



Impact du changement climatique
sur la mortalité de la population suisse :
une approche par analyse de scénarios
pour les caisses de pension



Impact du changement climatique
sur la mortalité de la population suisse :
une approche par analyse de scénarios
pour les caisses de pension

Université de Lausanne

Huiting Su

**sous la supervision de Séverine Arnold – Professeure du Département de Sciences Actuarielles ;
et Ivan Alexis Fonseca Diaz – PhD candidat du Département de Sciences Actuarielles**

3 juillet 2024

Abstract

Le changement climatique et ses impacts reçoivent une attention croissante dans le milieu académique et industriel, couvrant plusieurs aspects tels que les effets potentiels sur le secteur financier et la santé. Cependant, la plupart des recherches sur les impacts du changement climatique sur les fonds de pension se sont principalement concentrées sur les effets sur les investissements financiers, tout en négligeant son impact potentiel sur les tendances socio-économiques et les taux de mortalité. Cet aspect est crucial, les tables de mortalité étant régulièrement utilisées pour des tâches telles que le calcul de l'espérance de vie, la fixation des primes et la gestion des réserves dans les compagnies d'assurance-vie et les fonds de pension. Notre analyse examine l'influence du changement climatique sur les taux de mortalité de la population suisse et des bénéficiaires des fonds de pension suisses. Nous avons comparé les projections de mortalité issues de modèles standard qui ne prennent pas en compte les hypothèses de changement climatique, y compris celles actuellement utilisées par les caisses de pension, ainsi qu'un modèle bien connu dans le milieu académique, avec des projections de mortalité basées sur les hypothèses de changement climatique formulées dans les trajectoires socio-économiques partagées (SSP). Plus précisément, les projections de mortalité selon les SSP sont générées à travers un modèle qui intègre une analyse de scénarios basée sur divers facteurs socio-économiques et démographiques affectés par le changement climatique. L'analyse de scénarios réalisée confirme que les projections de mortalité standard basées uniquement sur les tendances historiques sont susceptibles de ne pas prendre en compte des changements considérables dans les schémas de mortalité causés par des scénarios de changement climatique plausibles. Nos résultats indiquent que les projections de mortalité selon les SSP diffèrent des modèles actuellement utilisés par les caisses de pension et le milieu académique. Les tendances de mortalité sont susceptibles d'être fortement influencées par le statut socio-économique du pays, ce qui entraîne une incertitude considérable quant aux tendances futures de l'espérance de vie. Selon les trajectoires de mortalité des SSP, les caisses de pension sont susceptibles de faire face à des défis dans le calcul des réserves, la planification, ainsi que dans la gestion des actifs et des passifs.

Table des matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduction | 4 |
| 2 | Scénarios de changement climatique : les SSP | 6 |
| 2.1 | SSP1 | 6 |
| 2.2 | SSP2 | 6 |
| 2.3 | SSP3 | 7 |
| 2.4 | SSP4 | 7 |
| 2.5 | SSP5 | 7 |
| 3 | Méthodologie | 7 |
| 3.1 | Sources des données | 7 |
| 3.2 | Projection de la mortalité | 8 |
| 3.2.1 | Projection de la mortalité de la population suisse | 8 |
| 3.2.2 | Projection de la mortalité des membres des fonds de pension suisses | 9 |
| 4 | Résultats | 9 |
| 4.1 | Impact du changement climatique sur la mortalité de la population suisse | 9 |
| 4.2 | Impact du changement climatique sur la mortalité des assurés des caisses de pension suisses | 18 |
| 5 | Conclusion | 20 |
| 6 | Annexes | 22 |
| 6.1 | Annexe 1 | 22 |
| 6.2 | Tables | 22 |

1 Introduction

À mesure que la température continue d'augmenter, le changement climatique suscite de plus en plus l'attention quant à ses impacts sur la vie des individus et les opérations commerciales. Les entreprises financières sont exposées à des pertes économiques telles que des dommages aux biens et aux infrastructures, ainsi qu'à une pression croissante pour agir de manière plus durable afin de maintenir une bonne réputation tout en s'adaptant à un monde axé sur la réduction du changement climatique [6].

À ce jour, les impacts du changement climatique sur les caisses de pension sont loin d'être pleinement explorés. La majorité des études existantes qui examinent ce sujet se concentrent principalement sur les effets potentiels sur les rendements, en négligeant d'autres facteurs tels que les effets à long terme sur le pouvoir d'achat des prestations. Une analyse récente, qui se fonde sur une revue de la littérature semi-systématique reliant différents domaines de recherche, identifie les principaux canaux, avec les facteurs de risque qui y sont associés, par lesquels le changement climatique peut transférer des risques physiques et de transition aux systèmes de sécurité sociale et aux caisses de pension [2]. Plus précisément, cet article décrit les effets du changement climatique sur la durabilité, l'adéquation et l'équité intergénérationnelle des systèmes de sécurité sociale et des fonds de pension à travers quatre canaux socio-économiques étroitement liés au bien-être des bénéficiaires : les prix à la consommation, le marché du travail, les résultats en matière de santé et les pratiques d'investissement. La figure 1 présente un résumé des principaux aspects liés à chacun de ces canaux pour les fonds de pension.

FIGURE 1 – Canaux de risques transférés par les changements climatiques à la sécurité sociale et aux caisses de pension [2]

| Canaux | Facteurs principaux de risque | Effet du changement climatique (exemples) | Effet sur les caisses de pension (exemples) |
|--------------------------------------|--|--|---|
| Prix à la consommation | L'instabilité du marché pourrait entraîner une augmentation du coût de la vie, en particulier les prix des denrées alimentaires (insécurité alimentaire) et les prix de l'énergie (précarité énergétique). | Des conditions météorologiques extrêmes pourraient entraîner une pénurie alimentaire, ce qui entraînerait une nouvelle augmentation des prix des denrées alimentaires. | Les prestations pourraient ne pas suffire à couvrir le coût de la vie future. |
| Actifs financiers et investissements | Risques financiers sur les investissements; Pertes économiques sur les actifs détenus; Investissements verts, pratiques ESG, communication sur la durabilité. | Nouvelles réglementations sur la transparence financière. Les investissements peuvent être exposés à des risques physiques et de transition. | Les actifs des caisses de pension peuvent être exposés à des dommages physiques, par exemple, les biens immobiliers situés à proximité du littoral. |
| Marché du travail | Emplois, emplois «verts», revenus salariaux, qualité de l'emploi | Une mutation des emplois peut être anticipée en raison de la transition énergétique: de sources d'énergie intensives en carbone à des sources d'énergie renouvelable. | Effet potentiel sur les montants des contributions et la volonté de contribuer |
| Etat de santé | Taux de mortalité et d'invalidité | La population atteinte de certains types de maladies pourrait être exposée à un risque de mortalité plus élevé. | Influences sur la période et le montant des prestations qui doivent être versés. |

Le changement climatique peut avoir un impact sur la performance des investissements financiers des caisses de pension par le biais de facteurs de risque tels que les pertes économiques résultant de la dévaluation des actifs, les dommages aux infrastructures et la réduction de la productivité [2]. Par exemple, une étude menée par Swiss Re prévoit qu'une augmentation de température d'environ 3,2°C pourrait entraîner une diminution du PIB de 18% d'ici 2050 comparativement à un scénario sans changement climatique [8]. De plus, les pertes économiques peuvent augmenter les coûts de production, qui peuvent ensuite être répercutés sur les consommateurs [2]. En conséquence, les instabilités des prix à la consommation constituent un deuxième canal de risque affectant

les caisses de pension, car elles sont étroitement liées au bien-être et à la santé des ménages. Ces instabilités affectent principalement leur accès à la nourriture et à l'énergie [2]. Par exemple, selon une recherche publiée par la Banque centrale européenne, une augmentation de 1°C de la température moyenne mensuelle pourrait entraîner une augmentation de 0,1 à 0,2 point de pourcentage de l'inflation des produits alimentaires non transformés dans l'année suivant l'augmentation de température [11]. Enfin, comme troisième canal de risque, le marché du travail peut également être affecté par des facteurs de risque tels que les transformations des emplois et les réductions de la productivité du travail. Par exemple, une augmentation des emplois informels est attendue parmi les travailleurs les moins formés, beaucoup de ces emplois étant essentiels à la construction des infrastructures nécessaires aux industries des énergies propres. Cela pourrait entraîner une baisse des revenus salariaux en raison de la demande croissante pour des emplois précaires [2].

En conséquence, prendre en compte les effets du changement climatique sur ces canaux socio-économiques pourrait être crucial pour les caisses de pension, afin de gérer efficacement leurs actifs et passifs, en particulier lorsque ces effets entraînent des changements dans les schémas de mortalité. Par exemple, les fluctuations des prix des denrées alimentaires et de l'énergie peuvent engendrer des vulnérabilités sociales telles que l'insécurité alimentaire et la précarité énergétique, augmentant ainsi les problèmes de santé et la mortalité [2]. De même, les transformations du marché du travail peuvent entraîner du chômage et des instabilités dans les revenus salariaux, ce qui pourrait détériorer la qualité de vie et la santé, conduisant ainsi à une mortalité accrue [2]. D'autre part, sur les marchés financiers, les caisses de pension sont censées effectuer des investissements plus responsables et durables sur le plan environnemental pour faciliter la transition énergétique [5][2]. Bien que les investissements responsables contribuent à atténuer les effets du changement climatique, aidant ainsi à réduire la mortalité à long terme, ces investissements peuvent réduire l'épargne à la retraite. Enfin, des températures extrêmes et des événements météorologiques sévères peuvent avoir un impact significatif sur la santé, augmentant les taux de mortalité à court et à long terme [2].

Cette recherche se concentre sur l'impact du changement climatique sur les résultats en matière de santé, plus particulièrement sur la mortalité. Selon l'Office fédéral suisse de la santé publique en 2022 [18], les températures extrêmes lors de vagues de chaleur accroissent le risque de mortalité chez les populations vulnérables, en particulier pour les ménages à faible revenu et les personnes atteintes de maladies non transmissibles telles que le diabète, Alzheimer, les maladies du système respiratoire et les maladies cardiovasculaires. Cela montre qu'il est important de prendre en compte non seulement les effets des températures extrêmes, mais aussi d'autres facteurs socio-économiques, tels que le développement économique et technologique. Cependant, étant donné l'incertitude entourant les trajectoires socio-économiques mondiales et les résultats climatiques qui en découlent, il est difficile de mesurer les effets potentiels du changement climatique sur la mortalité par des méthodes statistiques standard. Par conséquent, suivant un courant de recherche croissant sur l'analyse du changement climatique, nous avons utilisé pour cette étude une approche d'analyse de scénarios [16].

L'analyse de scénarios développée dans cette étude prend en considération les hypothèses décrites dans les trajectoires socio-économiques partagées (SSP) [13]. Les SSP décrivent les principales variables socio-économiques et présentent cinq scénarios mondiaux plausibles sous l'effet du changement climatique. Ces derniers ont été élaborés par la communauté de recherche scientifique sur le climat en collaboration avec le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)¹. Organe des Nations Unies, le GIEC a été créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). Sa mission consiste à évaluer les données scientifiques liées au changement climatique et à fournir des informations aux gouvernements pour élaborer des politiques climatiques [9].

Il est crucial pour les caisses de pension d'évaluer l'impact du changement climatique sur les taux de mortalité afin d'anticiper avec précision les pertes actuarielles. Une surestimation de la mortalité peut représenter un fardeau financier pour la caisse de pension, qui devra combler le déficit de réserves avec ses actifs disponibles. À l'inverse, une sous-estimation de la mortalité peut conduire à des réserves excessives, augmentant ainsi les contraintes de solvabilité des caisses de pension. Par exemple, si la mortalité diminue de 10% à tous les âges, l'espérance de vie d'une femme de 65 ans augmenterait d'environ 2,77%. En souscrivant une rente viagère avec un taux d'intérêt effectif annuel de 2% à partir de 65 ans, le passif de la caisse de pension augmenterait d'environ 2,15%. Ainsi,

1. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (<https://www.ipcc.ch>).

disposer d'une estimation raisonnable de la mortalité future est crucial pour la pérennité des régimes de retraite. Le reste du présent document est structuré comme suit : la Section 2 présente une description détaillée et une explication des scénarios SSP ; la Section 3 décrit les sources des données et les méthodologies utilisées pour cette analyse ; les Sections 4 et 5 présentent les résultats correspondants et la conclusion.

2 Scénarios de changement climatique : les SSP

Les trajectoires socio-économiques partagées (SSP) ont été introduites en 2014 [13] et ont été utilisées par le GIEC dans son sixième rapport d'évaluation [12]. L'idée derrière les SSP est de considérer des facteurs supplémentaires, tels que la démographie, l'économie et les conditions politiques, aux côtés des mesures traditionnelles des émissions, de la température ou du niveau de la mer pour évaluer l'impact du changement climatique [15]. Par conséquent, les SSP fournissent une compréhension plus large de l'impact du changement climatique sur la société dans son ensemble.

Il existe cinq scénarios, allant de SSP1 à SSP5. Chaque scénario décrit différentes trajectoires socio-économiques auxquelles les sociétés pourraient être exposées en cas de changement climatique. Pour chacun des scénarios, le degré de défis pour ces sociétés est influencé par des facteurs tels que le statut économique, la volonté de mettre l'accent sur le développement durable et les efforts contribuant à un environnement plus durable [14]. Il existe deux types de défis : l'atténuation et l'adaptation. L'atténuation correspond aux efforts visant à réduire l'impact négatif du changement climatique [15]. Par exemple, maintenir la hausse des températures à des niveaux bas en réduisant le niveau d'émissions de gaz à effet de serre. L'adaptation, elle, fait référence aux activités qui aident la société à s'adapter aux situations dans lesquelles des transformations deviennent irrémédiables en raison du changement climatique [14]. Par exemple, l'introduction de politiques pour réduire la consommation d'énergie. Chaque scénario décrit les différentes caractéristiques des évolutions futures possibles, l'une d'entre elles étant l'évolution de la mortalité [7].

2.1 SSP1

Il s'agit du scénario le plus optimiste, également connu sous le nom de scénario de « Durabilité ». Selon ce dernier, l'atténuation des impacts du changement climatique et l'adaptation à ces derniers représenteront peu de défis. Les pays donneront la priorité au développement durable et feront preuve d'un engagement accru pour atteindre les objectifs de développement durable (ODD) des Nations Unies (ONU). Une amélioration technologique rapide se produira, notamment dans les domaines qui augmentent l'efficacité énergétique. L'utilisation de l'énergie passera des combustibles fossiles aux énergies renouvelables, stimulant ainsi la croissance de ce secteur sur le marché financier. Par conséquent, plus d'investissements et d'incitations seront faits en faveur des énergies renouvelables. Dans ce scénario, l'accent sera mis sur le bien-être humain plutôt que sur la croissance économique, ce qui démontrera que les pays sont prêts à sacrifier une partie de la croissance économique en échange d'une meilleure durabilité environnementale. La population aura un niveau d'éducation plus élevé et le niveau de vie augmentera, permettant aux gens de s'adapter rapidement aux changements sociétaux et environnementaux résultant du changement climatique. Par exemple, l'accès à l'eau potable et aux soins médicaux sera garanti, ce qui entraînera une réduction des taux de mortalité et une augmentation de l'espérance de vie [14].

2.2 SSP2

Il s'agit du scénario « Milieu de la route », un point intermédiaire parmi les cinq scénarios. Selon celui-ci, les pays seront confrontés à un niveau modéré de défis en matière d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à ce dernier. Les tendances sociales, environnementales et technologiques resteront conformes aux modèles historiques. Il y aura des engagements internationaux et nationaux pour atteindre les ODD, mais les progrès seront plus lents que dans le SSP1. L'économie restera stable. Le développement technologique pour le développement durable se poursuivra également, mais sera plus lent dans certains pays à revenu moyen et faible. Les énergies renouvelables joueront aussi un rôle important, bien qu'une grande partie de l'énergie proviendra encore de la consommation de combustibles fossiles. La population des pays développés, comme la Suisse, connaîtra un rythme modéré de changements et de politiques visant à résoudre les difficultés liées au changement climatique, avec des ressources garanties telles que la nourriture, l'eau potable et des soins médicaux

de haute qualité. Cependant, ce sera différent pour les pays à faible revenu, où le soutien des pays à revenu élevé sera nécessaire [14].

2.3 *SSP3*

Ce scénario appelé « Rivalités régionales » présente une vision pessimiste de l'impact potentiel du changement climatique. Selon celui-ci, le monde sera confronté à des défis majeurs pour atténuer le changement climatique et s'y adapter. L'accent sur le développement durable sera réduit, avec une priorité donnée à la résolution des problèmes nationaux et régionaux. Les conflits internationaux augmenteront, entraînant une coopération mondiale limitée en matière de transition énergétique. La diminution des échanges commerciaux entre les pays entraînera un ralentissement de la croissance économique. Le taux de croissance démographique sera faible dans les pays très développés et il sera élevé dans les pays moins développés. En outre, les investissements dans l'éducation et la technologie diminueront, ce qui aboutira à une demande énergétique accrue et à des progrès lents en matière d'efficacité énergétique. Seules quelques politiques seront mises en place pour lutter contre le changement climatique, et les ressources seront principalement allouées aux besoins régionaux. Les pays à faible revenu auront particulièrement du mal à maintenir même les normes de vie de base [14].

2.4 *SSP4*

Le SSP4, également appelé scénario de l'« Inégalité », prévoit une hausse des inégalités entre les pays à haut revenu et ceux à faible revenu. Le monde sera confronté à un niveau élevé de défis en matière d'adaptation et, a contrario, à moins de défis en matière d'atténuation. Le pouvoir sera détenu par seulement une poignée d'individus. Les politiques environnementales seront principalement mises en place dans les régions à revenu moyen et élevé. Une croissance économique stable ne se produira que dans les pays industrialisés, tandis que les pays à faible revenu connaîtront une mauvaise performance économique. Un mélange de sources d'énergie sera utilisé, incluant à la fois des énergies renouvelables et fossiles, car les entreprises énergétiques devront réduire les risques dans leur portefeuille d'investissement, causés par le développement inégal dans différentes régions. Les investissements dans le développement technologique et l'éducation, qui permettront de soutenir la transformation pour atteindre une meilleure durabilité environnementale, se produiront également principalement dans les régions très développées. Cela entraînera un fossé croissant entre les pays à haut revenu et les pays à faible revenu, car la population ayant de faibles niveaux d'éducation dans les pays en développement aura du mal à s'adapter aux scénarios négativement impactés par le changement climatique [14].

2.5 *SSP5*

Le SSP5, à l'opposé du SSP4, est un scénario caractérisé par une forte consommation de combustibles fossiles et une expansion économique continue. Ce scénario prévoit que le monde sera confronté à des défis relativement faibles en matière d'adaptation, mais à des défis élevés en matière d'atténuation. Cette projection repose sur l'hypothèse que les investissements continus dans le développement technologique, l'éducation et les soins de santé permettront de traiter efficacement les problèmes environnementaux causés par le changement climatique. Cependant, ce scénario souligne que moins d'engagements seront consacrés à la réalisation des objectifs de développement durable (ODD). Les marchés mondiaux continueront de s'étendre avec des barrières réduites pour l'entrée des groupes défavorisés et vulnérables, et la population mondiale devrait suivre une tendance à la hausse puis à la baisse, avec un pic atteint avant la fin du 21^e siècle. Dans les pays à revenu élevé, les taux de fécondité devraient augmenter en raison de la meilleure performance économique, permettant aux familles d'atteindre des niveaux de vie plus élevés et de s'agrandir. En revanche, les pays en développement pourraient connaître une diminution des taux de fécondité à mesure que la population deviendrait plus éduquée et que la migration des zones à faible revenu vers les zones à revenu élevé augmenterait [14].

3 Méthodologie

3.1 *Sources des données*

Cette étude utilise des données provenant de quatre sources principales, chacune fournissant différentes caractéristiques de mortalité nécessaires à l'analyse : la mortalité selon les scénarios de changement climatique ; la

mortalité historique de la population suisse ; ainsi que la mortalité des assurés des caisses de pension suisses, dans un cas pour les caisses privées et dans l'autre pour les caisses publiques.

La première source de données correspond aux projections de mortalité de l'année 2019 à la fin du siècle selon les scénarios SSP. Ces projections ont été générées à l'aide d'un outil quantitatif public fourni par l'Institut Pardee pour les Futurs Internationaux (IFs). Le modèle utilisé dans ces projections intègre diverses variables démographiques, économiques et environnementales telles que le PIB, la population et l'éducation dans le cadre d'un modèle d'évaluation intégrée (MEI) [7]. Ce modèle a été utilisé dans des analyses récentes de la mortalité selon les scénarios de changement climatique pour produire des données de mortalité pour chaque scénario SSP [16]. Les projections incluent le nombre de décès et les taux de mortalité pour des intervalles d'âge de cinq ans pour les femmes et les hommes.

La deuxième base de données contient les taux de mortalité historiques en Suisse pour les hommes et les femmes. Les données proviennent de la Human Mortality Database (HMD) et couvrent les années 1970 à 2022. Cette période a été choisie pour assurer un échantillon suffisamment grand de taux de mortalité en vue des projections de la mortalité future que nous utiliserons dans cette analyse, tout en évitant d'inclure les effets liés aux guerres et à l'après-guerre.

Les deux dernières sources de données proviennent de deux types de tables de mortalité actuellement utilisées par les fonds de pension suisses : la table VZ (« Versicherungskasse der Stadt Zürich ») et la table LPP (« loi fédérale sur la prévoyance professionnelle »). La première est principalement utilisée par les institutions publiques, tandis que la seconde est principalement utilisée par les institutions privées [1]. Pour la table VZ, nous utilisons la version la plus récente disponible, qui est la table VZ 2020. Cette table, construite avec un seul modèle de projection, couvre les taux de mortalité observés pour 2018 et les taux projetés à partir de 2019². Dans cette analyse, la mortalité observée en 2018 a servi de référence pour les projections ultérieures de mortalité à l'aide du modèle VZ et de quatre autres modèles utilisés dans la table LPP, à savoir les modèles du Continuous Mortality Investigation (CMI) avec trois hypothèses différentes sur les taux d'amélioration de la mortalité, ainsi que le modèle de l'Office fédéral de la statistique (BFS) [1]. Pour développer les projections de mortalité en utilisant les différents modèles de la table LPP, les facteurs de réduction de la mortalité depuis l'année de référence (2017)³ jusqu'à la fin du siècle ont été utilisés.

3.2 *Projection de la mortalité*

L'analyse se divise en deux parties principales. D'abord, elle évalue l'impact du changement climatique sur la mortalité future de la population suisse en comparant les estimations résultant des SSP avec celles obtenues à l'aide de différentes méthodes de projection conventionnelles qui ne prennent pas en compte le changement climatique. Ensuite, étant donné que la mortalité de l'ensemble de la population peut ne pas refléter celle des personnes affiliées aux caisses de pension, la mortalité de ce groupe spécifique a également été projeté à l'aide de techniques de projection traditionnelles et de modèles intégrant explicitement le changement climatique.

3.2.1 *Projection de la mortalité de la population suisse*

Premièrement, nous avons projeté la mortalité de la population en utilisant quatre méthodes différentes : le modèle de Lee-Carter (LC) [10], la méthodologie de projection utilisée dans la table VZ 2020, ainsi que les facteurs de réduction issus des modèles CMI et BFS disponibles dans la table LPP 2020. Pour le modèle CMI, nous avons pris en compte des taux de réduction de la mortalité de 1%, 2% et 3%, tels qu'utilisés dans la table LPP 2020. Chacun de ces modèles a été ajusté en utilisant les données de mortalité observées pour la population suisse extraites de la HMD. Pour le modèle LC, les taux de mortalité observés utilisés pour l'estimation font référence à la période allant de 1970 à 2017. Quant aux méthodologies VZ et LPP, les projections de mortalité ont été obtenues en appliquant les facteurs de réduction aux données de mortalité observées respectivement en 2018 et 2017. Ainsi, un total de six modèles différents ont été ajustés pour projeter la mortalité future sans considérer les hypothèses sur le changement climatique : LC, CMI 1%, CMI 2%, CMI 3%, BFS et VZ.

2. La table VZ, publiée pour la première fois en 1950, était initialement basée uniquement sur les statistiques du fonds de pension de la ville de Zurich. Cependant, plusieurs autres fonds de pension publics ont été inclus depuis 2005 [1]

3. Puisque la table LPP la plus récente a été publiée en 2020, l'année de référence pour cette table correspond à la mortalité observée en 2017.

Dans un deuxième temps, les taux de mortalité de 2019 à 2100 selon différents scénarios SSP ont été obtenus à partir de la plateforme IFs. Ces données, initialement fournies par intervalles d'âge de cinq ans, ont nécessité des calculs spécifiques pour obtenir des intervalles d'un an. Ces calculs ont suivi le protocole de la HMD. Pour ce faire, un modèle de splines cubiques a été utilisé. Il interpolait le nombre cumulé de décès par intervalles d'âge d'un an à travers un polynôme cubique ajusté au nombre cumulé de décès sur cinq ans [19]. Cette transformation des intervalles d'âge est particulièrement importante. Elle permettra en effet de déterminer l'espérance de vie et les réserves lors des étapes suivantes.

Enfin, à partir des taux de mortalité obtenus grâce à tous les modèles considérés, les probabilités de décès de la table de mortalité, q_x , ont été calculées conformément au protocole de la HMD⁴. L'utilisation du protocole de la HMD, ainsi que la sélection des années d'estimation pour les projections de mortalité, ont été réalisées afin d'assurer la cohérence et la comparabilité parmi les différentes sources de données utilisées pour cette analyse.

3.2.2 Projection de la mortalité des membres des fonds de pension suisses

Les tables de mortalité utilisées par les caisses de pension montrent généralement des taux de mortalité plus bas par rapport à ceux de la population générale. Cela peut s'expliquer par le fait que les membres des fonds de pension sont généralement issus de ménages à revenu moyen et élevé, plus aptes à faire face aux événements imprévus que des individus ayant des revenus inférieurs ou instables. Il est donc essentiel de mener une analyse distincte de la mortalité pour les individus membres d'un fonds de pension suisse.

De manière similaire à ce qui est décrit dans la section 3.2.1, les projections de mortalité pour les membres des caisses de pension suisses, selon l'hypothèse de l'absence de changement climatique, ont été calculées en utilisant les mêmes méthodologies que celles utilisées dans les tables VZ et LPP. Cependant, au lieu d'utiliser les taux de mortalité de la HMD comme année de référence pour développer les projections de mortalité, pour cette partie de l'analyse, la mortalité observée en 2018, selon la table VZ 2020, a été utilisée comme niveau initial de référence pour tous les modèles.

De plus, les projections de mortalité selon les scénarios SSP ont été adaptées pour correspondre au niveau de mortalité des affiliés des caisses de pension suisses. Le processus implique l'établissement de relations linéaires entre la probabilité de décès de la table VZ 2020 et la probabilité de décès de la HMD pour les femmes et les hommes de 2018 à 2022. Les coefficients linéaires obtenus ont ensuite été appliqués à la mortalité de la population selon les scénarios SSP. Ainsi, tout « choc » de mortalité résultant des hypothèses SSP est adapté et reflété dans la mortalité des membres des caisses de pension suisses. Les détails sur les estimations de régression sont fournis dans l'Annexe 1 (6.1).

4 Résultats

4.1 Impact du changement climatique sur la mortalité de la population suisse

Les projections de mortalité pour les hommes et les femmes sont représentées à la fois à l'échelle originale et à l'échelle logarithmique pour les années 2030, 2060 et 2090. Ces dates ont été sélectionnées pour comparer les projections au début, au milieu et à la fin du 21^e siècle. Deux groupes de projections ont été considérés. D'une part, un scénario sans changement climatique a été développé en utilisant les modèles VZ, CMI (1%, 2%, 3%), BFS et LC. D'autre part, les projections incluant les effets du changement climatique ont été représentées à travers les scénarios SSP. Les Figures 2 à 5 montrent ces projections. Les scénarios sans changement climatique sont représentés du côté gauche, tandis que les projections de mortalité à travers les scénarios SSP sont montrées du côté droit. Pour les graphiques incluant les effets du changement climatique, deux scénarios « sans changement climatique » ont été inclus à des fins de comparaison : le modèle LC et le modèle CMI 2%. Ces deux modèles ont été choisis pour représenter une perspective académique (LC) et une perspective utilisée dans la pratique avec une hypothèse modérée sur le taux d'amélioration de la mortalité (CMI 2%).

Comme le montrent les Figures 2 à 5, les scénarios SSP prévoient une évolution notablement différente de

4. Calcul détaillé à l'Annexe 1

la mortalité pendant la retraite par rapport aux modèles traditionnels (CMI, BFS, VZ). Dans les modèles traditionnels, la mortalité diminue rapidement au fil du temps aux âges jeunes, tandis qu'elle diminue beaucoup plus lentement aux âges très avancés. Cela implique que, pour les âges très élevés, comme 100 ans ou plus, les taux de mortalité ont tendance à se stabiliser au fil du temps. Cet effet est clairement visible dans les Figures 3 et 5. Il est également connu sous le nom d'effet de compensation (voir par exemple [4][3][17]). En ce qui concerne les projections de mortalité selon les scénarios SSP, il est possible d'identifier un schéma différent. À partir des Figures 3, 5, 6 et 7, nous observons que, conditionnées aux différentes hypothèses socio-économiques de tous les SSP, excepté le SSP3, la mortalité pourrait diminuer considérablement pendant la première moitié du siècle, même aux âges très avancés. De plus, durant la seconde moitié du siècle, les différentes hypothèses socio-économiques tendent à projeter une augmentation de la mortalité au fil du temps. Ces changements dans les schémas de mortalité mettent en évidence que, comme prévu, les modèles traditionnels, dans lesquels les hypothèses socio-économiques intrinsèques suivent des tendances historiques stables, peuvent ne pas décrire avec précision la mortalité en cas de changements socio-économiques considérables influencés par le changement climatique.

Il est également à noter que selon les SSP, à l'exception du SSP3, les retraités de plus de 65 ans devraient connaître une diminution significative des taux de mortalité au cours des 30 premières années à partir de 2030. En particulier, selon le scénario SSP5, comme le montrent les Figures 2 et 4 : pour les hommes et les femmes, les taux de mortalité sont les plus bas par rapport à tous les autres modèles. Cela donne à penser que mettre l'accent sur l'accélération de la croissance économique et sur le développement technologique contribuera à réduire rapidement les taux de mortalité à court terme. En revanche, dans les scénarios SSP3, qui reflètent des politiques environnementales limitées, les projections montrent une augmentation significative, au fil du temps, de la mortalité.

Les caractéristiques des évaluations de la mortalité sont similaires pour les hommes et les femmes, mais il existe néanmoins des différences, principalement observées dans les Figures 3 et 5. En général, les hommes présentent des taux de mortalité plus élevés que les femmes, et ceci à tous les âges. De plus, la mortalité chez les jeunes hommes semble être plus élevée que chez les femmes, pour tous les modèles. Bien que cette différence n'ait pas d'impact sur les revenus des retraités, elle pourrait influencer les contributions au premier pilier du système de sécurité sociale suisse.

Les Figures 6 et 7 montrent une comparaison des taux de mortalité projetés pour les hommes et les femmes aux âges de 65, 75, 85 et 95 ans de 2019 à la fin du 21^e siècle. Sur la base de ces deux figures, nous observons que les scénarios sans hypothèses de changement climatique (CMI, BFS, VZ) montrent une diminution cohérente de la mortalité de 2019 à la fin du siècle, ce qui correspond aux tendances historiques. Cependant, lorsque les hypothèses de changement climatique sont prises en compte, il devient évident que les seules tendances historiques ne suffisent pas à prédire la mortalité future.

Par exemple, le SSP1, qui représente la trajectoire la plus durable qu'un pays pourrait adopter, montre une réduction projetée des taux de mortalité pour les hommes et les femmes au cours des premières décennies. Cela montre que les taux de mortalité seront plus bas avec des engagements et des investissements accrus dans le développement socio-économique, l'avancement technologique et la durabilité. Cependant, au fur et à mesure, les taux de mortalité projetés à travers le SSP1 pour les hommes et les femmes devraient augmenter à la fin du 21^e siècle. Cela pourrait être la conséquence potentielle de la priorisation de la durabilité environnementale par rapport à la croissance économique. En conséquence, la croissance économique selon le scénario SSP1 sera très probablement inférieure à celle projetée selon les scénarios SSP2 et SSP4. Ainsi, la projection de mortalité à la fin du 21^e siècle est plus élevée selon le scénario SSP1 que selon les scénarios SSP2 et SSP4.

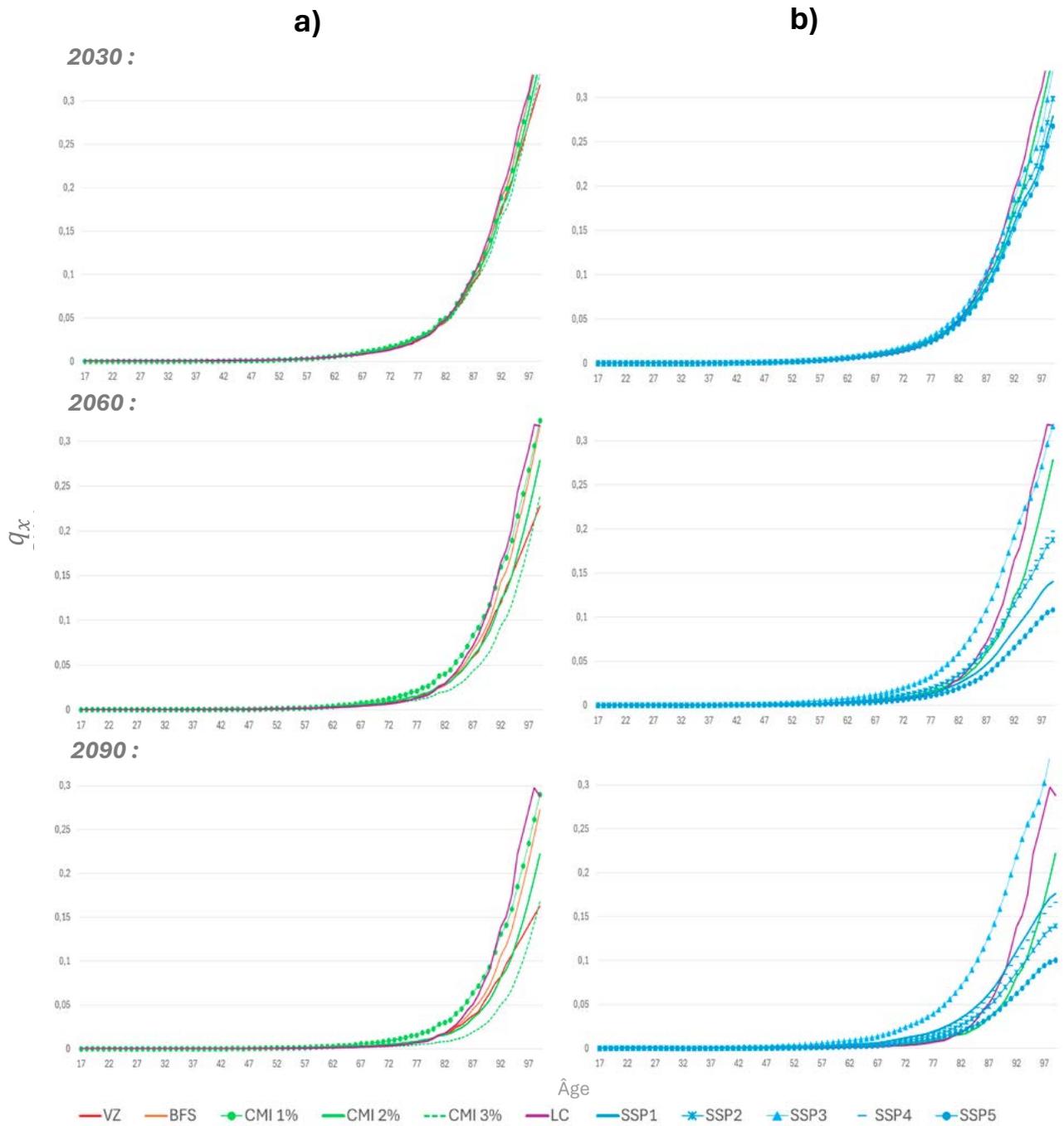
Le SSP3 présente généralement les taux de mortalité projetés les plus élevés pour les hommes et les femmes. Cependant, pour les groupes d'âge les plus avancés (comme les individus de 95 ans), les projections de mortalité sont inférieures aux modèles sans aucune hypothèse de changement climatique jusqu'à 2070 environ, comme le montrent les Figures 6 et 7. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les efforts actuels pour atténuer le changement climatique ainsi que pour atteindre d'autres objectifs de développement durable pourraient conduire à des améliorations en termes de mortalité pour les populations vulnérables (ici, les personnes âgées). Néanmoins,

à mesure que les hypothèses socio-économiques divergent, l'impact du SSP3 augmente considérablement sur ce segment de population. De plus, au cours de la première décennie, le SSP3 montre des taux de mortalité inférieurs ou similaires pour les âges de 65, 75 et 85 ans par rapport aux modèles sans hypothèses de changement climatique. Cela pourrait être attribué au statut politique de la Suisse, susceptible de réduire son exposition à l'intensification des conflits internationaux.

Selon le SSP5, qui voit les taux de mortalité diminuer rapidement au cours des premières décennies, une phase de stabilisation, voire une augmentation de la mortalité aura lieu à la fin du 21^e siècle. Ce schéma s'observe tant pour les hommes que pour les femmes dans les Figures 6 et 7. Ces résultats suggèrent qu'avec le temps, mettre l'accent uniquement sur le développement basé sur la consommation de combustibles fossiles et la croissance économique pourrait ne pas suffire à réduire davantage les taux de mortalité chez les hommes et les femmes, compte tenu de l'impact sérieux du changement climatique. Les projections de mortalité selon les SSP2 et SSP4 présentent des tendances similaires pour les retraités de plus de 65 ans, le SSP2 conduisant à des taux de mortalité plus bas pour les groupes d'âge avancé. Ces projections suggèrent que dans les conditions socio-économiques actuelles, telles que représentées par le scénario de référence SSP2, la population s'adaptera mieux aux impacts du changement climatique qu'elle ne le ferait dans un scénario d'augmentation des inégalités, tel qu'on le voit dans le SSP4.

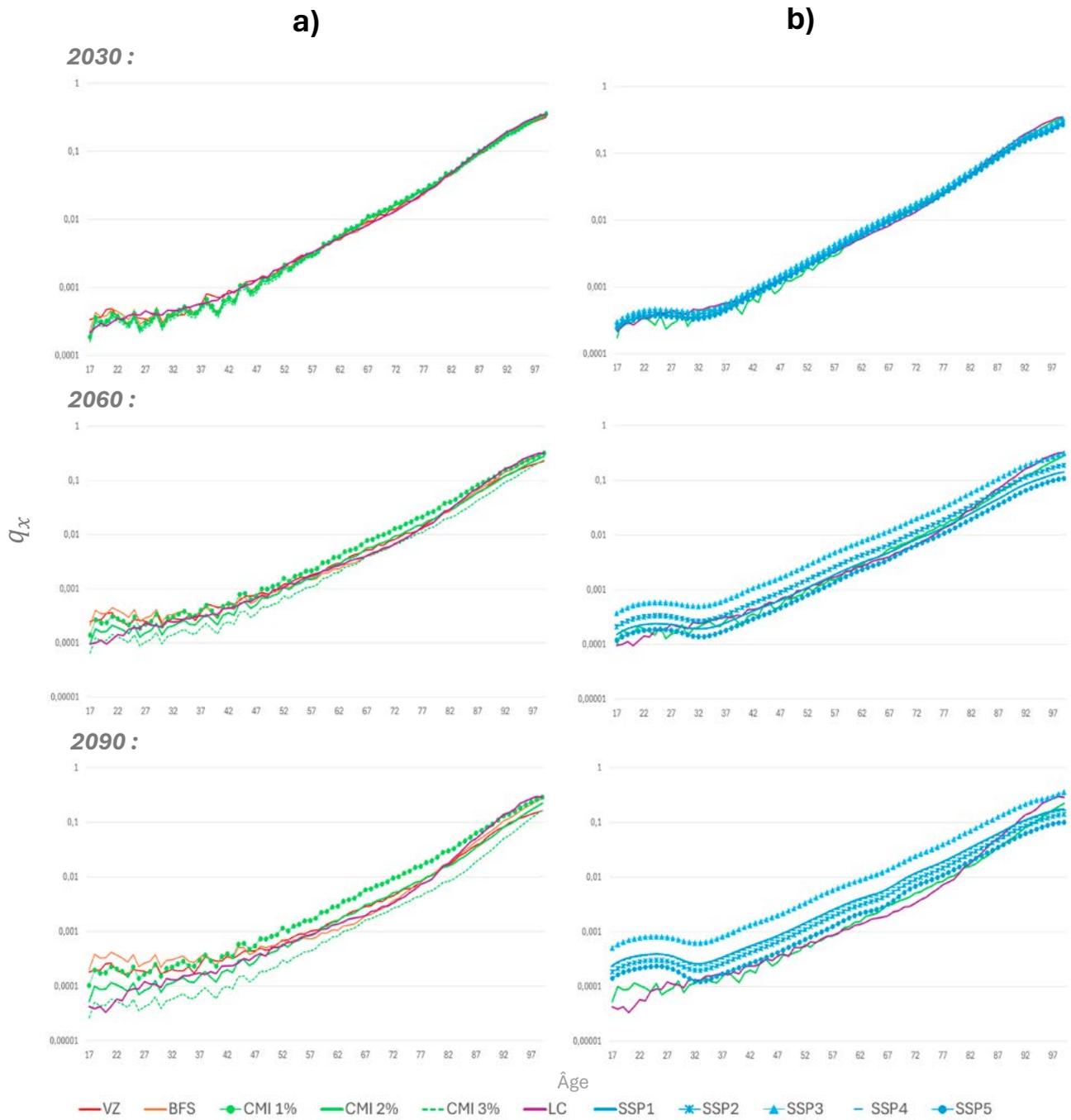
Les tendances observées dans les Figures 6 et 7 coïncident avec les conclusions sur l'espérance de vie présentées dans la Figure 8, pour la période allant de 2019 à la fin du siècle. Les modèles classiques font l'hypothèse d'une réduction continue de la mortalité basée sur les tendances historiques, ce qui entraîne une augmentation constante de l'espérance de vie pour les hommes et les femmes à l'âge de 65 ans. Cependant, en examinant l'espérance de vie selon les différents scénarios SSP, nous observons des tendances différentes par rapport aux modèles classiques. Par exemple, selon les SSP1 et SSP5, l'espérance de vie à l'âge de 65 ans pour les hommes et les femmes augmente initialement en raison d'une réduction de la mortalité dans la première moitié du siècle. Ensuite, le taux d'augmentation de l'espérance de vie ralentit, atteignant son maximum vers 2070. Après quoi l'espérance de vie commence à diminuer en raison de l'augmentation de la mortalité. En règle générale, l'espérance de vie à l'âge de 65 ans permet de constater ce ralentissement et l'augmentation de la mortalité, comme le montrent les projections à échelle logarithmique des Figures 6 et 7.

FIGURE 2 – Projections de mortalité des hommes en Suisse selon les scénarios SSP 1-5 et les scénarios « sans changement climatique » (VZ, CMI (1%, 2%, 3%), BFS, LC)



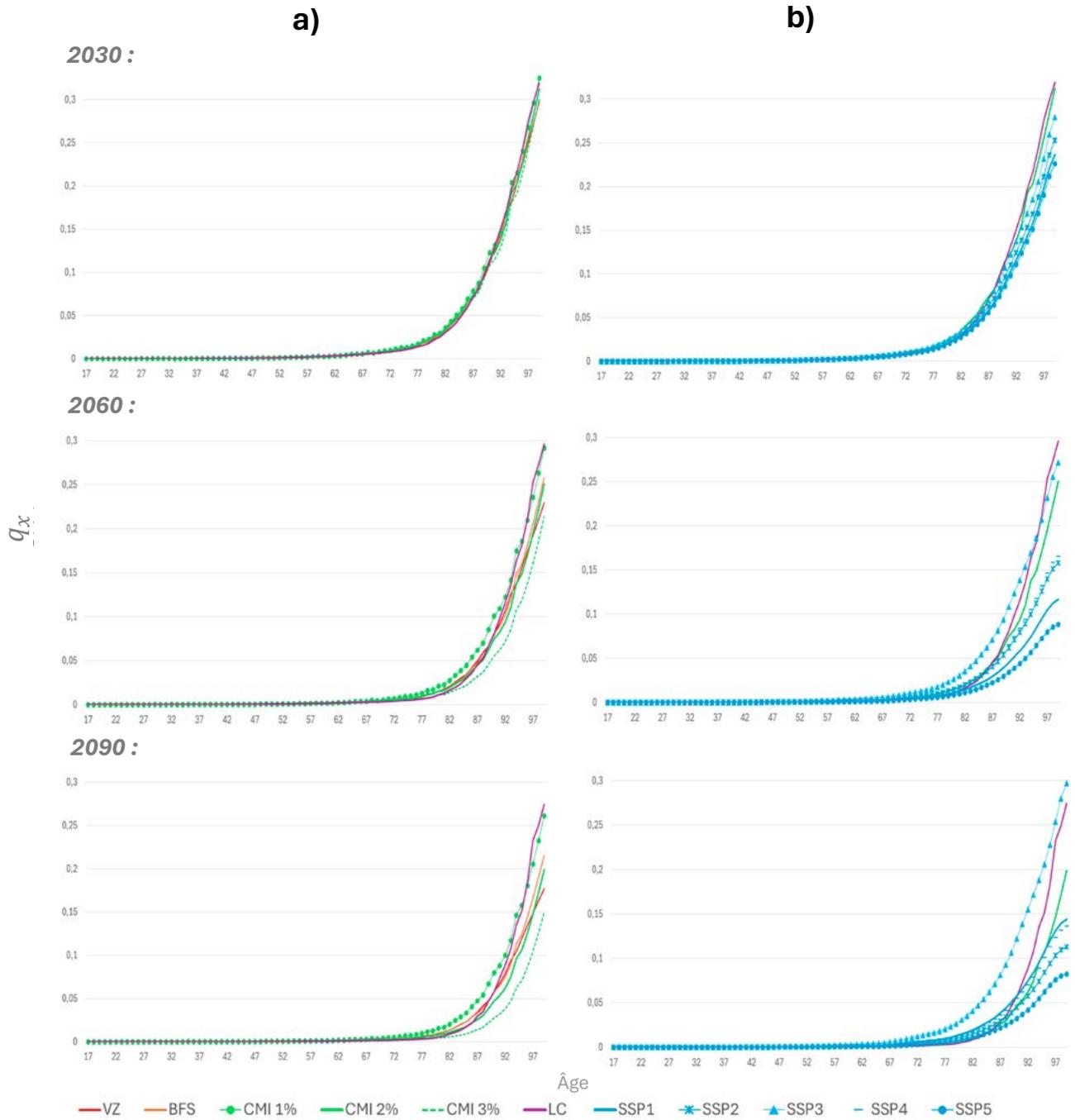
Note : Panel a) Scénarios « sans changement climatique » : VZ, BFS, CMI (1%, 2%, 3%) et LC ; Panel b) SSP 1-5 et modèles de référence CMI 2% et LC .

FIGURE 3 – Projections de mortalité à échelle logarithmique pour les hommes en Suisse selon les scénarios SSP 1-5 et les scénarios « sans changement climatique » (VZ, CMI (1%, 2%, 3%), BFS, LC)



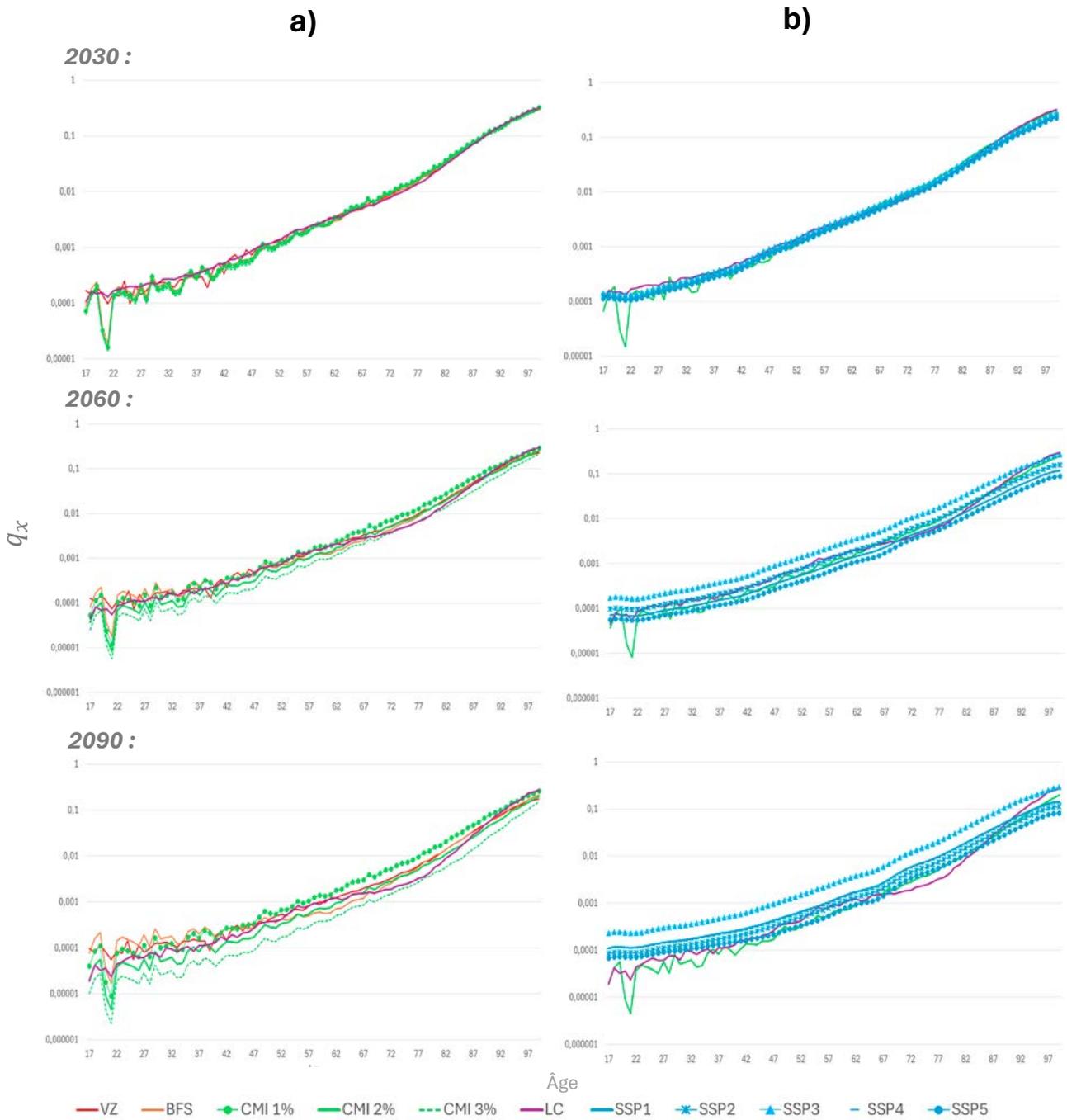
Note : Panel a) Scénarios « sans changement climatique » : VZ, BFS, CMI (1%, 2%, 3%) et LC; Panel b) SSP 1-5 et modèles de référence CMI 2% et LC .

FIGURE 4 – Projections de mortalité des femmes en Suisse selon les scénarios SSP 1-5 et les scénarios « sans changement climatique » (VZ, CMI (1%, 2%, 3%), BFS, LC)



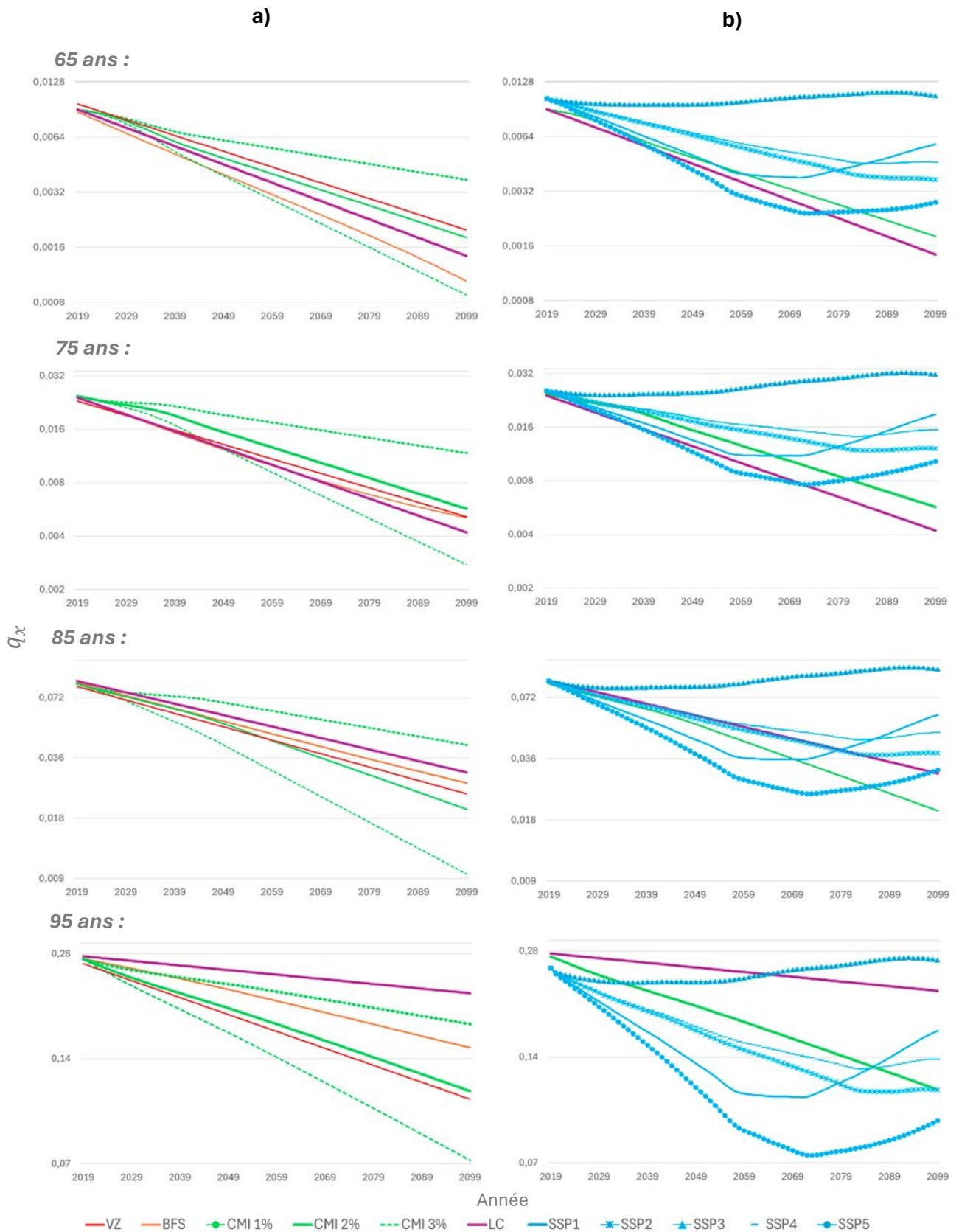
Note : Panel a) Scénarios « sans changement climatique » : VZ, BFS, CMI (1%, 2%, 3%) et LC; Panel b) SSP 1-5 et modèles de référence CMI 2% et LC.

FIGURE 5 – Projections de mortalité à échelle logarithmique pour les femmes en Suisse selon les scénarios SSP 1-5 et les scénarios « sans changement climatique » (VZ, CMI (1%, 2%, 3%), BFS, LC)



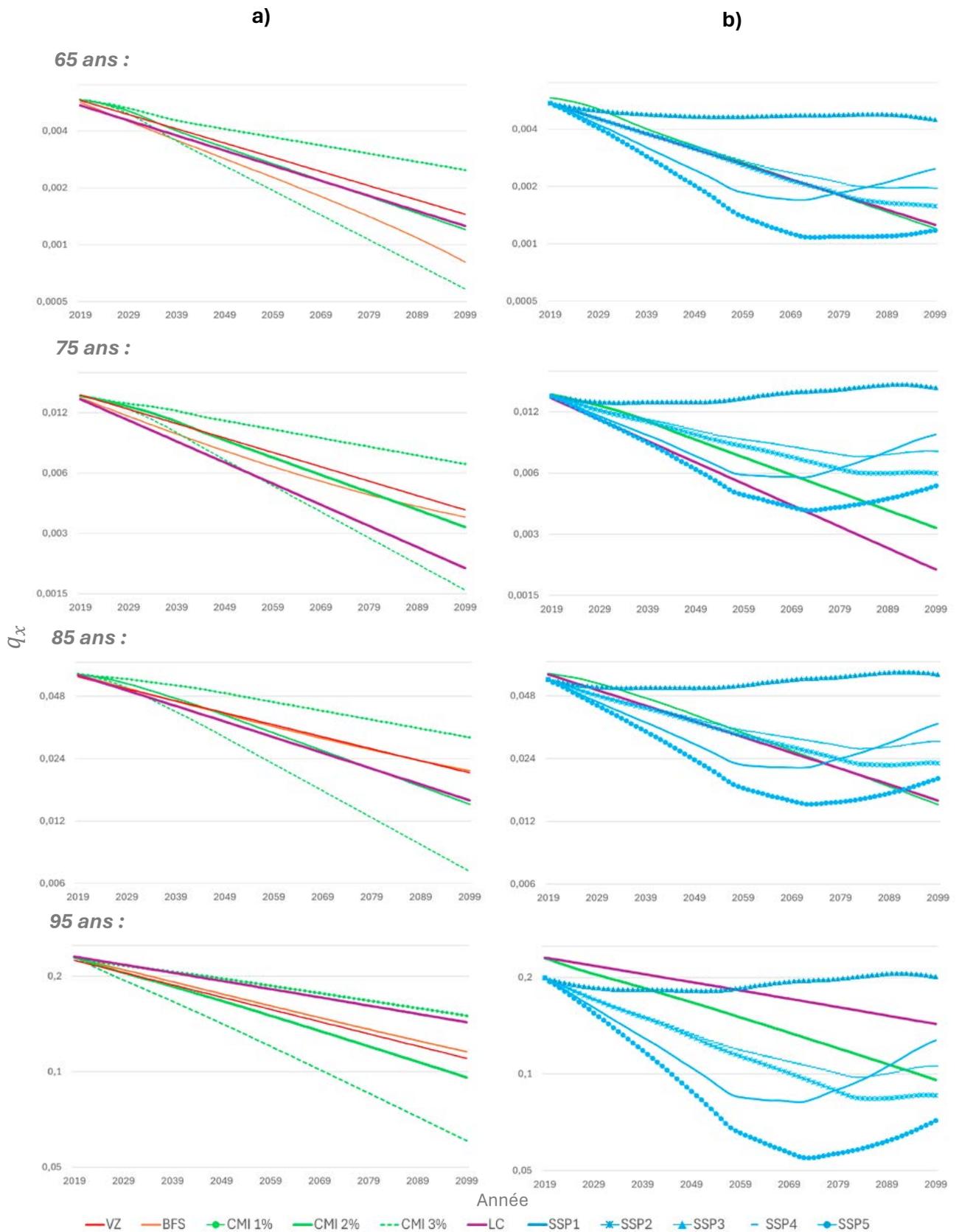
Note : Panel a) Scénarios « sans changement climatique » : VZ, BFS, CMI (1%, 2%, 3%) et LC; Panel b) SSP 1-5 et modèles de référence CMI 2% et LC.

FIGURE 6 – Tendances de mortalité à l'échelle logarithmique pour les hommes selon les scénarios SSP 1-5 et les scénarios « sans changement climatique » (VZ, CMI (1%, 2%, 3%), BFS, LC) à 65, 75, 85 et 95 ans



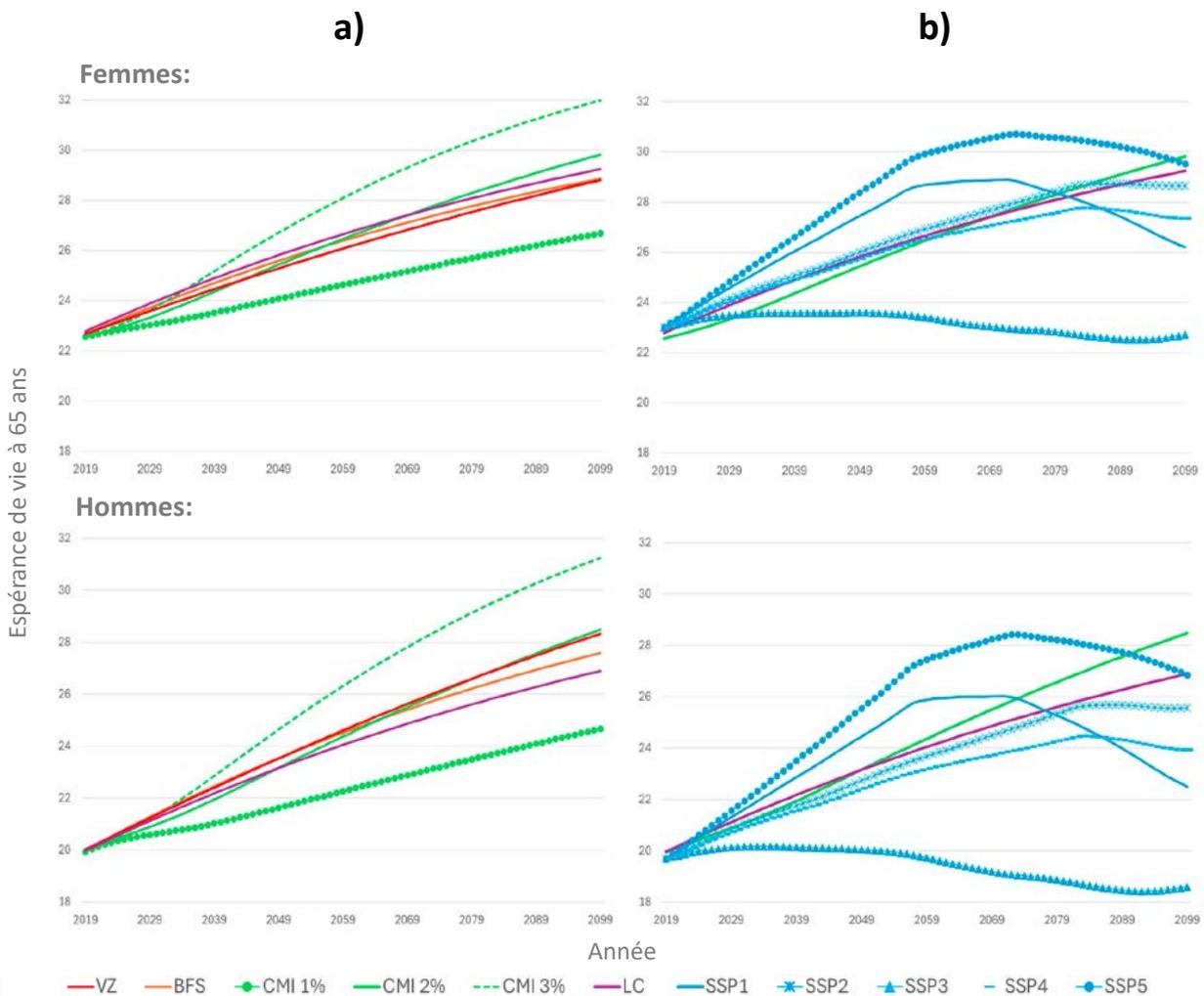
Note : Panel a) Scénarios « sans changement climatique » : VZ, BFS, CMI (1%, 2%, 3%) et LC; Panel b) SSP 1-5 et modèles de référence CMI 2% et LC.

FIGURE 7 – Tendances de mortalité à l'échelle logarithmique pour les femmes selon les scénarios SSP 1-5 et les scénarios « sans changement climatique » (VZ, CMI (1%, 2%, 3%), BFS, LC) à 65, 75, 85 et 95 ans



Note : Panel a) Scénarios « sans changement climatique » : VZ, BFS, CMI (1%, 2%, 3%) et LC; Panel b) SSP 1-5 et modèles de référence CMI 2% et LC.

FIGURE 8 – Espérance de vie à 65 ans selon les scénarios SSP 1-5 et les scénarios « sans changement climatique » (VZ, CMI (1%, 2%, 3%), BFS, LC) pour les femmes et les hommes



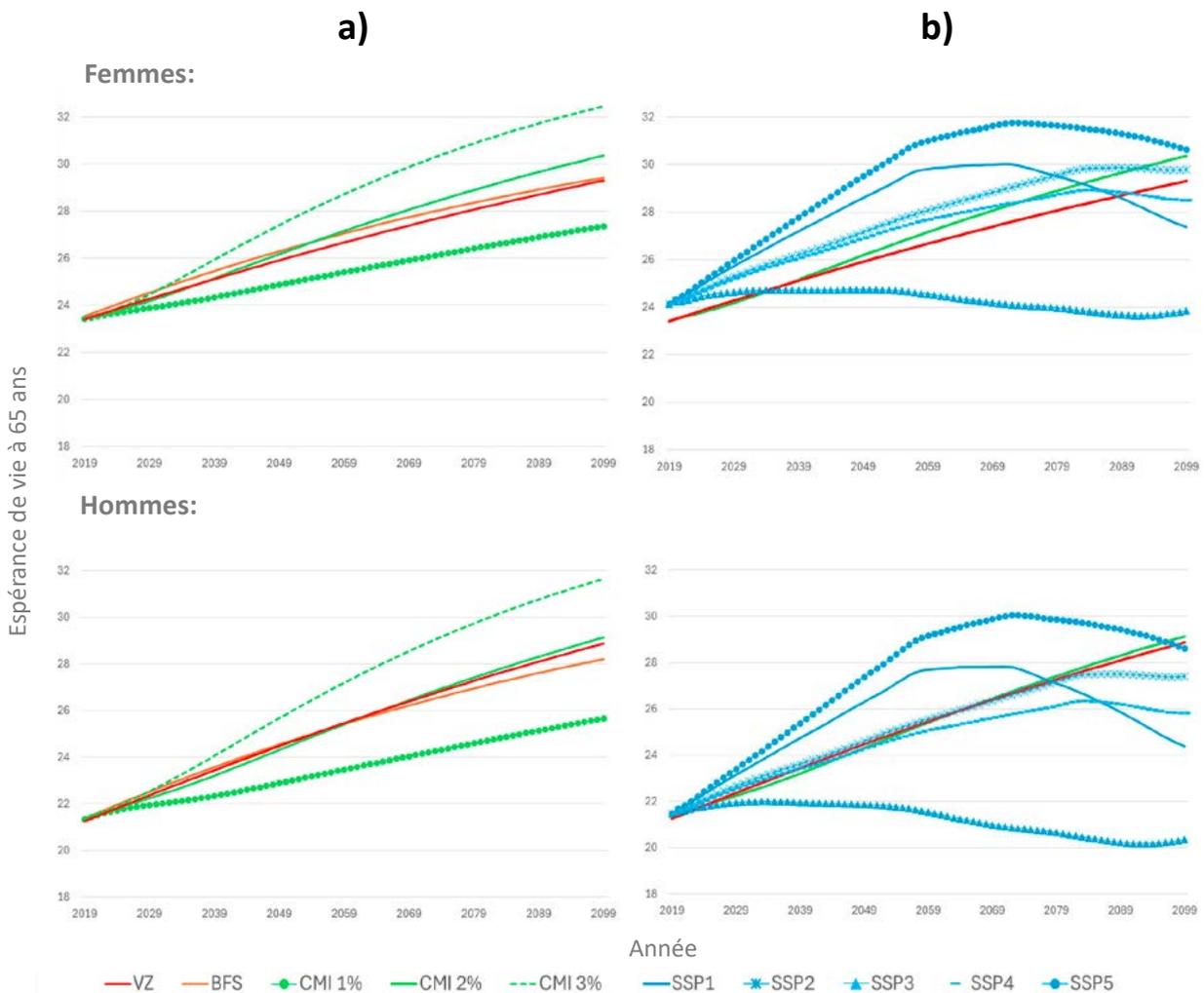
Note : Panel a) Scénarios « sans changement climatique » : VZ, BFS, CMI (1%, 2%, 3%) et LC; Panel b) SSP 1-5 et modèles de référence CMI 2% et LC.

4.2 Impact du changement climatique sur la mortalité des assurés des caisses de pension suisses

La Figure 9 illustre l'espérance de vie des affiliés des caisses de pension à 65 ans pour les hommes et les femmes selon des modèles avec et sans hypothèses sur le changement climatique. Les graphiques du panel b de la Figure 9 comprennent à la fois les projections des SSP, ainsi que les projections utilisant les modèles CMI 2% et VZ. Ces deux modèles, tirés des tables LPP et VZ, servent de référence pour projeter l'espérance de vie des affiliés des caisses de pension suisses. Les projections de mortalité des assurés des caisses de pension suisses suivent le même schéma que les projections de mortalité de la population suisse, tant pour les hommes que pour les femmes. Cependant, comme nous pouvions nous y attendre, l'espérance de vie des assurés des caisses de pension suisses est supérieure à celle de la population totale.

Sur la base de la Figure 9, nous pouvons nous faire une idée de l'impact de ces différents scénarios de mortalité sur les engagements (ou réserves) des caisses de pension. Dans les modèles qui ne tiennent pas compte du changement climatique (LPP, VZ), les réserves devront augmenter au fil du temps en raison de l'augmentation continue de l'espérance de vie des hommes et des femmes. Cependant, dans les scénarios SSP, les trajectoires de la Figure 9 indiquent que le niveau des réserves peut être plus incertain que prévu, les taux de mortalité fluctuant en fonction

FIGURE 9 – Espérance de vie des affiliés de caisses de pension à 65 ans selon les scénarios SSP 1-5 et les scénarios « sans changement climatique » (VZ, CMI (1%, 2%, 3%), BFS) pour les femmes et les hommes



Note : Panel a) Scénarios « sans changement climatique » : VZ, BFS, CMI (1%, 2%, 3%) et LC; Panel b) SSP 1-5 et modèles de référence CMI 2% et VZ.

de l’environnement socio-économique qui prévaudra en Suisse. Par exemple, dans le cadre du SSP1, les réserves devraient augmenter rapidement au cours des 30 premières années, tant pour les hommes que pour les femmes, afin de faire face aux augmentations potentielles des versements de pension, puisque les retraités sont censés vivre plus longtemps. Les réserves du SSP1 sont également supérieures aux réserves calculées à partir des projections de mortalité dans des modèles qui ne tiennent pas compte du changement climatique, comme le modèle CMI 2%, et ce, pour une période d’environ 50 ans à partir de 2019. Par la suite, comme l’espérance de vie à 65 ans dans le cadre du SSP1 diminue à partir d’environ 2070 pour les hommes et les femmes, les réserves résultant du SSP1 pourront également diminuer. À partir de 2080 environ, le montant des réserves requises dans ces deux modèles s’inversera : les réserves calculées dans le cadre du CMI 2% vont commencer à être plus élevées que celles calculées selon SSP1. Par conséquent, si la Suisse suit le scénario SSP1 jusqu’à la fin du 21^e siècle, les réserves nécessaires finiront par être inférieures à celles calculées à l’aide du modèle CMI 2%. L’incertitude quant à l’évolution future des taux de mortalité telle que reflétée dans le cadre des SSP constitue un défi important pour les caisses de pension, en termes de gestion efficace de leurs actifs et passifs.

5 Conclusion

Les SSP sont un ensemble innovant de scénarios introduits au cours de la dernière décennie. Ils prennent en compte divers indicateurs socio-économiques et niveaux de développement durable, offrant ainsi une nouvelle perspective sur la façon dont le changement climatique et ses impacts peuvent influencer la société dans son ensemble. Selon ces scénarios, les taux de mortalité évolueront en fonction de l'efficacité et de l'efficacité des activités durables et des politiques environnementales établies.

Le SSP1 présente un scénario optimiste conduisant au développement le plus durable. Les pays devraient faire face à peu de difficultés à l'heure d'atténuer les effets du changement climatique et de s'y adapter. Même si la durabilité environnementale sera priorisée, quelques compromis pourraient être faits pour développer la croissance économique. Le SSP2 est le scénario de référence, qui suppose que les politiques et actions respectueuses de l'environnement seront mises en place à un rythme équivalent à celui observé par le passé. Selon ce scénario, les pays feront face à un niveau modéré de difficultés en matière d'atténuation et d'adaptation. Le SSP3, au contraire, représente la voie la plus pessimiste, avec un niveau de défis extrêmement élevé pour les pays en matière d'atténuation et d'adaptation. Cette voie met davantage l'accent sur les problèmes domestiques, avec moins d'engagements globaux pour atteindre un environnement durable. Selon le SSP4, les inégalités devraient augmenter entre les pays à revenu élevé et ceux à faible revenu en raison de la priorisation des politiques environnementales dans les pays les plus développés, ce qui laissera les pays en développement et sous-développés à la traîne. Enfin, selon le SSP5, l'accent sera particulièrement mis sur la croissance économique. Le niveau de défis sera donc élevé en matière d'atténuation mais moindre en matière d'adaptation. Un développement technologique rapide est prévu pour atténuer, dans une certaine mesure, les effets du changement climatique. Les combustibles fossiles devraient rester la principale source d'énergie, et les marchés financiers seront compétitifs, ce qui conduira à l'intensification des échanges commerciaux.

Les projections de mortalité utilisées par les caisses de pension et dans le milieu universitaire intègrent une hypothèse de réduction de la mortalité basée sur les tendances historiques. Selon ces projections, nous nous attendons donc à ce que la mortalité diminue au fil du temps pour les hommes et les femmes de tout âge, entraînant une augmentation de l'espérance de vie. Cependant, les projections de mortalité selon les SSP montrent des tendances différentes en fonction du récit adopté par chaque pays. Pour la Suisse, selon les SSP1 et SSP5, nous prévoyons une réduction rapide de la mortalité dans la première moitié du siècle, suivie d'un modèle plus constant et d'une augmentation de la mortalité à la fin du 21^e siècle. Selon le SSP5, les premières années, la mortalité devrait diminuer plus rapidement que selon le SSP1, et par la suite, le taux d'augmentation de la mortalité devrait être inférieur à celui du SSP1, tant pour les hommes que pour les femmes. Selon les SSP2 et SSP4, la mortalité devrait diminuer à des rythmes différents. Le SSP2 montre un taux de réduction plus rapide, et, dans les deux scénarios, un rythme constant sera atteint à la fin du 21^e siècle, pour les hommes et les femmes. En revanche, selon le SSP3, la mortalité continuera d'augmenter pour les hommes et les femmes dans tous les groupes d'âge tout au long du 21^e siècle. Ces incertitudes face à l'évolution futures de la mortalité peuvent également être observé par le biais des espérances de vie futures.

Les fluctuations des taux de mortalité et d'espérance de vie ont un impact significatif sur les caisses de pension, notamment pour le calcul de leurs engagements (réserves). Pour illustrer cela, prenons l'exemple du capital dont doit disposer une caisse de pension pour garantir le financement d'une rente viagère de CHF 1, et ceci en utilisant deux projections de mortalité différentes. Pour une femme de 65 ans, le capital nécessaire pour financer une rente viagère⁵ est estimée à 20,49 en 2030, 22,54 en 2050, 23,66 en 2070, et 23,42 en 2090, si nous nous basons sur la projection de mortalité SSP5 ajustée à la mortalité des assurés des caisses de pension. Cependant, si nous utilisons la projection de mortalité CMI 1%, le capital nécessaire pour la même rente viagère est estimé à 19,17 en 2030, 19,80 en 2050, 20,44 en 2070, et 21,03 en 2090. La différence relative entre ces valeurs est respectivement de 6,68%, 12,94%, 14,59% et 10,74%. Selon les prévisions de mortalité utilisées, une caisse de pension peut ainsi voir son passif augmenter (ou diminuer) d'environ 10 à 15%.

Les résultats illustrés dans les figures et les tableaux sont indéniablement surprenants et divergent des modèles actuellement utilisés dans l'industrie. De plus, ils offrent un nouvel angle d'évaluation de l'influence du change-

5. avec un taux d'intérêt annuel de 2%

ment climatique sur la santé publique. Cependant, ils mènent à de nouveaux questionnements, tels que la fiabilité et l'applicabilité réelle des scénarios SSP dans la prévision de la mortalité, ainsi que la possibilité d'intégrer de tels modèles dans les calculs des caisses de pensions.

6 Annexes

6.1 Annexe 1

1. Probabilité de décès q_x

Le taux central de décès est défini comme suit :

$$m_x = \frac{D_x}{E_x},$$

où D_x représente le nombre de décès à l'âge x et E_x représente l'exposition au risque à l'âge x . La probabilité de décès, q_x , est estimée à partir de m_x selon la formule suivante :

$$q_x = \frac{m_x}{1 + (1 - a_x) \cdot m_x},$$

où a_x représente le nombre moyen d'années vécues dans l'intervalle d'âge $[x, x + 1)$ pour les personnes décédant à cet âge. On suppose que a_x est égal à 0,5 [19].

2. Ajustement de la mortalité des SSP au niveau de mortalité VZ

Des modèles de régression linéaire ont été établis entre la forme logarithmique q_x de la table VZ et la base de données HMD pour les années 2018 à 2022 de la manière suivante :

$$\log(q_{xVZ}) = \alpha_x + \beta_x \cdot \log(q_{xHMD})$$

où α_x et β_x représentent les coefficients décrivant les modèles linéaires. Dans cette analyse, α_x s'est avéré non significatif et a donc été retiré des modèles. Les coefficients β_x ont ensuite été estimés pour les années 2018 à 2022 et la moyenne $\bar{\beta}_x$ a été calculée. Finalement, nous avons utilisé cette moyenne pour adapter la mortalité des SSP au niveau de la table VZ comme suit :

$$\log(q_{x,VZ-SSPs}) = \bar{\beta}_x \cdot \log(q_{x,SSPs})$$

où $\log(q_{x,VZ-SSPs})$ représente la mortalité des SSP ajustée au niveau de la table VZ en forme logarithmique, et où $\log(q_{x,SSPs})$ représente la mortalité des SSP en forme logarithmique.

6.2 Tables

TABLE 1 – Espérance de vie pour les hommes

(a) Espérance de vie pour les hommes à l'âge de 65 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ-pop | LC | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 21,4 | 21,3 | 21,0 | 20,6 | 21,3 | 21,2 | 21,5 | 20,9 | 20,2 | 20,9 | 21,8 |
| 2050 | 23,6 | 24,8 | 23,3 | 21,7 | 23,6 | 23,2 | 24,6 | 22,8 | 20,1 | 22,5 | 25,8 |
| 2070 | 25,5 | 27,9 | 25,6 | 22,9 | 25,7 | 24,9 | 26,0 | 24,6 | 19,2 | 23,8 | 28,3 |
| 2090 | 27,0 | 30,4 | 27,7 | 24,2 | 27,6 | 26,3 | 23,8 | 25,7 | 18,5 | 24,3 | 27,7 |

(b) Espérance de vie pour les hommes à l'âge de 75 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ-pop | LC | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 13,3 | 13,5 | 13,2 | 12,9 | 13,4 | 13,1 | 13,6 | 13,2 | 12,5 | 13,1 | 13,8 |
| 2050 | 14,9 | 16,2 | 14,9 | 13,6 | 15,2 | 14,5 | 16,2 | 14,7 | 12,5 | 14,5 | 17,2 |
| 2070 | 16,3 | 18,8 | 16,8 | 14,6 | 16,9 | 15,8 | 17,4 | 16,2 | 11,7 | 15,5 | 19,3 |
| 2090 | 17,6 | 20,9 | 18,5 | 15,6 | 18,4 | 16,9 | 15,5 | 17,1 | 11,2 | 15,9 | 18,8 |

(c) Espérance de vie pour les hommes à l'âge de 85 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ-pop | LC | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|-----|--------|--------|--------|--------|-----|------|------|------|------|------|
| 2030 | 6,6 | 7,0 | 6,8 | 6,5 | 6,8 | 6,4 | 7,1 | 6,9 | 6,4 | 6,8 | 7,3 |
| 2050 | 7,5 | 8,7 | 7,8 | 7,0 | 7,9 | 7,1 | 9,0 | 8,0 | 6,4 | 7,8 | 9,7 |
| 2070 | 8,4 | 10,5 | 9,1 | 7,6 | 9,1 | 7,8 | 9,9 | 9,1 | 6,0 | 8,6 | 11,3 |
| 2090 | 9,3 | 11,9 | 10,2 | 8,2 | 10,1 | 8,4 | 8,7 | 9,7 | 5,6 | 8,9 | 11,0 |

TABLE 2 – Espérance de vie des membres des fonds de pension (VZ) pour les hommes

(a) Espérance de vie des membres des fonds de pension (VZ) pour les hommes à l'âge de 65 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 22,6 | 22,7 | 22,3 | 22,0 | 22,5 | 23,3 | 22,8 | 22,0 | 22,7 | 23,6 |
| 2050 | 24,6 | 25,8 | 24,4 | 23,0 | 24,6 | 26,5 | 24,7 | 21,9 | 24,4 | 27,6 |
| 2070 | 26,3 | 28,7 | 26,5 | 24,1 | 26,5 | 27,8 | 26,4 | 20,9 | 25,7 | 30,0 |
| 2090 | 27,7 | 30,9 | 28,4 | 25,2 | 28,2 | 25,7 | 27,5 | 20,2 | 26,1 | 29,4 |

(b) Espérance de vie des membres des fonds de pension (VZ) pour les hommes à l'âge de 75 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 14,1 | 14,3 | 14,0 | 13,7 | 14,1 | 14,9 | 14,5 | 13,8 | 14,4 | 15,2 |
| 2050 | 15,6 | 16,9 | 15,7 | 14,4 | 15,8 | 17,6 | 16,1 | 13,7 | 15,9 | 18,6 |
| 2070 | 16,9 | 19,3 | 17,5 | 15,4 | 17,4 | 18,8 | 17,6 | 13,0 | 17,0 | 20,7 |
| 2090 | 18,1 | 21,2 | 19,1 | 16,3 | 18,8 | 17,0 | 18,5 | 12,4 | 17,3 | 20,2 |

(c) Espérance de vie des membres des fonds de pension (VZ) pour les hommes à l'âge de 85 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|-----|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 6,8 | 7,3 | 7,1 | 6,8 | 6,9 | 7,9 | 7,6 | 7,1 | 7,5 | 8,1 |
| 2050 | 7,7 | 9,0 | 8,1 | 7,2 | 8,1 | 9,9 | 8,8 | 7,1 | 8,6 | 10,6 |
| 2070 | 8,6 | 10,7 | 9,3 | 7,9 | 9,2 | 10,8 | 9,9 | 6,6 | 9,5 | 12,2 |
| 2090 | 9,5 | 12,1 | 10,4 | 8,5 | 10,2 | 9,5 | 10,6 | 6,3 | 9,8 | 11,8 |

TABLE 3 – Espérance de vie pour les femmes

(a) Espérance de vie pour les femmes à l'âge de 65 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ-pop | LC | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 23,8 | 23,8 | 23,4 | 23,1 | 23,7 | 24,0 | 24,7 | 24,2 | 23,5 | 24,2 | 25,0 |
| 2050 | 25,7 | 26,9 | 25,5 | 24,1 | 25,4 | 25,9 | 27,6 | 26,1 | 23,6 | 25,9 | 28,5 |
| 2070 | 27,2 | 29,4 | 27,5 | 25,2 | 26,9 | 27,5 | 28,9 | 27,7 | 23,0 | 27,1 | 30,6 |
| 2090 | 28,4 | 31,3 | 29,2 | 26,3 | 28,3 | 28,7 | 27,3 | 28,7 | 22,5 | 27,6 | 30,2 |

(b) Espérance de vie pour les femmes à l'âge de 75 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ-pop | LC | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 15,1 | 15,2 | 14,9 | 14,6 | 15,0 | 15,2 | 16,1 | 15,6 | 15,0 | 15,6 | 16,3 |
| 2050 | 16,6 | 17,7 | 16,6 | 15,4 | 16,4 | 16,8 | 18,5 | 17,2 | 15,1 | 17,0 | 19,4 |
| 2070 | 17,8 | 19,9 | 18,3 | 16,3 | 17,7 | 18,1 | 19,6 | 18,6 | 14,6 | 18,1 | 21,2 |
| 2090 | 18,8 | 21,6 | 19,7 | 17,2 | 18,9 | 19,2 | 18,2 | 19,5 | 14,1 | 18,5 | 20,8 |

(c) Espérance de vie pour les femmes à l'âge de 85 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ-pop | LC | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|------|--------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 7,6 | 7,8 | 7,6 | 7,3 | 7,7 | 7,6 | 8,5 | 8,2 | 7,8 | 8,2 | 8,7 |
| 2050 | 8,6 | 9,5 | 8,7 | 7,9 | 8,6 | 8,5 | 10,4 | 9,4 | 7,9 | 9,3 | 11,0 |
| 2070 | 9,4 | 11,1 | 9,9 | 8,5 | 9,4 | 9,3 | 11,2 | 10,5 | 7,5 | 10,1 | 12,4 |
| 2090 | 10,2 | 12,3 | 10,9 | 9,1 | 10,2 | 10,0 | 10,2 | 11,1 | 7,2 | 10,4 | 12,1 |

TABLE 4 – Espérance de vie des membres des fonds de pension (VZ) pour les femmes

(a) Espérance de vie des membres des fonds de pension (VZ) pour les femmes à l'âge de 65 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 24,6 | 24,6 | 24,3 | 23,9 | 24,4 | 25,9 | 25,4 | 24,7 | 25,3 | 26,2 |
| 2050 | 26,4 | 27,5 | 26,3 | 24,9 | 26,0 | 28,7 | 27,3 | 24,7 | 27,0 | 29,7 |
| 2070 | 27,8 | 30,0 | 28,1 | 26,0 | 27,5 | 30,0 | 28,9 | 24,1 | 28,3 | 31,7 |
| 2090 | 29,0 | 31,8 | 29,7 | 27,0 | 28,8 | 28,5 | 29,9 | 23,7 | 28,8 | 31,3 |

(b) Espérance de vie des membres des fonds de pension (VZ) pour les femmes à l'âge de 75 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 15,7 | 15,7 | 15,4 | 15,1 | 15,5 | 17,0 | 16,5 | 15,9 | 16,5 | 17,2 |
| 2050 | 17,1 | 18,2 | 17,1 | 15,9 | 16,9 | 19,5 | 18,2 | 16,0 | 18,0 | 20,3 |
| 2070 | 18,3 | 20,4 | 18,8 | 16,8 | 18,1 | 20,6 | 19,6 | 15,4 | 19,1 | 22,1 |
| 2090 | 19,3 | 22,1 | 20,2 | 17,7 | 19,3 | 19,2 | 20,5 | 15,0 | 19,5 | 21,7 |

(c) Espérance de vie des membres des fonds de pension (VZ) pour les femmes à l'âge de 85 ans

| Année | BFS | CMI 3% | CMI 2% | CMI 1% | VZ | SSP1 | SSP2 | SSP3 | SSP4 | SSP5 |
|-------|------|--------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| 2030 | 8,0 | 8,2 | 8,0 | 7,7 | 7,9 | 9,1 | 8,8 | 8,3 | 8,8 | 9,3 |
| 2050 | 8,9 | 9,9 | 9,1 | 8,2 | 8,8 | 11,0 | 10,0 | 8,4 | 9,9 | 11,7 |
| 2070 | 9,8 | 11,5 | 10,2 | 8,8 | 9,7 | 11,9 | 11,2 | 8,1 | 10,8 | 13,1 |
| 2090 | 10,6 | 12,7 | 11,2 | 9,4 | 10,5 | 10,9 | 11,8 | 7,8 | 11,1 | 12,8 |

Références

- [1] Séverine Arnold, Anca Jijiie, Eric Jondeau, and Michael Rockinger. Periodic or generational actuarial tables : which one to choose? *European Actuarial Journal*, 9(2) :519–554, 2019.
- [2] Ivan Alexis Fonseca Diaz and Séverine Arnold. The puzzle of the effects of climate change on social security systems and pension funds. working paper. pages 1–19, 2024.
- [3] L. A. Gavrilov and N. S. Gavrilova. *The biology of life span : a quantitative approach*. Harwood Academic Publishers, Chur [Switzerland], rev. and updated english ed edition, 1991.
- [4] Leonid Gavrilov and Natalia Gavrilova. [determination of the specific duration of life]. *Doklady Akademii nauk SSSR*, 246 :465–9, 02 1979.
- [5] Maryam Golnaraghi, Ian Adamczyk, Moya Chew-Lai, Li Liu, Sean Collins, Hjörtur Thrainsson, Michèle Lacroix, Paul Nunn, Martin Bertogg, Gijs Kloek, Pedro Nascimento de Oliveira, Jennifer Waldner, David Buckle, Anthony L. Zobl, Sebastian Fischer, Ben Carr, Bianca Hanscombe, Jean-Francois Coppenolle, Dora Elamri, Olivier Poissonneau, Helene Chauvea, Gloria Jimenez, Alex Speers, Hidenao Makiuchi, Kazumi Hayashi, Jörg Steffensen, Brandon Blant, Mandy Dennison, Pierre Bernard, Laura Willett, Cindy Forbes, Margaret Eve Childe, Maria McGowan, Herman Ko, Diana Keegan, Anna Warm, Eberhard Faust, Junaid Seria, Yun Wai-Song, Martin Weymann, Z. Ming Li, John Campbell, Kei Kato, and Dennis Noordhoek. Climate risk assessment for the insurance industry. https://www.genevaassociation.org/sites/default/files/climate_risk_web_final_250221.pdf, February 2021.
- [6] Maryam Golnaraghi and the Geneva Association Task Force on Climate Change Risk Assessment for the Insurance Industry. Climate change risk assessment for the insurance industry, 2021.
- [7] Barry B. Hughes. Chapter 5 - the future of human development. In Barry B. Hughes, editor, *International Futures*, pages 77–124. Academic Press, Oxford, 2019.
- [8] Swiss Re Institute. World economy set to lose up to 18action taken, reveals swiss re institute’s stress-test analysis, 2021.
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change. About ipcc, No date. Accessed on June 10, 2024.
- [10] Ronald D. Lee and Lawrence R. Carter. Modeling and forecasting u.s. mortality. *Journal of the American Statistical Association*, 87(419) :659–671, 1992.
- [11] Friderike Kuik Matteo Ciccarelli and Catalina Martínez Hernández. The outlook is mixed : the asymmetric effects of weather shocks on inflation. <https://www.ecb.europa.eu/press/research-publications/resbull/2023/html/ecb.rb231010~d34f3708ac.en.html>, October 2023.
- [12] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Framing, Context, and Methods*, page 147–286. Cambridge University Press, 2023.
- [13] Brian O’Neill, Elmar Kriegler, Keywan Riahi, Kristie Ebi, Stéphane Hallegatte, Timothy Carter, Ritu Mathur, and Detlef Vuuren. A new scenario framework for climate change research : The concept of shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 122, 02 2014.
- [14] Brian O’Neill, Elmar Kriegler, Kristie Ebi, Eric Kemp-Benedict, Keywan Riahi, Dale Rothman, Bas van Ruijven, Detlef Vuuren, Joern Birkmann, Kasper Kok, Marc Levy, and William Solecki. The roads ahead : Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. *Global Environmental Change*, 42, 02 2015.
- [15] Keywan Riahi, Detlef P. van Vuuren, Elmar Kriegler, Jae Edmonds, Brian C. O’Neill, Shinichiro Fujimori, Nico Bauer, Katherine Calvin, Rob Dellink, Oliver Fricko, Wolfgang Lutz, Alexander Popp, Jesus Crespo Cuaresma, Samir KC, Marian Leimbach, Leiwen Jiang, Tom Kram, Shilpa Rao, Johannes Emmerling, Kristie Ebi, Tomoko Hasegawa, Petr Havlik, Florian Humpenöder, Lara Aleluia Da Silva, Steve Smith, Elke Stehfest, Valentina Bosetti, Jiyong Eom, David Gernaat, Toshihiko Masui, Joeri Rogelj, Jessica Strefler, Laurent Drouet, Volker Krey, Gunnar Luderer, Mathijs Harmsen, Kiyoshi Takahashi, Lavinia Baumstark,

Jonathan C. Doelman, Mikiko Kainuma, Zbigniew Klimont, Giacomo Marangoni, Hermann Lotze-Campen, Michael Obersteiner, Andrzej Tabeau, and Massimo Tavoni. The shared socioeconomic pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications : An overview. *Global Environmental Change*, 42 :153–168, 2017.

- [16] Samuel Sellers. Cause of death variation under the shared socioeconomic pathways. *Climatic Change*, 163 :1–19, 11 2020.
- [17] Bernard L. Strehler and Albert S. Mildvan. General theory of mortality and aging. *Science*, 132(3418) :14–21, 1960.
- [18] Schweizerisches Tropen und Public Health Institut (Swiss TPH). Hitze und gesundheit : Die wirkung von wärmeinseln, grünräumen und anderen faktoren (a.06), 2022.
- [19] J. R. Wilmoth, K. Andreev, D. Jdanov, D. A. Gleijeses, T. Riffe, C. Boe, M. Bubenheim, D. Philipov, V. Shkolnikov, P. Vachon, C. Winant, and M. Barbieri. Methods protocol for the human mortality database, January 2021.

