redistribution et Politiques Sociales », 1999, Bardaji *et al.*, 2003). Son objectif principal est la simulation des droits à retraite. Le principe de la microsimulation est de simuler les conséquences de scénarios économiques et législatifs au niveau individuel, sur des échantillons représentatifs de la population totale (Orcutt, 1957). La méthode se différencie donc à la fois des approches par cas-types qui raisonnent au niveau individuel mais sur un nombre limité de personnes et aux approches agrégées ou semi-agrégées qui raisonnent en termes d'individus moyens. On dit qu'une microsimulation est « dynamique » lorsqu'on ne se limite pas à l'analyse des situations individuelles à une date donnée mais qu'on projette ces situations individuelles dans le temps. L'approche dynamique est évidemment indispensable à des modèles destinés à apprécier l'évolution à long terme des retraites. Dans ce cas, la démarche consiste à simuler les trajectoires individuelles d'activité et les droits à retraite qui en découlent, par un mélange de règles déterministes, de tirages pseudo-aléatoires et d'hypothèses de comportement. On est alors en mesure de produire des résultats prospectifs tant pour les niveaux moyens et la masse globale des retraites que pour leur variabilité par générations et/ou catégories d'individus.

Le modèle Destinie 1 avait été construit selon ce principe. Il a été utilisé pour le suivi des réformes de retraite de 1993 et de 2003 (Burrigand *et al.*, 2001 ; Bardaji *et al.*, 2002, 2003, 2004), conjointement à d'autres outils plus agrégés et en appui aux projections directement réalisées par les organismes de retraite eux-mêmes (Conseil d'Orientation des Retraites, 2006 et 2010). Il a également été utilisé pour d'autres exercices, tels que l'évaluation des effets redistributifs intra-générationnels du système de retraite (Colin *et al.*, 1999 ; Walraët et Vincent, 2003), ou des projections à long terme de la dépendance aux âges élevés et de son coût financier (Duée et Rebillard, 2004) (1).

La mise en chantier d'une nouvelle version de ce modèle a été envisagée dès le début des années 2000 et a réellement débuté en 2005. Elle a été l'occasion d'une remise à plat intégrale de la structure du modèle. On a notamment cherché à le rendre plus flexible : les demandes qui sont adressées à un tel outil sont en effet très diverses et difficiles à anticiper. Ceci impose d'avoir un modèle très ouvert et adaptable. On a aussi cher-

ché à faciliter la mise en cohérence des résultats du modèle avec les autres types de projections à long terme, notamment avec les perspectives démographiques et de population active également élaborées par l'Insee.

La refonte a aussi tenu compte de l'évolution du contexte dans lequel Destinie est utilisé. L'expérience du modèle Destinie 1 a en effet conduit d'autres organismes à développer ou envisager des outils comparables, adaptés à leur propre domaine de compétence : modèle Prisme de la caisse nationale d'assurance vieillesse (voir par exemple une présentation dans Poubelle *et al.* (2006)), modèle Ariane de la direction du Budget, modèle Vénus de la Direction Générale du Trésor, ou encore, plus récemment, modèle Promess de la Drees (Aubert *et al.*, 2010). De ces différents outils, seul Prisme est un modèle de microsimulation *stricto sensu*, mais tous les autres s'en approchent en essayant de désagréger la population avec un plus ou moins grand degré de finesse. Dans ce contexte il est possible que le modèle Destinie soit désormais moins sollicité sur les questions de retraites. Aussi lui a-t-on donné une perspective plus généraliste : celle d'un outil de simulation des trajectoires à long terme des individus et de leurs ménages permettant de répondre à des questions directement liées au vieillissement, ou nécessitant la disponibilité de données panélisées en très longue période, combinant une dimension rétrospective et prospective.

La nouvelle version du modèle qui a été mise au point pour répondre à ces attentes conserve l'essentiel des acquis de la première version. L'objectif du nouveau modèle reste de fournir une simulation complète de la structure démographique de la population française (y compris l'évolution de la structure familiale), croisée avec une simulation des trajectoires professionnelles et des droits à retraite qui distingue les droits du régime général et des régimes assimilés, les droits des régimes complémentaires de salariés du privé (ARRCO et AGIRC) et enfin les droits des agents de la fonction publique.

Le nouveau modèle se distingue en revanche de l'ancien par une séparation complète entre le bloc simulant la démographie et les trajectoires professionnelles et le bloc destiné à la simulation des retraites, ainsi que par une très forte modularité de ce second bloc, qui laisse la

1. Pour une revue plus systématique de l'expérience du modèle Destinie 1, cf. Blanchet et Le Minez (2009).

porte ouverte à de nombreux enrichissements. Après avoir donné une vue d'ensemble des possibilités qu'offre cette structure duale, on détaillera la simulation des trajectoires démographiques et professionnelles et le fonctionnement des modules appliqués à la retraite. On donnera enfin quelques exemples de résultats : évaluation rétrospective des effets des réformes de 1993 et de 2003, et incidence potentielle sur les retraites, à long terme, de plusieurs scénarios de redémarrage économique et de croissance à long terme en sortie de la crise de 2008-2009.

Une nouvelle structure à deux niveaux...

La structure à deux blocs du nouveau modèle Destinie 2 peut être présentée de manière très simplifiée (cf. schéma). Le premier bloc est le générateur de biographies démographiques et professionnelles. Comme pour Destinie 1, les principales données en entrée de ce bloc sont les données de l'enquête *Patrimoine*, dont la dernière édition disponible au moment de la refonte était l'édition 2004, portant sur l'année 2003. Les projections prennent cette année 2003 comme année de départ. À partir de cette base de données, le générateur de biographies a deux fonctions : il impute tous les éléments rétrospectifs nécessaires à une projection des retraites

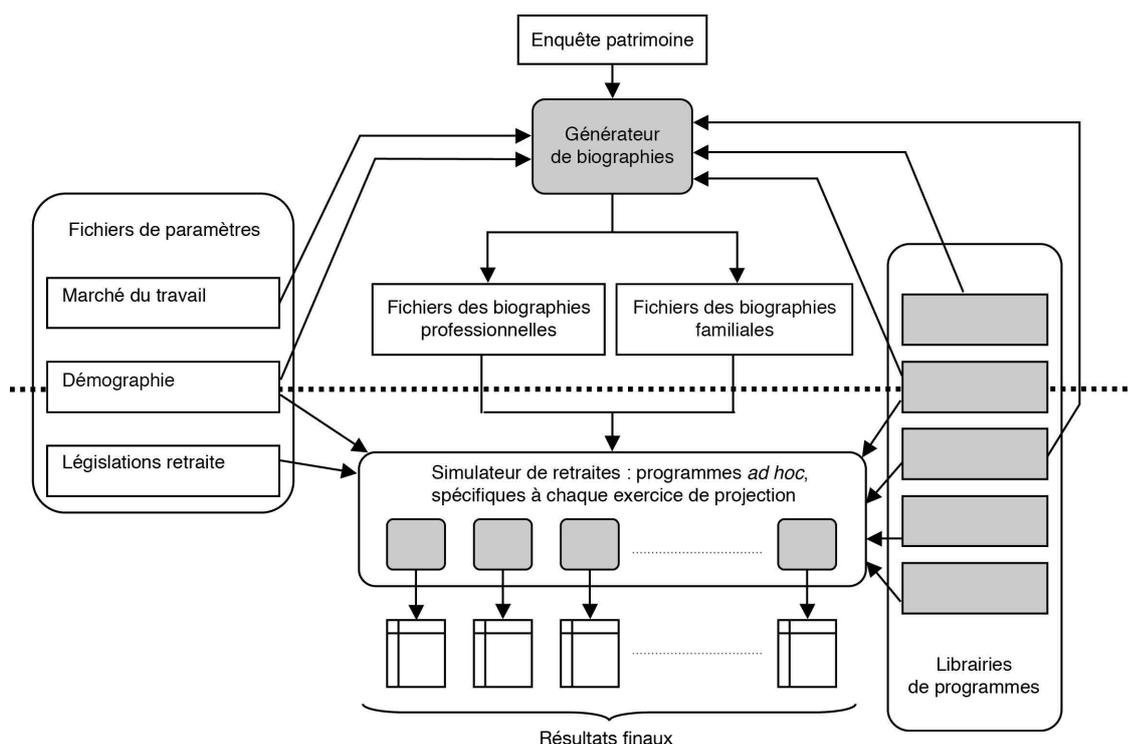
mais qui ne sont pas disponibles dans l'enquête, et il établit les projections à long terme des trajectoires démographiques et sur le marché du travail pour tous les individus de l'échantillon de départ et pour les nouveaux individus dont on simule l'entrée dans la population, par naissance ou par migration, sur l'ensemble de la période de projection.

Ces résultats sont stockés dans deux fichiers de résultats individuels intermédiaires :

- un fichier stockant l'ensemble des trajectoires professionnelles, aussi bien prospectives que rétrospectives. Ces données seront relues en bloc au début du lancement d'une simulation des retraites. À chaque instant, le simulateur de retraite connaîtra ainsi l'ensemble des données courantes, rétrospectives et prospectives sur les individus qu'il manipule, ce qui permet éventuellement de simuler des événements conditionnés par des perspectives futures.

- un fichier stockant l'évolution des liens familiaux. Contrairement aux données professionnelles, celles-ci ne seront lues qu'au fil de l'eau par le module retraite : à un instant donné, ce simulateur de retraite ne connaît que les situations familiales instantanées, ce choix visant

Schéma
Structure du modèle Destinie 2



à limiter le nombre de données stockées en mémoire.

À cette étape aucune information n'est fournie ni générée sur le niveau des retraites ni sur le statut de retraité. Les trajectoires professionnelles qui sont stockées dans les fichiers sont des trajectoires *potentielles* jusqu'à des âges arbitrairement élevés. C'est au bloc retraite qu'il revient de simuler l'ensemble des comportements de départ en retraite et les droits associés, y compris à titre rétrospectif. Pour ce faire, le second étage du modèle relit les résultats du premier bloc et ajoute une simulation du comportement de liquidation.

... qui facilite la simulation des variantes

La structure à deux étages présente plusieurs avantages. Un premier avantage tient au fait que, durant la phase de développement, elle a permis un travail autonome sur les deux volets du modèle. Les utilitaires de calcul des droits à retraite du deuxième bloc ont pu être développés et testés sur des cas-types ou des versions très provisoires des biographies générées par le premier bloc sans attendre que celui-ci soit stabilisé.

Ensuite, le fait d'avoir un stockage intermédiaire des trajectoires démographiques et professionnelles évite que chaque simulation d'un scénario de retraites impose une simulation nouvelle et coûteuse de l'ensemble des autres caractéristiques des individus. Les programmes qui produisent les simulations de retraite sont donc plus compacts et leur temps d'exécution s'en trouve raccourci. Ceci facilite aussi l'examen des effets des réformes « toutes choses égales par ailleurs » à niveau fin. Lorsque l'ensemble des trajectoires est simulé à nouveau pour chaque variante, on s'expose à des décalages du générateur de tirages pseudo-aléatoires qui modifient l'ensemble des trajectoires individuelles, ce qui brouille l'analyse des effets des réformes *stricto sensu*. La solution retenue dans le modèle Destinie 1 consistait à prédéfinir les tirages pseudo aléatoires effectués pour simuler les différents types de transition, individu par individu. Le problème est résolu ici plus directement : on garde le même fichier de trajectoires d'une variante à l'autre. Deux simulations de retraite avec des règles de calcul différentes s'appliquent à deux populations identiques et l'on peut procéder ainsi à des comparaisons avant/après pour chaque individu.

Enfin, puisque les simulations des trajectoires démographiques et professionnelles sont réalisées une fois pour toutes en amont de la simulation des variantes de retraites, on peut se permettre de les réaliser avec un programme assez lourd comportant un certain nombre de calages sur les projections démographiques et de population active disponibles par ailleurs. L'opportunité de tels calages peut évidemment être discutée. Si l'on considère que la microsimulation est une méthode assez fiable pour délivrer des messages robustes à la fois au niveau individuel et pour tous les types d'agrégats, les projections démographiques standard réalisées par la méthode usuelle des composants s'avèrent inutiles : le modèle se suffit à lui-même. Cependant, même sur de gros échantillons, on sait que la microsimulation reste exposée au risque de fluctuations ou même de dérive stochastique. Le calage sur quelques agrégats fournis par les méthodes classiques permet de contrôler ce risque. C'est l'option qui a été retenue : la microsimulation est ici un moyen de générer un ensemble de trajectoires individuelles vraisemblables et compatibles avec les projections agrégées. Ces trajectoires servent ensuite de base au calcul des distributions complexes requises pour la projection des retraites. Mais les calages que cela implique étant coûteux en temps de calcul, il est préférable de ne pas avoir à les renouveler trop fréquemment. C'est ce que permet la structure à deux étages.

Ces avantages ont pour contrepartie un inconvénient notable : une telle organisation interdit en principe aux scénarios de retraite de rétroagir sur les trajectoires démographiques ou d'emploi en amont de la retraite. Or ce type de rétroaction doit être envisagé. On avance ainsi souvent l'hypothèse que les comportements d'activité en fin de carrière sont influencés par l'horizon de la retraite. Une réforme éloignant cet horizon peut donc modifier les comportements bien en amont de l'âge de 60 ans (Hairault *et al.*, 2007). Il est cependant possible de réintroduire *ex post* ce genre de rétroaction dans le cadre de la structure à deux étages : il suffit de considérer le jeu de biographies fournies par le premier étage comme un jeu de biographies de référence, éventuellement susceptible de modifications. Ces possibilités de modulation en fonction des besoins servent plus loin à explorer les variantes de sortie de crise. Un autre article de ce dossier (Bachelet *et al.*, ce numéro) illustre pour sa part la possibilité de simuler un effet horizon liant réformes et transitions sur le marché du travail en amont de la retraite.

Un second bloc totalement modulaire

L'autre innovation de cette version du modèle est que son bloc retraites ne se présente plus sous forme d'un programme unique dont l'utilisateur aurait à modifier le paramétrage ou à compléter le code d'un scénario à l'autre. Le choix a plutôt été de développer une *boîte à outils* de simulation qui sert à construire de petits programmes de simulation *ad hoc* correspondant à chaque exercice de simulation (cf. partie inférieure du schéma). En s'appuyant sur les fichiers issus du générateur de biographies et en mobilisant différentes bibliothèques de programmes qui lui sont fournis, l'utilisateur construit autant de programmes de simulation qu'il en a besoin, le principe étant d'avoir un programme différent pour chaque application. En pratique le travail de programmation requis peut rester limité, car les programmes ne sont pas construits *ex nihilo*, mais sont en général élaborés à partir d'autres programmes déjà mis au point pour d'autres applications.

Le choix de cette structure entièrement modulaire du bloc retraites se justifie par le fait qu'il est totalement impossible de prévoir *ex ante* l'ensemble des scénarios de retraite et la diversité des variables d'*output* qu'il sera demandé au modèle de produire. L'approche « boîte à outils » permet de se ménager le maximum de possibilités dans ce domaine et elle a deux avantages annexes :

- D'une part, le fait d'avoir à mettre au point un programme différent pour chaque simulation permet d'assurer une meilleure traçabilité. Toutes les hypothèses qui ont servi à construire un fichier de résultats peuvent être en effet reconstituées en retournant au code source du programme qui a généré ces résultats. Il n'y a donc pas besoin de prévoir une sauvegarde spécifique des hypothèses ayant servi à produire ces résultats.

- Par ailleurs, la boîte à outils mise au point pour le modèle peut aussi être (et a déjà été) utilisée pour d'autres applications (Ben Salem *et al.*, 2010). Elle peut servir à des microsimulations fondées sur des biographies autres que celles fournies par le premier étage, issues par exemple de sources administratives. On peut aussi les appliquer à des séries de cas-types. Multiplier les usages de cette boîte à outils contribue à en améliorer la qualité.

Le générateur de biographies démographiques et professionnelles

On va maintenant détailler la conception du premier étage du modèle, et tout d'abord la base de données initiales sur laquelle il s'appuie. Un ingrédient fondamental de tout modèle de microsimulation dynamique est en effet cette base de données de départ que le modèle aura pour fonction de faire vieillir et de réalimenter à sa base.

Des trajectoires démographiques issues de l'enquête Patrimoine et calées sur les projections de population totale

La version actuelle du générateur de biographies s'appuie sur l'enquête *Patrimoine* réalisée par l'Insee en 2004. Le choix de s'appuyer sur l'enquête *Patrimoine* avait été fait pour la première version du modèle car c'était à l'époque la seule enquête ménage donnant une information rétrospective sur la durée de la carrière, laquelle constitue un élément majeur du calcul des droits à retraite. Ce choix a été maintenu pour le nouveau modèle, d'autant que la version 2004 de l'enquête contient un descriptif complet des statuts successifs vis-à-vis de l'emploi sur l'ensemble de la vie adulte. Après quelques corrections de champ, cette enquête comporte un peu plus de 22 000 individus et environ 9 700 ménages. Sur cette base, on construit deux échantillons de ménages représentatifs de la population française de 2003, soit au 1/1 000 (environ 65 000 individus) soit au 1/10 000 (environ 6 500 individus). Le second échantillon est destiné aux travaux de mise au point ou aux exploitations légères : c'est celui qui est utilisé dans cet article. Le premier sert aux travaux nécessitant des résultats plus précis ou à des études de sous-populations particulières. Comme il est plus gros que l'échantillon de l'enquête, il est obtenu en dupliquant un certain nombre de ménages et individus de l'échantillon initial. Ces clones ont initialement les mêmes caractéristiques que les individus dont ils sont les copies, ils n'améliorent donc pas la précision des calculs sur l'échantillon de départ. En revanche, ils évoluent ensuite différemment au gré des tirages aléatoires qui alimentent la projection, ce qui fait gagner en précision sur les résultats à long terme.

Hormis une gestion spécifique des liens de parenté qui était déjà une originalité du modèle

Destinie 1 et qui a été entièrement reprise dans le nouveau modèle (cf. encadré 1), le bloc démographique présente les caractéristiques usuelles de tout modèle de microsimulation dynamique. Les événements démographiques sont les unions, les séparations, les naissances d'enfants, les décès et les migrations. Tous les types d'union sont simulés, sans distinction de leur nature juridique (mariage, PACS ou union libre) car l'objectif premier est avant tout de décrire le regroupement de la population en ménages (2). La mortalité ne dépend que de l'âge, de la période et du genre : on utilise les tables de mortalité prospectives des projections démographiques de l'Insee (3). La simulation de la migration consiste à ajouter chaque année dans la population des individus supplémentaires avec des caractéristiques démographiques tirées aléatoirement pour reproduire les caractéristiques principales des flux de migrants, en termes de structure par âge et de *sex ratio* (4). Pour les autres phénomènes, les probabilités découlent d'équations dépendant de l'âge ou de la durée écoulée depuis l'évènement précédent, du genre et, en général, de l'âge de fin d'études qui est le marqueur social de référence

du modèle Destinie. Elles sont tirées de la dernière mise à jour du module démographique de Destinie 1, qui s'était appuyé sur les données de l'échantillon démographique permanent de l'Insee (Duée, 2005).

Pour toutes ces équations, hormis la mortalité, les paramètres sont supposés constants au cours

2. Ceci fausse néanmoins les calculs de réversion qui supposeraient de prendre en compte ce statut juridique : l'introduction de cette distinction pourra faire l'objet de développements ultérieurs.

3. L'introduction de la mortalité différentielle est en chantier mais pas encore achevée à ce stade.

4. Pour être plus précis, le modèle ne simule que des entrées : il ne simule ni sorties, ni retours. Le calage se fait donc sur un profil par âge ajusté pour donner le flux net global mais déformé pour donner des flux nets positifs à tous les âges. Les conséquences de cette simplification sur le calcul des droits à retraite sont supposées être de second ordre. Les retours étant négligés, à apport migratoire donné, on simulera un migrant unique s'installant définitivement en France là où, dans la réalité, il a pu y avoir plusieurs migrants successifs venus travailler et cotiser sur des périodes plus courtes. Au premier ordre, les conséquences sur le nombre de retraités et sur le niveau moyen des retraites servies se compensent. L'absence de sorties de jeunes actifs revient à tirer vers le haut le nombre de cotisants, mais ceci est compensé par des entrées moins nombreuses de migrants aux âges adjacents. On néglige enfin le cas de retraités français partant profiter de leur retraite à l'étranger mais on considère que ce phénomène est pour l'instant secondaire.

Encadré 1

LA SIMULATION DES LIENS FAMILIAUX

Une caractéristique du modèle Destinie 1 intégralement conservée dans cette nouvelle version est le fait de proposer une simulation complète des liens de parenté. Une telle information est utile pour de nombreuses questions liées au vieillissement, comme la projection du réseau d'aidants informels pouvant assister une personne âgée dépendante (Duée et Rebillard, 2004), où la simulation des comportements de transmission intergénérationnelle.

Comment le modèle simule-t-il ce type de structure ? L'enquête *Patrimoine* de 2003 fournit des données démographiques assez riches. Puisqu'il s'agit d'une enquête auprès des ménages, l'ensemble des personnes cohabitant au sein d'un même ménage est connu et représenté dans l'enquête. Celle-ci comporte également des informations sur les caractéristiques des enfants des personnes enquêtées, même lorsque ces enfants ne cohabitent plus avec leurs parents. Symétriquement nous savons si les parents des individus enquêtés sont encore en vie ou non. Sur la base de cette information, une pseudo-structure de parenté est recréée au sein de l'échantillon en complétant les liens familiaux internes aux ménages par des liens vers d'autres individus utilisés comme *proxys* des parents ou enfants effectifs des personnes de l'échantillon. Ces liens artificiels sont créés en cherchant dans l'échantillon des pseudo-apparentés de caractéristiques aussi proches que possible de celles des parents réels que

ce soit en termes d'âge, de niveau d'éducation, ou de statut sur le marché du travail. Par exemple, si on sait que la mère d'un individu *i* âgé de 50 ans est encore en vie et âgée de 75 ans, on cherche dans l'échantillon une veuve de cet âge ou d'un âge proche à qui on fait jouer fictivement le rôle de mère de l'individu *i*.

Une fois que ces pseudo-liens ont été initialisés, leur évolution est facile à simuler. Il suffit en effet de constituer les unions entre individus de la population simulée, et d'alimenter l'échantillon par les naissances issues de ces unions, complétées, autant que de besoin, par l'ajout d'individus additionnels entrant par migration, de manière cohérente avec les flux migratoires des projections de population totale. Les liens de parenté pour les nouveau-nés sont donc automatiquement générés à la naissance.

Le fichier de données qui en résulte est un fichier dont l'unité de base reste l'individu, qui est donc parfaitement cylindrique ce qui ne serait pas le cas avec un modèle dans lequel l'unité simulée serait le ménage. Mais ces enregistrements individuels sont liés les uns aux autres par un système de pointeurs qui répertorie l'ensemble des liens de parenté qui existent au sein de la population. Le mode de programmation retenu rend très facile la mobilisation de cette information : par exemple, une instruction de la forme *age(pere(i))* retourne directement l'âge du père de l'individu *i*.

du temps. Ceci est à peu près cohérent avec les scénarios centraux des projections de l'Insee qui sont en général des scénarios à migration et fécondité quasi constantes (Robert-Bobée, 2006 ; Blanpain et Chardon, 2010). Malgré cela, les résultats ne peuvent coïncider exactement avec ceux de ces projections, ne serait-ce qu'en raison des fluctuations d'échantillonnage ou parce que le principe même de la projection n'est pas le même. Par exemple, une projection fondée sur des taux de fécondité par âge et une projection fondée sur des probabilités d'une naissance supplémentaire selon le nombre d'enfants et conditionnellement au fait d'être en union ne donnent pas forcément exactement les mêmes résultats. Or, quels que soient les mérites relatifs des deux approches, il est préférable qu'une microsimulation soit cohérente avec les projections disponibles par ailleurs : il est souhaitable d'assurer l'« alignement » (*i.e.* la mise en cohérence) de cette microsimulation avec les résultats donnés par les outils de projection traditionnels.

Dans Destinie 2, cet alignement est assuré en ajustant les probabilités individuelles de réalisation des événements pour lesquels on cherche à avoir cette cohérence. Ce calage concerne le nombre annuel de naissances ou de décès par genre et le solde migratoire. Il conserve les risques ou chances relatives de connaître l'évènement considéré pour chaque individu concerné dans la population, mais majore ou minore le risque moyen de façon à obtenir, en espérance, le nombre d'évènements souhaités.

Une projection des carrières calée sur les hypothèses d'emploi et de salaires moyens

Pour ce qui concerne le volet activité/emploi, le modèle tire parti de ce que l'enquête *Patrimoine*, comme on l'a indiqué, fournit des informations sur les carrières jusqu'à l'horizon 2003 sous forme de calendriers rétrospectifs d'activité. Pour chaque année au-delà de l'âge de sortie du système scolaire, nous savons ce qu'a été le statut de l'individu sur le marché du travail : salarié du secteur public ou privé, travailleur indépendant, chômeur, retraité ou inactif. On complète ou on aménage cette information pour mieux cadrer avec les catégories de retraites simulées par Destinie : par exemple, faute de pouvoir simuler le détail des règles des régimes spéciaux, le modèle les agrège avec les fonctionnaires de l'État et des collectivités locales. À l'inverse, les contractuels de l'état sont assi-

milés aux salariés de privé puisque, comme eux, ils cotisent au régime général : la simplification consiste ici à calculer leur retraite complémentaire selon les règles ARRCO-AGIRC (retraites complémentaires des salariés du secteur privé) plutôt que selon les celles de l'Ircantec (Institut de retraite complémentaire des agents non titulaires de l'État et des collectivités publiques).

Au sein de la Fonction publique, on attribue à chaque individu une catégorie (active ou sédentaire). Cette information n'est pas disponible dans l'enquête patrimoine. Elle est cependant nécessaire pour simuler la possibilité de départ dès 55 ans pour les fonctionnaires qui totalisent un nombre suffisant d'années de service en catégorie active. La dernière modification des données brutes de l'enquête concerne le statut de retraité : comme on l'a déjà indiqué et comme on y reviendra encore plus loin, ce statut est reconstitué par le simulateur de retraite. Pour les individus en âge de retraite, le fichier de biographies contient donc des prolongations de carrière fictive, sur la base du dernier statut d'activité connu.

Après 2003, toutes ces informations sont projetées. Les transitions entre états sur le marché du travail se font selon des probabilités de transition estimées à partir des enquêtes *Emploi* conduites par l'Insee entre 1992 et 2002. Ces probabilités dépendent des caractéristiques individuelles, en nous limitant évidemment à des caractéristiques qui sont elles-mêmes disponibles dans le modèle. Les transitions dépendent de l'âge de fin d'études, de l'âge courant et de l'interaction entre les deux. Toujours selon le même principe, les transitions continuent d'avoir lieu sur le marché du travail au-delà des âges normaux de retraite, mais hors prise en compte du passage à la retraite qui ne sera simulé que par le simulateur de retraite.

Deux caractéristiques de cette version du modèle sont particulièrement importantes. D'une part, en projection, les individus peuvent connaître des mobilités entre les secteurs privé et public au cours de leur carrière, et également vers l'emploi indépendant, alors que le modèle Destinie 1 supposait des carrières totalement homogènes. Combinées avec l'information sur les transitions passées fournies par le calendrier rétrospectif de l'enquête *Patrimoine*, ces mobilités permettent au modèle de simuler les trajectoires et les droits des polypensionnés, mais non sans fragilité ni sans générer une certaine complication dans l'interprétation des résultats puisqu'ils mêlent des individus à trajectoires

très hétérogènes (5). D'autre part, comme pour les événements démographiques, les probabilités de transition entre les différents statuts sont ajustées en fonction de deux impératifs de cohérence. Elles doivent tout d'abord être compatibles avec les projections de population active construites par l'Insee, pour tous les groupes d'âges quinquennaux jusqu'à 55 ans et séparément pour les hommes et les femmes jusqu'à l'horizon 2050. Elles doivent aussi s'accorder avec les hypothèses retenues par le modèle pour la part de l'emploi public dans l'emploi total et pour le taux de chômage. S'agissant de ce dernier, ces hypothèses sont celles de l'un ou l'autre des derniers scénarios macroéconomiques retenus par le Conseil d'orientation des retraites.

Ces ajustements sur les carrières ayant été faits, on procède enfin au calcul des trajectoires salariales, selon une procédure qui couvre à la fois le passé et la période de projection : l'enquête *Patrimoine* ne donne pas en effet d'information sur les trajectoires salariales passées et celles-ci doivent donc être à la fois rétropolées et projetées. La démarche est la suivante. On part d'équations de détermination des salaires individuels reprises du modèle Destinie 1, estimées sur la base de l'appariement entre l'enquête *Patrimoine* et l'enquête *Revenus fiscaux*. Ce qui est modélisé est donc le revenu du travail annuel global. À partir de ces équations, on calcule pour chaque individu un revenu salarial à chaque date d'emploi compte tenu de ses caractéristiques personnelles ou de celles de son emploi. Les variables explicatives de cette équation sont le sexe, l'âge de fin d'études (en écart à celui de la moyenne de sa génération), l'expérience et le secteur d'activité puisqu'on estime des équations séparées pour le public et le privé (6). Cette procédure donne toutefois des niveaux de salaire qui ne sont réalistes ni en projection ni en rétropolation. Pour y parvenir, on recalcule alors, année après année, l'ensemble de ces salaires individuels de manière à s'ajuster sur des cibles issues d'autres sources. Entre 1962 et 2008, ces cibles sont les niveaux de salaire moyen par sexe et grands groupes d'âge donnés par les Déclarations Annuelles de Données Sociales. Avant 1962, ces cibles sont une rétropolation de la structure par sexe et âge des DADS de 1962 calée en niveau moyen sur l'évolution du salaire moyen par tête de la comptabilité nationale. Après 2008, il s'agit d'une extrapolation de la structure par âge des DADS de 2008, calée sur l'une ou l'autre des hypothèses de productivité des dernières projections du Conseil d'orientation des retraites.

Une limite de cette procédure est qu'elle fige les profils de salaire par âge transversaux en projection. L'hypothèse implicite est que, d'un scénario de productivité à l'autre, les niveaux instantanés de salaire des différents groupes d'âge accélèrent ou décélèrent de concert. D'autres hypothèses sont possibles : par exemple, des accélérations de la dynamique salariale qui profiteraient plutôt à certaines tranches d'âge – aux salariés jeunes si le canal des hausses de salaire est l'amélioration de la formation initiale, ou aux salariés d'âge médian (l'hypothèse que les progrès de productivité bénéficient également aux travailleurs plus âgés est en revanche davantage sujette à caution). Or ces modalités de partage des fruits de la croissance entre groupes d'âge ne sont pas totalement neutres pour le ratio instantané entre retraite moyenne et salaires moyen, y compris en régime permanent (cf. encadré 2). Mieux asseoir les hypothèses d'évolution de la structure des salaires par âge constitue donc un enjeu significatif pour la stabilisation du modèle qui devra, lui aussi, faire l'objet d'approfondissements ultérieurs.

Construire une projection des retraites

Une fois qu'un scénario de référence a été construit et stabilisé pour les trajectoires démographiques et professionnelles et que ses résultats ont été stockés dans des fichiers intermédiaires, le second bloc du modèle peut entamer la simulation de scénarios de retraite. On détaille maintenant ces simulations.

5. Par exemple, le modèle simule en projection très peu de retraités ne dépendant que du régime de la fonction publique. Pour avoir des effectifs de retraités de la fonction publique suffisants mais ne donnant pas trop de poids aux individus n'ayant passé que peu de temps dans la fonction publique, il faut filtrer les résultats en ne retenant que les individus dont la carrière dans la fonction publique a été suffisamment longue : or le seuil retenu n'est pas neutre pour les résultats.

6. En principe les salaires imputés selon cette équation devraient aussi inclure des termes aléatoires rendant compte de ce que deux individus de mêmes caractéristiques à la même date n'ont pas forcément les mêmes niveaux de salaire. Mais, en l'absence d'une spécification de cette variabilité individuelle suffisamment satisfaisante, on a utilisé dans les simulations de cet article et de l'article joint des équations sans aucune composante aléatoire : la variabilité des salaires se réduit donc à celle découlant de la variabilité des facteurs explicatifs observables. Il en résulte notamment une sous-estimation des retraites des cadres, dont le niveau moyen est tiré vers le haut, en pratique, par les individus à salaire nettement plus élevés que la moyenne de leur groupe d'âge et de niveau de qualifications. Une amélioration dans ce domaine sera bien évidemment un axe de développement prioritaire du modèle.

Les principales fonctionnalités

Comme on l'a indiqué, il n'existe pas de programme complet prédéterminé de simulation des retraites. Ce qui est proposé à l'utilisateur est plutôt un ensemble d'outils de programmation qui permettent la construction de programmes de simulation *ad hoc*. Dans les cas les plus simples, avec des sorties minimales, ces programmes se limiteront à quelques dizaines de lignes de code, mais leur taille peut ensuite être étendue sans limites en fonction du nombre et de la complexité des variantes qui sont envisagées et du nombre de variables d'output que l'on veut obtenir en sortie de la simulation.

Les principales fonctionnalités offertes pour construire ces programmes sont les suivantes :

- L'utilisateur a accès à un jeu complet de variables prédéterminées et qui n'ont donc pas besoin d'être redéclarées. Ceci inclut en premier lieu les variables socio-économiques individuelles qui sont relues dans les fichiers produits par le générateur de biographies. Une fonction est fournie qui permet à cette relecture d'être automatique. Les variables prédéfinies comprennent aussi la liste détaillée des paramètres de calcul des droits à retraite et l'ensemble des variables destinées à stocker les calculs intermédiaires ou les résultats finaux de la simulation des retraites.

Encadré 2

IMPACT DE LA CROISSANCE À LONG TERME SUR LE RATIO RETRAITES/PIB : INCIDENCE DES EFFETS DE PÉRIODE ET DE GÉNÉRATION

On peut proposer une justification analytique des effets des hypothèses de croissance sur le rapport retraites/PIB ou, de manière équivalente, sur le rapport retraites/salaires, à partage donné de la valeur ajoutée. Cette justification analytique permettra également de distinguer deux formes possibles pour ce changement d'hypothèse de croissance, selon qu'elle prend la forme d'effets de période qui s'appliquent à chaque date à l'ensemble des groupes d'âge, ce qui est le cas envisagé dans le texte, ou plutôt la forme d'effets de génération, *i.e.* uniquement une remontée des trajectoires salariales pour les nouveaux entrants sur le marché du travail. Il n'est pas évident *a priori* que les effets soient les mêmes, il est donc intéressant de les distinguer.

Pour ce faire, on suppose que le profil du salaire par âge et par date $w(a, t)$ est la résultante de trois effets :

- un effet d'âge pur qu'on supposera de la forme $w(a)e^{\rho_a a}$, dans lequel le terme ρ_a permettra de capter des modifications de la pente de cet effet d'âge ;
- un effet de période se traduisant par un terme exponentiel de coefficient ρ_p ;
- enfin, un effet de génération, dit encore de cohorte, également de forme exponentielle avec un coefficient ρ_c .

On écrit ainsi :

$$w(a, t) = w(a)e^{\rho_a a} e^{\rho_c c} e^{\rho_p t} = w(a)e^{\rho_a a} e^{\rho_c (t-a)} e^{\rho_p t}$$

L'effet d'âge pur mesure l'incidence spécifique de l'expérience sur le couple productivité/salaire. Il n'a pas d'incidence sur le rythme de croissance de l'économie. Le taux de croissance global de l'économie est la somme des deux autres effets de période et de cohorte, $\rho = \rho_p + \rho_c$.

Dans cette formulation, l'effet d'âge pur doit être différencié de l'effet d'âge apparent observé en comparant

les différents groupes d'âge à date donnée, qui est de la forme $w(a)e^{(\rho_a - \rho_c)a}$. La différence vient de ce que l'effet de cohorte tire dans un sens descendant le lien entre salaire et âge à date donnée : lorsque l'effet de cohorte domine, les jeunes sont en situation relative instantanée plus favorable par rapport aux travailleurs plus âgés du seul fait qu'ils appartiennent à des générations plus récentes.

Sur cette base, on commence par calculer le niveau de retraite de la cohorte c , qui, avec indexation sur les prix, correspond au niveau de prestation qu'elle touchera sur l'ensemble de sa retraite. On suppose un âge de retraite de 60 ans. Elle liquide donc à la date $c + 60$ et on suppose que sa pension est calculée sur la base des salaires qu'elle a touché entre l'âge x et l'âge 60, soit donc entre les dates $c + x$ et $c + 60$. On peut ainsi écrire :

$$p(c) = \tau \int_x^{60} w(a, c + a) da = \tau \int_x^{60} w(a) e^{\rho_a a} e^{\rho_c c} e^{\rho_p (c+a)} da \\ = \tau e^{\rho_c c} \int_x^{60} w(a) e^{(\rho_a + \rho_p) a} da$$

On en déduit la masse totale des pensions versées à la date courante, sous l'hypothèse d'une population stationnaire de survie $s(a)$ et en supposant un âge limite ω .

$$P(t) = \int_{60}^{\omega} p(t - a) s(a) da \\ = \int_{60}^{\omega} \tau e^{\rho(t-a)} \left(\int_x^{60} w(u) e^{(\rho_a + \rho_p) u} du \right) s(a) da \\ = \tau e^{\rho t} \int_{60}^{\omega} e^{-\rho a} s(a) da \int_x^{60} w(a) e^{(\rho_a + \rho_p) a} da$$

De la même manière, on calcule la masse des salaires à la date t , en supposant un début d'activité vers 20 ans :

$$W(t) = \int_{20}^{60} w(a) e^{\rho_a a} e^{\rho_c (t-a)} e^{\rho_p t} da \\ = e^{\rho t} \int_{20}^{60} w(a) e^{(\rho_a - \rho_c) a} da$$



L'utilisateur peut ensuite rajouter à ces variables prédéterminées toutes les variables individuelles additionnelles qu'il peut avoir envie de calculer à partir de ces variables prévues par défaut. C'est aussi à l'utilisateur qu'il revient de déclarer les variables macro qui serviront à stocker les résultats agrégés de la simulation. Celles-ci varient en effet d'un exercice de projection à l'autre, et il n'était donc ni possible ni souhaitable d'en définir la liste *a priori*.

- L'utilisateur a ensuite accès à un ensemble de modules qui permettent de spécifier les règles de calcul des droits à retraite, selon la législation courante, ou selon l'une quelconque des législations passées. Pour donner un exemple concret, une instruction « UseLeg(1994,1935) » insérée dans le code du programme indique que les différents paramètres de calcul des retraites sont fixés aux valeurs qui étaient prévues en 1994 pour les individus de la génération 1935. Ces valeurs sont celles qui prévaudront pour toutes les opérations qui suivront, jusqu'à nouvel appel de cette fonction. Si l'on souhaite appliquer une législation qui diffère des législations existantes

ou passées, la démarche consiste à appeler cette fonction sur la législation la plus proche de celle qu'on souhaite simuler, puis de rajouter les instructions de modification du ou des paramètres de calcul des droits à retraite sur le ou lesquels portent la variante.

- L'utilisateur dispose de fonctions permettant de spécifier les options de comportement de départ en retraite et/ou le périmètre de ce qu'il veut calculer : par exemple, il peut choisir de simuler l'ensemble des droits, ou des droits excluant tel ou tel des avantages non contributifs offerts par le système de retraite.

- L'utilisateur dispose d'une procédure simulant la décision de départ en retraite et générant les droits associés et leur revalorisation pour les années postérieures au départ en retraite. Cette fonction s'utilise à la fois de manière prospective, pour simuler les départs au-delà de l'année de démarrage de la projection et de manière rétrospective pour reconstituer les âges de départ des individus déjà en retraite lors du démarrage de la projection. Des fonctions ana-

Encadré 2 (suite)

On en déduit le ratio retraites/masse salariale qui, en régime permanent, va être indépendant de t :

$$\frac{P(t)}{W(t)} = \tau \frac{\int_{60}^{\omega} e^{-\rho_a a} s(a) da \int_x^{60} w(a) e^{(\rho_a + \rho_p) a} da}{\int_{20}^{60} w(a) e^{(\rho_a - \rho_c) a} da}$$

On se propose d'évaluer la sensibilité de ce ratio aux variations de ρ_p et ρ_c et accessoirement de ρ_a . On va le faire autour de valeurs nulles de ces trois paramètres ρ_p et ρ_c égaux à zéro. De manière générale, pour une fonction $f(a)$ quelconque, on peut écrire :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \rho} \left(\text{Log} \int_{\alpha}^{\beta} f(a) s(a) e^{\rho a} da \right) \\ = \frac{\int_{\alpha}^{\beta} a f(a) s(a) e^{\rho a} da}{\int_{\alpha}^{\beta} f(a) s(a) e^{\rho a} da} = A_{f, \alpha, \beta}(\rho) \end{aligned}$$

et $A_{f, \alpha, \beta}(0)$ correspond à l'âge moyen, entre α et β , pour le phénomène décrit par la fonction f , compte également tenu de la mortalité $s(a)$. Il vient donc :

$$\begin{aligned} d \text{Log} \frac{P}{W} &= -A_{1,60,\omega} d\rho + A_{w,x,60} (d\rho_a + d\rho_p) \\ &+ A_{w,20,60} (d\rho_c - d\rho_a) \\ &= (A_{w,x,60} - A_{1,60,\omega}) d\rho + (A_{w,x,60} - A_{w,20,60}) d\rho_a \end{aligned}$$

Par exemple, en prenant pour simplifier une survie égale à un jusqu'à l'âge limite $\omega = 90$, et un calcul de la retraite sur les 25 dernières années de la carrière, soit $x = 35$, et une fonction $w(a)$ indépendante de l'âge on aura, numériquement :

$$d \text{Log} \frac{P}{W} = -27,5 d\rho + 7,5 (d\rho_a - d\rho_c)$$

Considérons alors une élévation de la croissance de 0,3 point qui passerait uniquement par des effets de période soit $d\rho_c = 0$ et $d\rho = d\rho_p = 0,003$. Selon la formule proposée, elle conduit à une variation (-27,5) x(0,003) pour le logarithme de P/W , soit une baisse de 8,25 %. Le facteur 27,5 correspond à l'écart entre l'âge moyen de perception de la pension et l'âge médian de la période d'activité prise en compte pour le calcul de la pension.

Si la même élévation de la croissance passe uniquement par des effets de génération, la même formule fait apparaître un effet négatif supplémentaire de $-7,5 d\rho_c$. Ceci conduit à une baisse totale de 10,5 %. L'effet additionnel traduit l'impact de l'effet de génération sur la structure par âge instantanée des salaires. Il est équivalent à celui que donnerait une modification de signe opposé pour l'effet d'âge pur.

Selon que les progrès de productivité bénéficient à chaque période à l'ensemble des actifs ou passent plutôt par des effets de génération, l'incidence sur le ratio pensions/salaires n'est pas exactement la même. Les ordres de grandeur restent néanmoins comparables.

logues simulent les pensions de réversion ou le minimum vieillesse, lorsqu'on souhaite les inclure dans l'exercice de projection.

- Enfin l'utilisateur a accès à un ensemble relativement riche et flexible de procédures de tabulation incorporées, et également de procédures permettant l'exportation directe des résultats finaux vers des fichiers Excel.

Au total, on peut donc voir le bloc retraite du modèle Destinie 2 comme un *outil logiciel* appliqué au calcul des retraites, conçu pour que la réalisation de variantes élémentaires reste aussi simple que possible, mais sans interdire *a priori* la construction de variantes complexes, moyennant évidemment une connaissance plus approfondie de la façon dont fonctionne l'instrument (cf. tableau 1).

Pour une simulation élémentaire, ces instruments sont mis en œuvre en trois étapes principales, organisées en deux boucles imbriquées sur la date et l'ensemble des identifiants individuels actifs à chaque date :

- Pour chaque date on fait appel à la fonction qui relit les données issues du générateur de biographies, qu'il s'agisse des données initiales et rétrospectives ou de données projetées.

- À une date donnée, pour chaque individu, on fait appel à la fonction qui définit la législation qui doit lui être appliquée. On spécifie également les options de comportement.

- On simule sur cette base l'éventuel départ en retraite et les droits associés. Ceci inclut la simulation rétrospective des départs en retraite passés lorsqu'il s'agit de la première année de la projection. Pour les années suivantes et les individus qui sont déjà en retraite, on se contente de procéder à la revalorisation de la pension. L'ensemble de ces opérations est effectué par appel d'une et une seule fonction, qui constitue la fonction centrale de la bibliothèque de programmes.

Ces deux boucles imbriquées sur la date peuvent elles-mêmes être emboîtés dans une boucle balayant plusieurs scénarios dont les résultats pourront faire l'objet de comparaisons globales ou individu par individu.

Simuler les départs en retraite rétrospectifs et prospectifs : pourquoi et comment ?

Parmi ces opérations, deux méritent des commentaires particuliers. La première est le fait de reconstituer les retraites du stock initial plutôt

Tableau 1
Principales fonctionnalités du modèle Destinie 2

Fonctionnalités disponibles		
	Utilisations courantes	Utilisations avancées
Régimes couverts	<ul style="list-style-type: none"> • Régime général, ARRCO-AGIRC, régime fictif unifié pour le secteur public, régimes de base de non-salariés • Simulation des polypensionnés 	
Législations	<ul style="list-style-type: none"> • Ensemble des législations rétrospectives et prospectives 	<ul style="list-style-type: none"> • Variantes sur mesure • Transition vers comptes notionnels (diverses options de champ et de calendrier)
Composantes de la retraite	<ul style="list-style-type: none"> • Droits directs, y compris les avantages familiaux (MDA, bonifications, AVPF), la prise en compte des périodes assimilées (chômage idemnisé et préretraite), le minimum contributif et minimum garanti 	<ul style="list-style-type: none"> • Réversions • Minimum vieillesse • Neutralisation possible des divers avantages non contributifs pour tester leur incidence
Options de comportement de liquidation	<ul style="list-style-type: none"> • Taux plein • Arbitrage revenu/loisir instantané (cible de taux de remplacement) • Arbitrage revenu/loisir intertemporel (Stock et Wise) • Maximisation de la somme actualisée des droits à retraite • Départ dès que le report cesse d'améliorer la somme actualisée des droits à retraite • Liquidation à âge exogène ou permettant de retrouver le même niveau de pension que celui d'un scénario de référence 	
Types d'output	<ul style="list-style-type: none"> • Pensions par régimes • Âges de liquidation • Taux de remplacement nets ou bruts • Tous types d'agrégats (via fonctions de tabulation intégrées) 	<ul style="list-style-type: none"> • Cas-types • Analyses par générations • Composantes intermédiaires du calcul des droits • Données calculées au niveau des ménages
Fonctionnalités non disponibles, envisagées à court ou moyen terme		
<ul style="list-style-type: none"> • Mortalité différentielle • Accumulation du patrimoine 		

que d'utiliser les observations directement fournies par l'enquête. L'autre concerne le menu d'options disponible pour simuler la décision de liquidation.

Reconstituer les âges de départs en retraite passés et les niveaux de pension associés sans utiliser les informations données par l'enquête peut sembler paradoxal puisque cela revient à se priver délibérément d'une information disponible dans l'échantillon de départ. Il y a cependant deux avantages à cela.

La première motivation a été de minimiser le risque de discontinuité au démarrage de la projection. Enchaîner une situation initiale fondée sur des retraites observées et une projection fondée sur des retraites imputées crée deux risques de discontinuité. L'un vient du fait que le modèle de projection ignore forcément un certain nombre de caractéristiques fines des barèmes : les pensions calculées en flux ne peuvent donc être totalement cohérentes avec celles qui seraient parfaitement observées en stock. Le second risque vient de ce que les pensions observées en stock sont loin de l'être parfaitement : les niveaux auto-déclarés peuvent être sur ou sous-estimés par les déclarants, auquel cas il y a forcément incohérences entre les données du stock et les données simulées en flux. C'est pour éviter ces deux sources d'incohérence qu'on a pris le parti d'une simulation globale homogène du flux et du stock. Les niveaux de pension simulés peuvent s'en trouver légèrement biaisés, dans la mesure où le modèle de simulation n'est pas parfait, mais on a considéré qu'il valait mieux une projection à biais constant qu'à biais variable.

Un second intérêt de cette façon de procéder est qu'elle rend assez facile la simulation de scénarios fondés sur des conditions initiales contrefactuelles. Par exemple, une demande typique est l'analyse de la contribution des réformes de 1993 et de 2003 à l'évolution de l'équilibre des systèmes de retraite (cf. *infra*). Pour cela, il faut un scénario dans lequel la législation de 1992 est maintenue jusqu'à la fin de la projection, et dans lequel les conditions initiales sont des conditions contrefactuelles reconstituant ce qu'aurait été le point de départ en 2003 en l'absence de la réforme de 1993. Ceci se fait facilement en modifiant la règle d'imputation initiale des pensions.

Bien évidemment, pour que cette reconstitution rétrospective soit satisfaisante, il faut qu'elle s'appuie sur un modèle de comportement tel que les âges de départ soient aussi voisins que

possible de ceux qui ont été effectivement constatés. Plusieurs options de comportement sont proposées dans ce but : le choix entre ces différentes options et le calibrage de leurs paramètres doit viser à rendre compte le mieux possible des comportements observés (voir par exemple Bachelet *et al.* dans ce numéro). Ces options sont au nombre de cinq. La première option consiste à supposer que les individus liquident leurs droits dès qu'ils atteignent le taux plein, à un âge qui dépend donc de leur durée de cotisation passée. Les deux options suivantes supposent que la liquidation intervient à un âge maximisant la fonction d'utilité de la personne concernée : cette fonction peut être soit une fonction d'utilité instantanée, soit une fonction d'utilité intertemporelle, ce dernier cas correspondant au modèle de Stock et Wise (1990). Les deux dernières options vont intervenir la notion d'équivalent patrimonial des droits à retraite, c'est-à-dire la somme actualisée des prestations attendues entre l'âge de liquidation et l'âge du décès. Dans un cas, on suppose que l'individu part en retraite à l'âge qui maximise cet équivalent patrimonial des droits à retraite. Dans l'autre cas, on suppose que ce départ s'effectue dès que le report d'une année fait baisser cet indicateur, par exemple en raison d'une surcote insuffisante, et même si un report d'une durée supérieure peut éventuellement le faire remonter.

Les propriétés de ces différentes options ne seront pas décrites plus en détail (voir à nouveau Bachelet *et al.*). Il existe deux autres options de simulation des âges de départ qui ne sont pas des options de comportement à proprement parler mais qui s'utilisent en référence à un scénario de base. L'une permet de forcer l'âge à être le même que dans ce scénario de base, ce qui permet de voir de combien varie le droit à la retraite des individus après une réforme à âge de liquidation inchangé. L'autre est une option à niveau de pension inchangé : elle permet de calculer de combien doit varier l'âge de liquidation dans le nouveau scénario pour permettre au liquidant d'atteindre le même niveau de pension que dans le scénario de base – dans la mesure où le barème des droits le permet.

Quelques résultats

Quelques résultats de simulations permettront d'illustrer les possibilités de ce modèle Destinie 2. L'avantage comparatif principal d'un modèle de microsimulation est la

production de résultats désagrégés par catégories de population. Mais une première étape est d'abord de s'assurer que le modèle délivre des prédictions cohérentes au niveau agrégé. C'est donc sur ce type de résultats que l'on mettra ici l'accent, en considérant différentes variantes relatives aux réformes passées ou aux effets de la crise économique sur l'évolution des retraites. Les effets de la réforme de 2010 ne seront pas étudiés dans cet article qui vise principalement à présenter la seconde version du modèle et à l'illustrer par quelques exemples. On trouvera dans Bachelet *et al.* (ce numéro) une étude sur l'impact potentiel de cette réforme sur des âges de liquidation et la sortie du marché du travail.

Six scénarios pour rendre compte des impacts respectifs de la crise et des réformes de 1993 et de 2003

Six scénarios seront considérés au total. Trois sont des scénarios hors crise (« hc »). Ils visent à reconstituer à l'aide du modèle ce qu'était la prospective générale des retraites avant l'entrée dans la crise, en analysant les évolutions qui auraient pu être prévues ou étaient prévues sans ou avec les deux grandes réformes intervenues avant le déclenchement de la crise. Il s'agira donc d'un scénario « hc-1992 », décrivant ce qu'aurait été la trajectoire des retraites si la croissance était restée sur la lancée du début des années 2000 et dans l'hypothèse où l'on aurait conservé, pour l'essentiel, les règles d'avant la réforme de 1993. Plus précisément, ce scénario intègre le passage à l'indexation des retraites et des salaires portés aux comptes sur les prix, évolution qui avait débuté dès la fin des années 1980. Il retient par ailleurs les évolutions qui ont effectivement eu lieu depuis 1993 dans les régimes complémentaires, suivies, en projection, d'un retour à la double indexation sur les prix pour la valeur de service et pour la valeur d'achat du point. En revanche, ce scénario bloque à 37,5 ans la durée requise pour le taux plein avant 65 ans et maintient la règle du calcul de la retraite sur la base des 10 meilleures années de la carrière.

Le second scénario « hc-1993 » utilise le même scénario macroéconomique sans crise que le scénario « hc-1992 » mais fait évoluer ces deux derniers paramètres comme l'avait programmé la réforme de 1993, à savoir le passage à 40 ans pour la durée d'assurance et aux 25 meilleures années pour le calcul du salaire de référence. Le scénario « hc-2003 » intègre également les effets de la réforme de 2003, à savoir la pour-

suite de la hausse de la durée d'assurance après convergence entre le secteur public et le secteur privé, la modification des décotes et la mise en place de la surcote. Les hypothèses macroéconomiques communes à ces trois scénarios sont un taux de chômage fortement décroissant se stabilisant à 4,5 % au milieu des années 2020 et un salaire moyen par tête croissant régulièrement au rythme de 1,8 % par an (cf. graphique I).

On complète ensuite ce scénario « hc-2003 » par trois scénarios utilisant la même législation de 2003 mais incluant la crise économique et trois trajectoires possibles pour la sortie de cette crise. Ces trois trajectoires reproduisant approximativement les hypothèses des scénarios dits « a », « b » et « c » des dernières projections du Conseil d'Orientation des Retraites. Ces scénarios se distinguent à la fois en termes de taux de chômage limite et de taux de croissance à long terme pour la productivité et les salaires. Le scénario « a » suppose qu'on revient au niveau de chômage et à la tendance des salaires du scénario hors crise, sans toutefois rattraper la perte en niveau enregistrée durant la crise. Le scénario « b » suppose qu'on revient également au taux de chômage du scénario hors crise, mais sans retrouver le même rythme de croissance de la productivité : celui-ci se stabilise à hauteur de 1,5 % par an. Le scénario « c » conjugue enfin cette hypothèse de productivité ralentie avec une stabilisation du chômage à un taux de 7 % plutôt que de 4,5 % (cf. tableau 2 et graphique I).

En l'absence de crise, les réformes de 1993 et de 2003 auraient réduit de moitié l'augmentation de la part des retraites dans le PIB

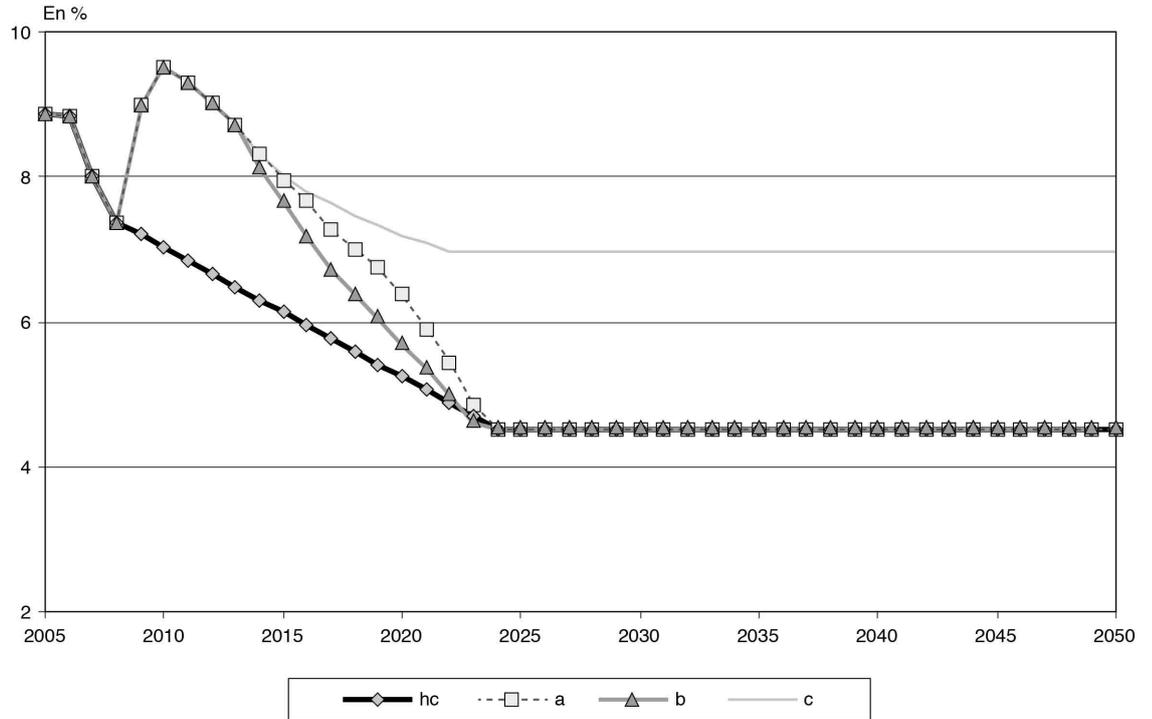
Au début des années 2000, tous ces scénarios donnent une masse des retraites en part de PIB d'environ 12 %. Ce chiffre est un peu inférieur au taux généralement affiché qui correspond à l'ensemble du poste Vieillesse-Survie des comptes de la protection sociale. Ceci n'est pas dû au fait que nous ne simulons pas les pensions de réversion ou le minimum vieillesse puisque ces éléments sont pris en compte dans le calcul et représentent, selon Destinie, environ 1,7 point de PIB en 2008. Ils découlent plutôt d'autres omissions, telles que les retraites complémentaires des indépendants ou le fait que le modèle sous-estime les retraites des cadres faute de simuler une dispersion complète des trajectoires salariales.

Sur cette base, sans crise économique et hors de toute réforme, la part des retraites dans le PIB se serait accrue de plus de 4 points à l'horizon 2050 (cf. graphique II). Toujours sans crise mais

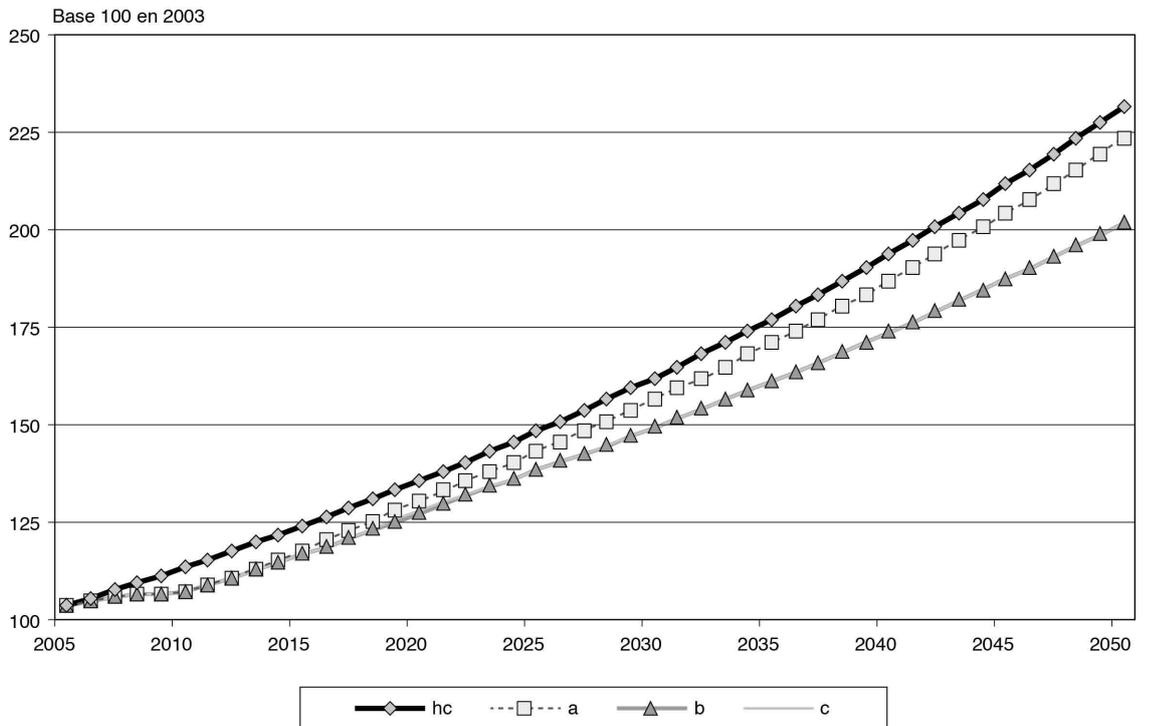
après prise en compte de la réforme de 1993, cette croissance aurait été ramenée à 3 points de PIB, puis à environ 2 points de PIB une fois pris en compte les effets de la réforme de 2003.

Graphique I
Scénarios macroéconomiques

A - Taux de chômage



B - Salaire moyen



lecture : le scénario « hc » est un scénario contrefactuel hors crise économique. Les scénarios « a », « b » et « c » correspondent à trois scénarios de sortie de crise reproduisant approximativement les hypothèses des dernières projections du Conseil d'orientation des retraites.

À l'horizon intermédiaire de 2020, les déficits attendus auraient représenté respectivement de l'ordre de 2, 1 et 0,5 points de PIB.

L'accroissement de la part des retraites dans le PIB résultant d'une rupture de la croissance perdurerait au-delà de 2050

Comme on le sait, la crise est venue accélérer la survenue de ces déficits. À très court-terme, l'effet mécanique de la crise est d'augmenter la part des retraites dans le PIB d'environ un point, ce qui porte ce ratio au niveau qui était anticipé avant crise pour la première moitié des années 2020. L'effet est mécanique. À court terme, la masse des pensions est quasiment indépendante du contexte économique puisque les pensions déjà liquidées sont indexées sur les prix et que les pensions des nouveaux liquidants résultent de leurs carrières passées. L'effet global de la crise sur le ratio s'exerce donc par l'intermédiaire de son dénominateur. Un décrochement du PIB de 8 points augmente de 8 % le ratio retraites/PIB. Si ce ratio est lui-même de 12 %, cela signifie une hausse d'environ un point de PIB. Ce phénomène est commun aux trois scénarios « a », « b » et « c ».

À long terme, les résultats sont plus contrastés. Lorsque l'économie retrouve le taux de croissance d'avant crise, la part des retraites dans le PIB rejoint la valeur qu'elle aurait eue sans le choc. En régime permanent, cette part des retraites dans le PIB est en effet totalement indépendante du niveau auquel se situe le sentier de croissance de l'économie : un niveau de PIB

plus élevé se traduit simplement par des salaires et des retraites tous deux plus élevés, dans des proportions identiques. Le retour à la trajectoire d'avant crise est toutefois très lent. Pendant une longue période transitoire, on finance des retraites calculées sur la base de salaires correspondant à l'ancien sentier de croissance à l'aide de cotisations sur des salaires correspondant au nouveau niveau de la trajectoire. La convergence n'est donc totale qu'une fois que les carrières de tous les retraités ont suivi cette trajectoire d'après crise – ce qui n'est réalisé qu'au-delà de l'horizon de projection de 2050.

Les scénarios de rupture de croissance, qu'il s'agisse du « b » ou du « c », conduisent pour leur part à un accroissement du ratio retraites/PIB qui ne se résorbe pas, même à très long terme. La raison en réside dans l'interaction entre la croissance économique et les règles d'indexation. L'indexation sur les prix plutôt que sur les salaires conduit à un décalage entre la retraite et les salaires courants. C'est sur ce mécanisme que s'est appuyée la réforme 1993 pour limiter la croissance des dépenses de retraite. Or, cet effet est d'autant plus faiblement à l'œuvre que la progression des salaires est lente. À la limite, si la croissance de la productivité est nulle, l'indexation sur les prix conduit exactement au même résultat que l'indexation sur les salaires.

Quantitativement, l'ordre de grandeur du surcroît de part des retraites dans le PIB qui découle d'une perte de 0,3 point de taux de croissance est d'environ un point. Cet ordre de grandeur peut se justifier de manière formelle (cf. encadré 2) ou plus intuitive. Dans un sys-

Tableau 2
Principales hypothèses des projections

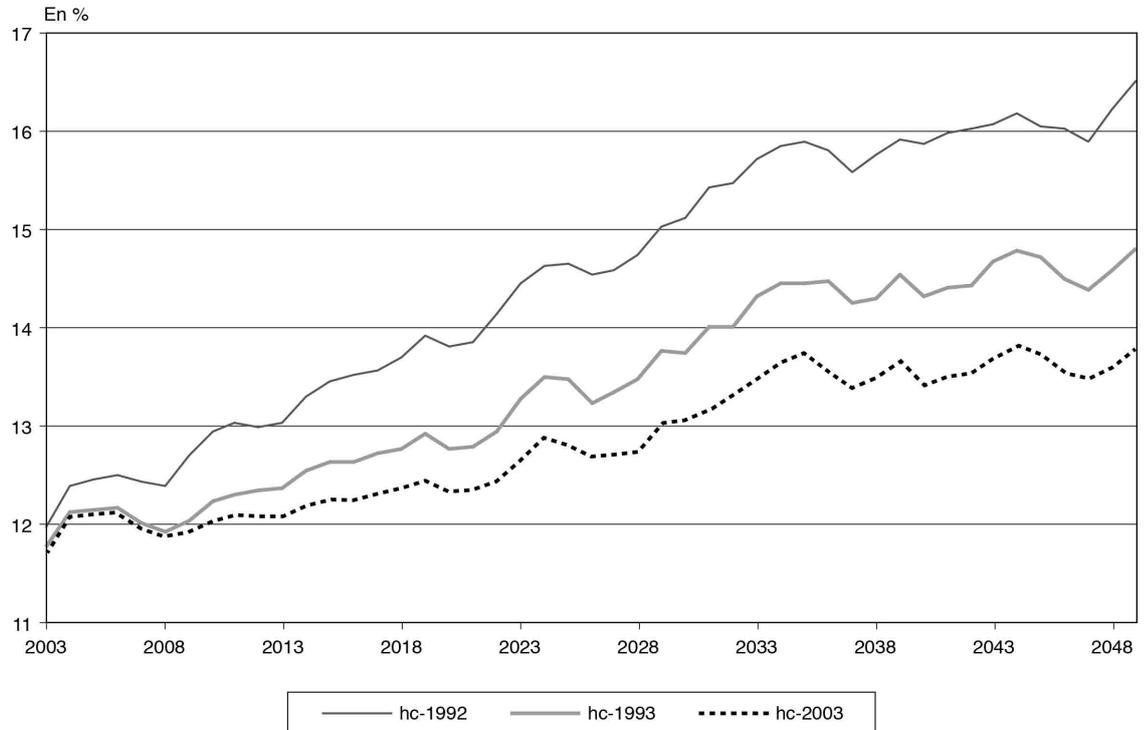
Champ	Droits directs et dérivés du régime général, des régimes complémentaires de salariés, des catégories actives et sédentaires de la fonction publique et du régime de base des indépendants. Les populations des régimes spéciaux sont regroupées avec les fonctionnaires. Les contractuels de la fonction publique sont assimilés à des salariés du privé.
Prise en compte des avantages non contributifs	Périodes assimilées. Avantages familiaux (Majoration de durée d'assurance, bonification pour troisième enfant et Assurance Vieillesse des Parents au Foyer).
Simulation des principaux minima	Minimum vieillesse, minimum contributif, minimum garanti de la fonction publique.
Hypothèses d'indexation	Indexation sur le salaire moyen pour le plafond de la sécurité sociale et les minima de pensions Indexation sur les prix pour tous les autres paramètres (pensions déjà liquidées, salaires portés aux comptes, salaire de référence et valeur du point des régimes complémentaires).
Hypothèses démographiques	Scénario central des projections démographiques de l'Insee (projections de 2006).
Hypothèses macroéconomiques	Variante de chômage et de productivité/salaire décrites sur les graphiques II et III. Les taux de chômage antérieurs à 2003 découlent des calendriers rétrospectifs de l'enquête patrimoine. Les trajectoires salariales antérieures à 2003 sont calées sur les données par âge et période des DADS et sur le salaire moyen par tête (SMPT) fourni par la comptabilité nationale.
Hypothèse sur les comportements de liquidation	Liquidation dès l'atteinte d'une cible de taux de remplacement, avec variabilité individuelle (cf. Bachelet <i>et al.</i> , ce numéro).

tème où les retraites sont calculées sur la base des 25 dernières années de carrière (supposées être les meilleures) et où les retraites et les salai-

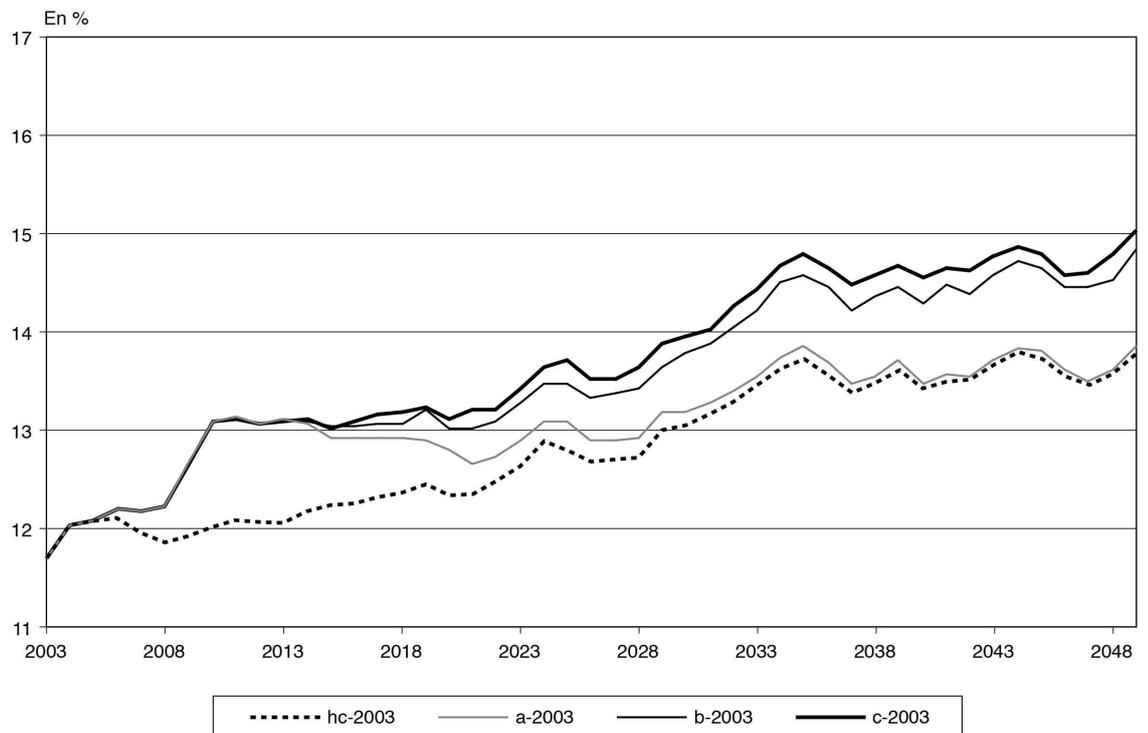
res portés aux comptes sont indexés sur les prix, le retraité moyen, s'il est âgé de 75 ans, touche une retraite calculée sur la base d'un salaire réel

Graphique II
Ratio retraites/PIB

A-Scénarios hors crise, avec et sans réformes



B-Législation 2003, avec ou sans crise



Lecture : les scénarios macro-économiques « hc-1992 », « hc-1993 » et « hc-2003 » donnent les trajectoires qui auraient été observées, hors crise économique, avec les règles de calcul des retraites de 1992 ou celles ayant été instituées par les réformes de 1993 et 2003. Les scénarios « a-2003 », « b-2003 » et « c-2003 » combinent la législation issue de la réforme de 2003 avec les trois scénarios de sortie de crise repris des dernières projections du Conseil d'orientation des retraites.

remontant à la période où il avait entre 35 et 60 ans, soit 47,5 ans en moyenne. Ce retraité moyen a donc une retraite reflétant des salaires remontant à environ 27,5 années en arrière et le ratio entre cette retraite moyenne et les salaires *courants* sera d'autant plus élevé que les salaires auront crû faiblement sur cette période de 27,5 ans. En cumulé, une perte de croissance de 0,3 point par an entraîne un ratio retraite/salaire courant plus élevé de 8,25 % ($0,3 \times 27,5$) et un tel effet sur la retraite moyenne représente bien de l'ordre d'un point de PIB pour la masse totale des retraites, dès lors que le ratio retraites/PIB est de l'ordre de 12 %.

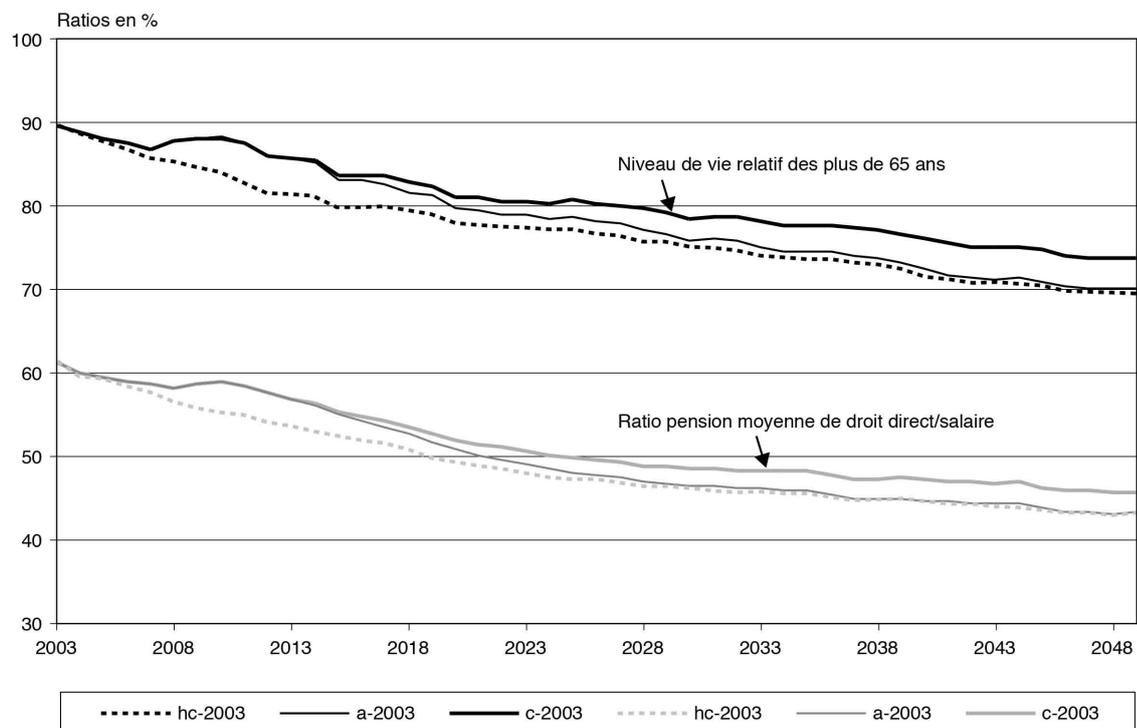
Ces écarts sont à peu près ceux qui sont constatés par nos simulations (cf. II-B et graphique III, ratio pension moyenne nette/salaire moyen net). Le rapport entre pension nette et salaire net chute approximativement de 25 % à 30%, passant de 58 % à une valeur comprise entre 40 % et 45 % en fin de période. Cette baisse s'explique par la diffusion progressive à l'ensemble de la population retraitée des effets des réformes passées. Cette diffusion est très lente, car une réforme ne produit ses pleins effets que lorsque tous les retraités ont été soumis aux nouvelles règles tout au long de leur retraite, ce qui prend plusieurs décennies (7).

L'approche au niveau ménage : un niveau de vie des retraités qui se stabiliserait entre 70 et 75 % de celui des actifs, hors revenus du patrimoine

Le ratio retraite/salaire ne donne pas directement le rapport entre le niveau de vie des retraités et celui des actifs. Pour y parvenir, il faut prendre en compte les différences de composition entre les ménages d'actifs et les ménages de retraités et la structure des revenus des différents pourvoyeurs de ressources au sein de ces ménages. Les ménages d'actifs tirent l'essentiel de leurs revenus de leur travail mais tous leurs membres adultes ne sont pas nécessairement des actifs occupés. Il faut tenir compte de leur taux d'emploi et des prestations de remplacement dont ils sont éventuellement bénéficiaires (s'ils ne sont pas en emploi). Symétriquement, pour les ménages âgés, il faut prendre en compte la combinaison des droits directs et des droits dérivés, les revenus du travail lorsque l'un des membres reste actif et l'éventuel bénéfice du minimum vieillesse. Il est enfin nécessaire de corriger du

7. Il s'agit de baisses avant prise en compte des éventuels ajustements de cotisation sur les actifs destinés à rétablir l'équilibre financier du système. Cette remarque vaudra aussi pour les simulations de niveau de vie relatif des ménages de retraités.

Graphique III
Indicateurs de niveau de vie relatif des retraités



Lecture : Les scénarios macro-économiques « hc-2003 », « a-2003 » et « c-2003 » combinent la législation issue de la réforme de 2003 avec, respectivement, un scénario macro-économique sans crise et deux des trois scénarios de sortie de crise repris des dernières projections du Conseil d'orientation des retraites. expliciter les scénarios hc, a et c.

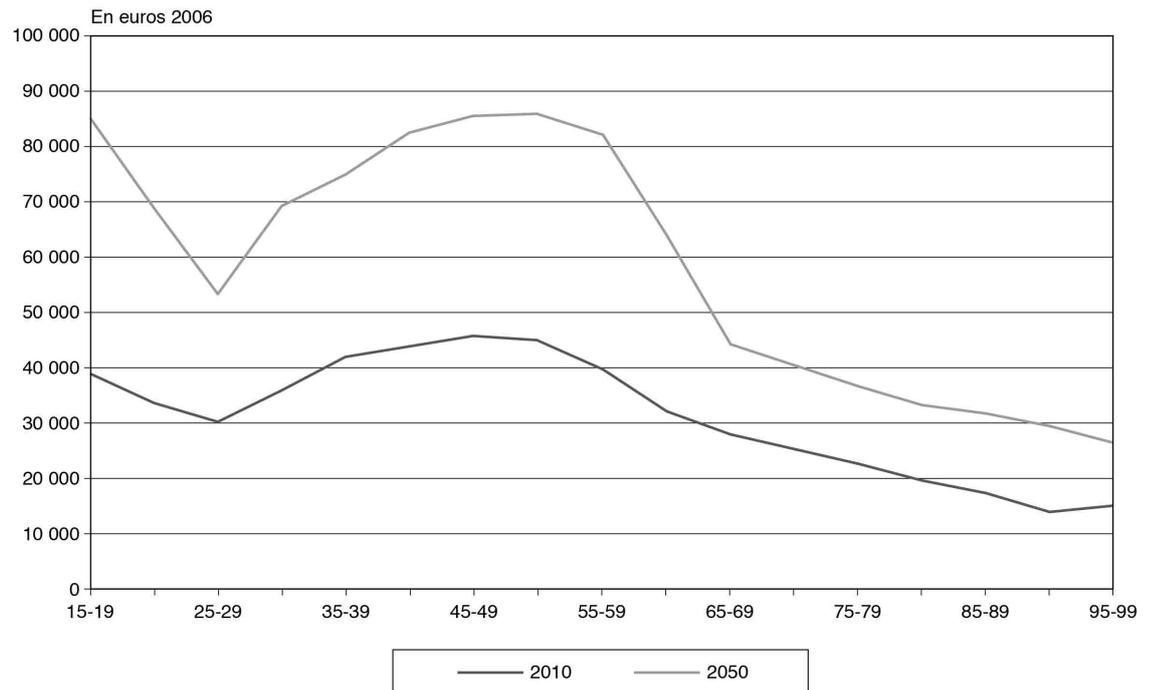
fait que ces ménages sont en général de plus petite taille que les ménages d'actifs.

Lorsqu'on procède à cette comparaison pour la période courante ou le passé récent, on s'appuie sur les données microéconomiques fournies par des enquêtes ou des sources administratives. En

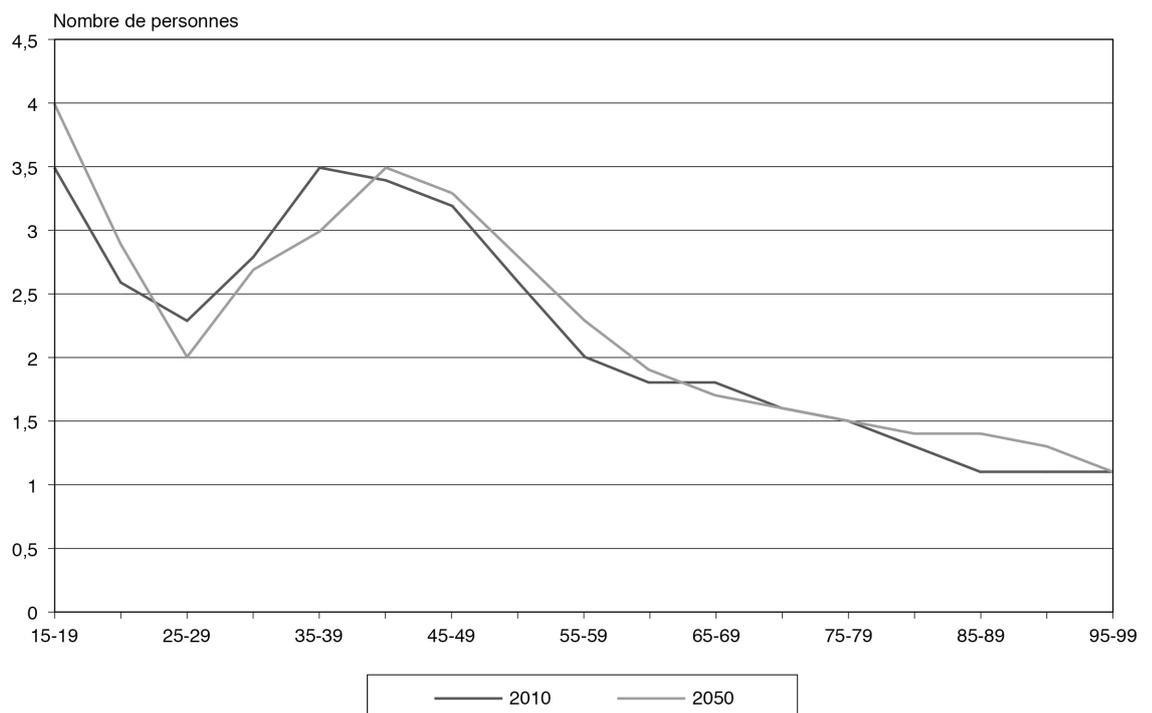
France, ces comparaisons s'appuient sur l'enquête *Revenus fiscaux et sociaux* qui apparie les données fiscales et les données des enquêtes *Emploi*. Elles montrent que le niveau de vie des retraités est à peu près équivalent à celui des actifs, une fois pris en compte l'apport moyen des revenus du patrimoine et *a fortiori* les loyers

Graphique IV
Profils par âge individuels en 2010 et en 2050, scénario 2003-c

A-Revenu annuel total du ménage selon l'âge



B-Taille du ménage selon l'âge



imputés destinés à tenir compte du fait que les ménages âgés sont plus souvent propriétaires de leurs logements (Baclet, 2006). En l'état, le modèle Destinie ne prend pas en compte ces deux derniers facteurs, pas plus qu'il ne simule l'ensemble des prestations sociales perçues par les ménages. Il permet cependant déjà une bonne approximation de la notion de niveau de vie relatif tel qu'elle est couramment calculée, en se limitant aux revenus du travail et aux retraites, complétés par des imputations sommaires des allocations chômage ou de préretraite (Bachelet *et al.*, 2010).

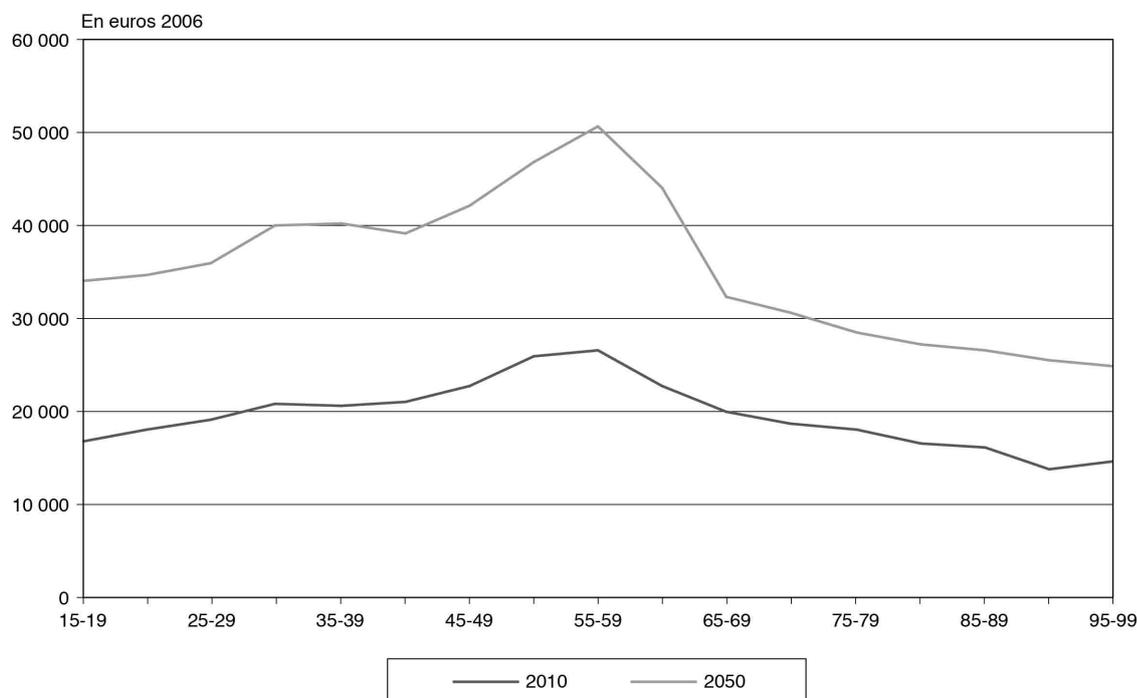
Le modèle indique ainsi, en 2003, un niveau de vie relatif des plus de 65 ans déjà légèrement inférieur à celui des moins de 65 ans (cf. Graphique III, courbes supérieures). Cela s'explique par le fait que les revenus du patrimoine effectifs ou imputés ne sont pas pris en compte. Cet écart se creuse ensuite à un rythme qui s'avère approximativement parallèle au rythme de baisse du ratio pension/salaire. Le niveau de vie relatif des retraités représenterait entre 70 % et 75% de celui des actifs ou de leurs enfants à l'horizon de 2050.

Cette dégradation de niveau de vie ne joue cependant qu'en termes relatifs. Les messages sont très différents en termes de niveau de vie absolu, même sous l'hypothèse basse de croissance de la productivité à 1,5% par an. Les revenus absolus dans les tranches d'âge actives en 2050 représentent près du double de ceux de 2010 (cf. graphique IV illustrant le seul scénario 2003-c) : une croissance annuelle de 1,5%, cumulée sur quarante ans, conduit en effet à un tel coefficient multiplicateur. Même si la croissance du revenu des retraités est moindre, elle reste elle aussi significative.

On notera que les conclusions sont à peu près les mêmes que l'on raisonne en termes de revenu total du ménage ou de revenus par unité de consommation, les tailles des ménages selon l'âge de l'individu ayant des profils très proches aux deux dates (cf graphique IV-B). On relève juste un léger décalage de l'âge auquel le ménage des individus adultes atteint sa taille maximale, ce phénomène résultant du caractère plus tardif des naissances. On relève également une augmentation relative assez substantielle de la taille moyenne des ménages des individus

Graphique IV (suite)

C-Niveau de vie (montants annuels) selon l'âge



Lecture : les profils se réfèrent au ménage auquel appartient l'individu, en fonction de l'âge de l'individu et non pas de l'âge de la personne de référence du ménage. Ainsi, en 2010, un individu ayant entre 15 et 19 ans vit dans un ménage dont le revenu annuel global est de 39 000 euros et qui compte 3,5 individus. Après application de l'échelle d'équivalence retenue, son niveau de vie est de 16 000 euros par an. En 2010, le revenu global du ménage culmine vers 45-49 ans, et la taille du ménage culmine à 35-39 ans. Le niveau de vie par unité de consommation est maximum entre 50 et 59 ans. L'écart de revenu et de niveau de vie entre 2010 et 2050 s'explique par l'hypothèse de croissance économique retenue entre ces deux dates qui correspond au scénario « c » des dernières projections du Conseil d'orientation des retraites, avec prise en compte des effets de la réforme de 2003.

de plus de 80 ans, conséquence de la baisse de la mortalité qui augmente les chances d'avoir encore son conjoint en vie aux âges élevés.

* *
*

Ces quelques exemples d'utilisation reposent sur des résultats agrégés ou semi-agrégés. Ils n'illustrent qu'une partie des potentialités du modèle, et, s'appuient de surcroît sur un calibrage et des calages non entièrement stabilisés : une fois ceux-ci assurés, il sera possible de produire des résultats désagrégés. C'est de telles applications qui mettent le mieux en valeur les avantages comparatifs d'un modèle de microsimulation.

Par ailleurs l'orientation souhaitée pour le modèle est d'étendre ses applications à d'autres champs que la retraite *stricto sensu*. Sa nouvelle structure plus souple et plus modulaire devrait, à terme, faciliter une telle diversification. Des travaux sont ainsi en cours dans le domaine de l'assurance-maladie (Albouy *et al.*, 2010) ou de la dépendance. Enfin, une des raisons qui avait initialement conduit à retenir l'enquête *Patrimoine* comme base de données était d'en faire aussi un outil d'analyse des complémentarités, au niveau individuel, entre droits à retraite et accumulation patrimoniale. Une telle extension du modèle n'avait pas pu être menée à terme avec Destinie 1. Elle pourra être envisagée dans le cadre de Destinie 2 pour permettre une prospective plus complète des conditions de vie futures des ménages de retraités. □

BIBLIOGRAPHIE

Albert C., Grave N. et Oliveau J.-B. (2008), « Surcote, les raisons d'un échec relatif », *Retraite et Société*, n° 54, pp. 33-63.

Albouy V., Davezies L. et Debrand T. (2009), « Health Expenditure Models: a Comparison of Five Specifications using Panel Data », *Document de travail*, Insee/Dese, n° G2010/02.

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

Bachelet M., Beffy M., Blanchet D. et Marbot C. (2010), « Les revenus des retraités et des futurs retraités », in *Retraites, Démographie, santé : vieillir en France aujourd'hui et demain*, ouvrage coordonné par E. le Bourg, Vuibert

Bachelet M., Beffy M. et Blanchet D. (2011), « Projeter l'impact des réformes des retraites sur l'activité des 55 ans et plus : une comparaison de trois modèles », *Économie et Statistique*, ce numéro.

Baclet A. (2006), « Les seniors : des revenus plus faibles pour les plus âgés, compensés par un patrimoine plus élevé », in *Les revenus et le patrimoine des ménages*, Edition 2006, Insee Références, pp. 25-37.

Bardaji J., Sédillot B. et Walraet E. (2002), « Évaluation de trois réformes du Régime Général d'assurance vieillesse à l'aide du modèle de microsimulation Destinie », *Document de travail*, Insee/Dese, n° G2002/07.

Bardaji J., Sédillot B. et Walraet E. (2003), « Un outil de prospective des retraites : le modèle de microsimulation Destinie », *Économie et Prévision*, n° 160-161, pp. 193-213.

Bardaji J., Sédillot B. et Walraet E. (2004), « Les retraites du secteur public : projections à l'horizon 2040 à l'aide du modèle de microsimulation DESTINIE », *Document de travail*, Insee/Dese, n° G2004/14.

Bensalem M., Blanchet D., Bozio A. et Roger M. (2010), « Labor Force Participation by the Elderly and Employment of the Young: The Case of France », in J. Gruber et D. Wise (éds.) *Social Security Programs and Retirement around the World: the Relationship to Youth Unemployment*, NBER/University of Chicago Press.

Blanchet D. et Chanut J.-M. (1998), « Les retraites individuelles à long terme : une projection par microsimulation », *Économie et Statistique*, n° 315, pp. 95-106.

Blanchet D. et Le Minez S. (2008), « Projecting Pensions and Age at Retirement in France: Some

Lessons From the Destinie 1 Model », in *New Frontiers in Microsimulation Modelling*, A. Zaidi, A. Harding et P. Williamson (éds.), Ashgate.

Blanchet D. et Crenner E. (2010), « Le bloc retraites du modèle Destinie 2 : guide de l'utilisateur », *Document de travail*, Insee/Dese, n° G2010/14.

Blanchet D. et Debrand T. (2007), « Souhaiter prendre sa retraite le plus tôt possible : santé, satisfaction au travail et facteurs monétaires », *Économie et Statistique*, n° 403-404, pp. 39-62.

Blanpain N. et Chardon O. (2010), « Projections de population 2007-2060 pour la France métropolitaine : méthode et principaux résultats », *Document de travail*, Insee, n° F1008.

Burricand C., Givord P., Klotz E. et Sédillot B. (2001), « Fins de carrière et départ à la retraite », *L'Économie Française, édition 2001-2002*, Insee/Le Livre de Poche.

Colin C., Legros F. et Mahieu R. (1999), « Le rendement des régimes de retraite : une comparaison entre Fonction publique d'État et secteur privé », *Économie et Statistique*, n° 328, pp. 81-104.

Conseil d'Orientation des Retraites (2006), *Retraites : perspectives 2020 et 2050*, 3^e rapport, la Documentation française.

Conseil d'Orientation des Retraites (2010), *Retraites : perspectives actualisées à moyen et long terme en vue du rendez-vous de 2010*, 8^e rapport, la Documentation française.

Coudin É. (2008), « Projections de population active à l'horizon 2050 : des actifs en nombre stable pour une population âgée toujours plus nombreuse », *Économie et Statistique*, n° 408-409, pp. 113-136.

Division « Redistribution et Politiques Sociales » (1999), « Le modèle de microsimulation dynamique DESTINIE », *Document de travail*, Insee-Dese, n° G99/13.

Duée M. et Rebillard C. (2004), « La dépendance des personnes âgées : une projection à long terme », *Document de travail*, Insee-Dese, n° G2004/02.

Duée M. (2005), « La modélisation des comportements démographiques dans le modèle de microsimulation Destinie », *Document de travail*, Insee/Dese, n° G2005/15.

Hairault J.-O., Langot F. et Sopraseduth T. (2007), « Les effets à rebours de l'âge de la retraite sur le taux d'emploi des seniors », *Économie et Statistique*, n° 397, pp. 51-63.

Mahieu R. et Blanchet D. (2004), « Estimating Models of Retirement Behavior on French Data », in *Social Security Programs and Retirement around the world*, J. Gruber et D.A. Wise éds, NBER/The University of Chicago Press, pp. 235-284.

Orcutt G.H. (1957), « A New Type of Socio-Economic System », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 39, n° 2, pp. 116-123.

Poubelle V., Albert C., Beurnier P., Couhin J. et Grave N. (2006), « Prisme, le modèle de la CNAV », *Retraite et Société*, n° 48, numéro *La réforme des retraites d'août 2003 : bilan et perspectives*, pp. 202-215.

Robert-Bobée I. (2008), « Projections de population 2005-2050. Vieillesse de la population en France métropolitaine », *Économie et Statistique*, n° 408-409, pp. 95-112.

Stock J. et Wise D. (1990), « Pension, the Option Value of Work and Retirement », *Econometrica*, vol. 58, n° 5, pp. 1151-1180.

Walraet E. et Vincent A. (2003), « La redistribution intragénérationnelle dans le système de retraite des salariés du privé : une approche par micro-simulation », *Économie et Statistique*, n° 366, pp. 31-61.

