



cirano

Allier savoir et décision

2015s-04

**Projections de l'état de santé de la population
québécoise et impacts sur le risque de longévité d'un
régime de retraite à prestations déterminées**

*Aurélie Côté-Sergent, Jean-Yves Duclos, Alexandre Lekina,
Steeve Marchand, Pierre-Carl Michaud*

Série Scientifique/Scientific Series



2015s-04

**Projections de l'état de santé de la population
québécoise et impacts sur le risque de longévité d'un
régime de retraite à prestations déterminées**

*Aurélie Côté-Sergent, Jean-Yves Duclos, Alexandre Lekina,
Steeve Marchand, Pierre-Carl Michaud*

Série Scientifique
Scientific Series

Montréal
Février/February 2015

© 2015 Aurélie Côté-Sergent, Jean-Yves Duclos, Alexandre Lekina, Steeve Marchand, Pierre-Carl Michaud.
Tous droits réservés. *All rights reserved.* Reproduction partielle permise avec citation du document source,
incluant la notice ©.
Short sections may be quoted without explicit permission, if full credit, including © notice, is given to the source.



Centre interuniversitaire de recherche en analyse des organisations

CIRANO

Le CIRANO est un organisme sans but lucratif constitué en vertu de la Loi des compagnies du Québec. Le financement de son infrastructure et de ses activités de recherche provient des cotisations de ses organisations-membres, d'une subvention d'infrastructure du Ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations, de même que des subventions et mandats obtenus par ses équipes de recherche.

CIRANO is a private non-profit organization incorporated under the Québec Companies Act. Its infrastructure and research activities are funded through fees paid by member organizations, an infrastructure grant from the Ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations, and grants and research mandates obtained by its research teams.

Les partenaires du CIRANO

Partenaire majeur

Ministère de l'Économie, de l'Innovation et des Exportations

Partenaires corporatifs

Autorité des marchés financiers
Banque de développement du Canada
Banque du Canada
Banque Laurentienne du Canada
Banque Nationale du Canada
Bell Canada
BMO Groupe financier
Caisse de dépôt et placement du Québec
Fédération des caisses Desjardins du Québec
Financière Sun Life, Québec
Gaz Métro
Hydro-Québec
Industrie Canada
Intact
Investissements PSP
Ministère des Finances et de l'Économie
Power Corporation du Canada
Rio Tinto Alcan
Ville de Montréal

Partenaires universitaires

École Polytechnique de Montréal
École de technologie supérieure (ÉTS)
HEC Montréal
Institut national de la recherche scientifique (INRS)
McGill University
Université Concordia
Université de Montréal
Université de Sherbrooke
Université du Québec
Université du Québec à Montréal
Université Laval

Le CIRANO collabore avec de nombreux centres et chaires de recherche universitaires dont on peut consulter la liste sur son site web.

Les cahiers de la série scientifique (CS) visent à rendre accessibles des résultats de recherche effectuée au CIRANO afin de susciter échanges et commentaires. Ces cahiers sont écrits dans le style des publications scientifiques. Les idées et les opinions émises sont sous l'unique responsabilité des auteurs et ne représentent pas nécessairement les positions du CIRANO ou de ses partenaires.

This paper presents research carried out at CIRANO and aims at encouraging discussion and comment. The observations and viewpoints expressed are the sole responsibility of the authors. They do not necessarily represent positions of CIRANO or its partners.

ISSN 2292-0838 (en ligne)

Partenaire financier

Économie,
Innovation
et Exportations

Québec 

Projections de l'état de santé de la population québécoise et impacts sur le risque de longévité d'un régime de retraite à prestations déterminées

Aurélie Côté-Sergent^{}, Jean-Yves Duclos[†]
Alexandre Lekina[‡], Steeve Marchand[§], Pierre-Carl Michaud^{**}*

Résumé/abstract

Nous nous intéressons au risque futur de longévité étant données l'augmentation de l'espérance de vie due au progrès technologique et la hausse de la prévalence de maladies liées à l'obésité et à la sédentarité. Nous utilisons dans un premier temps des techniques de microsimulation afin de projeter l'état de santé de la population québécoise, en incluant dans cette microsimulation une hypothèse d'amélioration exogène de la mortalité semblable à celle faite par la Régie des rentes du Québec (RRQ). Nous évaluons dans un deuxième temps les implications pour le ratio de financement de Régimes de retraite à prestations déterminées des tendances en santé fournies par cette microsimulation. Ce ratio se situe entre 0,24 et 0,74 en 2050 selon les scénarios retenus, indiquant ainsi que les régimes de retraite pourraient s'avérer fortement déficitaires dans le futur. Nous analysons dans un dernier temps les hypothèses de mortalité faites par la RRQ en considérant des scénarios alternatifs associées à des avancées médicales susceptibles de se produire dans les 10 prochaines années. Il s'avère selon cette analyse que les hypothèses de la RRQ pourraient surestimer significativement la croissance de l'espérance de vie future, en particulier celle des individus de 30 à 65 ans.

Mots clés /Key words : santé, longévité et régimes de retraite.

^{*} ESG UQAM.

[†] Université Laval, CIRPÉE, CIRANO.

[‡] ESG UQAM.

[§] Université Laval.

^{**} ESG UQAM, CIRPÉE, CIRANO, RAND. Correspondance: Département des sciences économiques, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, Succ. Centre-ville, Montréal (QC) H3C 3P8, Canada.

1 Introduction

Les régimes de retraite à prestations déterminées sont en difficulté au Québec depuis la crise financière et la récession de 2008, comme en témoignent le rapport D'Amours et le plan d'action publié par le gouvernement du Québec au début de l'année 2014 (D'Amours *et al.*, 2013; Régie des rentes du Québec, 2013b). Cette réalité est principalement due à la baisse des rendements sur actifs, qui réduit la valeur de ces derniers, combinée à la baisse des taux d'intérêt, qui vient hausser le passif des régimes. Or, ces facteurs pourraient être éclipsés à long terme par l'effet des tendances et des changements de tendances dans l'évolution de la mortalité et de l'état de santé de la population québécoise.

En effet, l'espérance de vie est à la hausse au Québec depuis plusieurs décennies (Institut de la Statistique du Québec, 2009), et ce, davantage encore que ce que les actuaires avaient prévu (voir Adam, 2012 pour une étude sur la mortalité des retraités canadiens). En parallèle, la prévalence d'un certain nombre de maladies augmente depuis un certain temps (Cazale *et al.*, 2009) alors que l'évolution de certains facteurs de risque importants pour l'état de santé, comme le tabagisme et l'obésité, est contrastée : stagnation du tabagisme depuis quelques années (après une baisse importante) et hausse significative de l'obésité. Ces éléments pourraient influencer sur l'évolution à long terme de la mortalité au Québec et sur l'ampleur des défis qu'auront à relever les régimes de retraite à prestations déterminées.

L'approche la plus souvent utilisée pour étudier l'effet de ces facteurs de risque consiste à modéliser de manière stochastique l'espérance de vie à la retraite (voir Carter et Lee, 1992; Brouhns *et al.*, 2002). Quoique cette approche ait ses avantages, elle ne permet pas de tenir compte directement des déterminants de ces risques et de quantifier leurs effets respectifs. Puisqu'il y a plusieurs déterminants à l'oeuvre, il apparaît pertinent de juger de la contribution de chacun au risque de longévité des régimes de retraites.

Afin de quantifier l'importance et l'effet de ces risques, cet article utilise un modèle de microsimulation de l'état de santé de la population du Québec combiné à un modèle simple de régime de retraite sur l'horizon 2010-2050. La section 2 présente brièvement le modèle de

microsimulation, dénommé COMPAS. La section 3 décrit le scénario de référence. La section 4 présente les différents scénarios de santé qui sont étudiés. La dynamique du régime simplifié de retraite considéré est introduite à la section 5. Les impacts des différents scénarios de santé sur ce régime de retraite apparaissent à la section 6. La section 7 analyse davantage les hypothèses portant sur la réduction de la mortalité dans différents scénarios. La section 8 conclut.

2 Microsimulation Compas

Le modèle de microsimulation COMPAS a été développé au cours des dernières années afin d'étudier la santé de la population québécoise dans le futur. Ce modèle se base en grande partie sur le *Future Elderly Model* (FEM) construit par une équipe de chercheurs américains ([Goldman et al., 2005a](#)). Pour l'instant, le modèle projette la santé des Québécois âgés de 30 ans et plus entre 2010 et 2130. Étant donné que les problèmes de santé sont peu courants chez les jeunes, l'exclusion de cette tranche de la population a peu d'effets sur les projections de santé globale de la population du Québec.

Avant décrire le fonctionnement du modèle de microsimulation COMPAS, il convient de noter que, dans le présent article, le terme « cohorte » désigne un groupe d'agents nés la même année et qui entrent dans le modèle au même moment. La simulation s'effectue en trois étapes dans COMPAS :

1. Tout d'abord, le *module d'initialisation* crée la population initiale du modèle. Cette population est représentative des Québécois âgés de 30 ans et plus en 2010 et possède plusieurs caractéristiques :
 - Caractéristiques socio-démographiques : âge, année de naissance, sexe, statut d'immigration, niveau de scolarité
 - Maladies : diabète, hypertension, maladies cardiaques, accidents vasculaires cérébraux (AVC), cancer, maladies pulmonaires, démences
 - Facteurs de risque : tabagisme, obésité

- Invalidité : limitations d’activités, problèmes de mémoire, institutionnalisation
2. En deuxième lieu, le *module de transition* fait ensuite vieillir les individus d’une année, en calculant et en appliquant les probabilités de transition vers différents états. Ainsi, chaque individu peut développer une maladie ou une invalidité, perdre ou gagner du poids, commencer à ou cesser de fumer, entrer en institution ou mourir. Suite à cette transition, les individus décédés sont retirés de la population.
 3. En dernier lieu, le *module de renouvellement* ajoute une cohorte d’individus âgés de 30 ans à la population afin que celle-ci demeure représentative de la population québécoise de 30 ans et plus. Les individus de la nouvelle cohorte possèdent, tout comme les individus de la population initiale, différentes caractéristiques.

Les étapes 2 et 3 sont répétées jusqu’en 2050, date d’ajout de la dernière cohorte. Après 2050, seule la deuxième étape est répétée chaque année. Toutefois, les individus simulés peuvent continuer de vieillir et de changer d’état de santé jusqu’en 2130, l’âge maximal permis dans le modèle étant de 110 ans. Après chaque année de simulation, différentes statistiques sont calculées. Parmi celles-ci, on note la prévalence, dans la population, de chaque maladie et des différents facteurs de risque, le nombre d’individus de chaque groupe d’âge au sein de la population ainsi que le taux de mortalité et l’espérance de vie.

De plus amples détails sur la construction et le fonctionnement de COMPAS sont présentés dans l’Annexe A.

3 Santé : scénario de référence

Le premier scénario de simulation construit à l’aide de COMPAS est un scénario dit de référence. L’objectif de ce scénario est de représenter la situation telle qu’elle serait entre 2010 et 2050 en l’absence de changements dans l’effet des déterminants des transitions vers différents états de santé. Il sert également de base comparative à des scénarios subséquents. Par ailleurs, nous posons des hypothèses sur les caractéristiques initiales des cohortes entrantes afin de tenir

compte dans le futur de certaines tendances observées au Québec entre 2000 et 2012. Il serait en effet incorrect de supposer que les Québécois âgés de 30 ans en 2030 seront identiques à ceux qui avaient 30 ans en 2010.

Une première hypothèse concerne la prévalence de l'obésité. Nous supposons que la prévalence de l'obésité à 30 ans augmente au sein de chaque nouvelle cohorte. Ainsi, à son arrivée dans le modèle, la cohorte de 2022 est plus touchée par l'obésité que celle de 2021, qui est elle-même plus touchée que celle de 2020. Toutefois, le risque de devenir obèse au sein de la population de plus de 30 ans, soit la probabilité de transition vers l'obésité, est le même pour chaque cohorte une fois que celle-ci est entrée dans le modèle.

Notons que l'obésité est défini par type. On parle d'obésité de type I lorsque l'indice de masse corporelle se situe entre 30 et 35. Il est de type II-III si cet indice est supérieur à 35. Nous supposons que la prévalence de l'obésité de type I augmentera de 0,1 % par année entre 2010 et 2020, alors que celle de type II-III augmentera de 2% par année. Entre 2020 et 2030, les taux de croissance sont divisés par 2, impliquant que la prévalence de l'obésité de type I augmentera de 0,05% par année, alors que celle de type II-III augmentera de 1% par année. Entre 2030 et 2040, les taux de croissance sont encore une fois divisés par 2, puis ils demeurent constants à partir de 2040. Ces taux se basent sur le taux de croissance annuel moyen (TCAM) de l'obésité observé au Canada entre 2000 et 2012 chez les 25 à 34 ans ([Statistique Canada, 2000b, 2012b](#)).

La deuxième hypothèse concernant les caractéristiques des cohortes entrantes vise l'éducation. Étant donnée l'augmentation de la proportion d'individus ayant obtenu un diplôme d'études postsecondaires entre 2000 et 2012, le scénario de référence postule une augmentation annuelle moyenne de 2%, entre 2010 et 2020, de la proportion de Québécois qui, à 30 ans, ont un diplôme universitaire. Cette augmentation est par la suite divisée par 2 en 2020, puis de nouveau en 2030. L'augmentation de la proportion de diplômés du collégial est plus faible, soit de l'ordre de 0,3% par année entre 2010 et 2020. De façon similaire à ce qui a été fait pour la proportion d'individus avec des diplômes d'études universitaires, le taux de croissance est divisé par 2 en 2020, puis en 2030. Inversement, la proportion d'individus n'ayant pas de diplôme ou seulement un diplôme d'études secondaires chute entre 2010 et 2050. Ces chiffres se basent sur les TCAM calculés à

l'aide de l'Enquête sur la population active de 2000 et celle de 2012 ([Statistique Canada, 2000a, 2012a](#)).

Contrairement aux hypothèses concernant l'obésité et l'éducation, la proportion de fumeurs et d'anciens fumeurs est supposée constante au sein des différentes cohortes. Autrement dit, la proportion de Québécois qui fument à 30 ans en 2040 sera la même qu'en 2030. Ceci s'explique par la relative stabilité observée au Québec depuis 2009 dans ces proportions ([Santé Canada, sd](#)). La diminution de la prévalence du tabagisme enregistrée depuis 2000 semble principalement être le résultat d'une forte baisse au tout début de la décennie.

Dans le cadre de cet article, COMPAS n'incorpore pas le solde migratoire net, qui inclut autant les migrations entre les provinces que l'immigration et l'émigration internationales. L'inclusion de la migration dans les simulations ajouterait des complications qui ne sont pas essentielles au calcul de l'actif et du passif du régime de retraite.

Une dernière hypothèse permettant la construction du scénario de référence consiste à supposer une amélioration exogène de la mortalité au cours de la période de simulation. Celle-ci incorpore, entre autres, les effets des avancées technologiques sur le taux de mortalité général. L'espérance de vie a augmenté de manière régulière depuis 1971 ([Institut de la Statistique du Québec, 2009](#)) et une des causes de cette amélioration, à tout le moins aux États-Unis, semble être le progrès technologique curatif en santé ([Cutler *et al.*, 2006](#)). Il semble raisonnable de supposer qu'un tel phénomène s'est aussi produit et continue de se produire au Québec. Ainsi, dans le scénario de référence, il est supposé que le taux de mortalité diminue au cours de la période de simulation au-delà de ce qui s'explique par la variation dans la prévalence des facteurs et des maladies considérés. La réduction de la mortalité utilisée dans le modèle est celle postulée par la RRQ pour la période allant de 2010 à 2050 ([Régie des rentes du Québec, 2013a](#)), avec quelques exceptions permettant de prendre en compte deux spécificités de COMPAS : *(i)* la simulation s'arrête en 2130 ; et *(ii)* un individu peut vivre jusqu'à 110 ans au maximum. La RRQ estime que la baisse de la mortalité sera plus faible pour les femmes que pour les hommes, du moins dès l'âge de 20 ans. Chez les hommes, la diminution de la mortalité est particulièrement importante pour les 40 à 69 ans (réduction annuelle de la mortalité d'environ 2,5% entre 2010 et 2020 et de

2% entre 2020 et 2030), tandis que pour les femmes on anticipe plutôt des effets entre 50 et 79 ans (réduction annuelle de la mortalité d'environ 1,5% entre 2010 et 2030).

La figure 1 présente les résultats du scénario de référence en ce qui concerne la distribution de la population du Québec, par groupe d'âge, entre 2010 et 2050.

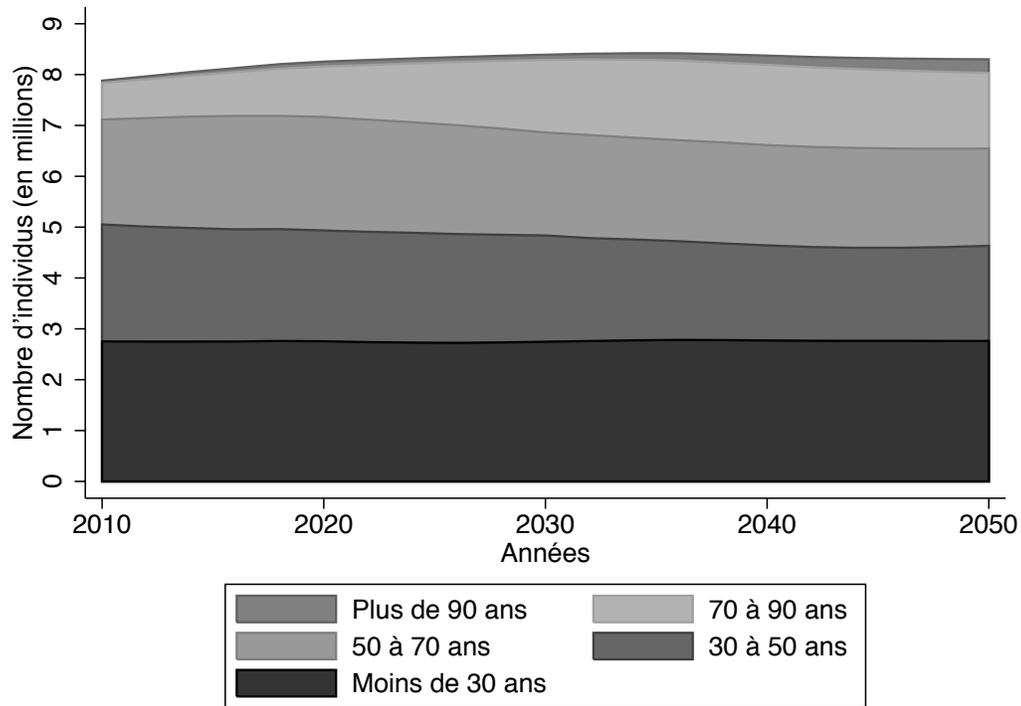


FIGURE 1: Population par groupe d'âge de 2010 à 2050

D'après la figure 1, COMPAS prédit que la population totale du Québec augmentera à 8,32 millions en 2050. La figure 1 nous permet également de voir que la population québécoise vieillit : alors qu'il y avait 3,20 travailleurs par retraité en 2010, il y en aura 1,33 en 2050. Ces statistiques sont différentes des projections — de l'ISQ et de la RRQ — qui prédisent que la taille de la population en 2050 sera d'au moins 9 millions. Ceci s'explique par l'absence d'immigration. En effet, en incluant un solde migratoire annuel d'environ 30 000 personnes, comme dans les prévisions de la RRQ ([Régie des rentes du Québec, 2013a](#)), la taille de la population simulée en 2050 serait d'un peu plus de 9 millions.

La figure 2 montre l'évolution de l'espérance de vie et de l'espérance de vie sans invalidité à

30, 50 et 65 ans entre 2010 et 2050. ???Celle-ci montre que l'espérance de vie est sujette à une

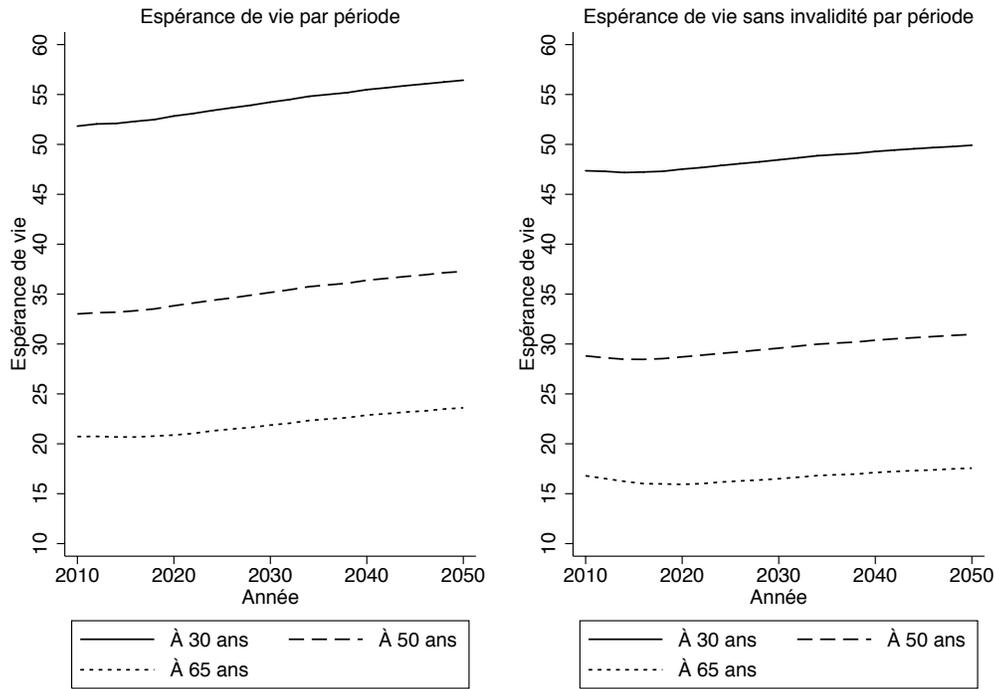


FIGURE 2: Espérance de vie de 2010 à 2050

hausse au cours de la période de simulation. Les Québécois âgés de 30 ans en 2050 vivront 4,78 années de plus que ceux âgés de 30 ans en 2010. Toutefois, seules 2,81 de ces années seront vécues en l'absence d'invalidité majeure (avoir moins de 2 limitations d'activités et vivre en ménage privé). Les personnes âgées de 50 et 65 ans en 2050 vivront respectivement 4,35 et 2,96 années de plus que celles ayant les mêmes âges en 2010. Encore une fois, l'augmentation du nombre d'années vécues en santé est plus faible que l'augmentation totale. Elle est de 2,28 années pour les Québécois âgés de 50 ans et de 0,91 année pour ceux âgés de 65 ans.

La figure 3 présente, entre 2010 et 2050, les résultats du scénario de référence en termes de prévalence de maladies au sein de la population âgée de 30 ans et plus. On observe une augmentation de la prévalence de l'ensemble des maladies au cours de la période étudiée. L'hypertension est le problème de santé qui touchera le plus de Québécois en 2050, soit 40 % de la population. Bien que sa croissance soit élevée (12,3%), elle demeure tout de même légèrement en deçà de la

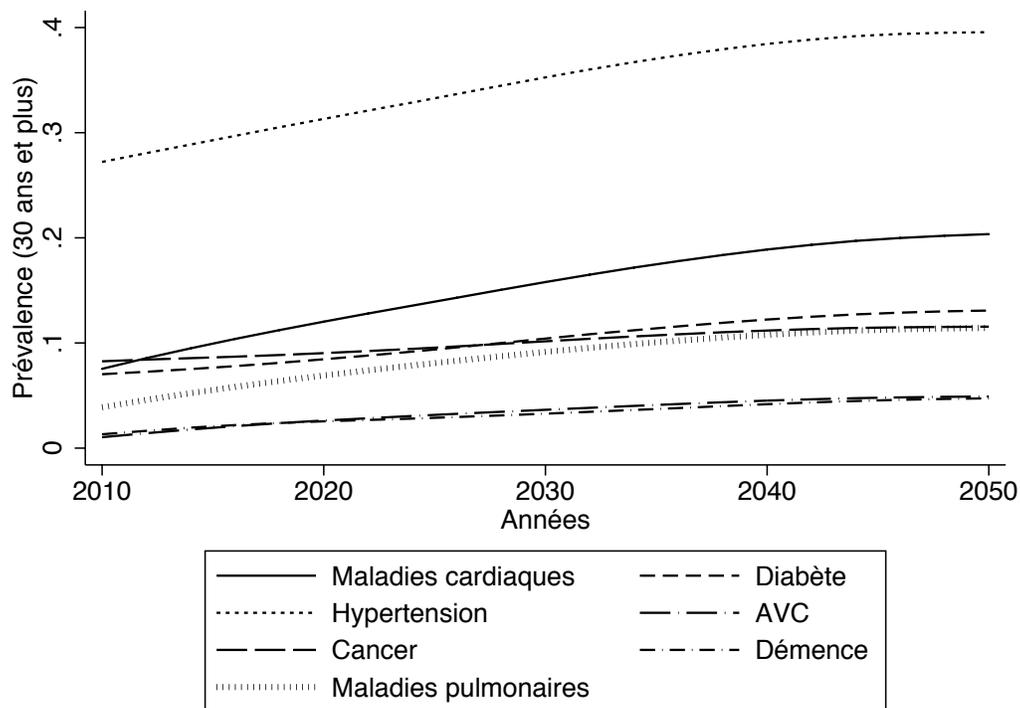


FIGURE 3: Prévalence des maladies de 2010 à 2050

croissance de la prévalence des maladies cardiaques au cours de la période (12,8%). La prévalence de maladies cardiaques augmentera ainsi de 7,5% à 20,4% entre 2010 et 2050. Le diabète et les maladies pulmonaires toucheront davantage de Québécois, la prévalence augmentant de 6,1 et de 7,5 points de pourcentage au cours de la période de simulation, respectivement. La croissance de la prévalence des autres problèmes de santé est plus faible, soit autour de 3 points de pourcentage en 40 ans.

4 Santé : scénarios alternatifs

Les résultats du scénario de référence donnent un aperçu de l'état de santé, de l'espérance de vie et de la taille de la population au Québec entre 2010 et 2050 en l'absence de changements majeurs dans les tendances et dans l'effet des déterminants observés au cours des dernières années. Afin de capter le risque de longévité auquel peut faire face un régime de retraite à

prestations déterminées, il importe toutefois de considérer différents scénarios alternatifs. Ils sont présentés en détails dans cette section.

Un premier scénario alternatif simule la prévention du diabète à partir de 2010. Bien qu'il utilise la même population initiale que celle du scénario de référence, les individus qui ne souffrent pas de la maladie ne peuvent la développer. Toutefois, ceux qui ont le diabète n'en sont pas guéris. Autrement dit, les transitions vers le diabète ne sont plus possibles. De plus, les individus des cohortes qui entrent dans le modèle à chaque cycle de la simulation ne peuvent ni déjà avoir le diabète au moment de leur entrée dans la simulation, ni le développer ultérieurement. Par conséquent, chaque cohorte d'individus âgés de 30 ans qui fait son entrée dans le modèle est similaire à celle du scénario de référence sauf en ce qui a trait à la présence du diabète.

Les scénarios suivants sont des variations de celui de prévention du diabète : au lieu de modéliser la prévention du diabète, chaque scénario modélise la prévention d'une maladie différente. Ainsi, les nouveaux scénarios supposent, l'un après l'autre, qu'à partir de 2010, il n'est plus possible de développer de l'hypertension, une maladie cardiaque, un AVC, une certaine forme de cancer, une démence ou une maladie pulmonaire. Nous considérons également un scénario de prévention totale qui modélise la prévention jointe de toutes les maladies. Celui-ci suppose également que les individus de la population initiale qui ne fument pas et/ou qui ne sont pas obèses ne deviendront jamais fumeurs ou obèses. En outre, les individus des cohortes entrantes ne peuvent ni fumer, ni être obèses ni développer un de ces facteurs de risque au cours de la simulation.

Un autre scénario est en lien avec l'obésité. Il pose les mêmes hypothèses que celles des scénarios concernant les différentes maladies et est donc similaire à ceux-ci. Ainsi, bien que les individus de la population initiale puissent être obèses, ceux qui ne le sont pas ne le deviendront jamais. De plus, les individus des cohortes entrantes ne peuvent ni être obèses lors de leur entrée dans le modèle ni le devenir. Les transitions vers l'obésité sont donc complètement éliminées. Un tel scénario pourrait s'apparenter à la mise en place de politiques permettant de prévenir l'obésité, par exemple en encourageant — avec succès — les individus à maintenir un poids en santé.

Le dernier scénario repose sur une amélioration exogène de la mortalité. Un tel scénario pourrait se produire en présence de progrès technologiques curatifs majeurs (maintien des gens en vie). Ainsi, on suppose que la réduction de la mortalité augmente de 50 % par rapport au scénario de référence. Ceci se traduit en une augmentation importante de l'espérance de vie. Le tableau 1 présente l'augmentation de l'espérance de vie entre 2010 et 2050 à 30, 50 et 65 ans dans le scénario de référence et dans celui d'amélioration exogène de la mortalité.

	Espérance de vie par scénario	
	Référence	Amélioration exogène de la mortalité
30 ans	4,78	7,15
50 ans	4,35	6,78
65 ans	2,96	5,23

Tableau 1: Hausse de l'espérance de vie entre 2010 et 2050 par âge

Ce tableau montre que les individus âgés de 30 ans en 2050 vivront 7,15 années de plus que ceux âgés de 30 ans en 2010 dans le scénario d'amélioration de la mortalité. Similairement, les individus âgés de 50 et 65 ans en 2050 vivront respectivement 6,78 et 5,23 années de plus que ceux ayant les mêmes âges en 2010. Ce scénario implique une augmentation de l'espérance de vie de plus de 50% par rapport à celui de référence. Il est important de mentionner que les caractéristiques de la population initiale et des cohortes entrantes ainsi que les probabilités de transition vers différents états sont identiques dans les deux scénarios.

5 Dynamique du régime de retraite

Afin de nous concentrer sur le risque de longévité, nous construisons tout d'abord un modèle simple de régime de retraite à prestations déterminées qui s'appliquera à toute la population du Québec âgée de 30 ans et plus. Ce régime comporte des caractéristiques typiques pour le Québec. Afin de nous concentrer sur le risque de longévité, nous supposons un salaire moyen constant en termes réels. Nous exprimons aussi toutes les quantités en termes de multiple de ce salaire moyen.

Dénotons le nombre d'individus d'âge a à l'année t par $n(a, t)$. Chacun de ces agents peut

être dans deux états : travailleur ou retraité. S'il est travailleur, il contribue une fraction τ de son revenu au régime de retraite. Pour simplifier, ce revenu est normalisé à 1 et présumé identique pour tous les individus. Pour chaque année où il travaille, l'agent accumule des points, α , comptant pour le calcul de sa prestation de retraite. Supposons que chaque travailleur contribue de l'âge de 30 ans ($a = 30$) jusqu'à l'âge de 64 ans inclusivement. À sa retraite, à 65 ans, un individu qui a contribué toute sa carrière obtient alors un taux de remplacement $\alpha^* = 35\alpha$.

Dans une année t , les contributions totalisent $C(t) = \tau \sum_{a=30}^{64} n(a, t)$, alors que les prestations versées sont égales à $P(t) = \alpha^* \sum_{a=65}^{110} n(a, t)$. Afin de nous concentrer sur le risque de longévité, supposons qu'il n'y a pas de croissance des salaires, d'inflation ou de rendement stochastique. Le taux d'escompte est dénoté par r .

La valeur de l'actif du régime évolue selon l'équation

$$A(t+1) = (1+r)(A(t) + C(t) - P(t)), \quad t \geq 0. \quad (1)$$

Pour les individus d'âge $a < 65$ à l'année t , la valeur présente des prestations déjà acquises est donnée par

$$L(a, t) = \sum_{s=65-a}^{110-a} \frac{\alpha(a-30)}{(1+r)^s} n(a+s, t+s), \quad (2)$$

tandis que pour les individus ayant déjà pris leur retraite ($a > 64$), on a :

$$L(a, t) = \sum_{s=1}^{110-a} \frac{\alpha 35}{(1+r)^s} n(a+s, t+s). \quad (3)$$

Le passif du régime à l'année t est donné par $L(t) = \sum_a L(a, t)$. Dans le cas du scénario de référence, à $t = 0$, nous imposons que le régime soit pleinement capitalisé, de sorte que l'actif soit égal au passif : $A(0) = L(0)$, ou encore $\frac{A(0)}{L(0)} = 1$. Dans le cas des scénarios alternatifs, à $t = 0$, l'actif est égal au passif du scénario de référence à $L(0)$. Ceci permet de représenter le risque auquel fait face un régime de retraite à court terme dans les différents scénarios.

Nous utilisons principalement un taux d'escompte réel de 3% dans nos calculs. La valeur

de α utilisée est de 2%, une valeur typique dans les régimes de retraite québécois à prestations déterminées. Nous supposons aussi un taux constant de contribution au régime de retraite de 18 % (taux maximal permis au Québec).

6 Impacts des scénarios sur le régime de retraite

Nous analysons d’abord la dynamique du régime de retraite dans le scénario de référence. La figure 4 montre l’évolution des prestations, des contributions ainsi que de l’actif et du passif du régime de retraite entre 2010 et 2050. Les valeurs présentées en ordonnée doivent être interprétées comme des multiples du salaire annuel moyen. À titre d’exemple, on pourrait multiplier chacune de ces valeurs par 40 898 \$ pour 2012 ([Emploi-Québec, 2013](#)), ce qui correspond au salaire hebdomadaire moyen de 2012 multiplié par 52 semaines de travail.

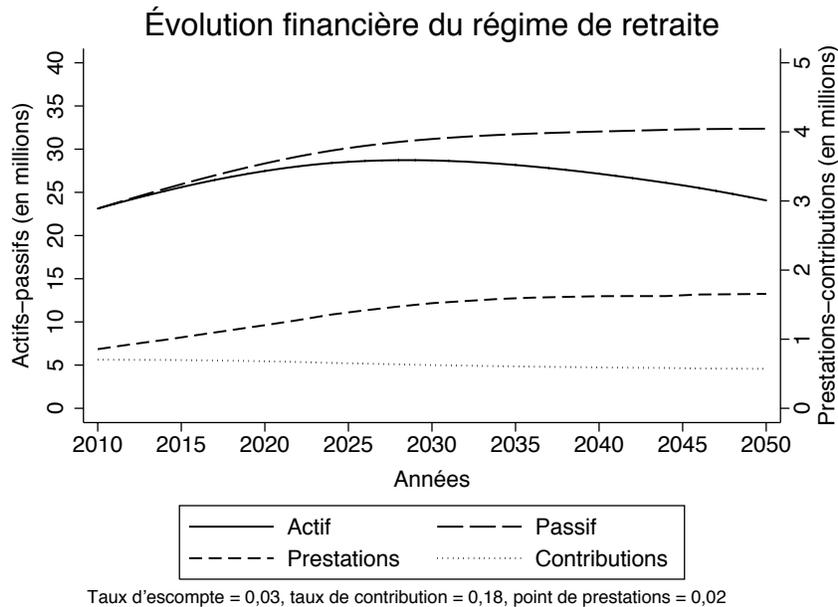


FIGURE 4: Évolution de l’actif, du passif, des prestations et des contributions

Dans la figure 4, on observe une augmentation des prestations qui est significativement plus importante que celle des contributions. L’augmentation importante des prestations provient en grande partie du vieillissement de la population ainsi que des progrès de l’espérance de vie. On

observe toutefois que l'augmentation des prestations ralentit à partir de 2030. Malgré l'écart positif et croissant entre les prestations et les contributions, l'actif augmente jusqu'en 2025. Ceci s'explique par le fait que la somme des contributions et des rendements sur l'actif est supérieure aux prestations. L'actif demeure stable entre 2025 et 2030. Après 2030, l'écart entre les prestations et les contributions devient trop important et l'actif commence à diminuer, le rendement sur l'actif ne parvenant plus à compenser l'accroissement des prestations.

La figure 5 montre ce qu'il advient du ratio de financement, c'est-à-dire le ratio de l'actif sur le passif, dans le scénario de référence entre 2010 et 2050. Puisque nous supposons que l'actif et le passif sont égaux en 2010, le ratio de financement débute à 1. À la fin de la simulation, il diminue à 0,74. Ainsi, les hypothèses de mortalité du scénario de référence font en sorte que le régime devient déficitaire avec un taux de contribution fixe de 18%.

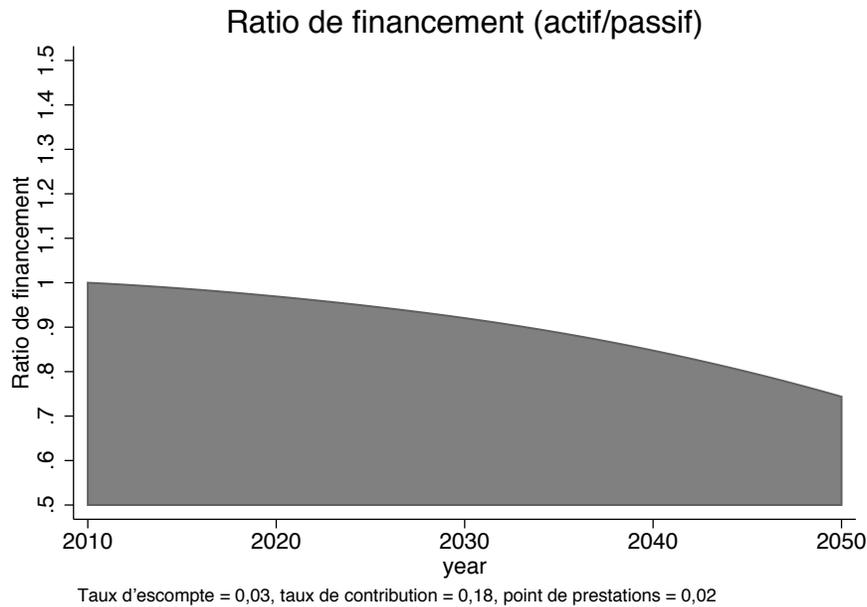


FIGURE 5: Évolution du ratio de financement

Le tableau 2 présente l'actif, le passif, les prestations et les contributions pour l'ensemble des scénarios étudiés en 2030 et 2050. En 2030, les prestations du régime de retraite sont semblables pour la majorité des scénarios puisque que la prévalence des maladies y est relativement semblable. Éliminer certaines maladies entre 2010 et 2030 n'a pas d'impacts majeurs sur la taille de la

Scénarios	2030			
	Prestations	Contributions	Actif	Passif
Référence	1,52	0,62	28,70	31,18
Prévention du cancer	1,55	0,63	28,47	32,68
Prévention du diabète	1,54	0,63	28,59	32,16
Prévention des maladies cardiaques	1,55	0,63	28,47	32,67
Prévention de l'hypertension	1,53	0,63	28,64	31,82
Prévention des maladies pulmonaires	1,53	0,63	28,63	31,57
Prévention des démences	1,54	0,62	28,49	32,17
Prévention des AVC	1,53	0,63	28,63	31,55
Prévention de l'obésité	1,52	0,62	28,74	31,16
Réduction de la mortalité	1,56	0,63	28,40	33,36
Prévention totale	1,74	0,63	26,31	40,89
		2050		
Scénarios	Prestations	Contributions	Actif	Passif
Référence	1,66	0,57	24,07	32,37
Prévention du cancer	1,73	0,57	22,26	34,43
Prévention du diabète	1,71	0,57	23,02	33,80
Prévention des maladies cardiaques	1,73	0,57	22,27	34,36
Prévention de l'hypertension	1,69	0,57	23,43	33,38
Prévention des maladies pulmonaires	1,68	0,57	23,57	32,89
Prévention des démences	1,70	0,57	22,78	33,59
Prévention des AVC	1,67	0,57	23,58	32,82
Prévention de l'obésité	1,66	0,57	24,23	32,49
Réduction de la mortalité	1,77	0,57	21,54	35,71
Prévention totale	2,12	0,57	10,57	44,50

Tableau 2: Prestations, contributions, actif et passif du régime de retraite pour différents scénarios, en millions de multiples du salaire annuel moyen.

population et n'affecte donc pas le régime de retraite outre mesure. Seul le scénario de prévention de l'ensemble des maladies se distingue du scénario de référence : en 2030, les prestations du scénario de référence sont de 1,52 millions alors que celles du scénario de prévention totale sont de 1,74 millions. Les contributions du régime de retraite sont similaires dans le scénario de référence et dans les scénarios alternatifs, indiquant que ces derniers ont peu d'effets sur la taille de la population âgée de moins de 65 ans.

En 2050, des effets plus importants apparaissent pour les scénarios de réduction de la mortalité et de prévention des maladies cardiaques, du cancer et du diabète par rapport au scénario de référence. Dans le scénario de réduction de la mortalité, les prestations augmentent de 6,6%

par rapport au scénario de référence, tandis que pour les scénarios de prévention des maladies cardiaques et du cancer, l'augmentation est de 5%. Les prestations augmentent de moins de 4% dans le scénario de prévention du diabète par rapport au scénario de référence. Compte tenu de l'effet des maladies cardiaques et des cancers sur les décès ([Institut de la Statistique du Québec, 2013](#)), il n'est pas surprenant de constater que la prévention complète de ces maladies augmente le nombre d'années durant lesquelles les Québécois touchent des prestations ainsi que la taille de la population. Le scénario de prévention totale a des effets encore plus importants sur les prestations du régime de retraite. Celles-ci augmentent de 28% par rapport au scénario de référence. Similairement à ce qui était observé en 2030, les contributions au régime de retraite sont semblables dans les scénarios alternatifs et dans le scénario de référence.

L'augmentation des prestations entre 2030 et 2050 (voir [tableau 2](#)) se traduit en une augmentation du passif et en une diminution de l'actif dans les différents scénarios. Par exemple, l'actif du scénario de référence diminue de 4,6 millions (de multiples du salaire moyen) entre 2030 et 2050 tandis que le passif augmente de 1,2 millions (de multiples du salaire moyen). Le ratio de financement diminue donc de 0,92 à 0,74 entre 2030 et 2050. La [figure 6](#) présente le ratio de financement, pour certains scénarios représentatifs, entre 2010 et 2050. Celle-ci montre que le ratio de financement des scénarios alternatifs est naturellement toujours inférieur à celui du scénario de référence et qu'il décroît plus rapidement. Ceci s'explique par l'augmentation (resp. la diminution) plus importante du passif (resp. de l'actif) dans les scénarios alternatifs que dans le scénario de référence.

La prévention du cancer et des maladies cardiaques entraîne une réduction du ratio de financement de 13,85% par rapport au scénario de référence (il se situe à 0,65 en 2050). Cependant, les diminutions les plus importantes proviennent des scénarios de réduction de la mortalité et de prévention totale : en 2050, le ratio de financement atteint 0,60 dans le premier cas et 0,24 dans le second. Ces effets sont considérables et suggèrent que le risque que représente l'amélioration de la santé de la population est important, surtout si le progrès survient pour plusieurs ou pour toutes les maladies plutôt qu'une seule à la fois. À ce titre, il est possible de constater que la somme des effets sur le passif pour chacune des maladies est plus petite que l'effet sur le passif

de voir une amélioration pour toutes les maladies à la fois.

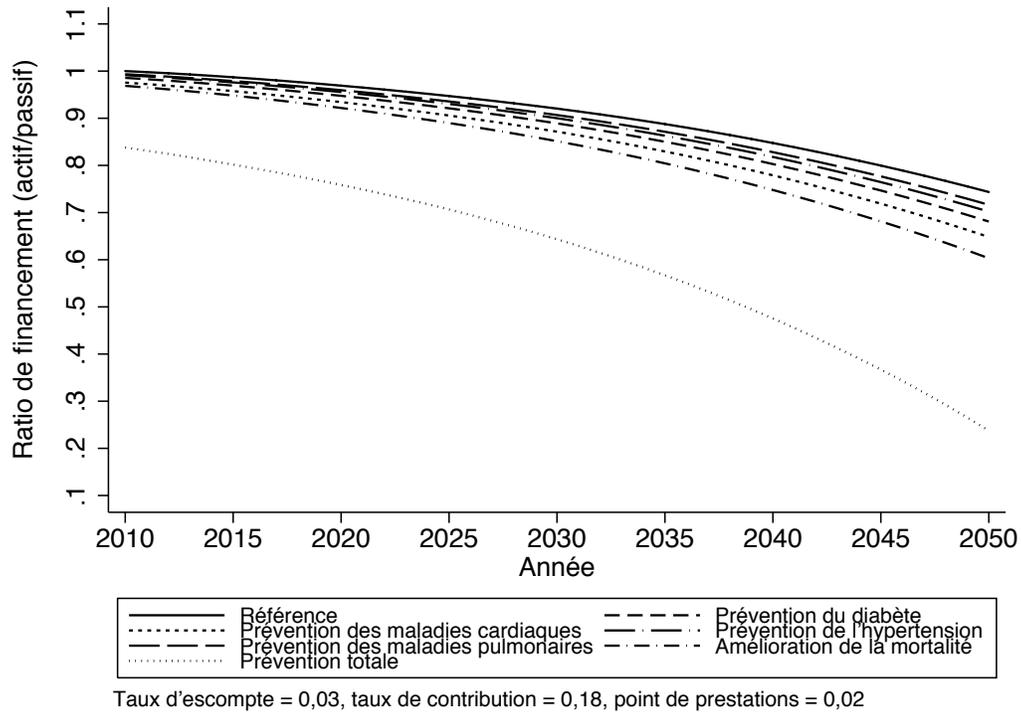


FIGURE 6: Évolution du ratio de financement selon différents scénarios

Le risque principal pour le régime de retraite vient donc de progrès technologiques susceptibles d’améliorer l’ensemble de la santé des Québécois, que ce soit via une réduction importante de la mortalité ou par une Large prévention des maladies. On observe qu’agir sur la prévention d’une seule maladie a un faible effet sur le ratio de financement du régime de retraite. Ceci s’explique par les risques “concurrents”. En l’absence d’une maladie, les individus ne sont pas forcément en santé; ils développent et peuvent développer d’autres problèmes de santé qu’ils n’auraient pas autrement, entre autres choses parce qu’ils décèdent des suites de cette maladie. Le modèle prend en compte le jeu de ces risques concurrents.

Afin de juger si les effets sur le ratio de financement sont considérables, le tableau 3 présente les taux de contributions qu’il faudrait mettre en place au sein du régime de retraite pour obtenir, dans un premier temps, le ratio de financement prédit par le scénario de référence en 2050, puis, dans un second temps, celui qui permettrait d’assurer un régime de retraite où les

	Taux de contribution	
	Ratio de financement du scénario référence	Ratio de financement d'équilibre (=1)
Référence	18,00%	21,00%
Prévention du cancer	19,20%	22,40%
Prévention du diabète	18,75%	21,90%
Prévention des maladies cardiaques	19,18%	22,37%
Prévention de l'hypertension	18,49%	21,60%
Prévention des maladies pulmonaires	18,30%	21,37%
Prévention des démences	18,80%	21,90%
Prévention des AVC	18,30%	21,34%
Prévention de l'obésité	18,00%	21,00%
Réduction de la mortalité	19,80%	23,10%
Prévention totale	26,00%	30,10%

Tableau 3: Taux de contributions permettant un ratio de financement égal à celui du scénario de référence et à celui de l'équilibre (=1) en 2050

actifs et les passifs sont égaux en 2050. Le scénario qui combine la prévention de toutes les maladies et des facteurs de risque nécessite une augmentation de 8 points de pourcentage du taux de contribution. En ce qui concerne les autres scénarios, le retour au ratio de financement du scénario de référence nécessite une augmentation du taux de contribution de moins de 2 points de pourcentage.

Le retour à un ratio de financement de 1 en 2050 requiert que le taux de contribution du régime de retraite soit établi à un minimum de 21%. Un tel taux de contribution permet un équilibre entre les actifs et les passifs pour le scénario de référence ainsi que pour le scénario lié à la prévention de l'obésité. Outre les scénarios de réduction de la mortalité et de prévention de toutes les maladies, le taux de contribution permettant d'obtenir un ratio de financement de 1 est d'au plus 22,4 %. En présence de réduction de la mortalité, il faudrait augmenter le taux à 23,1 % pour un équilibre entre actifs et passifs en 2050.

7 Analyse d’hypothèses sur la mortalité

Les scénarios des sections précédentes, bien qu’ils diffèrent dans la manière par laquelle ils affectent la mortalité au sein de la population, ont en commun l’inclusion d’une amélioration exogène de la mortalité. Tel que mentionné dans la section 3, celle-ci est identique, à quelques exceptions près, à celle utilisée par la RRQ dans ses projections. La mortalité dans les différents scénarios dépend également de l’évolution de l’état de santé de la population, mais cet effet est négligeable dans le scénario de référence : en l’absence d’amélioration exogène de la mortalité, l’espérance de vie et la mortalité par âge entre 2010 et 2050 varient peu.

Le modèle utilisé par la RRQ afin de calculer l’amélioration de la mortalité n’incorpore pas d’avis sur une éventuelle évolution de la mortalité en raison des progrès de la médecine, de l’apparition de nouvelles maladies ou facteurs de risques ou encore de changements dans le style de vie. La RRQ le reconnaît implicitement en ces termes : *« les retombées des nouvelles technologies, des recherches en génétique et des nouveaux médicaments sur l’espérance de vie sont difficiles à évaluer. Les habitudes de vie et l’environnement semblent, à ce jour, être des facteurs plus déterminants sur la mortalité des individus »*.

Cette section évalue ainsi l’hypothèse de la RRQ d’amélioration exogène de la mortalité dans une perspective d’avancées médicales permettant un tel progrès de la mortalité. Ceci est fait en comparant la mortalité et l’espérance de vie dans le scénario de référence à celles observées dans deux scénarios alternatifs où l’amélioration exogène de la mortalité de la RRQ est retirée mais où différentes avancées médicales sont introduites.

7.1 Scénarios

Le premier scénario est une forme de prévention totale. Il suppose que les individus qui ne sont pas atteints de maladies, qui ne fument pas et/ou qui ne souffrent pas d’obésité ne pourront jamais devenir malade, commencer à fumer et/ou devenir obèse. Il est semblable au scénario de prévention totale de la section 4, à l’exception du fait qu’il n’y a pas ici de facteur créant une

amélioration exogène de la mortalité.

Le second scénario est plus conservateur et simule l'effet de certaines améliorations médicales (sans le progrès exogène de la mortalité de la RRQ). Similairement au premier scénario, l'amélioration de la mortalité ne peut provenir que de changements dans la prévalence de maladies. Ce scénario se base sur le FEM afin d'isoler quatre avancées médicales susceptibles de se produire dans les 10 prochaines années. Un panel d'experts en santé a évalué la probabilité qu'elles se produisent vers 2020 ([Goldman et al., 2005b](#)). Toutefois, puisque ces hypothèses ont été posées il y a une décennie, nous utilisons également la littérature médicale des dernières années pour les actualiser.

Dans ce scénario d'avancées médicales, nous supposons que chaque avancée considérée a une certaine probabilité de se produire en 2020. Ceci implique qu'à chaque itération du modèle certains changements ont lieu et d'autres non. Nous avons donc un éventail de possibilités concernant la santé simulée des individus, certaines combinaisons étant plus probables que d'autres. Ensuite, nous faisons une moyenne des résultats des itérations afin de calculer l'espérance de vie et la mortalité de ce scénario. Les différentes avancées médicales ainsi que la probabilité associée à chacune sont détaillées ci-après.

Les deux premières avancées médicales considérées affectent les individus qui souffrent de cancers : *(i)* les inhibiteurs de la télomérase ([Hu et al., 2012](#)) et *(ii)* les vaccins contre le cancer ([Davis et Dayoub, 2011](#)) sont capables de s'attaquer aux cellules cancéreuses et aux tumeurs.

1. Les inhibiteurs de la télomérase permettraient de guérir 12,4% des personnes qui souffrent d'un cancer chaque année à partir de 2020 ([Goldman et al., 2005b](#)). Parmi les autres personnes atteintes d'un cancer, 12,4% d'entre elles verraient leur espérance de vie augmenter de 25% (avec une probabilité de 1).
2. Les vaccins, quant à eux, permettraient de guérir annuellement 6% des individus ayant un cancer. Ils pourraient prolonger de 25% l'espérance de vie d'une partie de la population. Selon [Goldman et al. \(2005b\)](#), la probabilité que les vaccins contre le cancer existent en 2020 est de 0,15. Ainsi, nous supposons que dès 2020, à chaque cycle de simulation, 6% des individus qui avaient le cancer sont guéris et que 73% de ceux ayant cette tumeur

maligne ont une espérance de vie plus longue (avec une probabilité de 0,15).

La troisième avancée médicale permettrait d'éliminer, avec une probabilité de 0,40, l'incidence de maladies cardiovasculaires à partir de 2020 (Goldman *et al.*, 2005b). La littérature médicale récente abonde également en ce sens (Mitka, 2013; Smith *et al.*, 2013).

Enfin, la dernière avancée suppose que 30% des personnes obèses ont 50% moins de chances de devenir diabétique sur une période de 10 ans à partir de 2020 (Goldman *et al.*, 2005b). Cette hypothèse se réalisera avec une probabilité de 0,65. Elle est toujours actuelle puisque plusieurs travaux concluent que les pontages gastriques jumelés à la prise de médicaments ainsi qu'à des modifications des habitudes de vie sont associés non seulement à un meilleur contrôle glycémique mais aussi à un plus haut taux de rémission du diabète pour les personnes souffrant d'obésité (Adams *et al.*, 2012; Ikramuddin *et al.*, 2013).

Les sections 7.2 et 7.3 présentent l'impact de ces deux scénarios sur le taux de mortalité et l'espérance de vie.

7.2 Taux de mortalité

Le taux de mortalité est défini comme étant le rapport du nombre de décès de l'année à la population totale moyenne de l'année à un âge donné : il s'agit donc de la probabilité de mourir au cours d'une année à un âge donné. Nous pouvons calculer le taux de croissance annuel moyen (TCAM) de la mortalité entre 2010 et 2050 à l'aide de :

$$TCAM_{qx} = \left(\frac{qx_{a,2050}}{qx_{a,2010}} \right)^{1/40} - 1, \quad (4)$$

où $qx_{a,t}$ est le taux de mortalité qui prévaut parmi les individus d'âge a à l'année t .

La figure 7 présente le TCAM de la mortalité entre 2010 et 2050 par âge pour chacun des trois scénarios considérés, incluant celui de la RRQ. Elle montre dans un premier temps que le taux de mortalité pour les personnes âgées de 30 à 90 ans a diminué entre 2010 et 2050 dans les

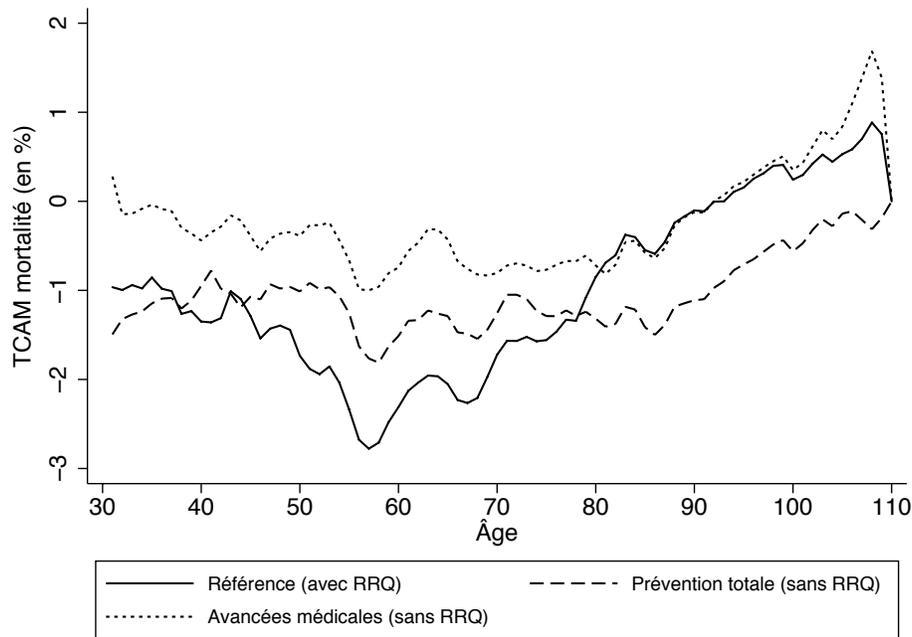


FIGURE 7: Taux de croissance annuel moyen de la mortalité entre 2012 et 2050 par âge

3 scénarios (le TCAM est négatif). On y note que la diminution de la mortalité est plus faible dans le scénario d'avancées médicales (sans RRQ) que dans les 2 autres pour les individus âgés de 30 à 80 ans.

Par ailleurs, les hypothèses de la RRQ (utilisées dans le scénario de référence) concernant la diminution de la mortalité ont *grosso modo* des effets semblables sur la mortalité à celles du scénario de prévention totale (sans RRQ). Pour les individus âgés de 45 à 79 ans, la réduction de la mortalité dans le scénario de référence (avec les hypothèses de la RRQ) est plus importante que celle observée dans celui de prévention totale (sans RRQ). Il semble que les hypothèses de la RRQ concernant la diminution de la mortalité soient plutôt optimistes. Il faut en effet des changements radicaux dans la prévalence de maladies et de facteurs de risque pour obtenir un taux de mortalité semblable à celui observé dans le scénario de référence de la RRQ.

Toutefois, à des âges plus avancés, le scénario de référence et celui d'avancées médicales sont semblables. Les hypothèses de la RRQ concernant la mortalité semblent donc cohérentes avec les avancées médicales susceptibles de se produire à partir de 2020. Pour les 2 scénarios, à partir de

95 ans, la mortalité augmente entre 2010 et 2050. Un tel résultat peut sembler surprenant étant données les hypothèses concernant la mortalité et la santé, mais dans les faits, il est similaire à ce qu'on observe dans les tables de mortalité prospectives. Le taux de mortalité observé est généralement plus volatil aux grands âges étant donné le faible nombre d'observations : on a un nombre absolu de décès nécessairement plus petit chez les personnes les plus âgées dû à des effectifs plus restreints (Brouhns *et al.*, 2002).

7.3 Espérance de vie

L'espérance de vie résiduelle par âge indique le nombre d'années qu'un individu à cet âge devrait vivre si les conditions générales de mortalité à une année donnée devaient rester les mêmes tout au long de la vie de l'individu (Organisation des Nations Unies, 2008). La réduction du taux de mortalité entre 2010 et 2050 se traduit ainsi en une augmentation de l'espérance de vie. Nous nous intéressons plus particulièrement ici à la différence entre l'espérance de vie lors d'une année t et l'espérance de vie en 2010, une différence notée ehr et donnée par :

$$ehr_{a,t} = eh_{a,t} - eh_{a,2010}, \quad (5)$$

où $eh_{a,t}$ est l'espérance de vie résiduelle qui prévaut parmi les individus d'âge a à l'année t . Ainsi, une valeur de 4 en 2050 pour les individus âgés de 30 ans implique que l'espérance de vie résiduelle a augmenté de 4 ans entre 2010 et 2050.

La figure 8 présente l'évolution de l'espérance de vie résiduelle à certains âges entre 2010 et 2050 dans les 3 scénarios. Dans la majorité des cas, on observe que l'espérance de vie augmente, régulièrement, entre 2010 et 2050. L'effet est particulièrement marqué pour les individus âgés de 30 ans. Pour ces derniers, l'espérance de vie résiduelle du scénario de référence (avec RRQ) est semblable à celle de la prévention totale (sans RRQ). La conclusion est la même pour ceux âgés de 50 ans. En 2050, les 2 scénarios diffèrent l'un de l'autre par moins d'une année. Comme précédemment (voir la sous-section 7.2), ceci semble indiquer que les hypothèses de la RRQ, qui sont utilisées dans le scénario de référence, sont plutôt optimistes en ce qui concerne la durée de

vie des individus à 30 ans.

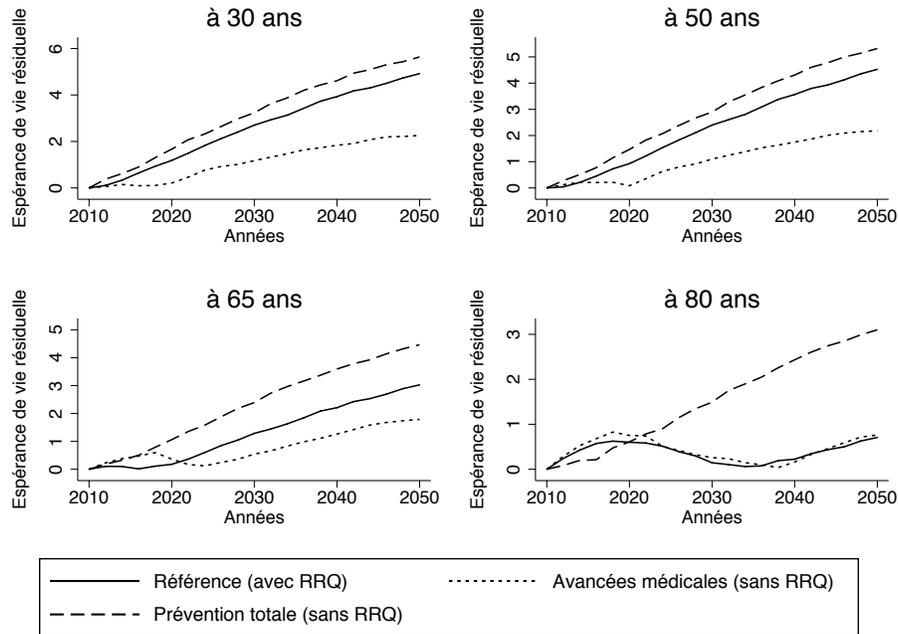


FIGURE 8: Évolution de l'espérance de vie résiduelle à certains âges et selon trois scénarios entre 2010 et 2050

Cependant, à partir de 65 ans, l'écart entre le scénario de référence (avec RRQ) et celui de prévention totale (sans RRQ) se creuse. L'espérance de vie résiduelle dans le premier scénario diffère de celle du second d'environ 1,3 années en 2050. Cet écart est semblable à celui observé entre le scénario de référence (avec RRQ) et celui d'avancées médicales (sans RRQ) pour la même année. Les hypothèses de la RRQ sont donc davantage optimistes aux plus jeunes âges. À 80 ans, l'augmentation de l'espérance de vie dans le scénario de référence et dans celui d'avancées médicales est similaire ; les hypothèses de la RRQ ont donc un impact sur l'espérance de vie à 80 ans similaire à celui exercé par des avancées médicales susceptibles de se produire dans une décennie.

8 Conclusions

Ce travail largement exploratoire illustre comment un modèle de microsimulation de santé de long terme, COMPAS, peut être utilisé afin de quantifier le risque de longévité pour un régime de retraite à prestations déterminés. Il permet aussi d'évaluer les hypothèses de mortalité effectuées par des institutions comme la Régie des rentes du Québec, ces hypothèses jouant un rôle déterminant dans la gestion des risques d'un régime de retraite. En contrôlant directement les sources d'amélioration de la mortalité, l'usage d'un tel modèle permet aussi de mieux comprendre le type de progrès technologique qui a le plus d'impact sur les perspectives de longévité de la population et sur les risques de longévité subis par un régime de retraite.

Les résultats indiquent que le progrès qui n'affecte qu'une maladie à la fois présente un risque relativement faible pour les régimes de retraite. Cela s'explique en partie par l'effet de la concurrence des risques : l'effet d'un progrès médical isolé est mitigé par le fait que les individus contractent d'autres maladies lorsque l'incidence d'une maladie est réduite. Quand le progrès est uniforme, c'est-à-dire qu'il garde en vie les gens plus longtemps peu importe leur état de santé, ou lorsque le progrès technologique a tendance à réduire l'incidence de plusieurs maladies en même temps, un régime de retraite fait naturellement face à un risque plus important.

Les résultats de cet article permettent aussi de conclure que les hypothèses de la RRQ concernant la diminution de la mortalité pour les individus âgés de 30 à 65 ans s'apparentent à un scénario de prévention presque totale des maladies et des facteurs de risque. Pour les individus âgés de 80 ans et plus, les hypothèses de la RRQ sont proches d'un scénario d'évolution de certaines maladies tel que formulé par un récent panel d'experts en santé et reposant sur des probabilités que certaines avancées médicales se produisent. Dans le cas des 30 à 65 ans, les hypothèses de réduction de la mortalité de la RRQ sembleraient donc plutôt optimistes, alors que dans le cas des 80 ans et plus, les hypothèses de la RRQ concordent avec l'effet des avis du panel sur les projections du modèle COMPAS.

Références

- ADAM, L. (2012). The Canadian pensioners mortality table. Rapport technique, Université Laval.
- ADAMS, T. D., DAVIDSON, L. E., LITWIN, S. E., KOLOTKIN, R. L., LAMONTE, M. J., PENDLETON, R. C., STRONG, M. B., VINIK, R., WANNER, N. A., HOPKINS, P. N., GRESS, R. E., WALKER, J. M., CLOWARD, T. V., NUTTALL, R. T., HAMMOUD, A., GREENWOOD, J. L. J., CROSBY, R. D., MCKINLAY, R., SIMPER, S. C., SMITH, S. C. et HUNT, S. C. (2012). Health benefits of gastric bypass surgery after 6 years. *The Journal of the American Medical Association*, 308(11):1122–1131.
- BROUHNS, N., DENUIT, M. et VERMUNT, J. K. (2002). A poisson log-bilinear regression approach to the construction of projected lifetables. *Insurance : Mathematics and Economics*, 31(3):373 — 393.
- CARTER, L. et LEE, R. (1992). Modeling and forecasting U.S. sex differentials in mortality. *International Journal of Forecasting*, 8(3):p. 393–411.
- CAZALE, L., LAPRISE, P. et NANHOUE, V. (2009). Maladies chroniques au Québec et au Canada : évolution récente et comparaisons régionales. *Zoom Santé*, 17(1-8).
- CUTLER, D., DEATON, A. et LLERAS-MUNEY, A. (2006). The determinants of mortality. *Journal of Economic Perspectives*, 20(3):97–120.
- D’AMOURS, A., BEAUDRY, R., GODBOUT, L., LAMOUREUX, C., MARCHON, M., MORENCY, B. et ROCHETTE, M. (2013). Innover pour pérenniser le système de retraite : Un contrat social pour renforcer la sécurité financière de tous les travailleurs québécois. Rapport technique, Régie des rentes du Québec.
- DAVIS, M. M. et DAYOUB, E. J. (2011). A strategic approach to therapeutic cancer vaccines in the 21st century. *The Journal of the American Medical Association*, 305(22).
- EMPLOI-QUÉBEC (2013). Guide des salaires selon les professions au Québec. Document en ligne, Québec.
- GOLDMAN, D., SHANG, B., BHATTACHARYA, J., GARBER, A., HURD, M., JOYCE, G., LAKDALLA, D., PANIS, C. et SHEKELLE, P. (2005a). Consequences of health trends and medical innovation for the future elderly. *Health Affairs*, 24(6):W5R5–W5R17.
- GOLDMAN, D., SHEKELLE, P., BHATTACHARYA, J., HURD, M., JOYCE, G., LAKDWALLA, D., MATSUI, D., NEWBERRY, S., PANIS, C. et SHANG, B. (2005b). Health status and medical treatment of the future elderly. Rapport technique, RAND.

- HU, J., HWANG, S. S., LIESA, M., GAN, B., SAHIN, E., JASKELIOFF, M., and HAOQIANG YING, Z. D., BOUTIN, A. T., ZHANG, H., JOHNSON, S., IVANOVA, E., KOST-ALIMOVA, M., PROTOPOPOV, A., WANG, Y. A., SHIRIHAI, O. S., CHIN, L. et DEPINHO, R. A. (2012). Antitelomerase therapy provokes alt and mitochondrial adaptive mechanisms in cancer. *Cell*, 148(4).
- IKRAMUDDIN, S., KORNER, J., LEE, W.-J., CONNETT, J. E., INABNET, W. B., BILLINGTON, C. J., THOMAS, A. J., LESLIE, D. B., CHONG, K., JEFFERY, R. W., AHMED, L., VELLA, A., CHUANG, L.-M., BESSLER, M., SARR, M. G., SWAIN, J. M., LAQUA, P., JENSEN, M. D. et BANTLE, J. P. (2013). Roux-en-y gastric bypass vs intensive medical management for the control of type 2 diabetes, hypertension, and hyperlipidemia. *The Journal of the American Medical Association*, 309(21):2240–2249.
- INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC (2009). Perspectives démographiques du Québec et des régions, 2006-2056. Document en ligne, Québec.
- INSTITUT DE LA STATISTIQUE DU QUÉBEC (2013). Le bilan démographique du Québec : édition 2013. Document en ligne, Québec.
- MITKA, M. (2013). Study : Exercise may match medication in reducing mortality associated with cardiovascular disease, diabetes. *The Journal of the American Medical Association*, 310(19):2026–2027.
- ORGANISATION DES NATIONS UNIES (2008). Perspectives relatives à la population mondiale : révision de 2008. Rapport technique, Division des Nations Unies pour la population.
- RÉGIE DES RENTES DU QUÉBEC (2013a). Évaluation actuarielle du Régime de rentes du Québec au 31 décembre 2012. Document en ligne, Québec.
- RÉGIE DES RENTES DU QUÉBEC (2013b). Plan d'action du gouvernement : Vers des régimes de retraite équitables et durables. Rapport technique, Québec.
- SANTÉ CANADA (s.d.). La prévalence du tabagisme 1999 - 2012. Document en ligne, Canada.
- SMITH, R., MCCREADY, T. et YUSUF, S. (2013). Combination therapy to prevent cardiovascular disease slow progress. *The Journal of the American Medical Association*, 309(15).
- STATISTIQUE CANADA (2000a). Enquête sur la population active, 2000. Fichier de données, Canada.
- STATISTIQUE CANADA (2000b). Enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes, 2010, cycle 1.1, composante annuelle. Fichier de données, Canada.
- STATISTIQUE CANADA (2012a). Enquête sur la population active, 2012. Fichier de données, Canada.

STATISTIQUE CANADA (2012b). Enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes, 2012, composante annuelle. Fichier de données, Canada.

Annexe A : COMPAS

Population initiale

La population initiale de COMPAS est créée à partir des données de l'enquête sur la santé dans les collectivités canadiennes (ESCC) de 2010. Il est nécessaire d'apporter certaines modifications à l'ESCC pour qu'elle contienne l'ensemble des variables dont nous avons besoin dans la simulation.

Pour plusieurs variables, l'information présente dans l'ESCC peut être utilisée telle quelle. Ces variables sont le sexe, le statut d'immigration, les problèmes de santé (à l'exception de l'Alzheimer et des autres démences), le tabagisme et l'obésité. Pour ces dernières, il n'y a pas de modification à effectuer et les observations de l'ESCC sont directement utilisés afin de créer la population initiale du modèle de microsimulation.

Pour les autres variables, des modifications ont été apportées. Tout d'abord, l'âge, dans le fichier de microdonnées à grande diffusion (FMGD), est groupé par intervalles de 3 à 4 ans. Ce problème est surmonté en calibrant les poids de l'enquête de façon à reproduire la distribution de l'âge, par sexe, de la population québécoise ([Institut de la Statistique du Québec, 2009](#)). De cette manière, les poids utilisés dans la simulation permettent de représenter la distribution entière de l'âge et non seulement des catégories présentes dans le FMGD.

La variable d'éducation a également été modifiée. En effet, le plus haut niveau d'éducation trouvé dans l'ESCC est *études postsecondaires*, catégorie qui inclut autant les diplômes d'études collégiales qu'universitaires. Dans le cadre de notre travail, il est préférable de séparer les études postsecondaires en ses 2 composantes. Ainsi, nous avons imputé des diplômes d'études universitaires à certaines observations de l'ESCC qui avaient au moins un diplôme postsecondaire.

L'ESCC permettant de capter la quasi-totalité des variables de limitations dans les activités de la vie quotidienne, aucune modification n'est apportée aux variables de l'ESCC en ce qui a trait aux limitations. Toutefois, tous les individus interrogés au sein de l'ESCC sont en ménages privés. Il a donc été nécessaire d'imputer le statut d'institutionnalisation à certains répondants afin de créer la population initiale.

La dernière imputation concerne l'Alzheimer puisque c'est le seul problème de santé qui n'est pas présent dans l'ESCC.

Module de transition

Le module de transition simule les déplacements des individus à travers différents états de santé. Nous commençons par estimer les paramètres de modèles économétriques de choix discrets ayant comme variables dépendantes les transitions que l'on veut modéliser. Nous utilisons ensuite les paramètres estimés pour calculer les probabilités de transitions des individus de la simulation en fonction de leurs caractéristiques individuelles. Si cette probabilité est supérieure à une valeur aléatoire tirée d'une distribution uniforme, la transition vers le nouvel état a lieu.

La première transition évalue, pour chaque individu, s'il survit à la période suivante. Ceci est déterminé en calculant la probabilité de décès des individus en fonction des facteurs de risque, des variables démographiques, des problèmes de santé existants et du statut d'invalidité. Si la transition vers le décès n'a pas lieu, des transitions subséquentes sont estimées vers les facteurs de risque, l'invalidité et les problèmes de santé.

La probabilité de développer une maladie dépend des maladies existantes, des variables socio-démographiques et des facteurs de risque. Il est utile d'apporter certaines précisions. Tout d'abord, une fois qu'un individu souffre d'une maladie, il en souffre jusqu'à son décès. Ensuite, il faut restreindre les liens de causalité possibles. Le tableau 4 illustre ces restrictions. Les "x" indiquent si la causalité d'une ligne vers une colonne est possible.

La probabilité de développer une invalidité dépend des caractéristiques démographiques, des maladies, des facteurs de risque ainsi que de l'invalidité courante, alors que la probabilité de

	Diabète	Hypertension	Cancer	Maladies pulmonaires	Maladies cardiaques	AVC	Démences
Diabète	s.o	x			x	x	
Hypertension		s.o			x	x	
Cancer			s.o				x
Maladies pulmonaires				s.o			
Maladies cardiaques					s.o	x	
AVC						s.o	
Démences							s.o

Tableau 4: Effets permis des maladies les unes sur les autres

devenir obèse dépend seulement des variables démographiques, du statut de fumeur et de l'IMC au moment présent. L'incidence de l'obésité ne dépend pas de la prévalence de maladies et des états d'invalidité car elle est considérée comme un facteur de risque qui affecte ces variables et non comme une conséquence de celles-ci. Pour le tabagisme, trois transitions sont estimées. La première est la probabilité de commencer à fumer. Celle-ci s'estime seulement pour les individus qui n'ont jamais fumé et dépend des variables démographiques et de l'obésité. Ensuite, pour les individus qui fument, la probabilité de cesser de fumer dépend des variables démographiques et de l'IMC. Une dernière transition concerne la probabilité de recommencer à fumer parmi les anciens fumeurs selon les caractéristiques démographiques et l'obésité.

Les transitions concernant les maladies, le décès et le tabagisme sont estimées par des modèles complémentaires log-log. Nous utilisons des modèles logistiques multinomiaux pour estimer les transitions qui s'appliquent à l'obésité et à l'invalidité.

Module de renouvellement

Le module de renouvellement ajoute une nouvelle cohorte d'individus à chaque cycle de simulation de COMPAS. Tel que mentionné dans la section 2, ces individus possèdent plusieurs caractéristiques. Dénotons par $y = (y_1, \dots, y_M)$ leurs M caractéristiques individuelles.

Le tableau 5 donne la liste des caractéristiques d'un individu entrant.

Variables
Âge
Année de naissance
Sexe
Niveau de scolarité
Diabète
Hypertension
Maladies cardiaques
AVC
Cancer
Maladies pulmonaires
Démence
Tabagisme
Obésité
Invalidité

Tableau 5: Caractéristiques des individus entrants

Chaque année, les caractéristiques moyennes de la cohorte entrante changent. L'espérance du vecteur $y = (y_1, \dots, y_M)$ change, d'une année à l'autre, en fonction d'une série $\tau_{m,t}$ tel que

$$E_{m,t}[y_m] = \tau_{m,t} E_m[y_m] \quad (6)$$

où $E_{m,t}[y_m]$ est l'espérance à l'année $y = t$ de la caractéristique m . Ainsi, l'espérance de y_m pour chaque nouvelle cohorte dépend de l'espérance de y_m au sein de la population initiale ainsi que du facteur de changement de l'année t . La corrélation entre les différentes variables est prise en compte à travers l'estimation d'un système d'équations.



1130, rue Sherbrooke Ouest, bureau 1400, Montréal (Québec) H3A 2M8

Tél. : 514-985-4000 • Téléc. : 514-985-4039

www.cirano.qc.ca • info@cirano.qc.ca