

Rapport

# Méthodes de recharge pour la construction des tables de mortalité canadiennes

## Modèle additif généralisé et Modèle de réseau de neurones

Préparé par :

Sylvain Goulet, FICA, Eckler

Caesar Balona, QED Actuaries and Consultants

Ronald Richman, expert-conseil auprès d'Eckler

Shaun Bennet, expert-conseil auprès d'Eckler

Document 222065



## TABLE DES MATIÈRES

<b>1. INTRODUCTION</b> .....	1
1.1. Objet du présent rapport .....	1
1.2. Utilisateurs visés et utilisateurs tiers .....	1
1.3. Utilisation totale ou partielle .....	2
1.4. Utilisation des données.....	2
1.5. Limites .....	3
<b>2. MOTIVATION POUR DES MÉTHODES DE RECHANGE</b> .....	4
<b>3. ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DES MODÈLES</b> .....	5
3.1. Mesures dans l'échantillon et hors de l'échantillon .....	5
3.2. Déviance de Poisson .....	6
3.3. Kolmogorov–Smirnov .....	6
3.4. Ratios réel/prévu .....	7
3.5. Évaluation visuelle .....	7
3.6. Autres mesures de la performance pour la sélection des dimensions/modèles .....	10
3.7. Autres facteurs à prendre en compte.....	10
3.8. Montant par rapport au nombre .....	11
3.9. Période sélecte .....	12
<b>4. MODÈLES ADDITIFS GÉNÉRALISÉS</b> .....	18
4.1. Qu'est-ce qu'un modèle linéaire généralisé (MLG)?.....	18
4.2. Qu'est-ce qu'un modèle additif généralisé (MAG)?.....	18
4.3. Forme du modèle .....	19
4.4. Résultats.....	20
4.4.1. Évaluation numérique   Dans l'échantillon et hors de l'échantillon	21
4.4.2. Périodes sélectes et ultimes	21
4.4.3. Ratios R/P	21
4.4.4. Évaluation visuelle	23
<b>5. MODÈLES DE RÉSEAU DE NEURONES   APPRENTISSAGE PROFOND</b> .....	28



<b>5.1.</b>	Qu'est-ce qu'un modèle de réseau de neurones (apprentissage profond)?	28
<b>5.2.</b>	Forme du modèle	29
<b>5.3.</b>	Résultats	32
5.3.1.	Évaluation numérique   Dans l'échantillon et hors de l'échantillon	32
5.3.2.	Périodes sélectes et ultimes	32
5.3.3.	Ratios R/P	33
5.3.4.	Évaluation visuelle	34
<b>6.</b>	<b>MRN2014 PAR RAPPORT À MAG2014</b>	39
<b>6.1.</b>	Performance	39
<b>6.2.</b>	Choix des variables	40
<b>7.</b>	<b>AMÉLIORATION DE LA MORTALITÉ</b>	41
<b>7.1.</b>	Amélioration implicite de la mortalité	41
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONS</b>	44
<b>8.1.</b>	Viabilité de la graduation de la mortalité à l'aide de méthodes de rechange	44
<b>8.2.</b>	Avantages et inconvénients des méthodes de rechange par rapport aux méthodes de graduation traditionnelles	44
8.2.1.	Capacité prédictive	44
8.2.2.	Relations plus étroites entre les prédicteurs	44
8.2.3.	Plus facile à construire et à mettre à jour	45
8.2.4.	Niveaux de détail plus granulaires	45
8.2.5.	Capacité additionnelle pour mieux comprendre	47
8.2.6.	Surajustement	47
8.2.7.	Jugement ou ajustements nécessaires	48
<b>8.3.</b>	Conclusion	48
<b>8.4.</b>	Tables offertes en Excel	49
<b>A.</b>	<b>ÉVALUATION DE LA TABLE ICA2014</b>	50
<b>A.1.</b>	Évaluation numérique   Périodes sélectes et ultimes	50
<b>A.2.</b>	Évaluation visuelle	51
A.2.1.	Période sélecte	51



A.2.2.	Période ultime	56
<b>B.</b>	<b>SOMMAIRE DES PRÉDICTEURS UTILISÉS DANS LES MÉTHODES DE RECHANGE</b>	<b>59</b>
<b>C.</b>	<b>RÉSULTATS DE RÉGRESSION DU MAG</b>	<b>60</b>
<b>D.</b>	<b>COMPARAISON DES TABLES ICA2014, MAG2014 ET MRN2014</b>	<b>61</b>
D.1.	Hommes non-fumeurs	63
D.2.	Hommes fumeurs	66
D.3.	Femmes non-fumeuses	69
D.4.	Femmes fumeuses	72
D.5.	Toutes catégories	75
D.6.	Comparaison entre les catégories	76
D.7.	Déviance de Poisson et mesure de Kolmogorov Smirnov	80
<b>E.</b>	<b>EXTRAIT DE LA TABLE ICA2014</b>	<b>81</b>
E.1.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes non-fumeurs	81
E.2.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes fumeurs	81
E.3.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes statut agrégat	82
E.4.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes non-fumeuses	82
E.5.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes fumeuses	83
E.6.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes statut agrégat	83
<b>F.</b>	<b>EXTRAIT DE LA TABLE MAG2014</b>	<b>84</b>
F.1.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes non-fumeurs	84
F.2.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes fumeurs	84
F.3.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes statut agrégat	85
F.4.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes statut inconnu	85
F.5.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes non-fumeuses	86
F.6.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes fumeuses	86
F.7.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes statut agrégat	87
F.8.	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes statut inconnu	87
<b>G.</b>	<b>EXTRAIT DE LA TABLE MRN2014</b>	<b>88</b>



<b>G.1.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes non-fumeurs .....	88
<b>G.2.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes fumeurs .....	88
<b>G.3.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes statut agrégat .....	89
<b>G.4.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes statut inconnu .....	89
<b>G.5.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes non-fumeuses.....	90
<b>G.6.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes fumeuses .....	90
<b>G.7.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes statut agrégat.....	91
<b>G.8.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes statut inconnu .....	91
<b>H.</b>	<b>EXTRAIT DE L'EXPOSITION SELON L'ÂGE À L'ÉMISSION ET LA DURÉE .....</b>	<b>92</b>
<b>H.1.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes non-fumeurs .....	92
<b>H.2.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes fumeurs .....	92
<b>H.3.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes statut agrégat .....	93
<b>H.4.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Hommes statut inconnu .....	93
<b>H.5.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes non-fumeuses.....	94
<b>H.6.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes fumeuses .....	94
<b>H.7.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes statut agrégat.....	95
<b>H.8.</b>	Âge à l'anniversaire le plus proche   Femmes statut inconnu .....	95
<b>I.</b>	<b>RECONNAISSANCE.....</b>	<b>102</b>



## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Objet du présent rapport

Le présent rapport décrit notre application de méthodes de rechange pour construire une nouvelle table de mortalité fondée sur les mêmes données sectorielles de 2009 à 2019 que celles utilisées par Bob Howard pour la construction de la table ICA2014.

Dans ce rapport, nous abordons l'utilisation du modèle additif généralisé (MAG), une méthode de rechange plus largement utilisée, et du modèle de réseaux de neurones (MRN), une méthode plus récente et moins largement utilisée. Nous démontrons les avantages et les inconvénients de chaque méthode par rapport aux méthodes traditionnelles comme la méthode de Whittaker Henderson utilisée pour la construction de la table ICA2014.

Nous invitons le lecteur à consulter le rapport de M. Howard (rapport Howard) pour plus de détails sur les données sous-jacentes et les ajustements apportés aux données. Nous avons eu recours aux données finales modifiées et utilisées par M. Howard pour la construction de la table ICA2014 comme données de formation pour les autres méthodes. L'expression *données de formation* est expliquée plus loin.

À l'aide des résultats de la table MAG2014 et de la table MRN2014, nous évaluons les tables a) du point de vue numérique, b) en fonction des ratios réels/prévus (R/P) et c) par visualisation (utilisation de graphiques). Nous évaluons également la table ICA2014 en appliquant la même approche. Puisque cette dernière méthode n'est pas au cœur de nos méthodes de rechange, nous traitons de l'évaluation de la table ICA2014 à l'annexe A du présent rapport. Bien que cette partie du rapport soit une annexe, on ne saurait la négliger. L'annexe A renferme des renseignements pertinents par rapport à la table MAG2014 et à la table MRN2014 que le lecteur pourrait trouver intéressants.

### 1.2. Utilisateurs visés et utilisateurs tiers

Les travaux qui sous-tendent le présent rapport, y compris nos constatations, ont été commandés par l'Institut canadien des actuaires (ICA) dans le cadre du projet de recherche sur la construction des tables de mortalité canadiennes et ils ont été supervisés par un groupe chargé de la surveillance du projet (GSP). Eckler et QED sont redevables à l'ICA pour ces travaux et les



documents connexes. Toutefois, l'ICA peut les mettre à la disposition de tiers à l'extérieur de l'organisation (y compris l'accès public gratuit), étant entendu qu'Eckler et QED ne sont pas responsables envers ces tiers pour le contenu, l'interprétation et l'utilisation du présent rapport et pour le matériel connexe, par exemple les feuilles de calcul. Il nous fera toutefois plaisir de répondre aux questions.

### **1.3. Utilisation totale ou partielle**

Le rapport doit être distribué dans son intégralité plutôt que sous forme d'extraits. Toutes ses parties sont essentielles pour bien comprendre et expliquer son contenu. Aucune partie ne peut être prise hors contexte, utilisée ou invoquée sans référence au rapport complet.

### **1.4. Utilisation des données**

Nous nous en sommes remis aux données modifiées des sociétés d'assurance-vie qui nous ont été fournies par Bob Howard. La qualité de nos produits finaux, la table MAG2014 et la table MRN2014, ainsi que le matériel connexe, y compris les feuilles de calcul et le site Web RShiny, dépendent de l'intégrité de ces données. Si les données avaient par la suite révélé des erreurs importantes susceptibles de rendre nos produits défectueux, Eckler et QED, individuellement ou ensemble, n'auraient pu être tenus responsables de telles lacunes. Toutefois, nous avons examiné les données pour déterminer si elles étaient raisonnables et nous n'avons trouvé aucun motif de préoccupation.



## 1.5. Limites

*Il convient de noter que les tables de rechange, MAG2014 et MRN2014, ne doivent pas être considérées comme des options pouvant remplacer la table ICA2014. Celle-ci demeure la table de mortalité officielle fournie par l'ICA pour remplacer les anciennes tables, notamment les tables ICA8692 et ICA9704. Eckler et QED ne se prononcent pas sur la question de savoir si les tables de rechange sont supérieures ou non à la table ICA2014; toute opinion à cet égard ne serait pas pertinente.*

*Les tables MAG2014 et MRN2014 ont été construites au moyen de méthodes de rechange afin d'explorer des méthodes peu familières pour la construction des tables de mortalité futures. Il ne s'agit que de travaux exploratoires à ce stade; d'autres travaux de recherche et essais doivent être effectués afin d'adapter pleinement ces techniques pour la construction des tables de mortalité. Donc, bien que la table MAG2014 et plus particulièrement la table MRN2014 se comparent bien à la table ICA2014, nous devons éviter de conclure que ces méthodes de rechange ne comportent pas de lacunes. Le choix des prédicteurs et des facteurs qui leur sont appliqués demeure subjectif. Le fait d'imposer moins de contraintes à ces variables, à savoir moins de variables et des coefficients moins précis, peut faire en sorte que les taux finaux s'écartent des données observées, tandis que l'ajout de contraintes, à savoir plus de variables et de coefficients plus précis, peut entraîner un surajustement des données.*

*Comme nous n'avons pas imposé une période sélecte aux modèles, chaque âge à l'émission comporte effectivement sa propre période sélecte. Si nous considérons que même la moindre différence signifie que nous sommes encore dans la période sélecte, celle-ci s'étend donc jusqu'à l'âge de 114 ans.*

*En outre, comme les méthodes relatives à la MAG et à la MRN peuvent produire des résultats futurs non vus, comme les tables de mortalité en 2024 par exemple, les modèles comportent des améliorations implicites de la mortalité. À l'instar de la période sélecte, les améliorations de la mortalité peuvent être différentes aux mêmes âges atteints pour différents âges à l'émission.*

*Il est donc conseillé d'utiliser ces tableaux avec prudence.*



## 2. MOTIVATION POUR DES MÉTHODES DE RECHANGE

L'application de méthodes de rechange ne signifie pas que la méthode de construction traditionnelle utilisée par M. Howard est inadéquate ou comporte quelque lacune que ce soit. Des méthodes de rechange sont plutôt appliquées pour les explorer et les démontrer afin de déterminer si elles offrent des améliorations par rapport aux méthodes traditionnelles de manière à profiter aux utilisateurs de la table ICA2014.

L'approche utilisée pour construire la table ICA2014 repose sur la technique de graduation de Whittaker Henderson (WH). Cette technique est simple à appliquer et elle est efficace lorsqu'elle est correctement mise en œuvre. Sa principale limite se situe dans le fait qu'elle ne fournit pas de modèle permettant d'effectuer d'autres examens. En d'autres termes, on ne reçoit qu'un ensemble de tables graduées statiques et non un modèle pour établir des tables graduées en fonction de différents intrants. Grâce à un modèle dynamique comme ceux utilisés pour la table MAG2014 ou la table MRN2014, nous avons pu créer des tables futures pour les années civiles 2020 à 2024.

Une question pourrait surgir : pour quelle raison avons-nous spécifiquement choisi un modèle additif généralisé (MAG) et un modèle de réseau de neurones (MRN) comme méthodes de rechange? Il n'existe pas d'approche « universelle » pour régler les problèmes de modélisation, et le choix du modèle se résume souvent à un équilibre entre l'intelligibilité et la prévisibilité.

Les méthodes de rechange énoncées dans le présent rapport fournissent un modèle qui peut être utilisé à d'autres fins, notamment la projection de tables futures et invisibles, ainsi que la modélisation directe de l'incertitude des tables construites. En outre, les méthodes envisagées permettent une plus grande souplesse de la modélisation des taux de mortalité, ce que nous démontrerons dans chacune des sections.

D'une part, nous avons des MLG (un MAG est un MLG) qui offrent une très grande intelligibilité selon la structure du modèle, mais cette intelligibilité affecte souvent la prévisibilité, car une structure de modèle linéaire simplifiée doit être adoptée. Dès que l'on adopte des mesures pour améliorer l'ajustement d'un MLG, on commence à perdre lentement de l'intelligibilité. D'autre part, il a été démontré que les MRN offrent une capacité prédictive supérieure aux MLG et aux MAG pour plusieurs tâches. Toutefois, à moins de modifications particulières, ils sont très difficiles à interpréter. En effet, les MRN sont souvent simplement des MLG, et des transformations et des interactions très non linéaires et complexes sont appliquées à leurs caractéristiques.



Au départ, nous avions l'intention d'appliquer uniquement le MRN au problème, car des recherches récentes avaient démontré que les MRN sont particulièrement efficaces pour prédire la mortalité. Le choix était donc simplement motivé par la curiosité et le désir de repousser les limites des travaux actuariels. Nous avons inclus le MAG à titre d'option se situant à mi-chemin entre les méthodes traditionnelles, notamment l'approche de graduation de WH, et les approches de pointe comme les MRN. Nous pensons que la plupart des actuaires, et plus particulièrement ceux qui travaillent dans le domaine de l'assurance-vie, seraient familiers avec la graduation de WH, mais que la grande majorité d'entre eux connaîtraient très peu l'apprentissage profond, le modèle de réseau de neurones et, en général, l'intelligence artificielle (IA). En outre, presque aucun ne les aurait appliqués à la modélisation de la mortalité. Le MAG a ensuite été inclus à titre d'option médiane entre les personnes familières et les personnes non familières, car nous nous attendons à ce que certains actuaires connaissent bien les MLG et les MAG, en particulier ceux qui possèdent une certaine expérience en assurances IARD, mais ils ne les auraient pas appliqués à la modélisation de la mortalité.

### 3. ÉVALUATION DE LA PERFORMANCE DES MODÈLES

Étant donné que les méthodes utilisées dans le présent rapport sont non traditionnelles et découlent de l'apprentissage automatique, il convient de revoir les approches adoptées pour évaluer la performance des modèles pour les lecteurs qui ne les connaissent pas très bien.

Nous incluons une évaluation de la table ICA2014 à l'annexe A à des fins de comparaison. Les diverses tables doivent être comparées avec prudence. Pour la table ICA2014, une période sélecte de 20 ans a été choisie et une graduation distincte a été effectuée par section (sélecte, ultime, âges plus jeunes, âges plus avancés). De plus, l'ajustement n'a pas été exécuté avec la prédiction comme objectif, de sorte qu'il n'y a pas de comparaisons à faire dans l'échantillon et hors de l'échantillon. Par conséquent, nous incluons l'évaluation pour la totalité de l'ensemble de données divisé en taux sélects et ultimes. Nous fournissons des données de comparaison pour chaque méthode de rechange.

#### 3.1. Mesures dans l'échantillon et hors de l'échantillon

Puisque nous comptons également projeter la mortalité dans des périodes invisibles, par exemple de 2020 à 2024, nous devons nous assurer que non seulement les méthodes choisies s'adaptent bien aux données sur lesquelles elles sont constituées, mais aussi qu'elles soient bien généralisées par rapport aux données invisibles. Pour évaluer cette fonction, nous avons divisé les données en un *ensemble de données de formation* et un *ensemble de données d'essai*. L'ensemble de données



de formation est utilisé pour ajuster le modèle et évaluer la performance dans l'échantillon, tandis que les données d'essai servent à évaluer la performance hors de l'échantillon, c'est-à-dire la capacité du modèle de généraliser par rapport aux données invisibles. Étant donné que la projection de la mortalité à long terme constitue l'un des principaux objectifs, nous définissons les données de formation comme étant toutes les données de 2009 à 2016. Les données d'essai représentent toutes les données de 2017 à 2019 inclusivement. Pour chacune des mesures ci-dessous, nous pouvons évaluer la performance dans l'échantillon et hors échantillon. Il convient de souligner que le modèle final utilisé pour construire l'ensemble final de tables de mortalité est recentré sur toutes les données disponibles, soit de 2009 à 2019, et qu'il produit la table MAG2014 et la table MRN2014. Ce modèle final est utilisé pour évaluer le rendement sélect et ultime par rapport aux taux gradués de la table ICA2014.

### 3.2. Déviance de Poisson

Les méthodes de rechange appliquées sont modélisées sous forme de variables de comptage distribuées de Poisson; par conséquent, une mesure naturelle pour évaluer la performance est la déviance de Poisson, exprimée dans la formule suivante :

$$D = 2 \times \sum_{i=1}^n [y_i \times \text{Log}\left(\frac{y_i}{\mu_i}\right) - (y_i - \mu_i)]$$

où :

- $y_i$  est le montant réel du capital décès pour la police  $i$ ;
- $\mu_i$  est le montant du capital décès prévu pour la police  $i$ .

Dans le présent rapport, nous avons utilisé la déviance de Poisson moyenne dans la valeur nominale et nous l'avons divisée par 1 000 pour obtenir la déviance de Poisson médiane pour 1 000 expositions. **Un nombre plus faible est préférable et la déviance de Poisson pénalise davantage les grandes erreurs que les plus petites.**

### 3.3. Kolmogorov–Smirnov

Le test de Kolmogorov–Smirnov (KS) évalue l'égalité de deux distributions. En gros, il compare la distance entre les fonctions de distribution cumulative de deux échantillons. La statistique fournie dans le rapport est la valeur  $p$  de la statistique d'essai produite. Plus la valeur  $p$  se rapproche de



1,0, plus les deux distributions sont proches. Il s'agit essentiellement d'une mesure de corrélation.

**Un nombre avoisinant 1,0 sous-entend une bonne corrélation, tandis qu'un nombre d'environ 0,0 sous-entend une mauvaise corrélation.**

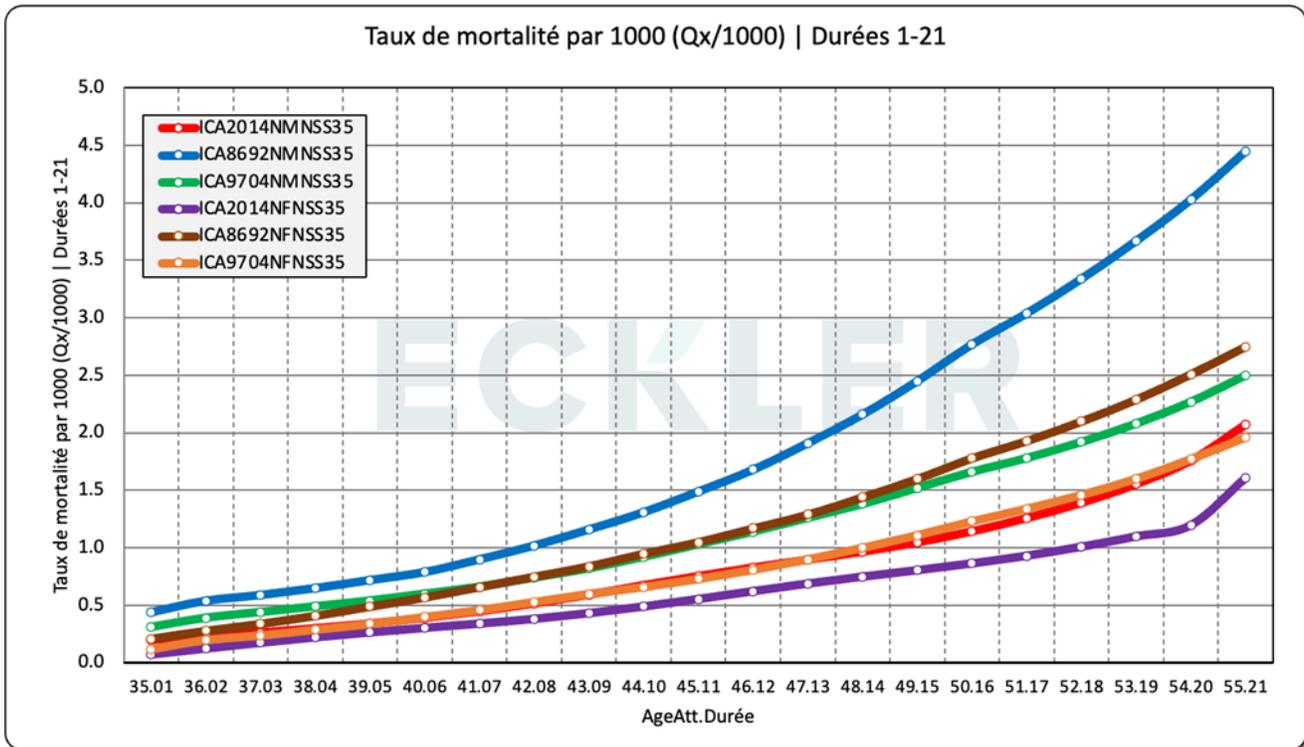
### 3.4. Ratios réel/prévu

Outre les mesures statistiques ci-dessus, nous incluons également les ratios réel/prévu (R/P) plus traditionnels. Un ratio R/P de 100,0 % indique que les montants réels de capital décès se situent à moins de 0,1 % des montants prévus de capital décès.

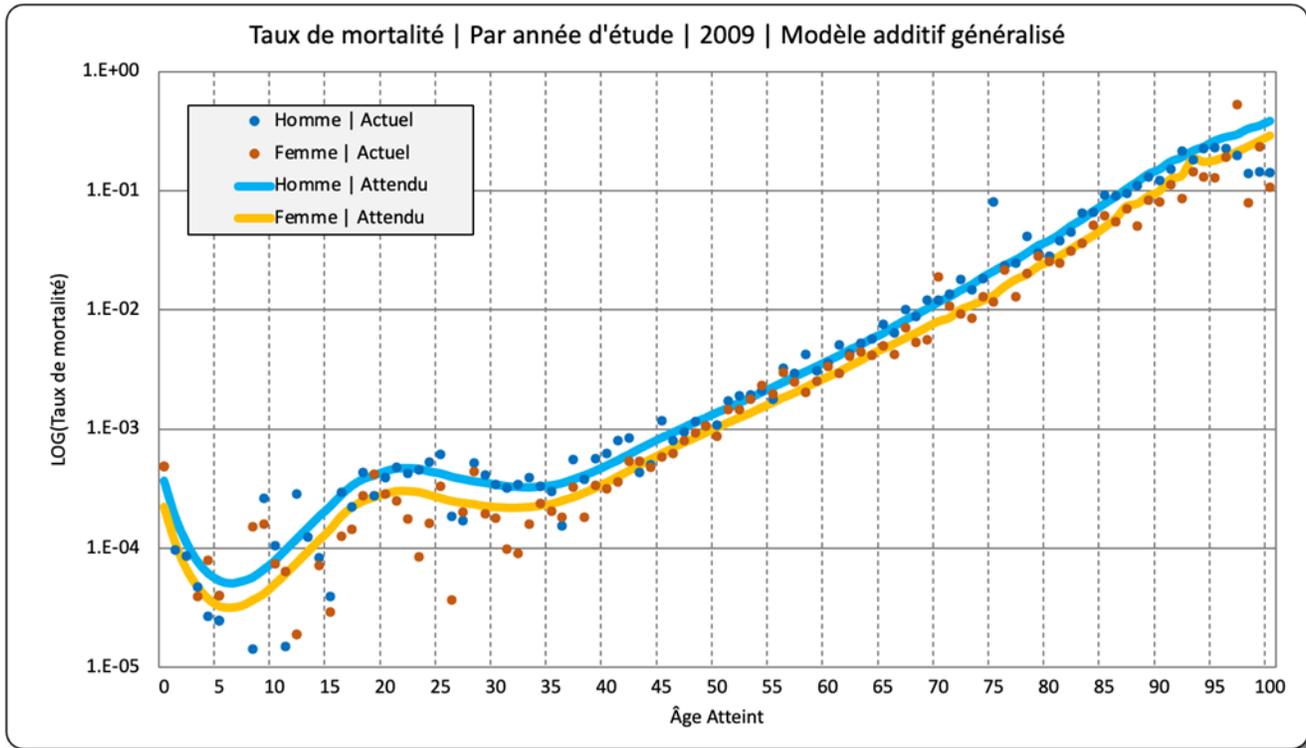
### 3.5. Évaluation visuelle

Les évaluations numériques fournissent une mesure unidimensionnelle objective de la qualité de l'ajustement, mais il est nécessaire d'examiner visuellement l'ajustement des modèles, car les statistiques d'essai peuvent produire de bons résultats même si l'ajustement visuel n'est pas idéal. Nous fournissons de nombreux tableaux qui examinent l'ajustement de chaque méthode sous divers angles. De plus, nous utilisons largement des graphiques d'évaluation visuelle.

Plusieurs graphiques de visualisation fournis dans le présent rapport peuvent sembler peu familiers à première vue, car ils sont présentés d'une manière qui n'est pas courante. Par exemple, on s'attendrait normalement à ce que les courbes de mortalité soient présentées comme dans la figure ci-dessous, où un âge précis à l'émission est choisi et la mortalité par durée est fournie par la suite. De plus, chaque segmentation individuelle des données est habituellement fournie. Le graphique qui suit montre la comparaison de la table ICA9704 et d'autres tables à 35 ans à l'émission pour les valeurs MNS, MSM, MAG, FNS, FSM et FAG pour les durées 1 à 21.

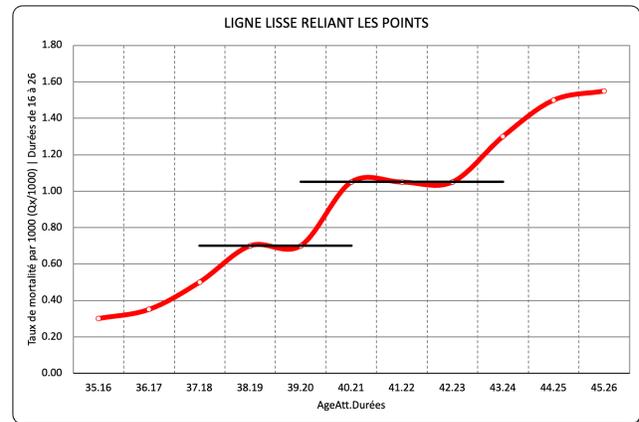
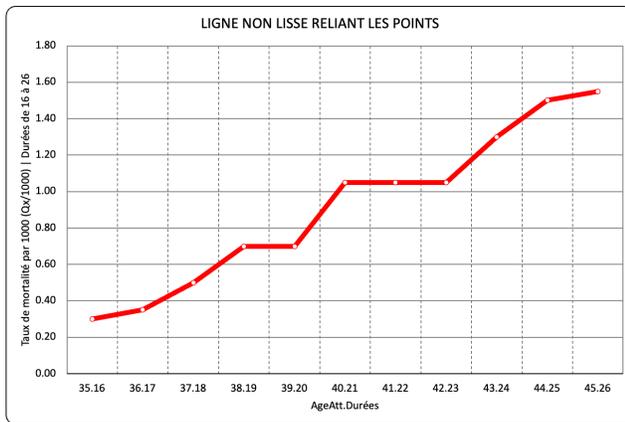


Lorsque l'on compare les résultats réels à ceux prévus, l'exercice devient plus difficile en raison de la volatilité des données sous-jacentes réelles. En outre, pour les modèles utilisés dans le présent rapport, des centaines de courbes sont ajustées, ce qui rendrait impossible une comparaison à chaque âge à l'émission et durée. Pour saisir la quantité maximale d'information et réduire la volatilité des données réelles, nous présentons les résultats groupés selon les dimensions invisibles. Par exemple, dans le graphique qui suit, les dimensions invisibles sont le statut de fumeur et la durée. En d'autres termes, nous avons résumé les données sur l'exposition et les décès en fonction du statut de fumeur et de la durée et nous avons établi la courbe ci-dessous en divisant le nombre global de décès par les montants globaux d'exposition. Nous obtenons ainsi une courbe réelle plus claire (même si elle montre encore une certaine volatilité) et une comparaison nette de la courbe prévue.



Nous croyons que cette approche permet d'établir une comparaison directe plus claire entre les tables de mortalité fournies dans le présent rapport et les données réelles, et qu'elle constitue une évaluation visuelle naturelle compte tenu du fait que les modèles présentés dans le rapport sont fondés sur l'exposition.

Lorsque nous présentons nos graphiques, nous lisons les lignes qui relient les points plutôt que de les relier par une ligne droite. Une ligne lisse donne une tendance plus évidente qu'une ligne dentelée. Cette situation présente un défaut apparent en ce sens que si les points à joindre changent soudainement de tendance, la ligne lisse peut augmenter au-dessus des points puis diminuer, comme dans les exemples suivants :



Toutefois, ce comportement aide aussi à déterminer les points où la tendance change.

### 3.6. Autres mesures de la performance pour la sélection des dimensions/modèles

D'autres mesures auraient pu être utilisées, comme le critère d'information d'Akaike (AIC) ou l'intervalle de confiance. L'AIC est utilisé pour comparer l'ajustement de différents modèles de régression. Toutefois, il ne détermine pas si le modèle est bien ajusté ou non, car il est utilisé pour comparer les modèles. Étant donné que l'accent était mis davantage sur l'exactitude prédictive, nous nous sommes davantage appuyés sur des mesures qui évaluent la capacité prédictive et qui sont plus largement utilisées dans la littérature sur l'apprentissage automatique.

### 3.7. Autres facteurs à prendre en compte

Nos données de base reposent sur l'expérience de mortalité de diverses entreprises de 2009 à 2019 inclusivement. Bien qu'elles soient quelque peu homogènes, ces données ne sont pas toujours homogènes d'une entreprise à l'autre et d'une année à l'autre, ou parfois au sein d'une entreprise. Les données observées sont donc imparfaites et l'application d'une graduation sans extrapolation sur ce que les données auraient dû être si elles étaient homogènes donnerait par défaut une table imparfaite.



Par définition, l'étude d'expérience est la valeur de référence. Toutefois, cela ne signifie pas nécessairement que le résultat final doit correspondre parfaitement à l'expérience. L'exemple le plus évident ici est l'inversion selon le sexe pour les fumeurs aux âges avancés dans la table ICA2014. Cette table correspond à l'expérience, mais ce n'est pas le cas des méthodes de rechange. Un autre exemple évident est celui de la table ICA2014 qui présente des taux de mortalité stables aux âges extrêmement avancés, puis passe à 1,00 à l'âge atteint 115 ans. Cet exemple est évidemment théorique parce que nous ne disposons tout simplement pas de données pour appuyer les taux exacts. Toutefois, les méthodes de rechange peuvent permettre de calculer logiquement ces taux parce qu'elles sont des modèles. Même si cet élément ne rend pas nécessairement les taux plus appropriés, il constitue simplement un autre moyen de calculer les taux de façon raisonnable.

### **3.8. Montant par rapport au nombre**

Les méthodes de rechange ont été fondées sur la valeur nominale à titre de facteur de pondération, et non sur le nombre de polices. Cette option a été choisie pour correspondre à celle utilisée pour la table ICA2014. L'utilisation du nombre de polices comme facteur de pondération aurait donné lieu à des tables différentes, mais nous n'avons pas exploré cette approche dans nos travaux.

Une autre approche pourrait consister à utiliser le nombre de polices comme facteur de pondération, mais à inclure dans le modèle une tranche de valeurs nominales comme l'un des facteurs, ce qui pourrait donner lieu à une table plus précise qui tiendrait également compte de la taille de la police, mais créerait un plus vaste ensemble de tables individuelles. Par exemple, si nous utilisions de larges tranches de valeurs nominales, disons quatre, le nombre de tables serait multiplié par quatre.

Dans une première version des tables, nous avons construit des tables de mortalité selon l'année, la durée, le statut de fumeur, le sexe, l'âge à l'émission et la tranche de taille. Mais à un moment donné, nous avons décidé de renoncer à la taille des polices afin de mieux contrôler le nombre de tables. L'avantage d'utiliser les MAG et les MRN se situe dans le fait que des variables supplémentaires, comme la tranche de valeur nominale, peuvent être utilisées tout en conservant toutes les données. Donc, dans le cas d'un modèle comportant quatre tranches, par exemple, celles-ci contribueront à la courbe ou l'influenceront en fonction des âges atteints ou de l'année d'assurance.



---

*Toutefois, à notre avis, l'utilisation de la valeur nominale comme facteur de pondération à ce point constitue le meilleur compromis. Sur le plan technique, le processus est le même que l'utilisation du nombre de polices. C'est simplement que le dénombrement est composé de grands nombres. Cet élément pourrait être ajouté pour la construction de tables futures si une approche de MAG ou de MNR est utilisée.*

---

### **3.9. Période sélecte**

En théorie, la période sélecte doit être différente selon l'âge à l'émission, le sexe et surtout le statut de fumeur. En d'autres termes, il n'est pas raisonnable de supposer que le processus de souscription entraînerait exactement le même nombre d'années de mortalité réduite pour tous les âges, le sexe et le statut de fumeur. Par exemple, si les assurés étaient en parfaite santé au départ, il faut supposer que le processus de souscription n'ajouterait rien à la sélection des assurés en meilleure santé. Cela supposerait que les jeunes femmes non fumeuses auraient une période sélecte proche de zéro. À l'autre extrême, la souscription d'hommes fumeurs plus âgés devrait se traduire par une importante période sélecte.

L'imposition d'une période sélecte de 15 ans (tables antérieures) ou de 20 ans (table ICA2014) crée, par définition, un fardeau à la construction de la table. La période est choisie par nécessité, peut-être parce que des méthodes traditionnelles de graduation ont été utilisées par le passé.

En appliquant les méthodes de rechange, nous avons choisi de ne pas imposer un tel fardeau aux tables. Cela permet une progression plus naturelle des taux de mortalité selon l'âge atteint. Aux premières étapes de construction de la table ICA2014, l'un des défis auxquels M. Howard avait été confronté était la discontinuité des taux de mortalité chez les jeunes à partir de la durée 20 (dernière durée sélecte) jusqu'à la période ultime (durée 21). Comme l'a clairement expliqué M. Howard, la période ultime n'est pas la durée 21, mais elle est constituée de nombreuses durées, d'où le saut, plus évident pour certains âges que pour d'autres. Les méthodes de rechange ne sont tout simplement pas confrontées à ce défi.



Il est difficile d'analyser l'effet sélectif sur la mortalité lorsqu'il n'y a pas de période sélecte définie. Toutefois, nous pouvons tenter de le faire en analysant les caractéristiques de la période sélecte de la table ICA2014. Si nous prenons la valeur absolue des ratios du taux de la durée 21 pour une émission [x] par rapport au taux pour la durée 20 pour une émission [x+1], moins 1, nous obtenons la différence en pourcentage entre un taux ultime et le dernier taux sélect précédent pour le même âge atteint :

$$\% \text{ Diff} = \text{ABS}[ (Q_{[x]+21}/Q_{[x+1]+20}) - 1 ]$$

Cet écart en pourcentage varie sensiblement selon la catégorie, les pourcentages étant plus élevés pour le groupe des non-fumeurs et beaucoup plus faibles pour le groupe des fumeurs, comme le montre le tableau suivant :

ÂGE À L'ÉMISSION	(Q <sub>[x]+21</sub> /Q <sub>[x+1]+20</sub> ) - 1			
	Homme N-S	Homme SMK	Femme N-S	Femme SMK
020	0.4%	3.0%	14.6%	3.7%
025	7.4%	5.8%	19.5%	4.5%
030	7.1%	5.5%	20.1%	3.4%
035	7.9%	4.9%	19.5%	0.7%
040	10.4%	6.0%	17.6%	1.7%
045	11.6%	3.1%	15.0%	1.5%
050	11.0%	2.6%	13.5%	2.1%
055	10.9%	2.1%	13.4%	1.7%
060	11.9%	1.7%	12.5%	2.7%
065	11.9%	2.0%	12.9%	6.3%
070	11.9%	1.3%	9.7%	7.2%
075	11.6%	1.0%	7.4%	5.1%
080	10.9%	1.0%	7.2%	5.1%
085	7.1%	0.7%	5.1%	5.4%
Minimum 20-89	0.4%	0.7%	5.1%	0.7%
Maximum 20-89	12.8%	6.0%	20.3%	7.5%

Nous avons d'abord pensé appliquer ces pourcentages aux tables de rechange et calculer le nombre d'années sélectes. Toutefois, de par leur conception, les tables de rechange assurent une transition harmonieuse de tout âge atteint à l'âge suivant. L'approche traditionnelle consistant à utiliser une période sélecte crée un changement brusque de la durée 20 à la période ultime. Comme il a été mentionné précédemment, il n'existe pas vraiment de taux pour la durée 21. Par conséquent, l'utilisation des pourcentages susmentionnés ne constituera pas une comparaison valable.

La première série de graphiques aux pages suivantes indique le nombre d'années sélectes si le pourcentage seuil est fixé à 1 %. La deuxième série montre la même mesure fondée sur un seuil de 2 %. Elle révèle que le nombre d'années sélectes diminue rapidement à mesure que nous



relevons le seuil. Dans la mesure où le ratio est inférieur à ce seuil, nous considérons qu'il s'agit de la période sélecte. Ainsi, la formule de la table MAG2014 et de la table MRN2014 devient :

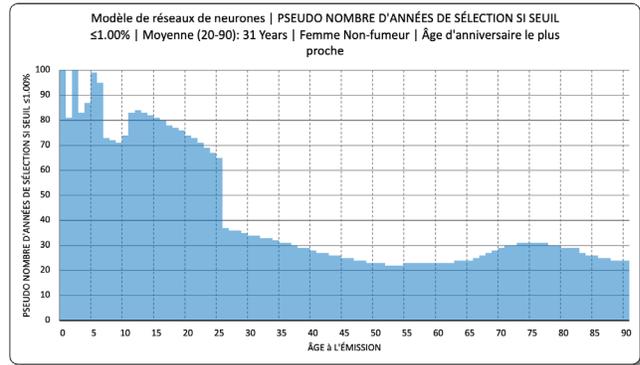
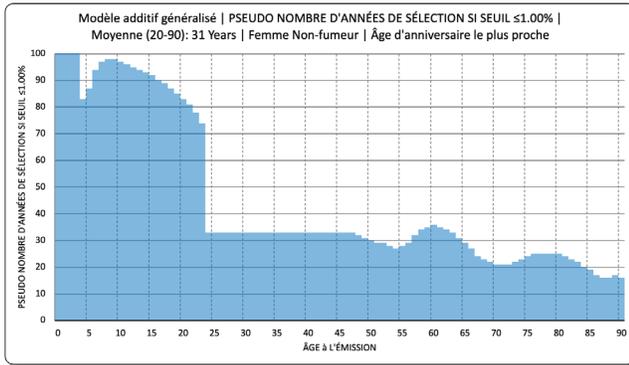
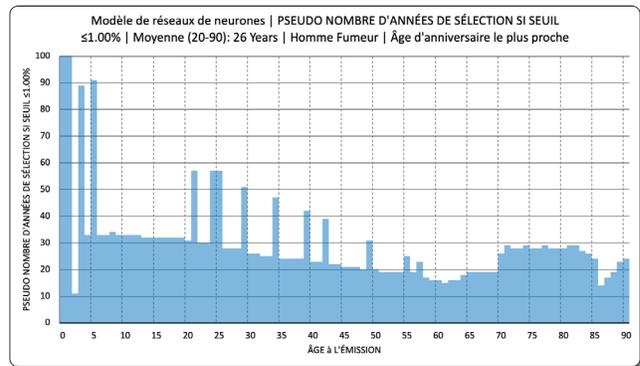
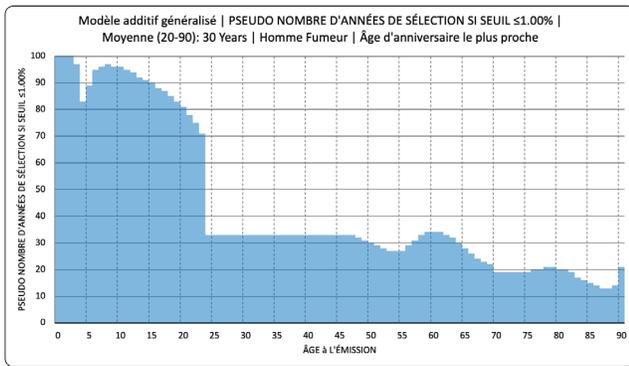
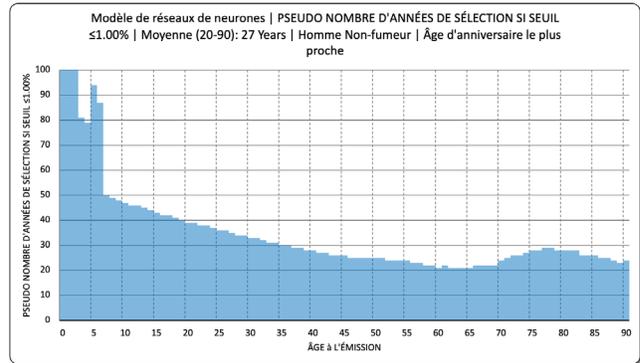
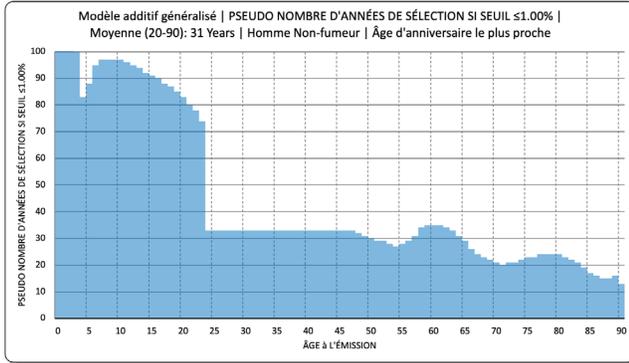
$$\% \text{ Diff} = \text{ABS} [ (Q_{[x]+t+1}/Q_{[x+1]+t}) - 1 ]$$

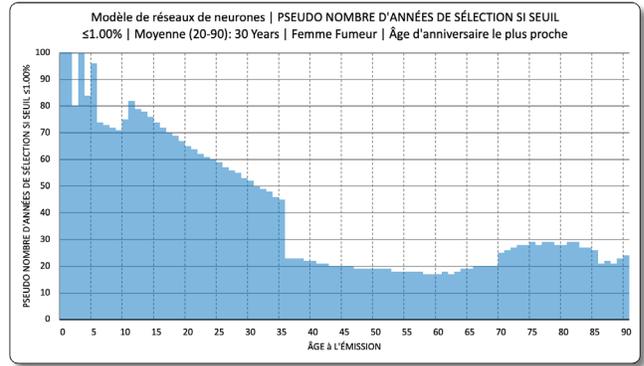
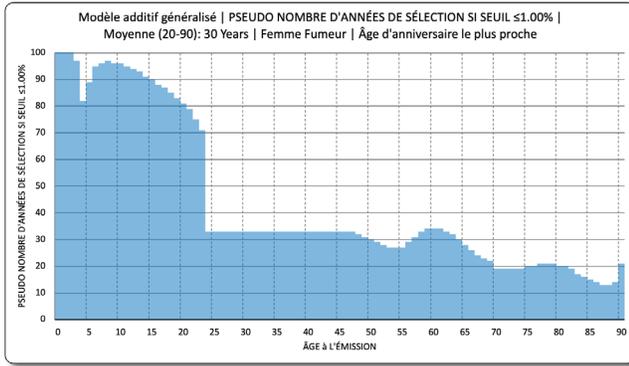
Une fois le seuil dépassé, **t** est égal à la *période sélecte implicite*.

Fait intéressant, en utilisant un seuil de 2 %, le nombre moyen d'années *sélectes* se situe entre 16 et 20 ans pour les 20 à 90 ans à l'émission. En fait, selon la table MRN2014, la moyenne pour le groupe hommes non-fumeurs est de 20 ans, à partir de 27 ans pour l'âge de 20 ans à l'émission, jusqu'à 14 ans pour l'âge de 60 ans à l'émission, jusqu'à 25 ans pour l'âge de 80 ans à l'émission et enfin jusqu'à 23 ans pour l'âge de 90 ans à l'émission.

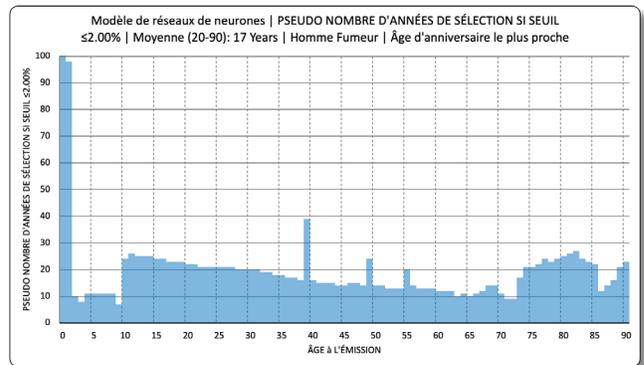
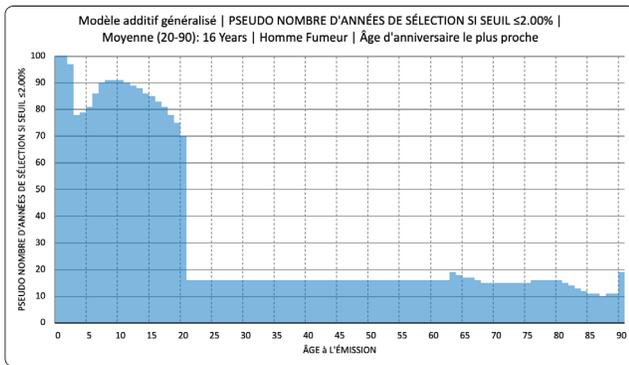
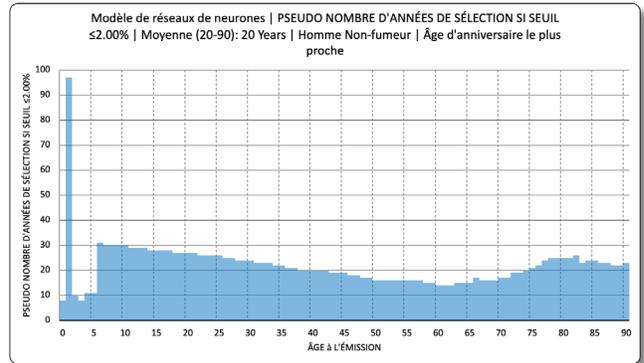
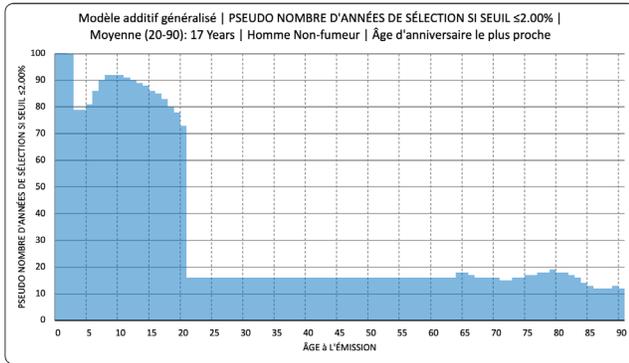


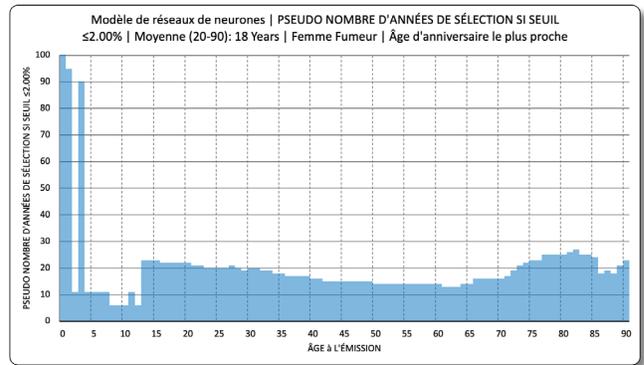
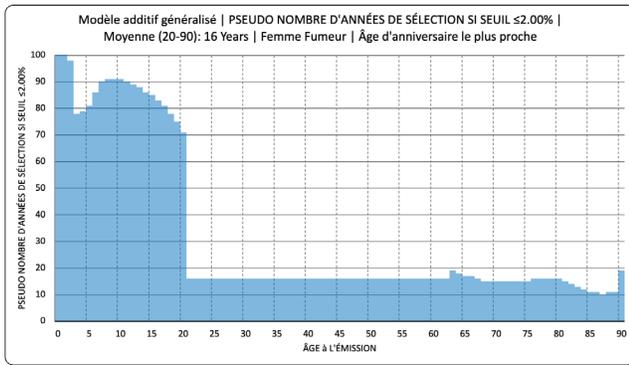
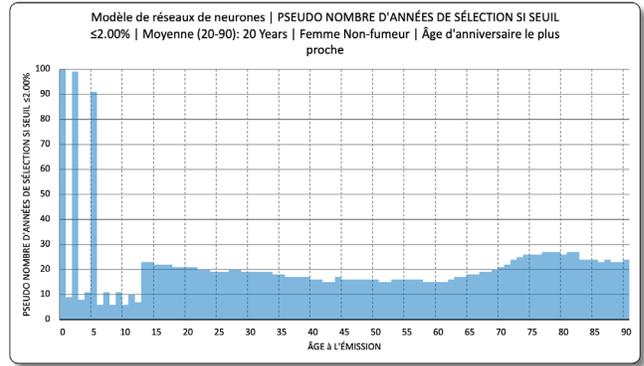
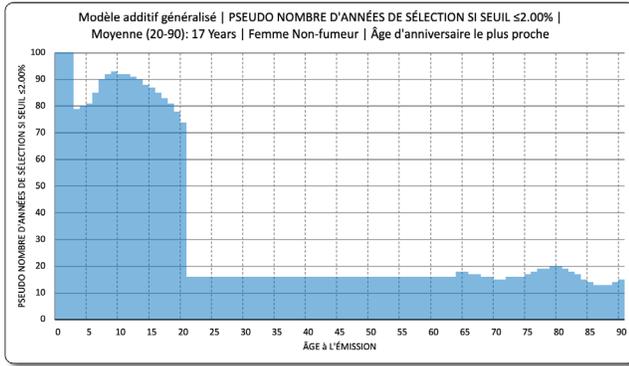
Nombre d'années sélectes si le seuil est  $\leq 1\%$





Nombre d'années sélectes si le seuil est  $\leq 2\%$







## 4. MODÈLES ADDITIFS GÉNÉRALISÉS

### 4.1. Qu'est-ce qu'un modèle linéaire généralisé (MLG)?

Pour comprendre un MAG, nous décrivons d'abord un modèle linéaire généralisé (MLG). Les MLG prennent la forme suivante :

$$g(y_i) = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{i1} + \beta_2 \cdot x_{i2} + \dots + \beta_p \cdot x_{ip} + \epsilon_i$$

où :

- $y_i$ ,  $i \in [0, 1, \dots, n]$  est la variable de réponse
- $x_{ij}$ ,  $j \in [0, 1, \dots, p]$  sont les prédicteurs,
- $\beta_j$  sont les coefficients du prédicteur  $j$ ,
- $g(.)$  est la fonction de lien;
- $\epsilon_i$  est l'erreur suivant une distribution à partir de la famille de dispersion exponentielle.

Les deux extensions clés des MLG sur les modèles linéaires sont (1) qu'ils permettent de préciser l'erreur de variable de réponse par n'importe quelle distribution de la famille de dispersion exponentielle et (2) que nous pouvons spécifier une fonction de lien qui décrit la relation entre la moyenne de la distribution et les prédicteurs.

---

*En d'autres termes, la variable de réponse (taux de mortalité) est exprimée sous forme de fonction linéaire ou de combinaison linéaire de toutes les variables prédictives observées (sexe, statut de fumeur, âge à l'émission, durée, âge atteint, année d'observation). La relation sous-jacente entre la réponse et les prédicteurs est linéaire, c'est-à-dire que la relation prend la forme d'une ligne droite.*

---

### 4.2. Qu'est-ce qu'un modèle additif généralisé (MAG)?

Un MAG élargit un MLG en fournissant une base pour certains des prédicteurs qui leur permet d'être *transformés* de manière à correspondre plus précisément aux données. Un MAG est exprimé comme suit :



$$g(y_i) = \beta_0 + f_1 \cdot x_{i1} + f_2 \cdot x_{i2} + \dots + f_p \cdot x_{ip} + \epsilon$$

où :

- $f_j$  fournit la base du prédicteur  $x_j$ .

Les MAG sont choisis comme méthode de rechange, car les MLG sont largement utilisés pour la modélisation des fréquences en assurance IARD et en assurance-vie, et l'extension à un MAG permet de modéliser avec précision des relations complexes dans les données. Les MAG offrent également un haut niveau d'intelligibilité grâce aux coefficients qui peuvent fournir des renseignements supplémentaires. En outre, on dispose d'une grande liberté pour préciser la structure du modèle et les variables prédictives qui peuvent être incluses.

---

*En d'autres termes, un MAG permet au modèle d'apprendre des caractéristiques non linéaires.*

---

### 4.3. Forme du modèle

Pour construire les tables de mortalité, nous avons opté pour le modèle suivant<sup>1</sup> :

$$\text{Log}(d_i) = \text{Year}_i + \text{IssueAge}_i + \text{Sex}_i * \text{Smoke}_i * \text{AttAge}_i + f_{\text{AttAge}} + f_{\text{PolYear}} + \text{Log}(e_i) + \epsilon_i$$

Où :

- $\text{Year}_i$  est l'année d'expérience, c.à.d. 2009, 2010, ..., 2019,
- $d_i$  est le montant du capital décès pour la police  $i$ ;
- « \* » signifie inclure l'effet d'interaction des variables et entre les variables;
- $f_{\text{AttAge}}$  et  $f_{\text{PolYear}}$  sont des bases de splines ajustées respectivement sur  $\text{AttAge}$  et  $\text{PolYear}$ ;
- $e_i$  représente l'exposition;
- $\epsilon_i$  suit une loi de Poisson.

---

<sup>1</sup> Des coefficients ont été omis aux fins de concision.



Les caractéristiques sont décrites à l'annexe B. Veuillez noter que  $\text{Log}(e_i)$  a un coefficient constant de 1.

Les principaux éléments du modèle sont les bases de splines ajustées à  $\text{AttdAge}$  et à  $\text{PolYear}$ . Ces termes sont les plus significatifs et expliquent la majeure partie de la variance en  $d_i$ . Veuillez noter que le fait d'inclure  $\text{PolYear}$  permet de modéliser les périodes de sélection. L'ajout des termes « fumeur » et « sexe » qui interagissent avec  $\text{AttdAge}$  permet au modèle d'apprendre à différencier les caractéristiques entre les sexes et le statut de fumeur. Cela permet également de produire des tables distinctes selon le sexe et le statut de fumeur. Enfin, l'ajout du terme « année » permet au modèle d'apprendre les tendances de la mortalité au fil du temps, qui peuvent également servir à déterminer les améliorations de la mortalité, ainsi que la mortalité projetée dans des périodes invisibles.

L'ensemble de caractéristiques est choisi pour minimiser l'erreur prédictive. Ainsi, des sous-ensembles de caractéristiques sont ajustés et utilisés pour prédire la mortalité, et on choisit le sous-ensemble de caractéristiques ayant la déviance de Poisson hors de l'échantillon la plus faible. Le sous-ensemble de caractéristiques illustré ci-dessus présentait la déviance de Poisson hors de l'échantillon la plus faible.

On peut remettre en question le choix d'un terme d'erreur de Poisson lors de la modélisation des valeurs. Il est plus naturel qu'un terme d'erreur de Poisson soit utilisé pour modéliser la fréquence des dénombrements plutôt que les valeurs. De nombreuses hypothèses de distribution peuvent être posées au sujet de la distribution de la variable de réponse, et chacune comporte ses propres avantages et inconvénients. Le choix de Poisson est simplement l'un d'elles. D'autres choix pourraient être faits, comme un modèle de Tweedie, qui pourrait mieux convenir pour modéliser le montant du capital décès. Poisson a également été choisi en fonction des recherches sous-jacentes. Une binomiale est une solution de rechange adéquate. Les valeurs ont été choisies pour saisir l'élément de taille.

#### 4.4. Résultats

Les résultats présentés dans cette section sont fondés sur la table  $\text{MAG2014}$  construite à partir des données d'expérience réelles combinées de 2009 à 2019. Une précision s'impose : ils ne comprennent aucun résultat des tables projetées pour les années 2020 à 2024. C'est le cas tout au long du présent rapport, sauf indication contraire.



#### 4.4.1. Évaluation numérique | Dans l'échantillon et hors de l'échantillon

Model additif généralisé   Évaluation numérique		
	Dans l'échantillon	Hors de l'échantillon
Déviance de Poisson	93.52	118.57
Kolmogorov-Smirnov	0.98	0.73

En ce qui concerne la déviance de Poisson (une valeur inférieure est meilleure), l'ajustement montre une détérioration mineure des données hors de l'échantillon indiquant une capacité de généralisation relativement forte. Compte tenu de la mesure KS (plus près de 1,00 est préférable), nous constatons que la statistique est très forte pour les données dans l'échantillon, avec une légère détérioration pour les données hors de l'échantillon.

#### 4.4.2. Périodes sélectes et ultimes

Model additif généralisé   Évaluation numérique		
	Sélecte	Ultime
Déviance de Poisson	186.64	47.59
Kolmogorov-Smirnov	0.81	0.93

Lorsqu'on la compare aux tables ICA2014 sélectes et ultimes, la table MAG2014 donne des résultats semblables à ceux de la table ICA2014 pour les données sélectes et ultimes à l'aide de la déviance de Poisson. En utilisant la mesure KS, la table MAG2014 donne de meilleurs résultats que ceux de la table ICA2014 pour les données sélectes, mais légèrement moins bons pour les données ultimes.

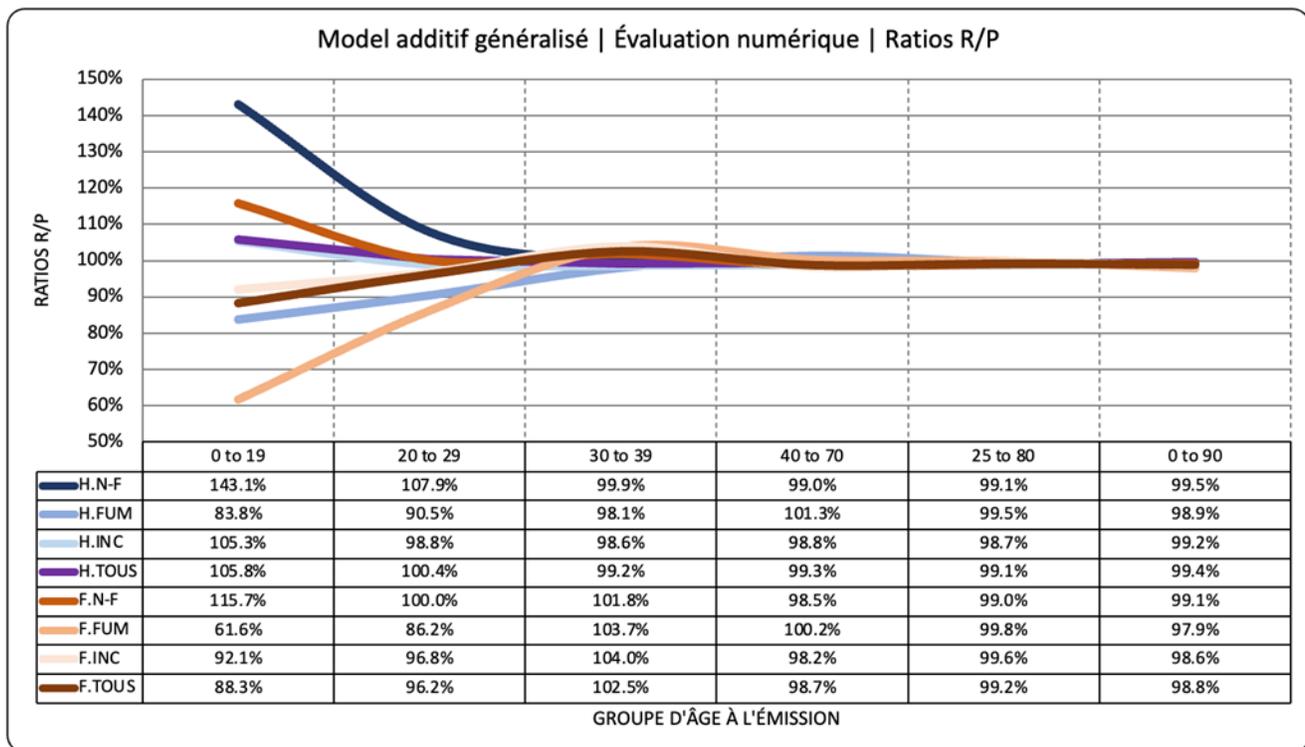
*Pour plus de détails sur l'évaluation de la table ICA2014, veuillez consulter l'annexe A. Pour une comparaison plus détaillée entre la table MAG2014 et la table ICA2014, veuillez consulter l'annexe D. En particulier, pour une comparaison du déviant de Poisson et de la mesure de Kolmogorov-Smirnov, voir la section D.7 de l'annexe D.*

#### 4.4.3. Ratios R/P

Les graphiques et les tableaux ci-dessous montrent les ratios R/P pour chaque catégorie de risque et divers groupes d'âge à l'émission, regroupés pour toutes les années d'expérience. La valeur réelle (R) représente les sinistres décès réels fournis par les entreprises et modifiés par M. Howard. La valeur prévue (P) représente les sinistres décès prévus calculés à l'aide des taux de la table MAG2014.

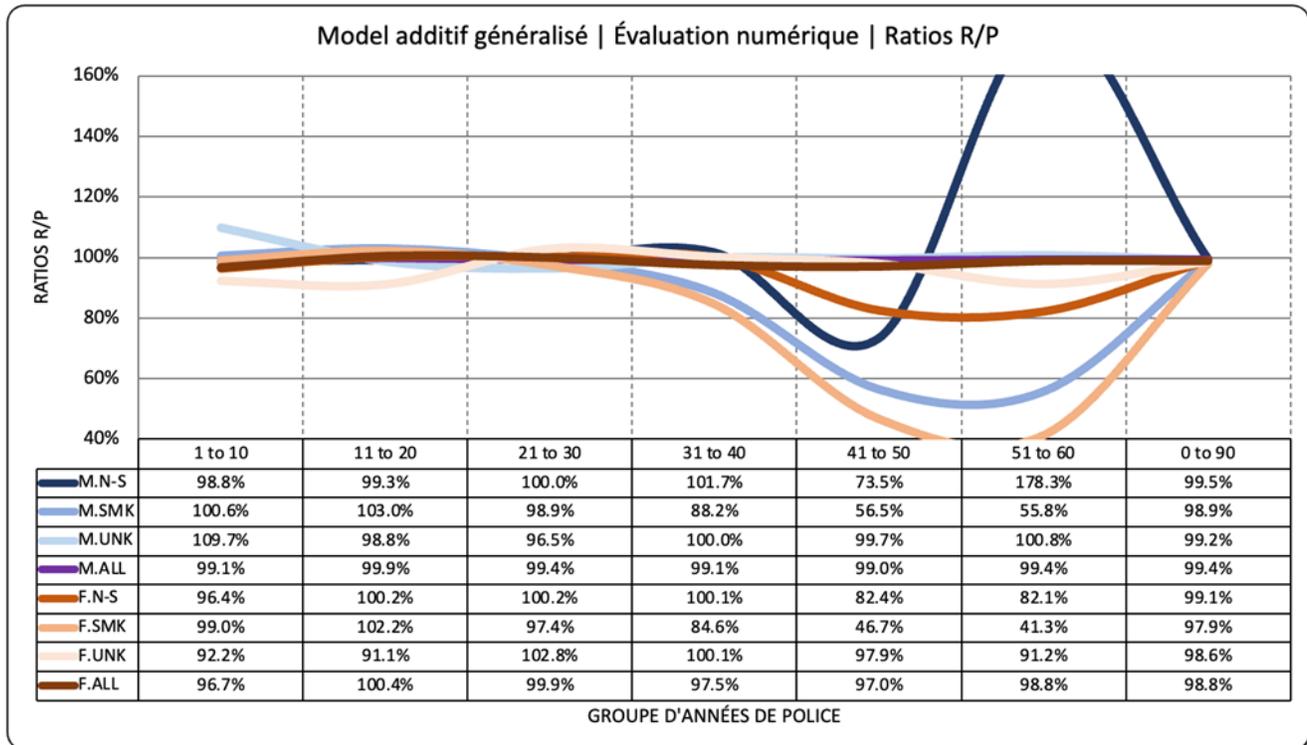


Pour les âges à l'émission au-delà de 20 ans, les ratios sont très proches de 100,0 %. Les âges 0 à 19 ans à l'émission affichent des variations importantes, particulièrement en ce qui concerne les non-fumeurs et les fumeurs des deux sexes. La quantité de données dans ces sous-ensembles est très faible en raison du statut de non-fumeur ou de fumeur, et la table prévue ne fait que différencier le statut de fumeur après l'âge de 16 ans. Si l'on regarde les âges compris entre 25 ans et 80 ans, où se trouvent la plupart des données sur l'exposition, les ratios sont tous à 1 % près, sauf pour le statut de fumeur inconnu pour les hommes. Compte tenu de tous les âges à l'émission entre 0 et 90 ans, tous les taux se situent à 2 % près, à l'exception du groupe des femmes fumeuses.





Le graphique et le tableau qui suivent présentent de nouveau les ratios R/P, mais cette fois pour diverses années d'assurance. Les ratios R/P sont très près de 100 % jusqu'à l'année d'assurance 40. Après 40 ans, le rendement commence à se détériorer sensiblement en raison de la volatilité des données réelles et de la quantité de données de plus en plus faible.



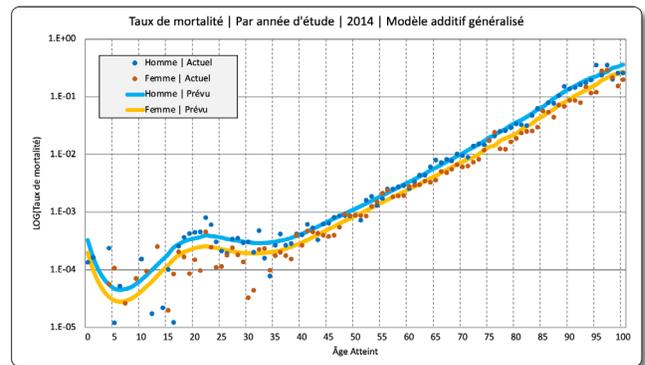
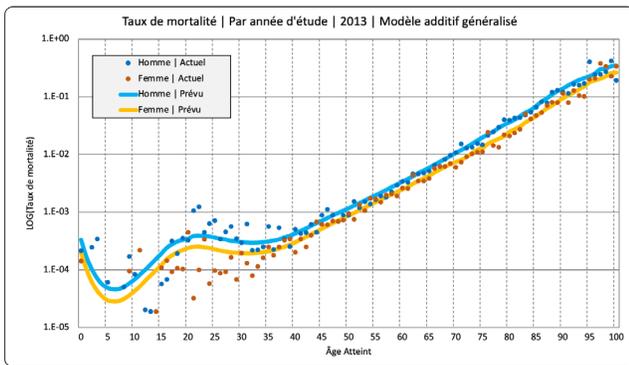
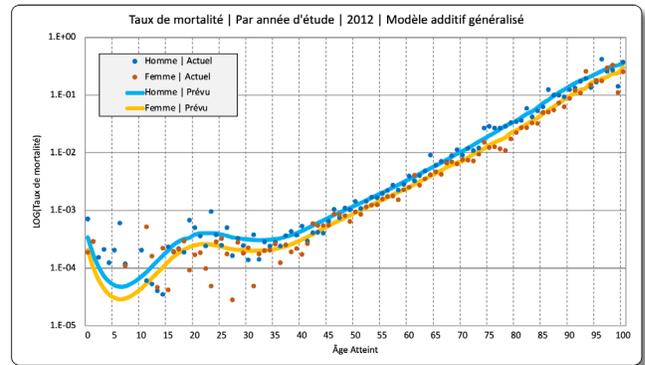
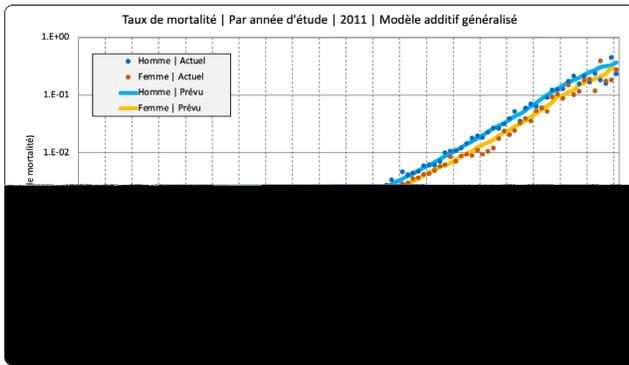
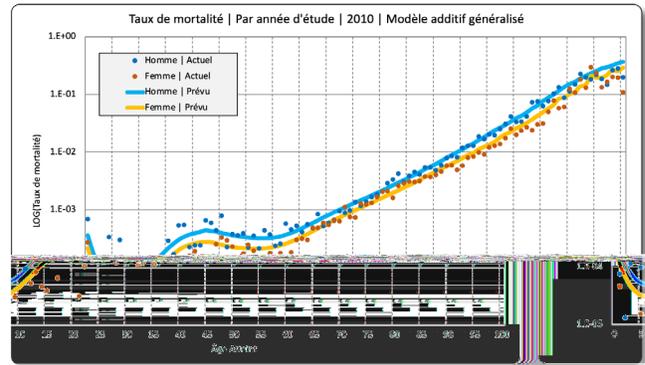
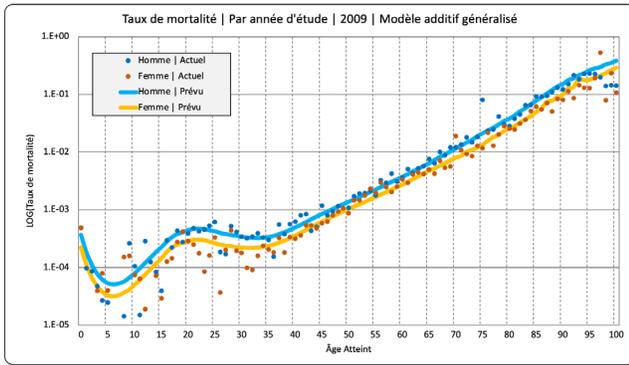
#### 4.4.4. Évaluation visuelle

Les graphiques qui suivent présentent les courbes de mortalité agrégées pour les hommes et les femmes selon l'année. Le MAG a réussi à s'adapter à la tendance globale de la courbe de mortalité, y compris la bosse autour de 20 ans.

Dans les graphiques qui suivent, l'axe des x est AttdAge (âge atteint). AttdAge 0 est la durée 1. AttdAge 1 est la durée 1 (pour l'âge à l'émission 1) et la durée 2 (pour l'âge à l'émission 0), et ainsi de suite. Il s'agit donc d'un graphique agrégé pour toutes les durées et tous les âges à l'émission afin de montrer l'ajustement dans l'ensemble des données. On y parvient en additionnant les décès et le montant des expositions, puis on calcule la courbe de mortalité selon l'âge atteint.

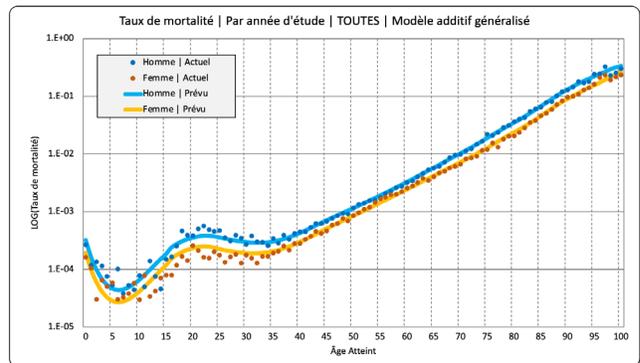
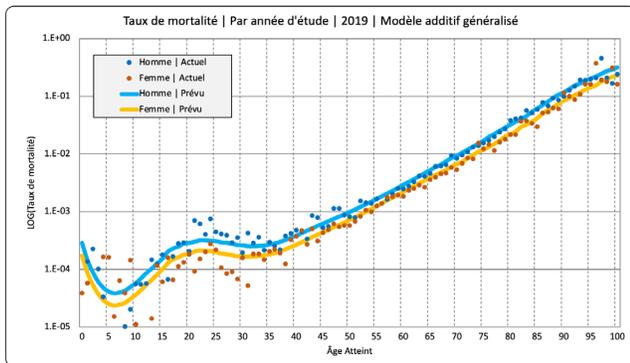
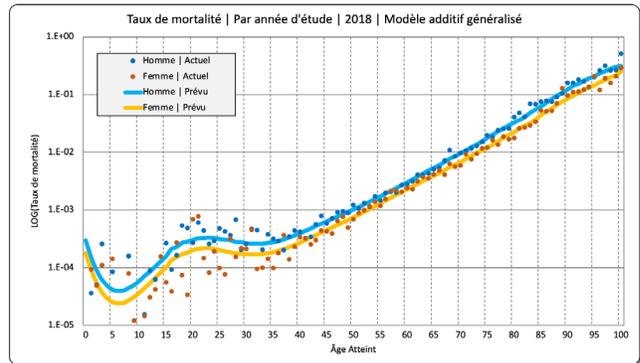
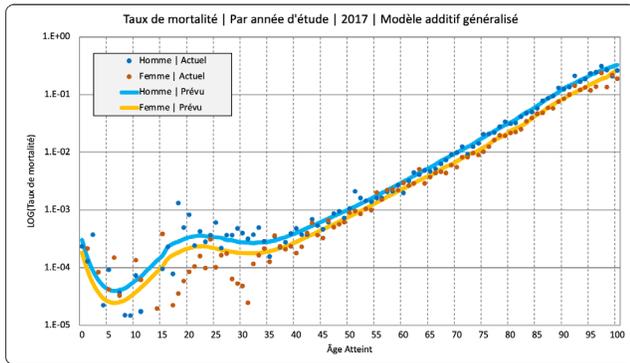
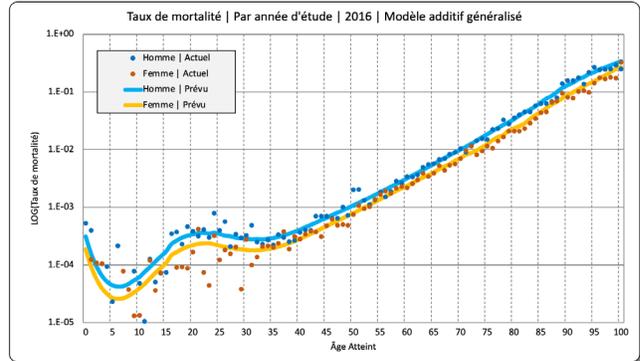
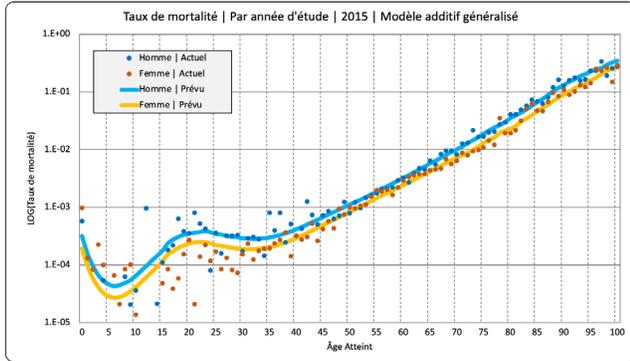


Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, 2009-2019, agrégée dans d'autres champs, pour le MAG





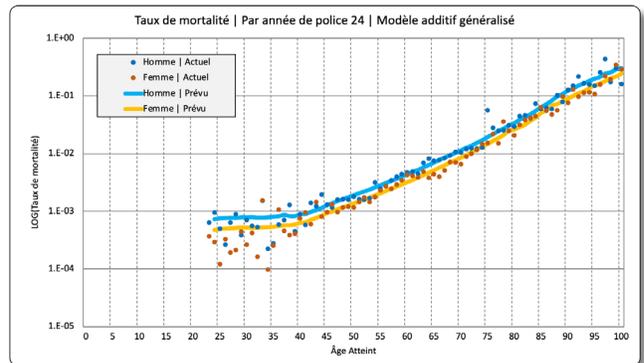
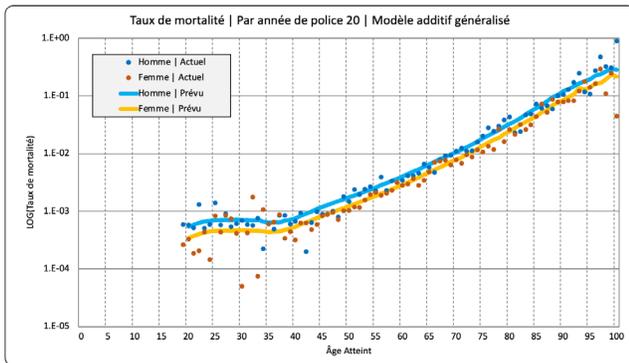
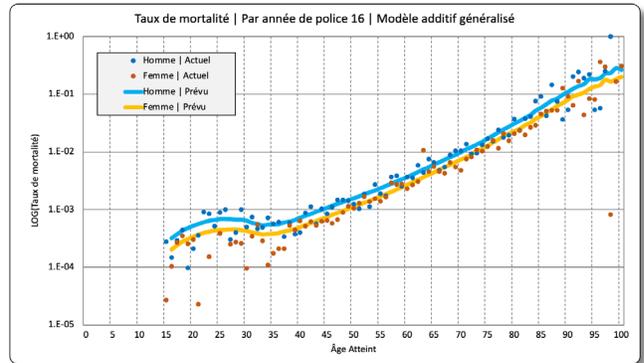
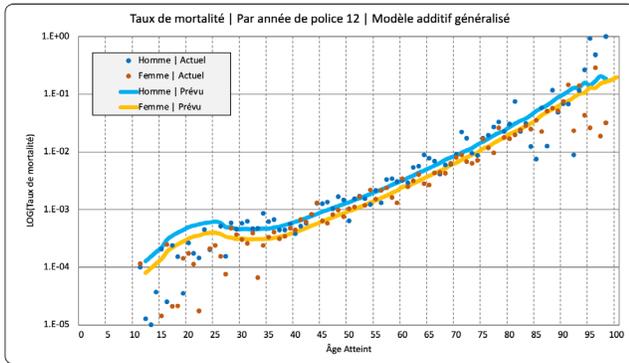
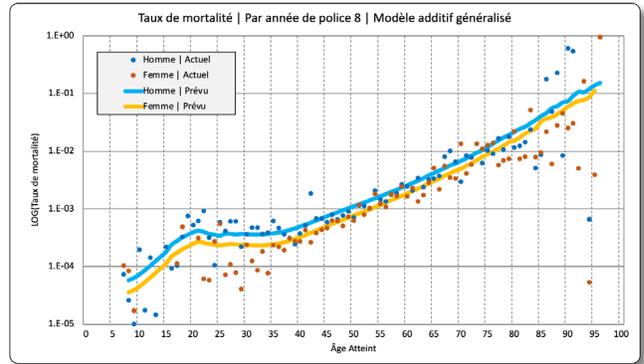
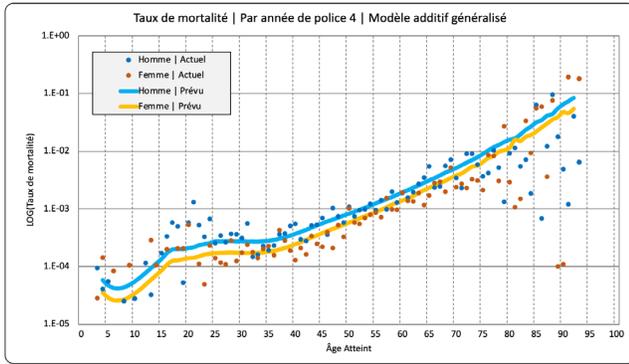
Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, 2009-2019, agrégée dans d'autres champs, pour le MAG





Les graphiques qui suivent présentent les courbes de mortalité pour les tranches de quatre années d'assurance. Une tendance nettement à la hausse des taux de mortalité peut être observée, particulièrement lorsqu'on compare l'année d'assurance 4 à l'année d'assurance 24.

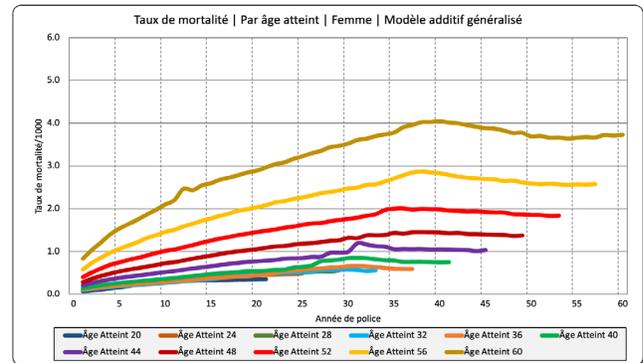
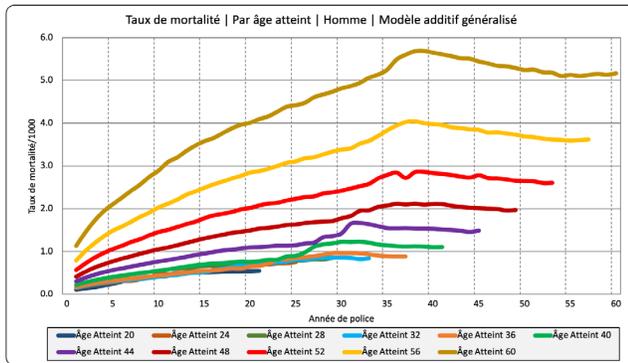
*Mortalité, réelle et prévue, selon le sexe, années d'assurance 4 à 24 par tranches de quatre années, agrégée dans d'autres champs, pour le MAG*





Les prochains graphiques montrent explicitement la mortalité par année d'assurance pour les 20 à 60 ans, par tranches de quatre ans. Nous pouvons constater que la mortalité s'aggrave à tous les âges jusqu'à environ l'année d'assurance 40; elle se stabilise par la suite.

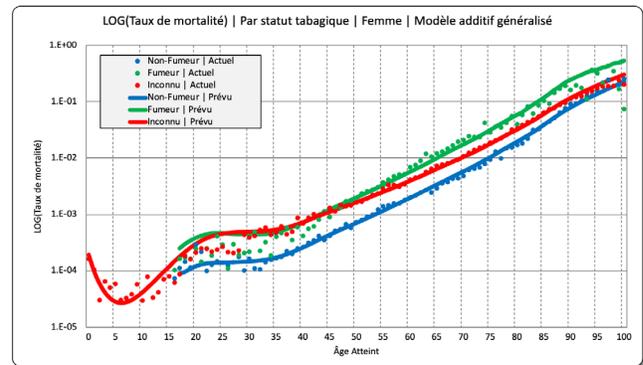
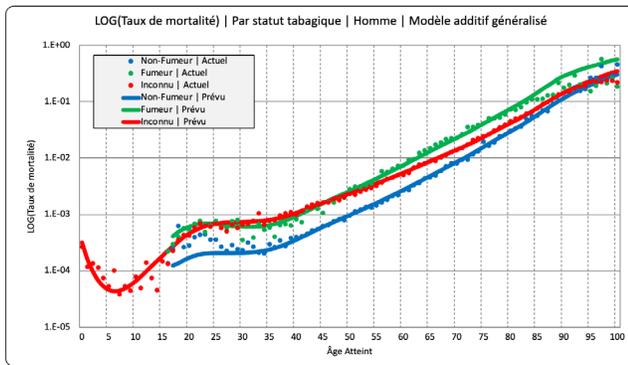
*Mortalité selon l'année d'assurance et le sexe, les âges atteints de 20 à 60 ans par tranches de quatre ans, groupés dans d'autres champs, pour le MAG*



Dans les inspections visuelles ci-dessus, nous pouvons constater clairement que la table MAG2014 a bien évalué la tendance de la mortalité, bien qu'elle n'ait pas donné de détails plus précis aux âges plus jeunes. Il convient de souligner que la courbe diminue aux âges les plus avancés, surtout pour la courbe la plus élevée, à 60 ans. Cette situation est contraire au sens commun et suggère un surajustement. Lors de la construction de la table MAG2014, des splines sont créées en fonction de l'année d'assurance sans tenir compte de l'exposition et il est donc possible que le manque de données aux âges avancés entraîne un surajustement. On peut corriger cette situation en ajustant la base spline pour tenir compte d'abord de la quantité de données d'une année d'assurance à l'autre et en limitant leur sensibilité aux âges plus avancés.

Les graphiques qui suivent montrent comment le modèle a établi une différence entre les fumeurs et les non-fumeurs des deux sexes, montrant une mortalité légèrement plus élevée chez les fumeurs, avec un statut inconnu entre les fumeurs et les non-fumeurs. Nous constatons que l'ajustement n'est pas solide aux âges avancés, particulièrement chez les femmes fumeuses et les personnes dont le statut de fumeur est inconnu.

Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, statut de fumeur, agrégé dans d'autres champs, pour le MAG



## 5. MODÈLES DE RÉSEAU DE NEURONES | APPRENTISSAGE PROFOND

### 5.1. Qu'est-ce qu'un modèle de réseau de neurones (apprentissage profond)?

Richman (2021a)<sup>2</sup> décrit l'apprentissage profond comme l'approche moderne de la conception et de l'ajustement des architectures de réseaux de neurones. En outre, Richman (2021a) note que les modèles de réseaux de neurones peuvent être considérés comme des généralisations des MLG où plusieurs couches intermédiaires,  $Z^l$ , apprennent des représentations des données à utiliser comme caractéristiques dans un MLG pour faire des prédictions. Plus précisément, un modèle de réseaux de neurones entièrement connecté<sup>3</sup> à  $L$  est défini comme suit :

$$\begin{aligned}
 Z^1 &= \sigma_0 (C_0 + B'_0 X) \\
 Z^2 &= \sigma_1 (C_1 + B'_1 Z^1) \\
 Z^3 &= \sigma_2 (C_2 + B'_2 Z^2) \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 Z^L &= \sigma_{L-1} (C_{L-1} + B'_{L-1} Z^{L-1}) \\
 y &= \sigma_L (C_L + B'_L Z^L)
 \end{aligned}$$

<sup>2</sup> Richman, Ronald. Mind the Gap - Safely Incorporating Deep Learning Models to the Actuarial Toolkit (2 avril 2021). Disponible sur SSRN : <https://ssrn.com/abstract=3857693> ou <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3857693>. Un exemplaire est fourni avec le présent rapport.

<sup>3</sup> L'expression « feed-forward » décrit la circulation de l'information dans un réseau de neurones en ce sens qu'aucune information n'est envoyée *en arrière* ou *cyclée* dans le réseau, c.-à-d. que l'information avance de façon stricte. Il existe d'autres formes de modèles de réseau de neurones qui cyclent l'information, comme les réseaux de neurones récurrents, mais elles ne sont pas utilisées et ne font donc pas l'objet de discussions plus approfondies. L'expression « entièrement connecté » signifie que tous les nœuds sont reliés d'une façon ou d'une autre à tous les autres nœuds du réseau.



où :

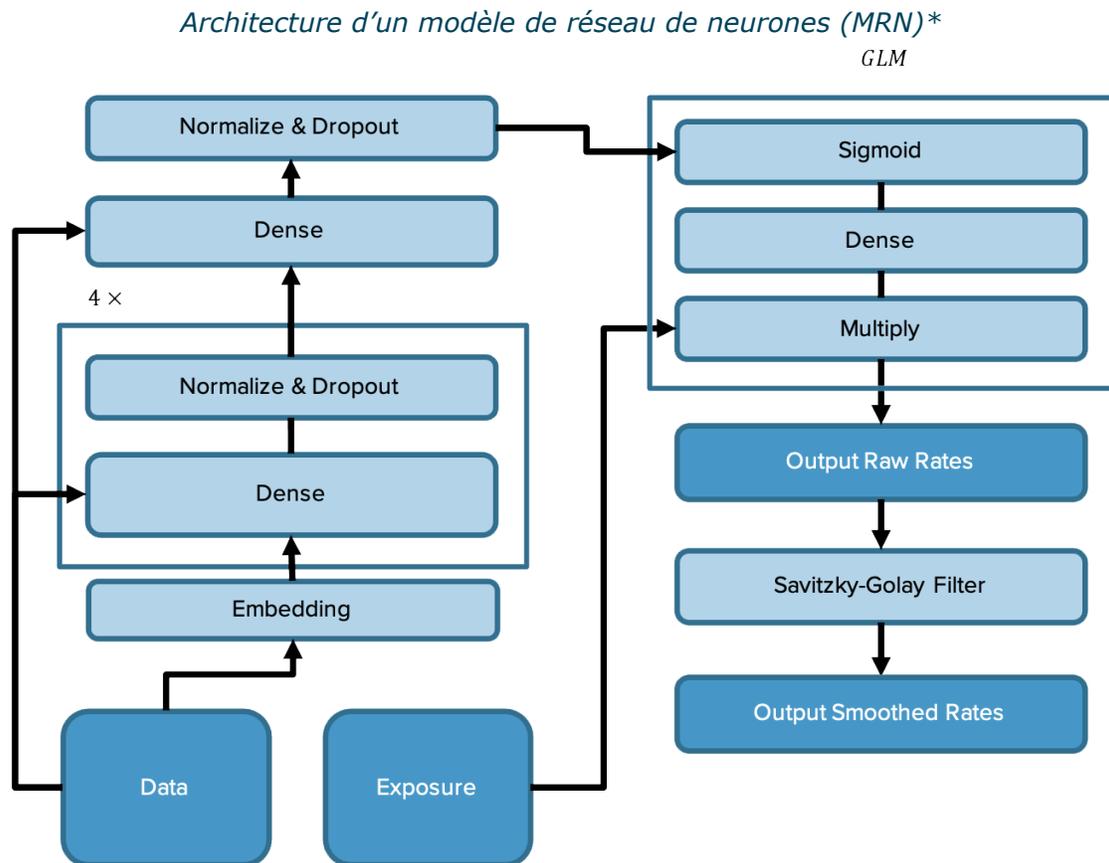
- $L \in \{1, 2, 3, \dots, L\}$  est le nombre de couches intermédiaires;
- $Z^l$  sont des couches intermédiaires;
- $B_l$  sont des matrices de coefficients de pondération (analogues aux coefficients dans un MLG);
- $c_l$  sont des termes constants;
- $\sigma_l$  sont des fonctions d'activation qui peuvent être non linéaires;
- $y$  est la réponse.

Les couches intermédiaires,  $Z^l$ , constituent des représentations complexes des données d'entrée, que nous pouvons considérer comme des caractéristiques techniques qui seront utilisées dans la couche finale pour prédire  $y$ . Cette couche finale est donc un MAG avec les caractéristiques d'entrée  $Z^L$ . Le choix de la fonction d'activation dans les couches intermédiaires consiste principalement à limiter l'information à un petit domaine, car les modèles de réseau de neurones fonctionnent mieux lorsque toutes les composantes numériques sont proches de 0 (c.-à-d. dans la fourchette  $[-1, 1]$ ). La sélection de la fonction d'activation finale,  $\sigma_L$ , est liée au problème de prédiction en cours et puisque la couche finale forme un MLG, un choix naturel est l'inverse de la fonction de lien d'un MLG équivalent. Enfin, un modèle de réseau de neurones est réputé profond (et donc comme effectuant un apprentissage profond) lorsque  $L$  est d'au moins 3.

## 5.2. Forme du modèle

Lorsqu'on construit des modèles de réseau de neurones profonds, le choix de l'architecture constitue la principale considération. Richman (2021) démontre une architecture qui donne de bons résultats pour prévoir la mortalité; toutefois, sa principale limite réside dans le fait qu'elle ne produit pas de prévisions lisses des taux de mortalité. Pour y remédier, nous avons appliqué un filtre SavitzkyGolay aux taux bruts pour obtenir des taux lissés. Les résultats de performance numérique dans l'échantillon et hors de l'échantillon considérés ci-dessous utilisent les taux non lissés. On s'attend à ce que le lissage dégrade la performance de façon immatérielle. L'analyse des résultats pour les taux lissés par rapport aux taux sélects et ultimes montre que la performance est encore extrêmement élevée.

Cette architecture est décrite dans le diagramme ci-dessous :



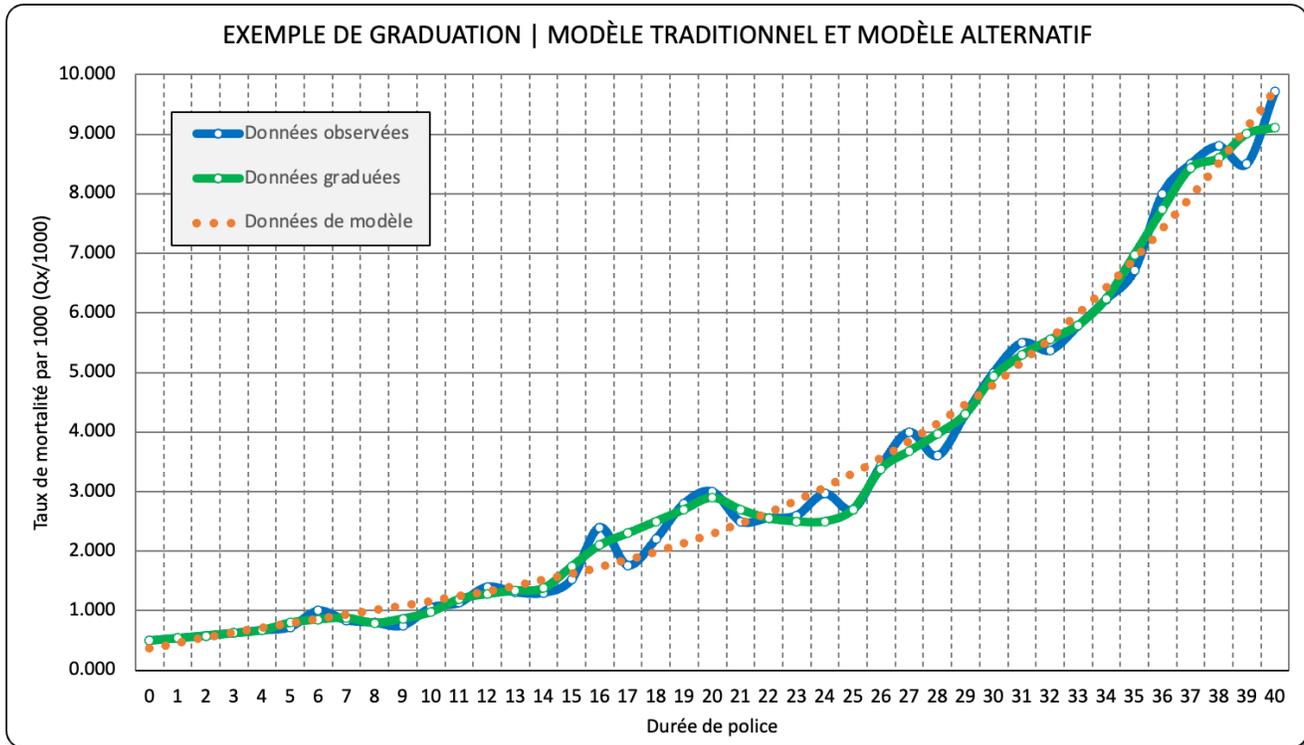
\*Cette figure est disponible en anglais seulement.

Nous avons inclus le lissage pour vérifier le caractère raisonnable des taux finaux. Certains peuvent être en désaccord, soutenant que les taux d'une durée à l'autre ou d'un âge à l'autre n'ont pas nécessairement besoin d'être lisses. Le manque de lissage refléterait un plus grand nombre d'écartés réels par rapport aux attentes et pourrait être davantage inhérent aux méthodes traditionnelles de graduation, qui ont pour objectif principal de refléter l'expérience. L'utilisation de MAG et de MRN sous-entend que les résultats finaux doivent être lisses puisque les taux sont générés au moyen d'un modèle. Bien que le modèle soit influencé par les données réelles, son objectif ne consiste pas nécessairement à refléter tous les comportements inhabituels. Un exemple de ce phénomène est encore une fois que le groupe des femmes fumeuses plus âgées affiche une mortalité plus élevée que le groupe correspondant des hommes fumeurs.

Supposons que l'exemple suivant est très simple à illustrer. La ligne bleue du graphique ci-dessous représente les données observées. La ligne verte représente les données graduées. Supposons en



outre que nous nous attendons à ce que les taux de mortalité augmentent selon la durée, ce qui est vrai dans la plupart des cas, sauf dans certains cas vers l'âge de 20 à 30 ans et particulièrement pour les hommes.



Les données observées dans le graphique ci-haut montrent que le taux augmente à la durée 16, puis diminue à la durée 17. Il augmente encore aux durées 18, 19 et 20. Ensuite, il suit un mouvement ascendant et descendant, mais dans l'ensemble il suit une tendance ascendante, comme prévu. La ligne verte (graduée) tente de créer une transition harmonieuse d'une durée à l'autre, mais aussi d'ajuster les données. Ce faisant, le taux augmente rapidement aux durées 16 à 20, où il commence à diminuer jusqu'à la durée 24, avant d'augmenter de nouveau. Cela reflète une méthode de graduation plus traditionnelle.

Le taux modélisé (Données de modèle) tente de suivre la tendance générale des taux observés. Toutefois, il sait que les taux ne sont pas censés augmenter ou diminuer rapidement et que le modèle procède par itération pour lisser les taux finaux.

Cet exemple est une simplification excessive et les chiffres sont fictifs pour illustrer ce point. Dans les faits, selon les variables prédictives utilisées et leur coefficient ou leur poids, les taux modélisés



peuvent être lisses pour refléter une tendance de mortalité attendue ou être surévalués si désiré et se rapprocher des données observées, un peu comme dans le cas de la ligne verte.

### 5.3. Résultats

Les résultats présentés dans cette section reposent sur la table MRN2014 construite à partir des données d'expérience réelles combinées de 2009 à 2019. Une précision s'impose : ils ne comprennent pas les résultats des tables projetées pour les années 2020 à 2024. C'est le cas tout au long du présent rapport, sauf indication contraire.

#### 5.3.1. Évaluation numérique | Dans l'échantillon et hors de l'échantillon

Modèle de réseaux de neurones   Évaluation numérique		
	Dans l'échantillon*	Hors de l'échantillon*
Déviance de Poisson	91.21	117.52
Kolmogorov-Smirnov	1.00	0.90

\* : taux non lisses

En ce qui concerne la déviance de Poisson, l'ajustement montre une légère détérioration des données hors de l'échantillon indiquant une forte capacité de généralisation. Compte tenu de la mesure KS, nous constatons que la statistique est extrêmement élevée, ce qui indique que les données proviennent probablement de la même distribution, ou en d'autres termes, que les distributions des données sont probablement équivalentes. Cela vaut pour les données hors de l'échantillon, où il y a une légère détérioration.

#### 5.3.2. Périodes sélectes et ultimes

Modèle de réseaux de neurones   Évaluation numérique		
	Sélecte	Ultime
Déviance de Poisson	185.24	47.33
Kolmogorov-Smirnov	0.99	0.95

Lorsque l'on compare les tables ICA2014 sélecte et ultime, le MRN fait preuve d'une performance supérieure pour les données sélectes et est légèrement moins performant pour les données ultimes. La mesure KS donne de très bons résultats tant pour les données sélectes que pour les données ultimes, dépassant le MAG et affichant une performance légèrement inférieure à celle de la table ICA2014 pour les données ultimes.

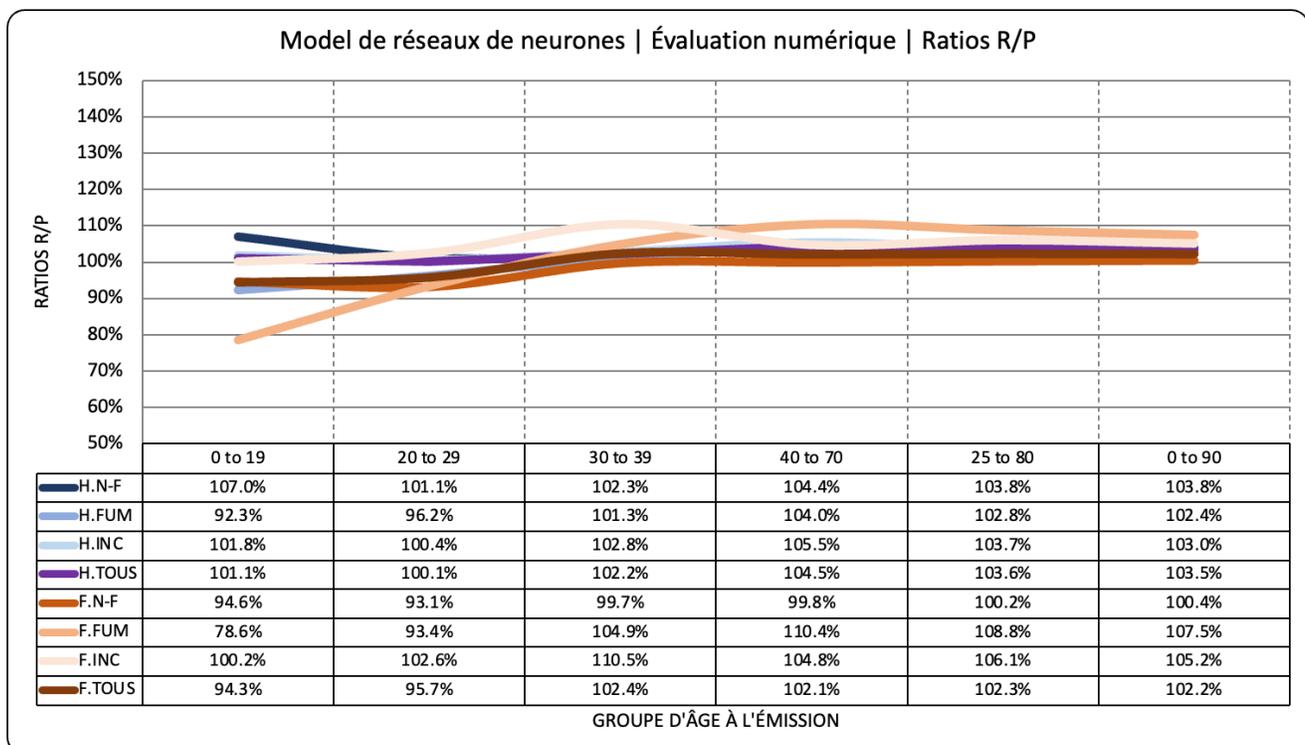


Pour plus de détails sur l'évaluation de la table ICA2014, veuillez consulter l'annexe A. Pour une comparaison plus détaillée entre la table MRN2014 et la table ICA2014, veuillez consulter l'annexe D. Plus particulièrement, pour une comparaison du déviant de Poisson et de la mesure de Kolmogorov Smirnov, voir la section D.7 de l'annexe D.

### 5.3.3. Ratios R/P

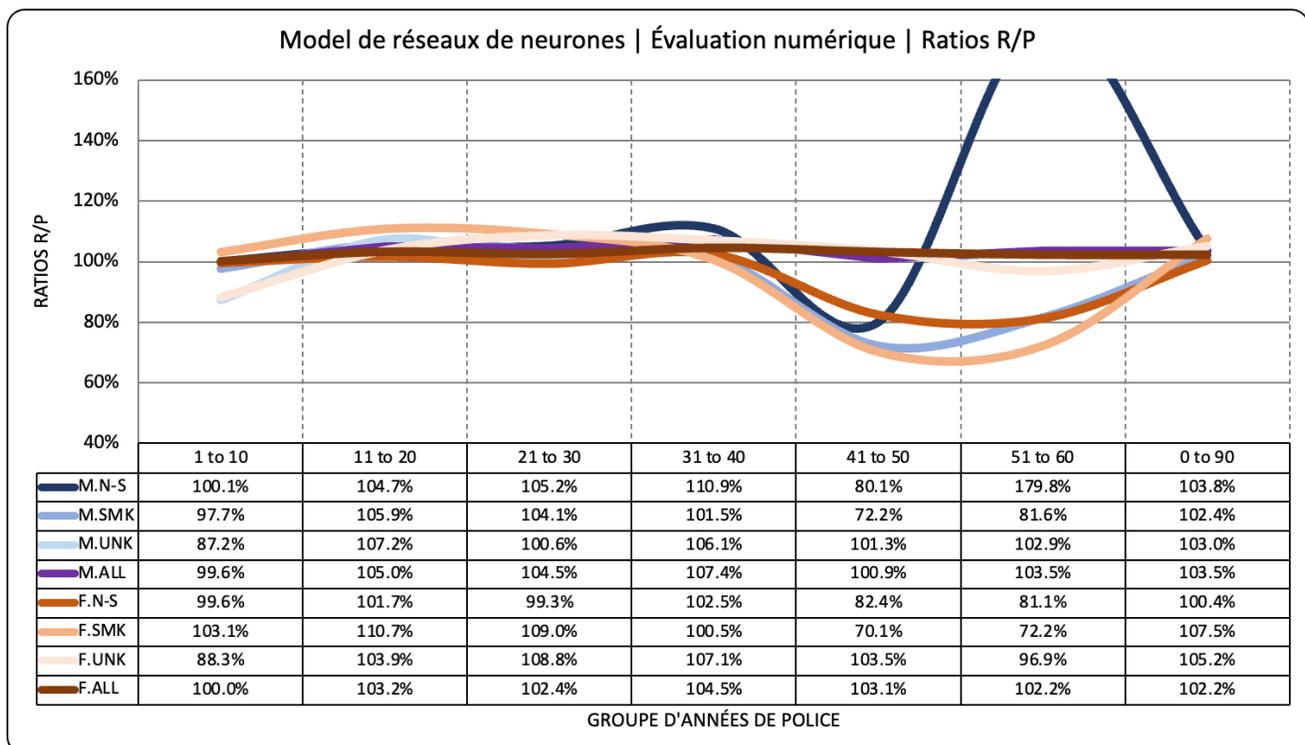
Les graphiques et les tableaux ci-dessous montrent les ratios R/P pour chaque catégorie de risque et divers groupes d'âge à l'émission, rassemblés pour toutes les années d'expérience. La valeur réelle (R) représente les sinistres de décès réels fournis par les entreprises et modifiés par M. Howard. La valeur prévue (P) représente les sinistres de décès prévus calculés à l'aide des taux MRN2014.

Comparativement aux ratios de la table MAG2014, les ratios de la table MRN2014 sont plus stables, quoique légèrement biaisés à plus de 100,0 %. Aux âges plus jeunes à l'émission, la performance se rapproche globalement des résultats réels. Aux âges plus avancés à l'émission, le MRN est légèrement inférieur aux taux réels, plus particulièrement pour les femmes.





Le graphique et le tableau qui suivent présentent de nouveau les ratios R/P, mais cette fois pour diverses années d'assurance. Les ratios R/P présentent un bien meilleur ajustement que le MAG aux dernières années d'assurance malgré les données peu abondantes, quoiqu'il y ait encore un certain écart par rapport à 100 %. Il convient de souligner que les hommes non-fumeurs âgés de plus de 51 ans affichent un niveau de variation élevé. On note l'existence d'un nombre particulièrement élevé de sinistres pour les hommes non-fumeurs aux âges avancés, ce qui fait augmenter le ratio.

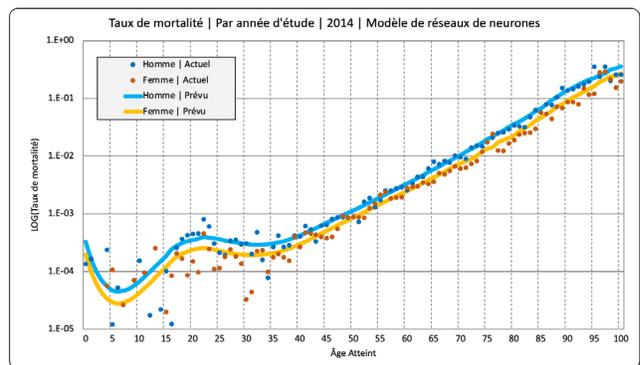
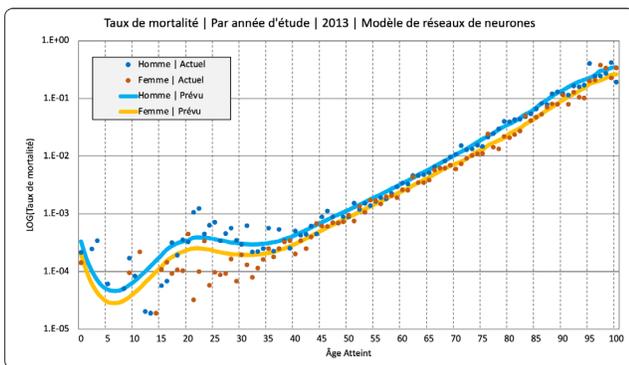
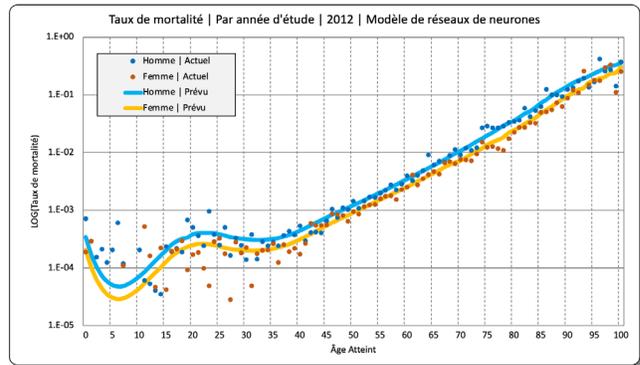
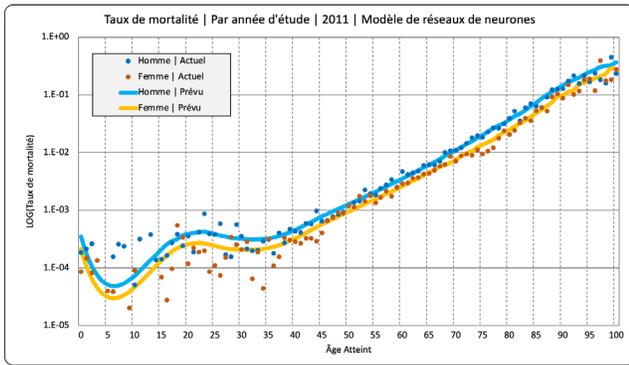
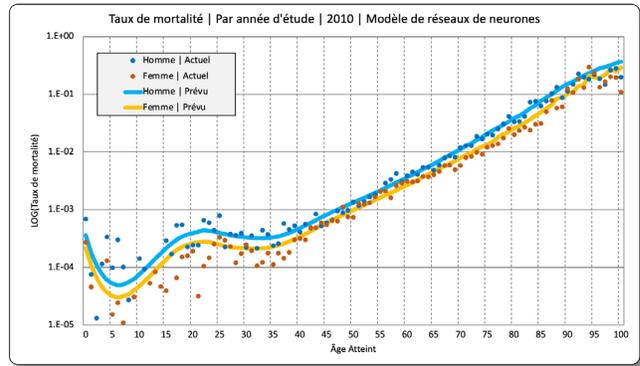
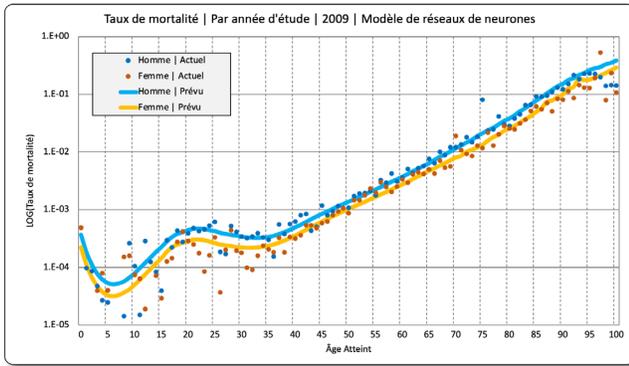


#### 5.3.4. Évaluation visuelle

Le graphique qui suit montre les courbes de mortalité groupées des hommes et des femmes par année. Le MRN a réussi à s'adapter à la tendance globale de la courbe de mortalité, ainsi qu'aux subtilités des jeunes âges.

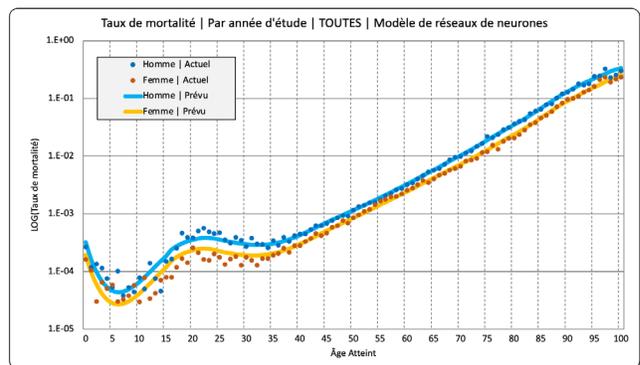
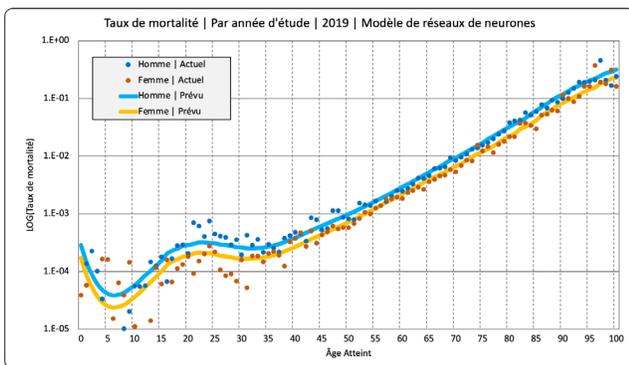
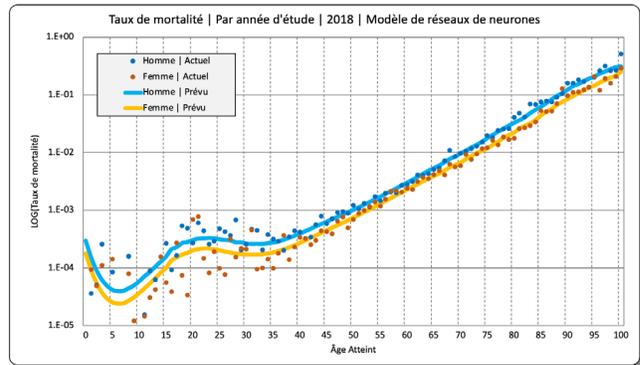
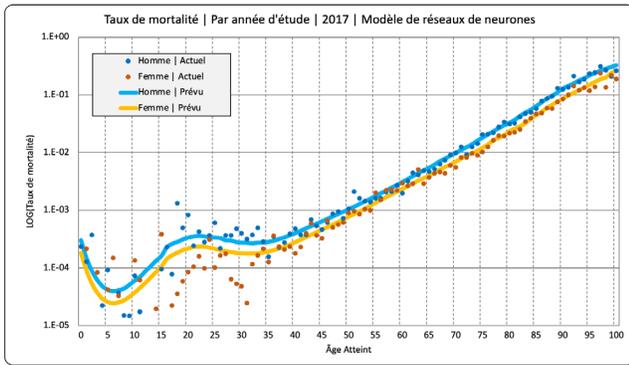
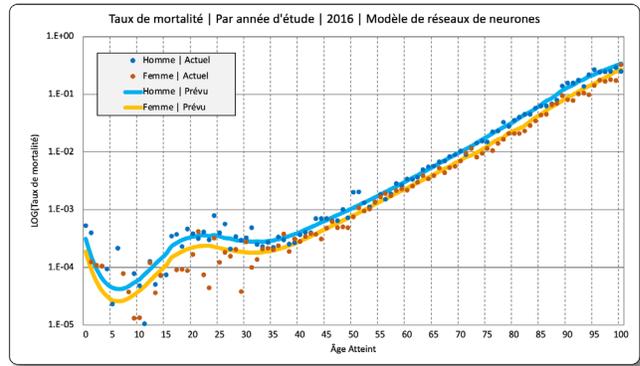
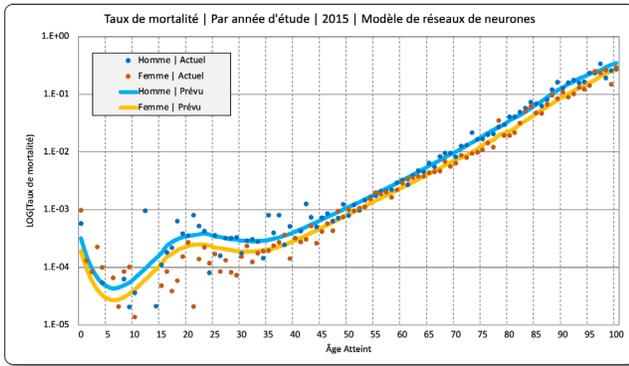


Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, 2009-2019, agrégée dans d'autres champs, pour le MRN





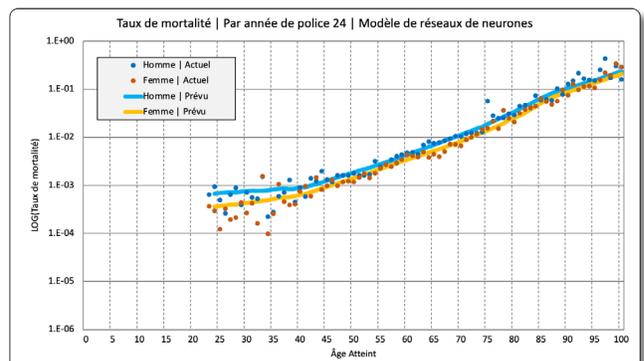
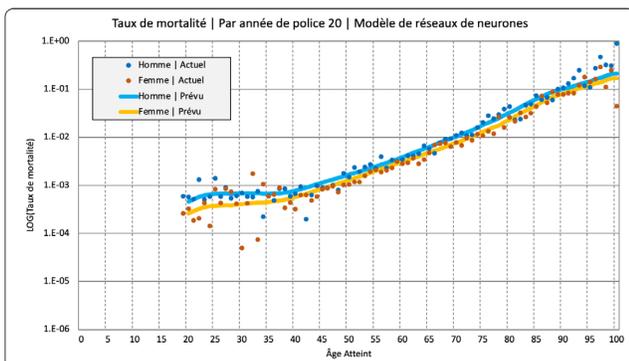
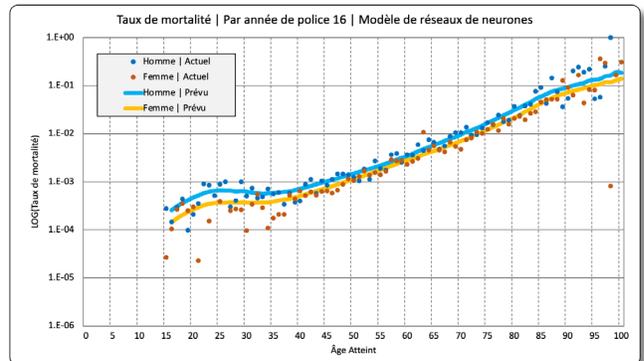
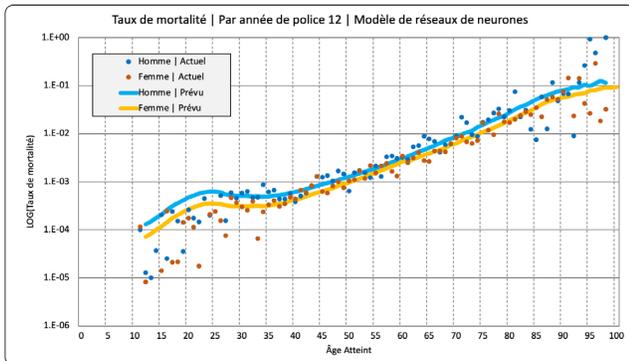
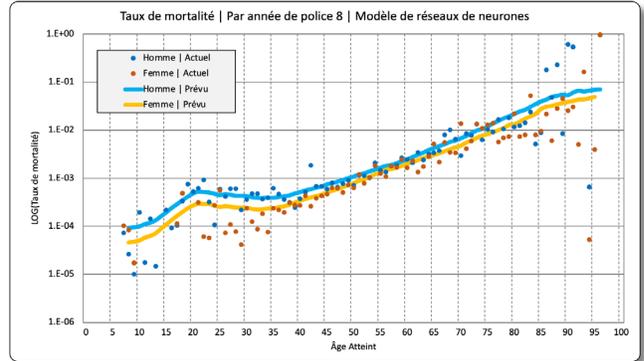
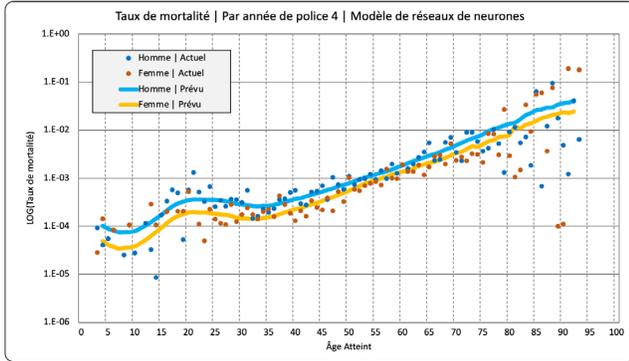
Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, 2009-2019, agrégée dans d'autres champs, pour le MRN





Les graphiques qui suivent présentent les courbes de mortalité par tranches de quatre années d'assurance. Encore une fois, le MRN a appris une tendance claire de sélection au fil du temps.

*Mortalité, réelle et prévue, selon le sexe, années d'assurance 4 à 24 par tranches de quatre années, agrégée dans d'autres champs, pour le MRN*

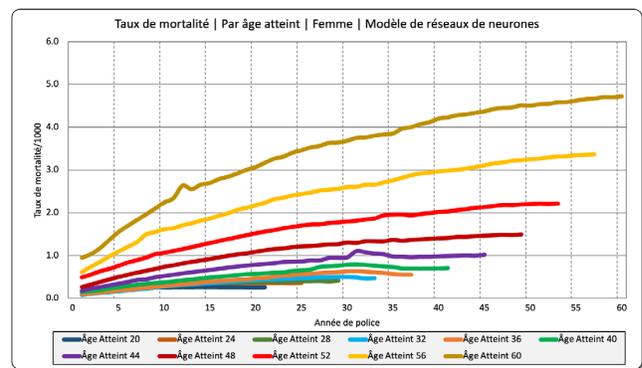
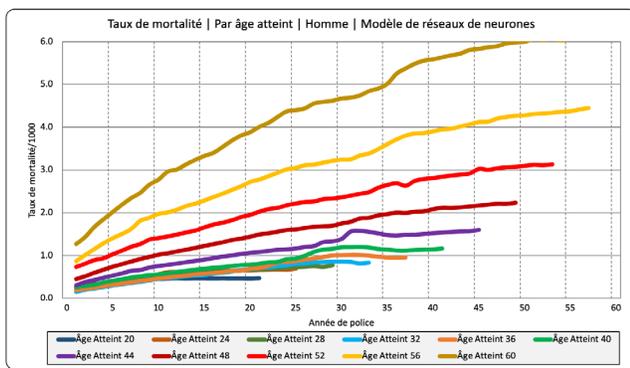




Les graphiques qui suivent montrent explicitement la mortalité par année d'assurance, cette fois pour la table MRN2014. Nous pouvons constater que la mortalité s'aggrave à tous les âges, ce qui montre que l'effet sélect se poursuivra pendant au moins 60 ans. L'approche MRN présente l'avantage que l'utilisateur des tables peut choisir sa propre période sélecte, puis les taux ultimes peuvent être calculés à partir du reste des années d'assurance.

Il convient de noter que le surajustement observé dans la table MAG2014 n'est pas présent ici. Toutefois, le surajustement demeure un risque et une amélioration possible à l'avenir consiste à régulariser l'ajustement au fil des années d'assurance afin de limiter le modèle et de réduire tout surajustement possible.

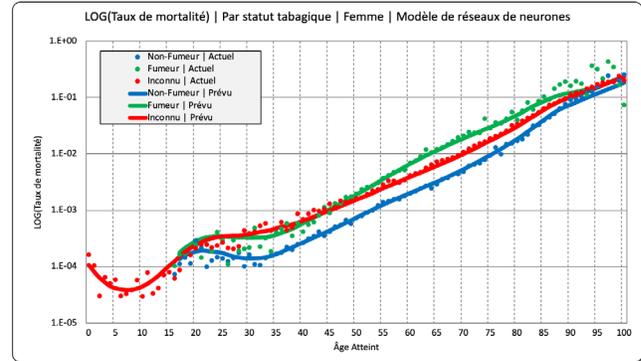
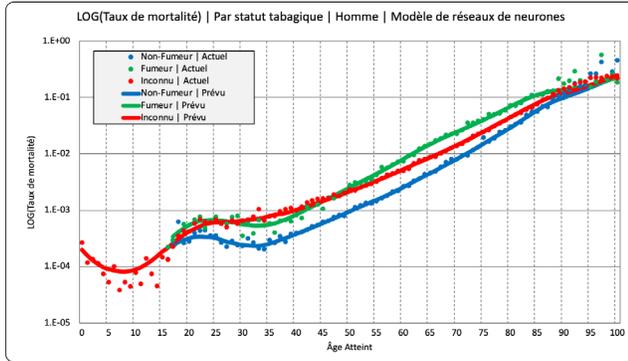
*Mortalité selon l'année d'assurance et le sexe, âges atteints de 20 à 60 ans par tranches de quatre ans, agrégée dans d'autres champs, pour le MRN*



Comparativement à la table MAG2014, la table MRN2014 est beaucoup plus sensible aux variations de la mortalité selon l'âge. Cela est plus évident dans les graphiques suivants, qui montrent comment le modèle a établi une différence entre les fumeurs et les non-fumeurs des deux sexes, une mortalité légèrement plus élevée chez les fumeurs et, en fait, des formes de courbe légèrement différentes pour les fumeurs par rapport aux non-fumeurs, surtout chez les femmes. En examinant la courbe pour le statut de fumeur inconnu, nous constatons également que, pour certains âges, la mortalité des fumeurs (statut inconnu) est pire que celle des fumeurs (statut connu).



## Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, statut de fumeur, agrégée dans d'autres champs, pour le MRN



## 6. MRN2014 par rapport à MAG2014

### 6.1. Performance

La table MRN2014 donne de meilleurs résultats que la table MAG2014, celle-ci étant limitée en ce sens qu'il existe une relation non fixe mais linéaire entre différentes catégories. La table MRN2014 élimine cette limite pour mieux ajuster l'expérience. La table MRN2014 permet d'éviter un surajustement dans les situations où l'expérience ne correspond pas au modèle prédictif. Nous pouvons envisager le cas de cette façon : *le modèle commence par l'expérience, produit des itérations pour générer les variables afin de créer les taux et examiner l'ajustement, crée des itérations de nouvelles variables et répète le cycle*. Si l'expérience ne correspond pas à certains points (A), mais à la plupart des points (B), les points (A) sont rejetés. Nous devrions rappeler la table ICA2014 avec le groupe des femmes fumeuses âgées de 85 à 90 ans, où la mortalité *n'est traditionnellement pas censée* dépasser celle du groupe des hommes fumeurs. Mais comme les données le démontrent, la méthode WH a conservé cette caractéristique et il a été décidé de ne pas la modifier manuellement. Le MAG et le MRN tentent de modéliser les taux au moyen de variables et de coefficients. Si les variables sont étalonnées pour produire tous les taux et que, généralement (ou habituellement), les taux pour les hommes sont plus élevés que ceux des femmes, cela évitera alors cette situation pour les taux relatifs aux femmes fumeuses plus âgées. Pour ce qui est des ratios R/P, le MRN est pire que le MAG. Le MRN est légèrement plus biaisé que le MAG et les résultats semblent pires dans l'ensemble. Toutefois, il s'ajuste mieux dans l'ensemble et offre une capacité prédictive supérieure pour les autres mesures.



## 6.2. Choix des variables

Un membre du GSP a demandé s'il serait possible de comparer l'ajustement avec et sans chacune des variables ou en ne sélectionnant que quelques variables. Par exemple, on pourrait comparer les résultats du modèle avec toutes les variables choisies par rapport aux résultats révisés du modèle, en excluant la variable de durée. Cela peut donner un aperçu de la variable la plus importante par rapport à une autre.

Bien que cela puisse nous aider à comprendre ce qui se passe réellement dans les modèles, il y aurait beaucoup de travail à accomplir et à en rendre compte de la façon appropriée. Et si nous devions exclure une variable qui est par ailleurs considérée comme cruciale, disons l'âge à l'émission, le modèle pourrait simplement devenir incontrôlable. L'exclusion de l'année civile observée peut fonctionner parce que la seule différence entre les années civiles est, *en théorie*, l'amélioration implicite de la mortalité.

Mais voici une question intéressante : qu'arriverait-il s'il n'y avait pas vraiment d'amélioration intrinsèque de la mortalité, mais qu'en fait (disons pour le Canada) l'amélioration serait le résultat du réchauffement climatique, où les hivers sont moins rigoureux au fil du temps? Et si cette amélioration était liée aux changements dans les habitudes alimentaires dans l'ensemble (chacun en sait davantage sur la question aujourd'hui qu'il y a 20 ans)? Donc, si nous devions atteindre un climat stable ou le sommet au niveau des habitudes alimentaires, la mortalité cesserait-elle de s'améliorer?

On peut trouver de nombreux autres exemples, dont la pandémie de COVID19. Bien que la mortalité ait augmenté temporairement dans la plupart des pays en raison de la pandémie, elle a diminué dans certains pays en raison des confinements. Si, en raison d'une peur de la pandémie, les gens voyagent de moins en moins, cela contribuerait-il à l'amélioration globale de la mortalité en raison de la réduction du nombre de décès accidentels?

Il se peut donc que l'écoulement du temps ne soit pas la véritable raison de l'amélioration de la mortalité. Nous observons simplement la corrélation qui, en fait, n'existe peut-être pas du tout. Peut être que les véritables variables à ajouter au modèle sont un indice du réchauffement de la planète et un indice général de la santé publique.



## 7. AMÉLIORATION DE LA MORTALITÉ

### 7.1. Amélioration implicite de la mortalité

À l'aide de la technique du modèle de réseau de neurones, nous pouvons générer des tables par année civile. La table pour les années civiles 2009 à 2019 vise à refléter les résultats réels de ces années civiles, alors que les projections pour 2020 à 2024 ont été produites à l'aide du modèle. Il y a donc une amélioration ou une détérioration implicites de la mortalité d'une table à l'autre.

Les graphiques à la page suivante montrent l'amélioration annuelle implicite de la mortalité pour diverses catégories de souscription et âges à l'émission, pour chacune des méthodes de rechange. Le calcul est simple :

$$\text{Annual}MI_{[x+t]} = 1 - ({}^{2019}\text{Rate}_{[x+t]}/{}^{2009}\text{Rate}_{[x+t]})^{0.10}$$

où :

- $[x+t]$  est l'âge atteint pour l'âge à l'émission  $x$  à la durée  $t$ ;
- $MI_{[x+t]}$  est l'amélioration de la mortalité pour l'âge atteint  $x+t$ ;
- ${}^{2019}\text{Rate}_{[x+t]}$  est le taux de mortalité pour l'âge atteint  $x+t$ , dans la table de 2019;
- ${}^{2009}\text{Rate}_{[x+t]}$  est le taux de mortalité pour l'âge atteint  $x+t$ , dans la table de 2009.

Pour le MAG, l'amélioration de la mortalité est la même pour tous les âges, le sexe et le statut de fumeur (2,5 %). Toutefois, il existe un ajustement hors modèle qui fait passer l'amélioration de la mortalité vers 0 à 115 ans.

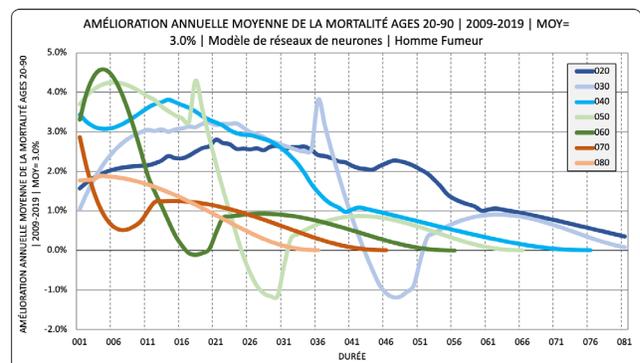
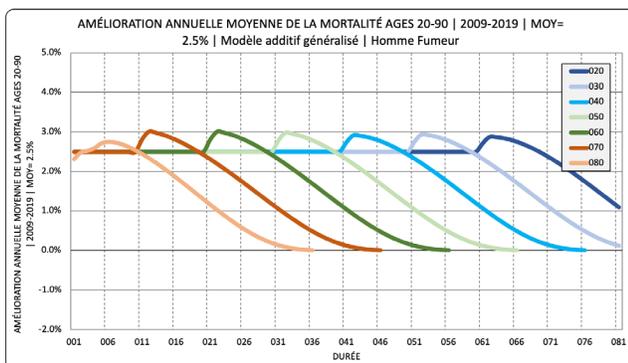
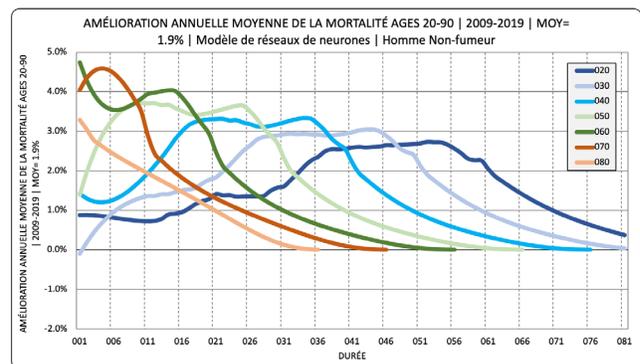
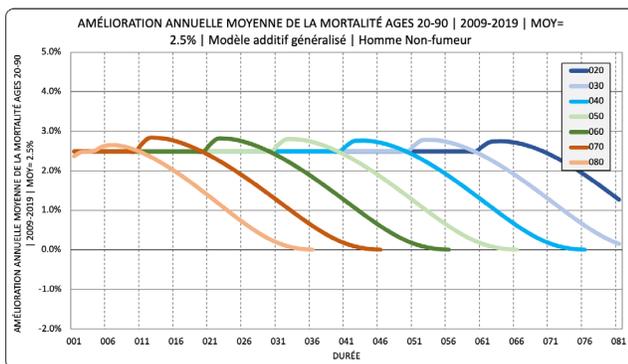
Nous avons également ajouté le taux annuel moyen pondéré pour les âges à l'émission de 20 à 90 ans à tous les âges atteints. Les pondérations utilisées étaient l'exposition pour l'âge à l'émission et la durée, agrégées sur toutes les années d'exposition 2009 à 2019. Bien qu'il s'agisse d'un seul chiffre et qu'il ne puisse évidemment pas être appliqué comme taux réel d'amélioration de la mortalité pour les calculs actuariels, il fournit une certaine mesure de comparabilité entre les méthodes globales et les catégories de souscription.

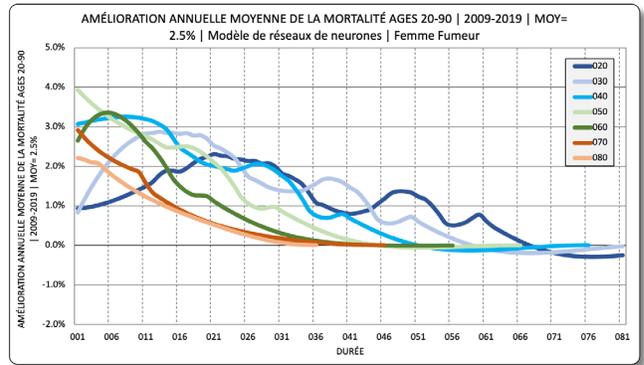
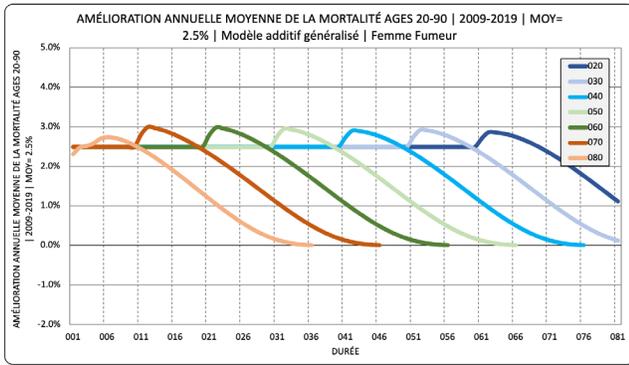
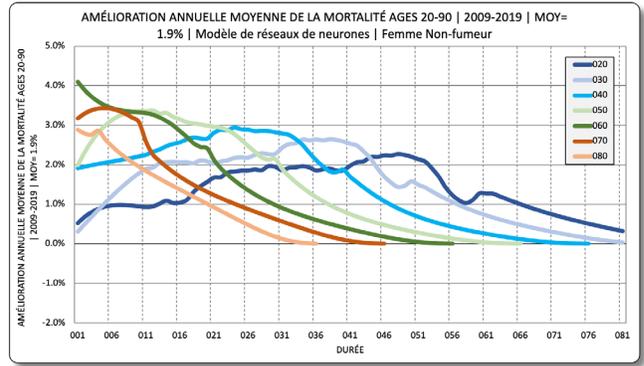
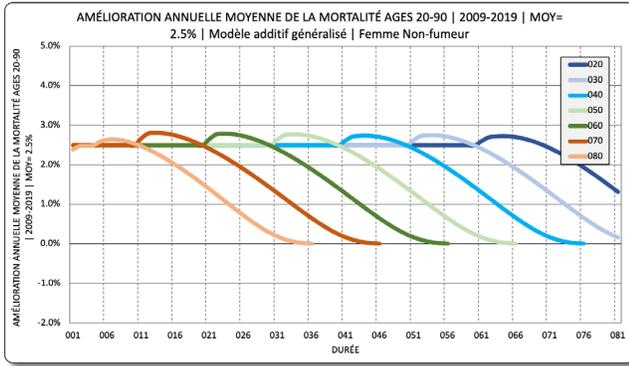


Les observations suivantes peuvent être faites :

- Dans l'ensemble, la table MAG2014 présente des taux d'amélioration de la mortalité (MI) légèrement plus élevés que ceux de la table MRN2014.
- Les taux MI de la table MAG2014 sont très proches les uns des autres et affichent certainement la même tendance.
- La table MRN2014 convient davantage que la table MAG2014. Nous constatons également qu'en règle générale, les taux MI chez les hommes fumeurs sont légèrement plus élevés que ceux des femmes fumeuses. Nous voyons ces preuves empiriques depuis un certain temps.
- Selon la table MRN2014, et en utilisant la moyenne pondérée comme valeur de référence, les taux MI des fumeurs sont plus élevés que ceux des non-fumeurs, particulièrement chez les hommes (3,0 % contre 1,9 %) par rapport aux les femmes (2,5 % contre 1,9 %).

### Taux annuels implicites d'amélioration de la mortalité (2009–2019)







## 8. CONCLUSIONS

### 8.1. Viabilité de la graduation de la mortalité à l'aide de méthodes de rechange

Dans le présent rapport, nous avons utilisé une méthode de rechange largement adoptée, le modèle additif généralisé (MAG), une méthode de rechange plus largement utilisée, et, à notre connaissance, jamais adoptée auparavant, le modèle de réseau de neurones (MRN) pour établir des tables de mortalité fondées sur les données d'expérience de la mortalité. Compte tenu des résultats présentés dans le présent rapport, nous croyons que ces méthodes peuvent certainement être utilisées avec succès pour calculer des tables de mortalité qui sont exactes et qui offrent plusieurs avantages par rapport aux méthodes traditionnelles, comme la méthode de Whittaker-Henderson.

Les méthodes de rechange offrent plusieurs avantages que nous présentons plus en détail ci-dessous.

### 8.2. Avantages et inconvénients des méthodes de rechange par rapport aux méthodes de graduation traditionnelles

#### 8.2.1. Capacité prédictive

Le premier avantage des méthodes de rechange se situe dans la capacité prédictive. La méthode traditionnelle utilisée pour graduer les tables de mortalité, comme la méthode de Whittaker-Henderson, ne permet pas de prédire des données invisibles, car elle s'insère simplement dans une courbe des données observées. Les deux méthodes de rechange utilisées dans le présent rapport peuvent prédire la mortalité future invisible au moyen des coefficients de pondération et des biais estimés par les méthodes de modélisation utilisées. En effet, nous avons démontré la capacité de ces modèles à prédire des données futures invisibles en calculant les taux de mortalité à partir des données observées de 2009 à 2016, puis en évaluant la performance prédictive pour les autres années, soit de 2017 à 2019. Nous avons montré que les deux méthodes sont en mesure de bien prédire, la table MRN2014 étant plus performante que la table MAG2014.

#### 8.2.2. Relations plus étroites entre les prédicteurs

Le deuxième avantage réside dans la possibilité de modéliser des relations beaucoup plus étroites entre les prédicteurs; par ailleurs, nous sommes moins limités par des données manquantes. Le recours à une période sélecte de 15 ans ou 20 ans est surtout attribuable au fait qu'il devient



difficile d'utiliser des périodes plus longues en raison d'un manque de données crédibles. Les deux méthodes de rechange apprennent une représentation paramétrique des données qui leur permet d'extrapoler de façon fiable ou du moins raisonnable lorsque les données sont rares. Ainsi, nous pouvons pratiquement avoir une période sélecte illimitée et modéliser individuellement chaque âge à l'émission, avec une relative facilité. C'est principalement pour cette raison que les méthodes de rechange surpassent les méthodes traditionnelles.

De plus, le fait de ne pas avoir de période sélecte préétablie supprime les problèmes d'une telle période. Cela peut également éliminer les différences de souscription observées à certains âges ou montants. La période sélecte varierait également d'une entreprise à l'autre puisqu'elle reflète ses propres pratiques de souscription. Aux fins de la construction des tables futures, il conviendrait peut-être d'utiliser une période sélecte beaucoup plus longue, peut-être de 40 à 60 ans, mais en recourant à une approche MRN.

### 8.2.3. Plus facile à construire et à mettre à jour

Les avantages s'étendent plus loin que la prévision et des périodes sélectes illimitées. Nous croyons que les tables de rechange sont également plus faciles à construire malgré leur complexité de modélisation supplémentaire et qu'elles permettront une analyse et des mises à jour beaucoup plus fréquentes des résultats de mortalité si les données sont facilement accessibles. Plus particulièrement, en raison de la nature du MRN, les taux peuvent être mis à jour progressivement à chaque année à mesure que de nouvelles données sont fournies. Le réseau de neurones peut se souvenir de la forme générale de la courbe de mortalité, puis utiliser les données mises à jour pour apporter des ajustements mineurs à l'expérience de mortalité émergente, sans construire complètement le modèle à partir de la base.

L'ICA produit des ratios R/P à chaque année de passage supplémentaire en utilisant les résultats actualisés des entreprises. L'utilisation d'une méthode de rechange, le MRN par exemple, permettrait de mettre à jour de façon fiable la table de mortalité réelle sans trop d'efforts supplémentaires.

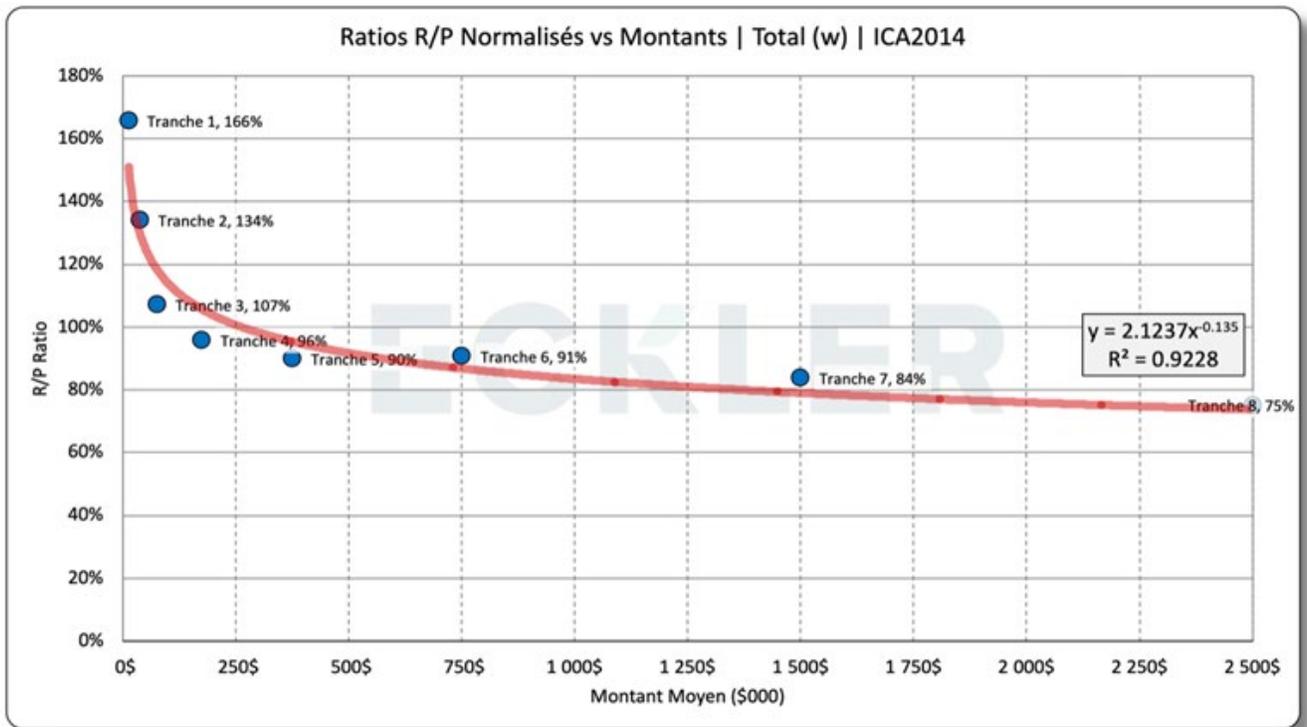
### 8.2.4. Niveaux de détail plus granulaires

Bien qu'ils ne soient pas pleinement démontrés dans le présent rapport, le MAG et le MRN peuvent s'étendre à des niveaux beaucoup plus détaillés. Dans une première version des tables, nous avons construit des tables de mortalité selon l'année, la durée, le statut de fumeur, le sexe, l'âge à l'émission et la tranche de taille. Nous avons décidé de ne pas inclure la tranche de taille, ce qui



aurait rendu le rapport et l'analyse trop compliqués. Toutefois, on constate que de telles capacités peuvent être utiles.

Même sans compliquer les modèles, des extensions peuvent être ajoutées à une table finale particulière pour la compléter et ajouter de nouvelles caractéristiques. Par exemple, en ce qui concerne la taille, nous pouvons montrer la relation entre la mortalité et la taille des polices en utilisant les résultats empiriques qui sous-tendent la table ICA2014. Les éléments suivants ont été calculés sur une base combinée : homme et femme, non-fumeur, fumeur et statut inconnu :



Ainsi, la courbe de puissance d'ajustement ci-dessus,  $\% \text{ table} = 2,1237 \cdot (\text{MONTANT}/1000)^{-0,135}$ , peut être utilisée pour calculer le pourcentage de l'hypothèse de table pour tout nombre de tailles de tranche. Le facteur de corrélation de 0,9228 est suffisamment élevé pour être fiable. Une courbe logarithmique fonctionnerait également,  $\% \text{ table} = -0,152 \cdot \text{LN}(\text{FACE}/1000) + 1,878$ , mais le facteur de corrélation est inférieur à 0,8683.

Le tableau ci-dessous est un exemple où la taille moyenne d'une tranche pourrait être utilisée ou aussi l'extrémité inférieure de la tranche comme marge supplémentaire, en utilisant la courbe de puissance illustrée ci-dessus :



% Table = 2.1237 • (MONTANT/1000) <sup>0.1350</sup>				
Tranche   Bas	Tranche   Haut	Moyenne	% Table (Moy)	% Table (Bas)
10 000\$	24 999\$	17 000\$	145.0%	155.0%
25 000\$	49 999\$	37 000\$	130.0%	140.0%
50 000\$	99 999\$	75 000\$	120.0%	125.0%
100 000\$	249 999\$	175 000\$	105.0%	115.0%
250 000\$	499 999\$	375 000\$	95.0%	100.0%
500 000\$	999 999\$	750 000\$	85.0%	90.0%
1 000 000\$	2 499 999\$	1 750 000\$	75.0%	85.0%
2 500 000\$	4 999 999\$	3 750 000\$	70.0%	75.0%
5 000 000\$	9 999 999\$	7 500 000\$	65.0%	65.0%
10 000 000\$	10 000 000\$	10 000 000\$	60.0%	60.0%

### 8.2.5. Capacité additionnelle pour mieux comprendre

Bien que les MRN soient souvent critiqués comme étant des modèles en *boîte noire* difficiles à interpréter, des recherches actives visent à améliorer leur *explicabilité*. La puissante capacité d'apprentissage des MRN en matière de représentation des caractéristiques leur permet de découvrir de nombreuses relations entre les caractéristiques et la mortalité, ce qui leur donne un aperçu supplémentaire de ce qui a une incidence sur la mortalité et de la façon dont il l'influence. Cela peut servir à mieux comprendre les facteurs qui peuvent influencer sur la mortalité de la population. Les recherches en cours montrent que les avantages d'intelligibilité des modèles linéaires généralisés peuvent être combinés au pouvoir prédictif supérieur des MRN pour dégager les effets linéaires et non linéaires sur la mortalité. Les lecteurs intéressés par une discussion plus approfondie peuvent consulter Richman (2021a)<sup>4</sup>, Richman (2021b)<sup>5</sup> et Richman (2021b)<sup>6</sup>.

### 8.2.6. Surajustement

La capacité supplémentaire de ces méthodes de rechange accroît le risque de surajustement. Il y a surajustement lorsqu'un modèle est trop proche des données et qu'il est donc incapable de généraliser, d'où un pouvoir prédictif limité. Cela peut être particulièrement préoccupant lorsque des sous-ensembles de données présentent des irrégularités qui ne devraient pas se répéter, ce qui amène le modèle à créer une représentation incorrecte des données. Le surajustement ne s'applique pas qu'au MAG ou au MRN, mais leur non-linéarité supplémentaire aggrave le surajustement s'il n'est pas correctement traité. La table MAG2014 fournit des preuves de

<sup>4</sup> Richman, Ronald. Mind the Gap - Safely Incorporating Deep Learning Models to the Actuarial Toolkit (2 avril 2021). Disponible sur SSRN : <https://ssrn.com/abstract=3857693> ou <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3857693>. Un exemplaire est fourni avec le présent rapport.

<sup>5</sup> Richman, Ronald et Mario V. Wüthrich. LocalGLMnet: interpretable deep learning for tabular data (26 juillet 2021). Disponible sur arXiv : <https://arxiv.org/abs/2107.11059v1>. Un exemplaire est fourni avec le présent rapport.

<sup>6</sup> Richman, Ronald. AI in Actuarial Science. The State of the Art | ASTIN Webinar. Disponible à : <https://www.youtube.com/watch?v=X0zYnkAopmQ>.



surajustement et indique que le taux de mortalité par année d'assurance diminue aux âges avancés, ce qui n'est pas prévu. Il existe des méthodes pour minimiser et manipuler le surajustement, et des efforts ont été faits à cet égard. Toutefois, il faut quand même faire preuve de prudence dans l'utilisation de ces tables, car il y a un risque de surajustement; d'autres améliorations pourraient être apportées pour réduire le surajustement.

Lorsqu'on examine ce type de travail, il est utile de supposer des situations extrêmes. Imaginez que nous avons deux modèles, l'un utilisant cinq variables et l'autre employant dix variables. Le modèle à dix variables aura tendance à surajuster les données parce que nous avons plus de variables pour tenir compte des différences entre les éléments de l'ensemble de données. En recourant à un autre extrême, si un modèle utilisait une variable, le surajustement serait pratiquement impossible. Mais évidemment, il aura une corrélation presque nulle avec les données. Donc, le nombre de variables et les variables sélectionnées sont importantes. Nous savons tous intuitivement que le sexe, le statut de fumeur, l'âge et la durée (âge atteint, année d'assurance) sont essentiels. Nous avons ajouté l'année civile. Comme nous l'avons mentionné plus tôt, un indice du réchauffement planétaire et un indice général de la santé de la population pourraient peut-être remplacer l'année civile. Et comme il est indiqué dans l'introduction, le fait d'imposer moins de contraintes à ces variables peut faire en sorte que les taux finaux s'écartent des données observées, tandis que le fait d'imposer plus de contraintes peut entraîner un surajustement des données.

#### 8.2.7. Jugement ou ajustements nécessaires

Le jugement ou des ajustements sont encore nécessaires pour utiliser le MRN et le MAG, surtout lorsqu'il y a moins de données, car la formule peut prédire des taux étranges. Les méthodes traditionnelles tentent de reproduire les données réelles, tandis que les méthodes de rechange tentent d'interpréter ce qu'indiquent les données réelles. L'inversion du sexe pour les taux de fumeurs âgés est un exemple d'une telle situation. Une autre situation porte sur les taux qui convergent doucement vers 1,00 aux âges très avancés selon les méthodes de rechange alors que les taux sont relativement stables selon les méthodes traditionnelles.

### 8.3. Conclusion

Nous espérons que le présent rapport donne un aperçu intéressant et passionnant de l'application de méthodes non traditionnelles pour la construction de tables de mortalité. À notre avis, la table MRN2014 est la toute première table de mortalité entièrement construite à l'aide d'un MRN. Si l'ICA choisit d'adopter la table MRN2014 comme table de rechange à des fins pratiques ou d'éducation et



de formation, nous croyons qu'il s'agira de la toute première table de mortalité dérivée du MRN aux fins d'application à l'industrie. Cette évolution serait certainement considérée comme prospective pour la profession.

Même si nous croyons que les deux tables de rechange pourraient être utilisées, nous recommandons la table MRN2014, car elle offre une précision prédictive supérieure et des relations non linéaires beaucoup plus riches entre les différents statuts de fumeur et les sexes. Par exemple, dans toutes les études modernes et récentes sur la mortalité en assurance-vie, la relation entre la mortalité des fumeurs et des non-fumeurs a longtemps été considérée comme non linéaire. Aux âges plus jeunes, le ratio fumeurs/non-fumeurs peut être de 1,50, passant à 2,50–2,75 entre 55 ans et 60 ans, puis à 1,00 aux âges très avancés. En raison de la nature linéaire des MAG, cette relation est linéaire pour la plupart des âges atteints. Pour les hommes non-fumeurs, le ratio est de 2,50 à 20 ans, et il diminue de façon linéaire pour atteindre 2,35 à 90 ans, puis 1,00 à 115 ans. Donc, bien que l'ajustement général puisse être correct, le résultat ne serait certainement pas acceptable ou du moins pas comme prévu.

Enfin, on peut se demander s'il est pratique d'utiliser de telles méthodes de rechange, particulièrement une méthode fondée sur les MRN. Bien que nos résultats montrent clairement un dénouement positif à l'utilisation de ces méthodes, celles-ci sont nouvelles pour la construction des tables de mortalité. Par conséquent, elles ne sont pas testées dans le temps, même si les résultats sont positifs. Les MRN sont également plus difficiles à comprendre et à programmer que les modèles de graduation de Whittaker-Henderson. Toutefois, nous encouragerons l'ICA à examiner ces techniques au moyen d'activités de recherche et d'éducation additionnelles.

---

*En plus de ce rapport, nous avons créé un tableau de bord R Shiny qui permet aux actuaires d'interagir directement avec les tables dans un environnement dynamique. Le tableau de bord est accessible à l'adresse suivante :*

<https://qeddatasciencetools.shinyapps.io/qed-eckler-gam-nn-mortality-tables>

---

#### **8.4. Tables offertes en Excel**

Nous fournirons également les diverses tables en format Excel pour faciliter la comparaison.

Notamment :



- La table ICA8692 (12) : ANB/ALB x M/F x NS/SM/AG;
- La table ICA9704 (12) : ANB/ALB x M/F x NS/SM/AG;
- La nouvelle table ICA2014 (16) : ANB/ALB x M/F x NS/SM/AG/UN;
- La table MAG2014 (136) : ANB x M/F x NS/SM/AG/UN x 17 ans (2009 à 2024, plus 2009-2019 combinées);
- La table MRN2014 (136) : ANB x M/F x NS/SM/AG/UN x 17 ans (2009 à 2024, plus 2009-2019 combinées).

Des données conviviales pour produire des graphiques comparatifs seront également fournies pour faciliter les comparaisons.

## A. ÉVALUATION DE LA TABLE ICA2014

La présente annexe comprend une évaluation de la table ICA2014 en marge de celle effectuée pour les méthodes de rechange susmentionnées aux fins de comparaison. Il convient de noter que la comparaison n'est pas directe puisque les données utilisées sont quelque peu différentes. Pour la table ICA2014, une période sélecte de 20 ans a été choisie et une graduation distincte a été effectuée pour chacune. De plus, l'ajustement n'a pas été exécuté avec la prédiction comme objectif, de sorte qu'il n'y a pas de comparaisons à faire dans l'échantillon et hors de l'échantillon. Par conséquent, nous incluons l'évaluation pour l'ensemble de données divisé en taux sélects et ultimes. Nous fournissons des données comparatives pour chaque méthode de rechange.

### A.1. Évaluation numérique | Périodes sélectes et ultimes

ICA2014 Table   Évaluation numérique		
	Sélecte	Ultime
Déviance de Poisson	187.42	47.23
Kolmogorov-Smirnov	0.27	1.00

La table ICA2014 graduée donne de bons résultats par rapport aux autres méthodes en ce qui concerne la déviance de Poisson pour les données sélectes et les données finales. Si l'on examine la mesure KS, les données sélectes montrent une faible similitude entre les distributions, ce qui produit des résultats inférieurs à ceux de la MAG2014 et de la MRN2014. Pour les taux ultimes, la



statistique KS présente une très forte similitude et donne un rendement légèrement supérieur à celui des tables MAG2014 et MRN2014.

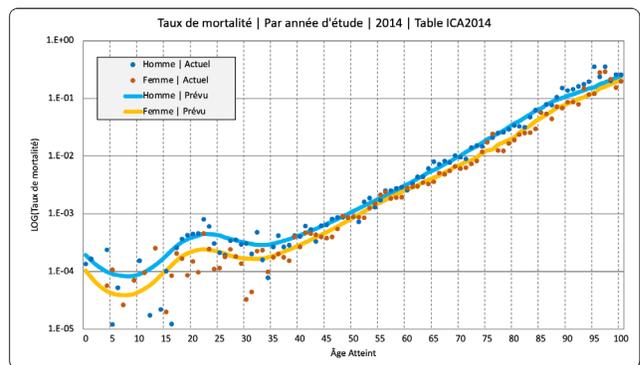
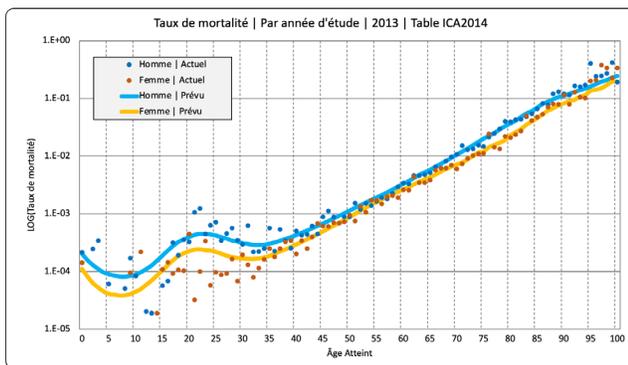
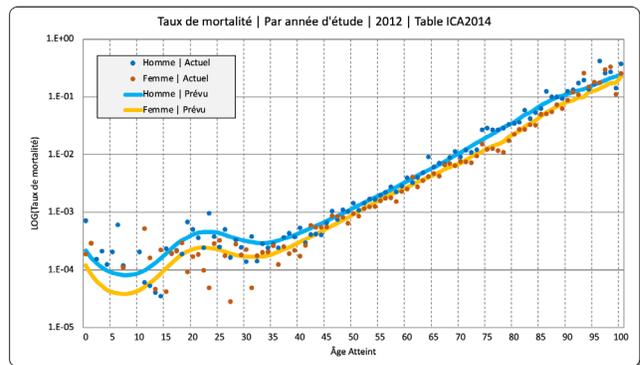
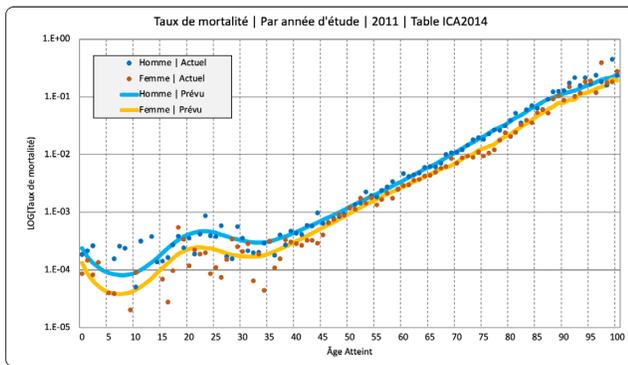
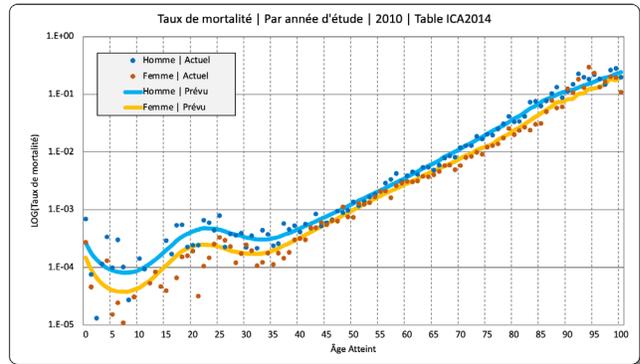
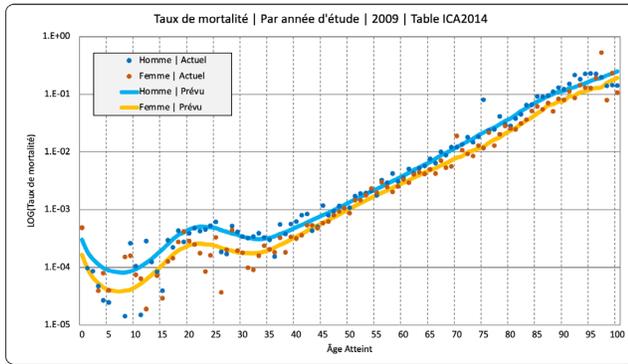
## **A.2. Évaluation visuelle**

### A.2.1. Période sélecte

Les graphiques qui suivent montrent une forte concordance avec les données sous-jacentes, même d'une année à l'autre, ce qui ne constitue pas l'objectif des tables. Nous constatons une légère sous-estimation de la mortalité au cours des premières années, mais les chiffres n'ont pas été ajustés pour tenir compte des tendances de la mortalité.

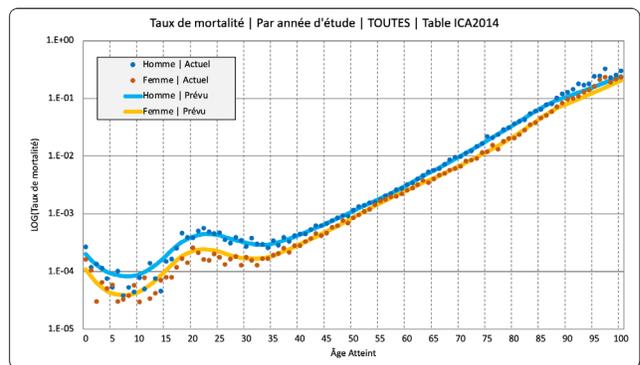
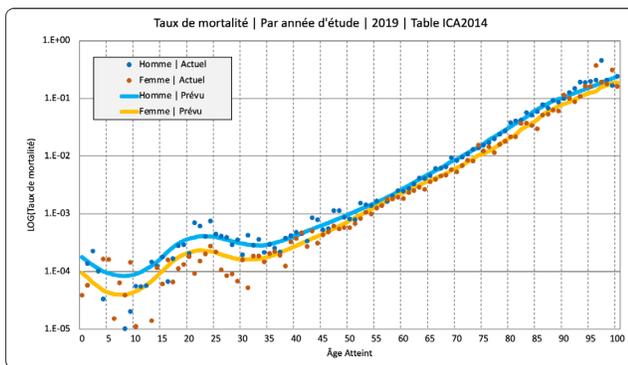
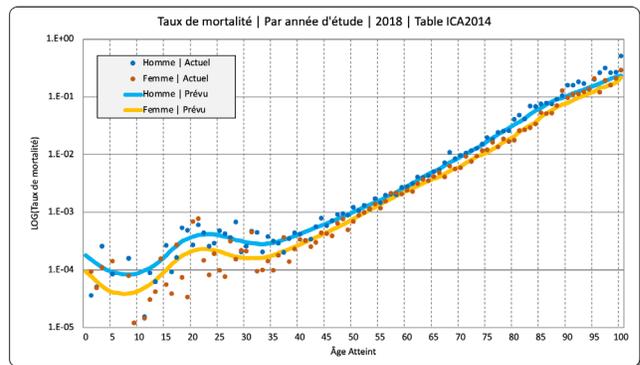
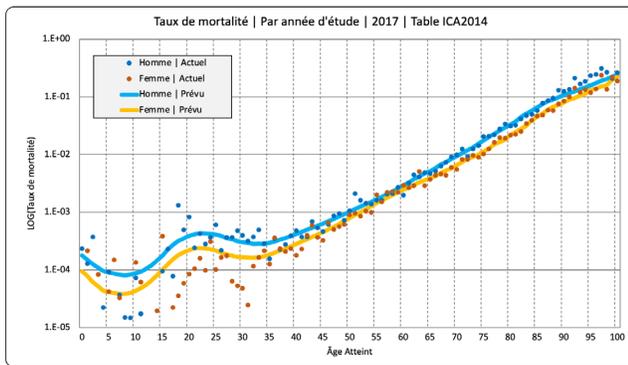
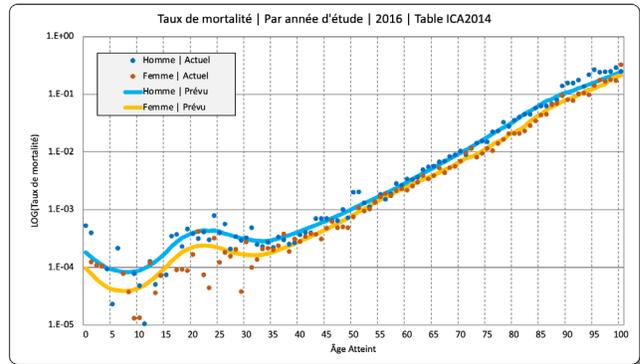
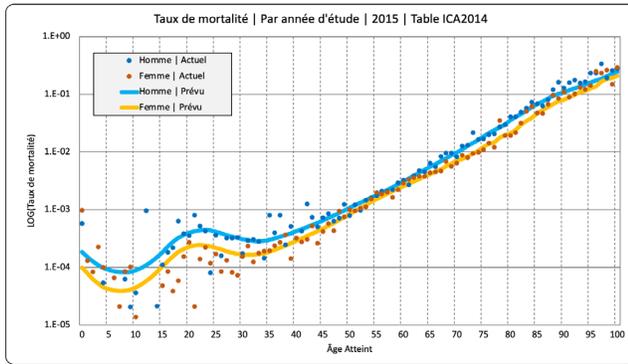


Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, 2009-2019, agrégée dans d'autres champs, pour la table ICA2014 Sélecte





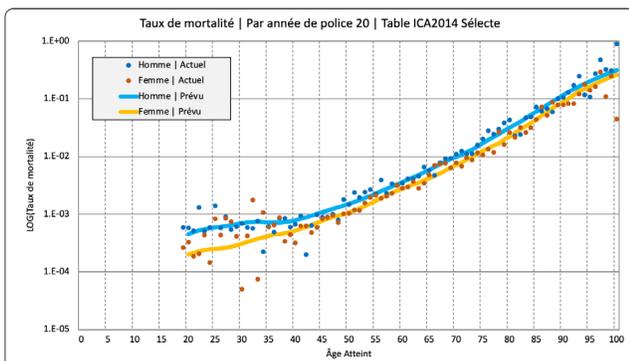
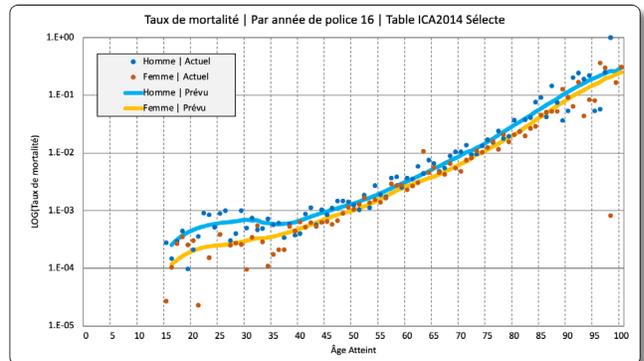
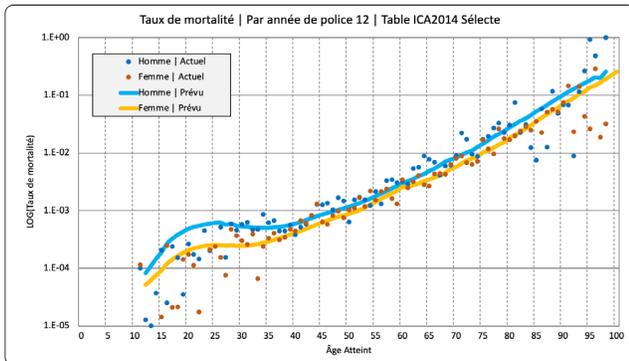
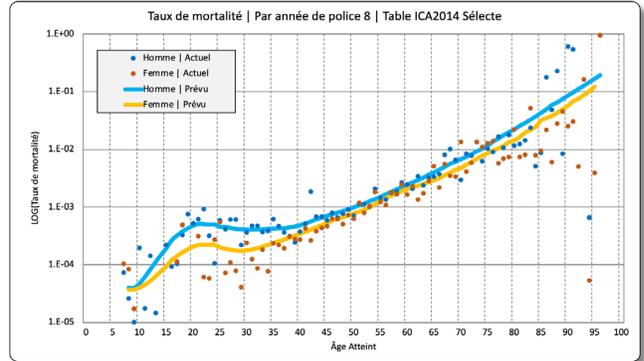
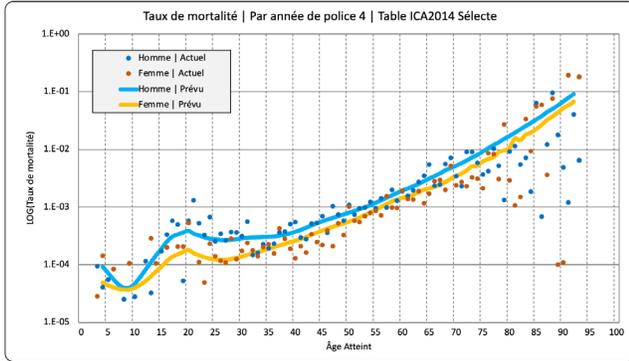
Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, 2009-2019, agrégée dans d'autres champs, pour la table ICA2014 Sélecte





Si l'on examine l'ajustement par année d'assurance, encore une fois, la table ICA2014 convient pour toute la période, comme le montrent les graphiques suivants.

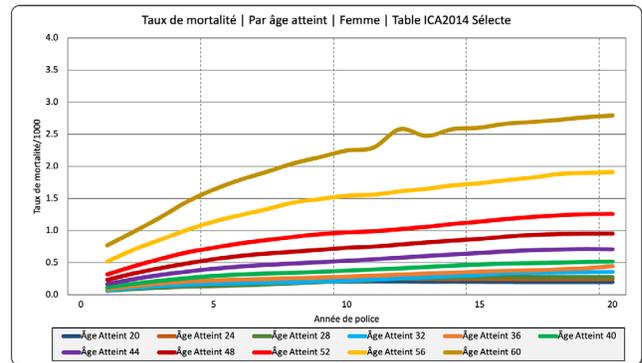
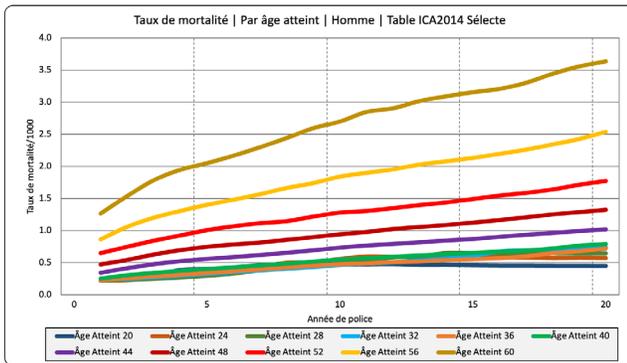
*Mortalité, réelle et prévue, selon le sexe, années d'assurance 4 à 20 par tranches de quatre années, agrégées dans d'autres champs, pour la table ICA2014 Sélecte*





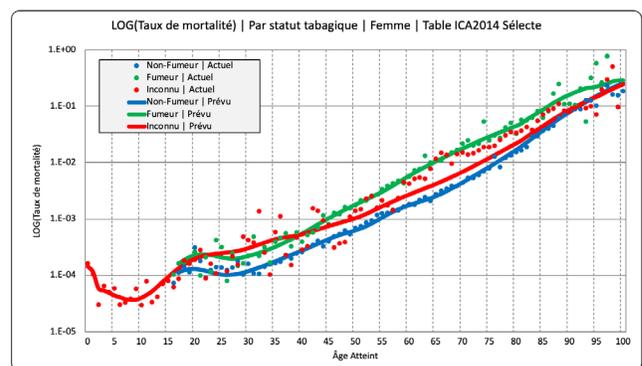
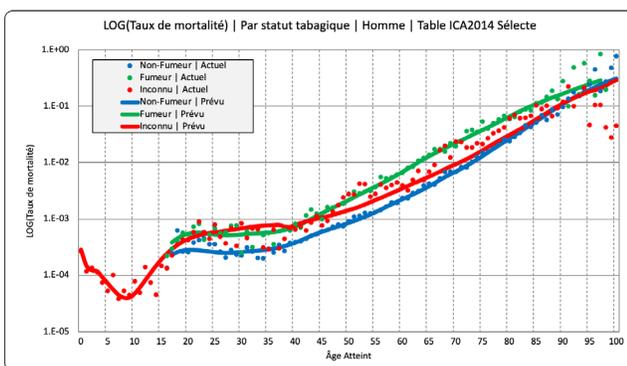
Les graphiques qui suivent montrent que la mortalité se détériore lentement et de façon lisse pendant toute la période sélecte.

*Mortalité selon l'année d'assurance et le sexe, aux âges atteints de 20 à 60 ans par tranches de quatre années, agrégée dans d'autres champs, pour la table ICA2014 Sélecte*



Enfin, compte tenu du sexe et du statut de fumeur, nous constatons, à partir des graphiques suivants, que la table ICA2014 ne s'intègre pas bien au statut de fumeur inconnu, mais bien aux autres statuts. Il faut se rappeler que la table ICA2014 n'a pas produit de taux sélects explicites pour le statut de fumeur inconnu en raison du manque de données crédibles. Des taux sélects de *statut de fumeur total* ont été utilisés pour le statut de fumeur inconnu.

*Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, statut de fumeur, agrégée dans d'autres champs, pour la table ICA2014 Sélecte*

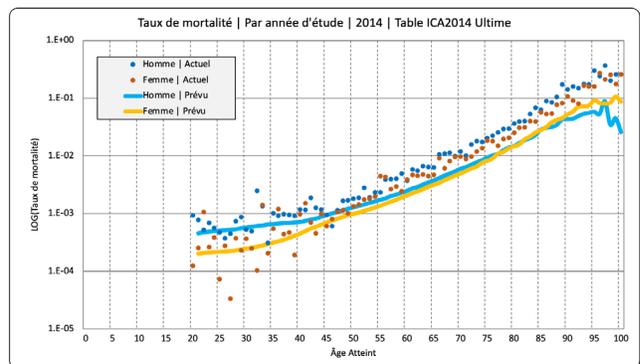
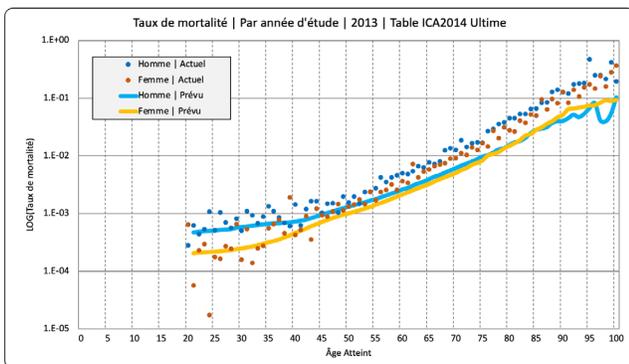
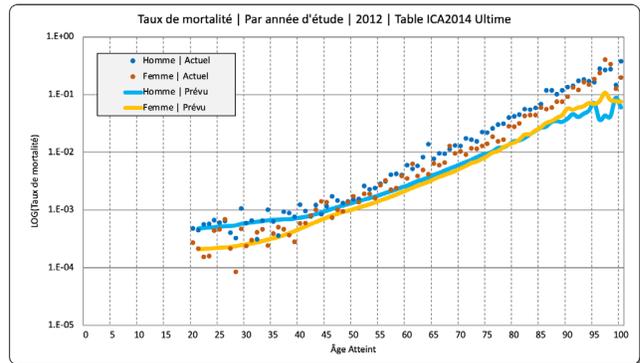
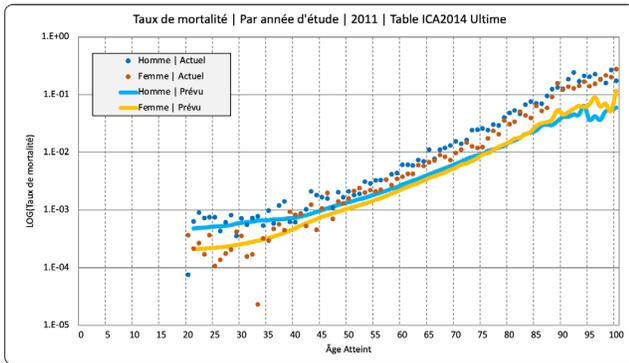
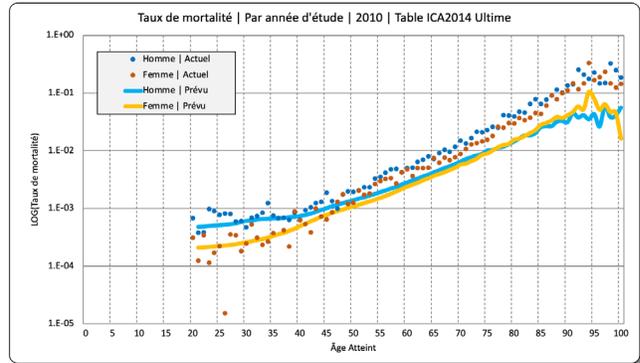
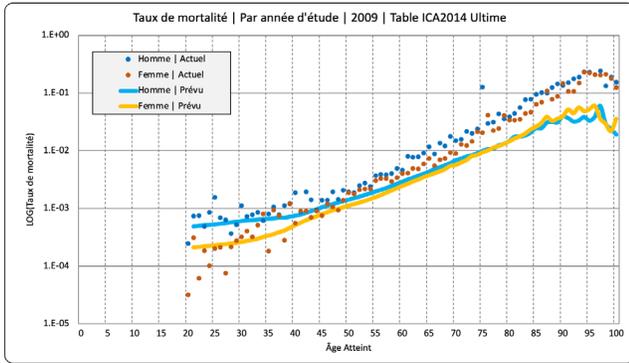




### A.2.2. Période ultime

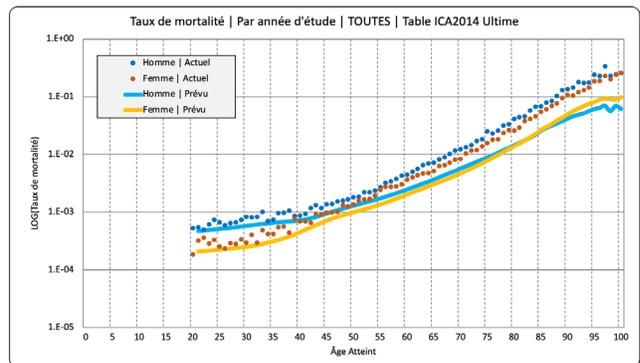
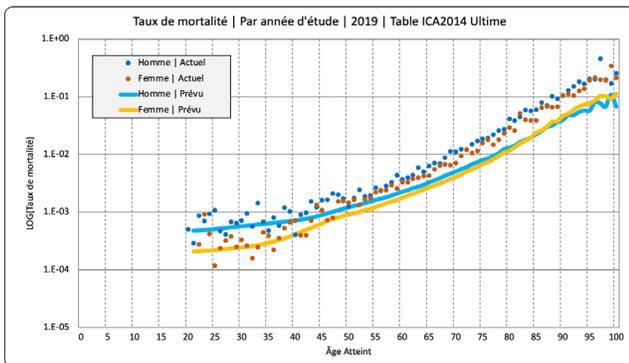
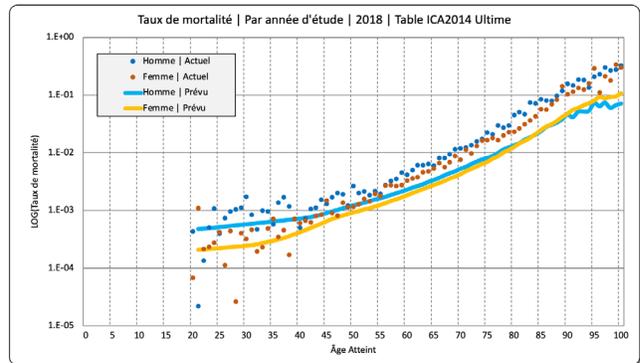
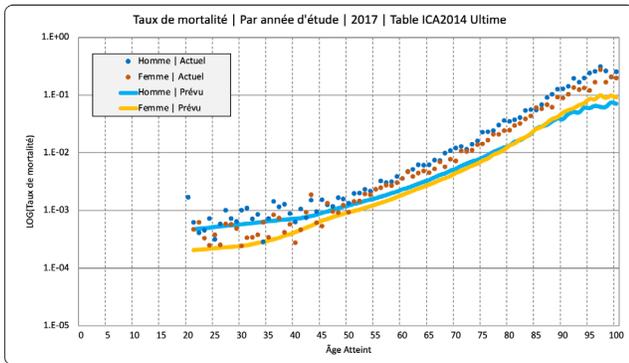
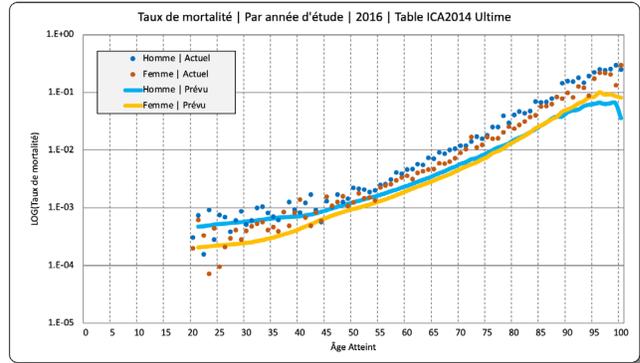
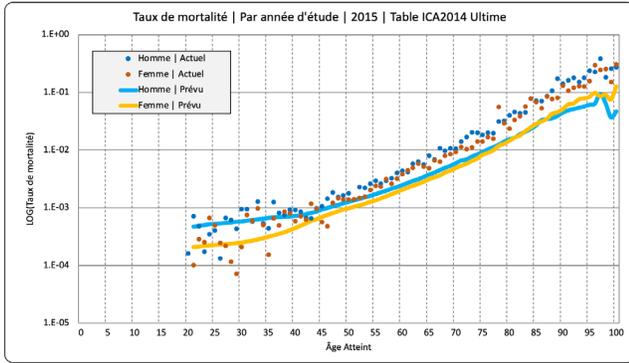
Les graphiques qui suivent montrent un ajustement fort avec les données ultimes, même d'une année à l'autre.

*Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, 2009-2019, agrégée dans d'autres champs, pour la table ICA2014 Ultime*





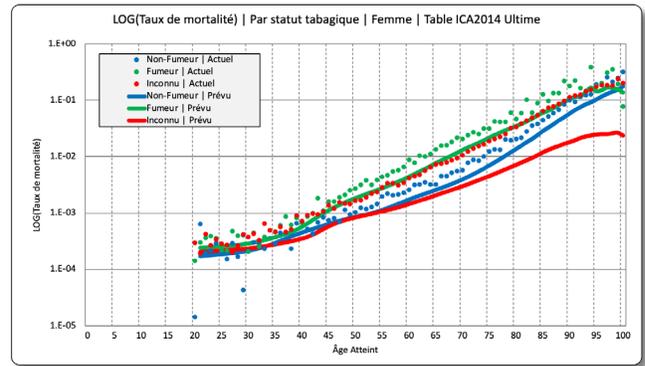
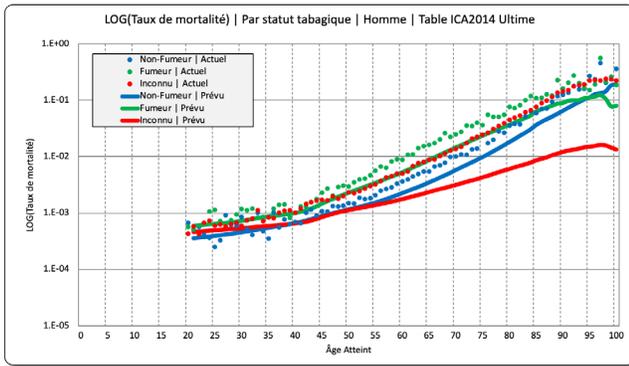
Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, 2009-2019, agrégée dans d'autres champs, pour la table ICA2014 Ultime





Enfin, compte tenu du sexe et du statut de fumeur, nous constatons que les tables ICA2014 ultimes continuent de s’ajuster fortement, montrent un bien meilleur ajustement avec le statut de fumeur inconnu, comme l’indiquent les graphiques suivants.

*Mortalité, réelle et prévue, hommes et femmes, statut de fumeur, agrégée dans d’autres champs, pour la table ICA2014 Ultime*





## B. SOMMAIRE DES PRÉDICTEURS UTILISÉS DANS LES MÉTHODES DE RECHANGE

La présente annexe comprend un résumé des prédicteurs appliqués aux méthodes utilisées dans ce rapport. Certaines descriptions sont tirées du rapport de M. Howard qui présente en détail la graduation de la table ICA2014 intitulée « *ICA2014 : Table de mortalité construite à partir des données de l'ICA sur l'assurance individuelle pour les années d'assurance 2009 à 2019* ».

Les termes suivants sont définis :

Prédicteur	Description
Year	Année civile à partir de laquelle l'expérience est acquise.
IssueAge	Âge auquel la police a été émise.
PolYear	Année d'expérience relative à l'entrée en vigueur de la police. Par exemple, PolYear 2 fait référence à la deuxième année d'expérience depuis l'entrée en vigueur de la police.
AttdAge	$\text{IssueAge} + \text{PolYear} - 1$ .
Sex	Sexe de l'assuré en vertu de la police (homme ou femme).
Smoke	Statut de fumeur de l'assuré en vertu de la police : fumeur, non-fumeur, agrégé ou inconnu.





## D. COMPARAISON DES TABLES ICA2014, MAG2014 ET MRN2014

Étant donné que les méthodes de rechange avaient pour objectif de fournir différentes méthodes pour calculer une nouvelle table de mortalité fondée sur les mêmes données sectorielles de 2009 à 2019 utilisées par Bob Howard dans la construction de la table ICA2014, il est inévitable que les actuaires soient intéressés à comparer les résultats des trois tables. En d'autres termes, comment la table MAG2014 et la table MRN2014 se comparent-elles à la table ICA2014?

Dans la présente annexe, nous présentons un certain nombre de visualisations de cette comparaison. Nous utilisons habituellement la table ICA2014 comme base de comparaison.

Bien qu'il soit essentiel de présenter une comparaison pour satisfaire cette curiosité, il est important de se rappeler que la table ICA2014 est une table sélecte sur 20 ans, tandis que la table MAG2014 et la table MRN2014 ont en fait une période sélecte jusqu'à 114 ans (à 115 ans, les taux sont les mêmes à 1000/1000). Et bien que les taux pour les âges ultimes atteints pour la table MAG2014 et la table MRN2014 se rapprochent l'un de l'autre en fonction de l'âge à l'émission au même âge atteint, ils ne sont jamais exactement les mêmes. Pour cette comparaison, nous avons décidé d'utiliser l'âge à l'émission de 35 ans dans la plupart des comparaisons parce que l'exposition à l'âge atteint de 35 à 70 ans se situe dans la fourchette la plus élevée.

Toutes choses étant par ailleurs les mêmes, une autre distinction importante indique que la table ICA2014 a été *normalisée* à la même date commune, soit le 1<sup>er</sup> janvier 2014, à l'aide de l'échelle d'amélioration de la mortalité de l'ICA MI2017, tandis que la table MAG2014 et la table MRN2014 ont résumé l'expérience de toutes les années selon l'exposition, de 2009 à 2019. Donc, essentiellement, ces tables utilisent une moyenne pondérée, ce qui constitue une approche de rechange.

La clé pour identifier rapidement la courbe de mortalité affichée est un terme à 14 caractères comme **CIA2014NMNSS35**; CIA2014 suivi de :

- **N** : anniversaire le plus proche | **L** : dernier anniversaire
- **M** : homme | **F** : femme
- **NS** : non-fumeur | **SM** : fumeur | **AG** : agrégé | **UN** : inconnu
- **S** : sélect | **U** : ultime
- **XX** : âge à l'émission ou âge atteint selon la sélection



Les courbes sont présentées en rouge pour la table ICA2014, en bleu pour la table MAG2014 et en vert pour la table MRN2014. Pour effectuer simultanément la comparaison pour tous les âges, nous incluons également une échelle logarithmique des taux pour 1000.

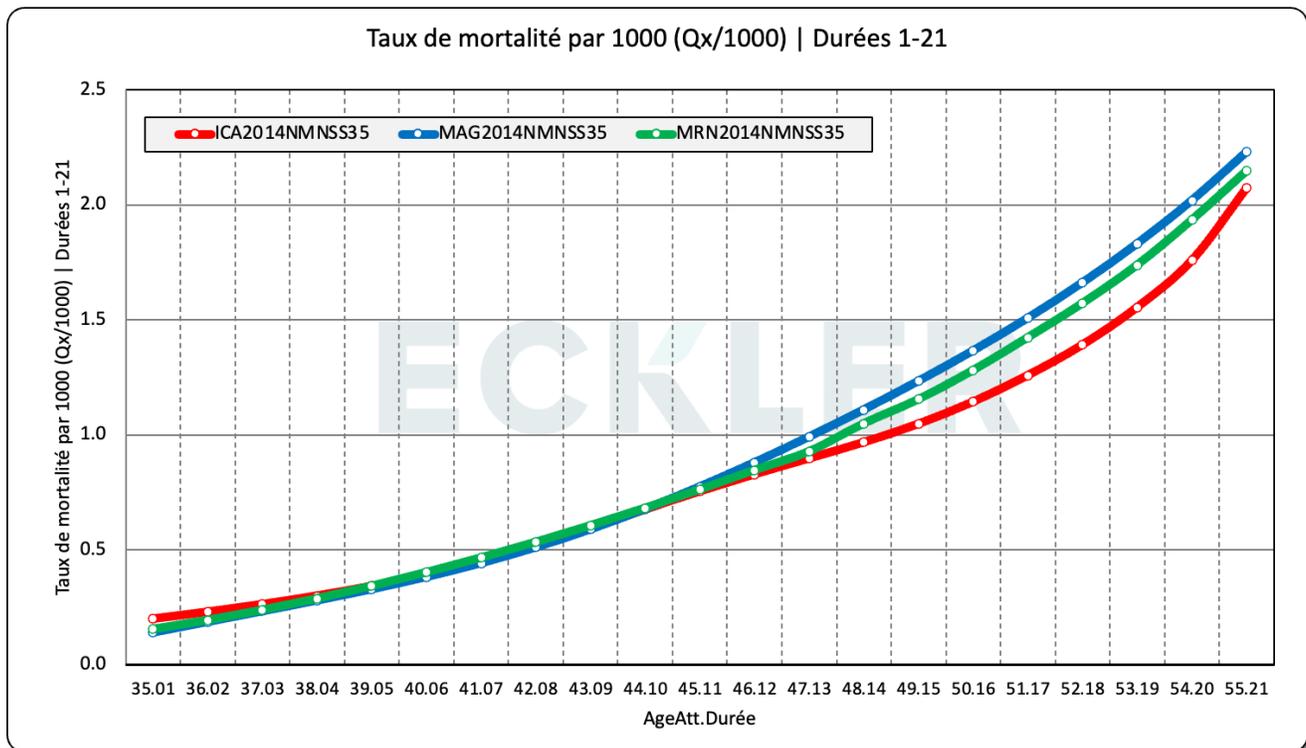
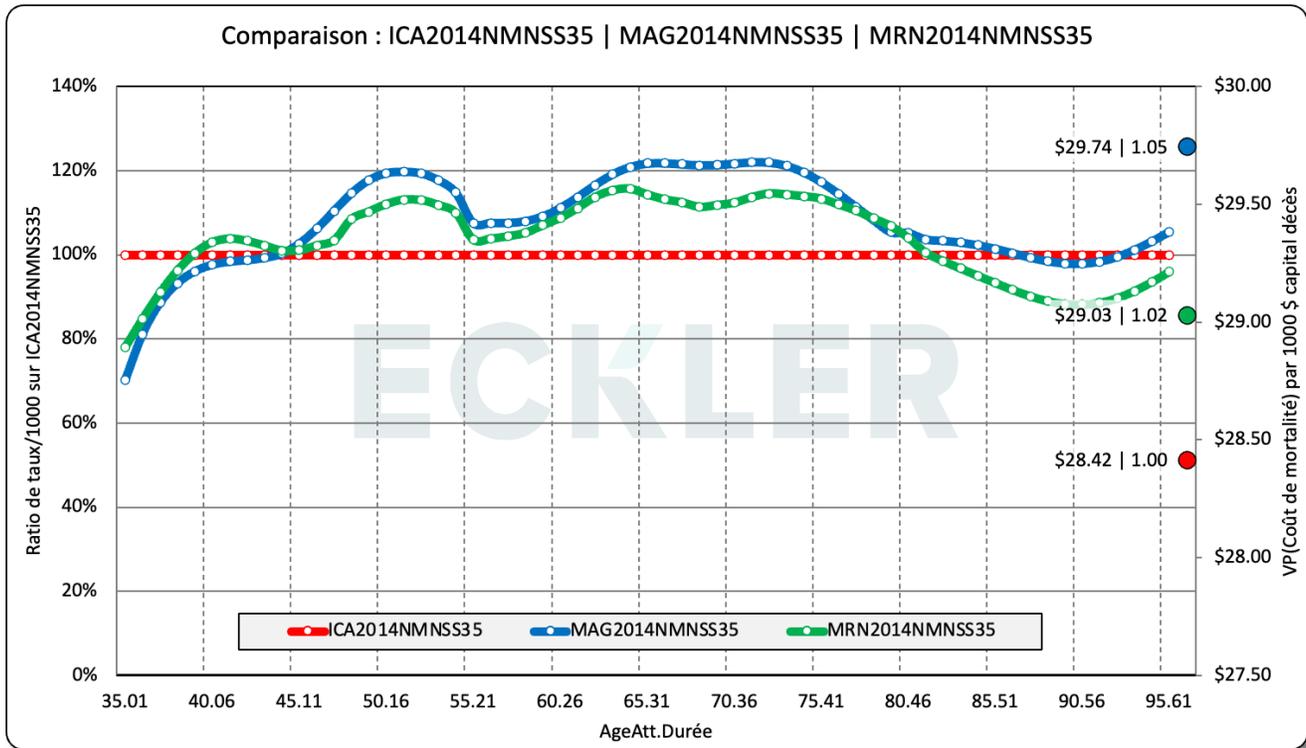
Quelques observations générales :

- (1) En général, la table MAG2014 est légèrement plus élevée que la table MRN2014 pour les groupes d'hommes et de femmes non-fumeurs, et la table MRN2014 est également légèrement plus élevée que la table ICA2014. La relation est semblable pour les hommes fumeurs, sauf que l'écart entre la table MAG2014 et la table MRN2014 est accru. Pour les femmes fumeuses, la table MRN2014 présente généralement des taux plus faibles.
- (2) Il est intéressant de noter que pour les âges atteints de 95 à 115 ans, les taux pour la table MAG2014 et la table MRN2014 s'écrasent presque exactement l'un l'autre.
- (3) La table MAG2014 et la table MRN2014 fusionnent harmonieusement aux âges très avancés, à partir de leurs taux respectifs jusqu'à un taux de mortalité de 1,00 à 115 ans.
- (4) La comparaison des taux de non-fumeurs, de fumeurs, et de valeurs agrégée et inconnu dans chaque table et selon le sexe met en évidence certaines des particularités des diverses tables. La table ICA2014 montre une relation erratique entre les catégories d'hommes fumeurs et inconnu par rapport à la catégorie des non-fumeurs, et encore plus erratique pour les femmes. La table MAG2014 présente généralement une relation linéaire qui est par conception due au modèle *linéaire*. La table MRN2014 montre une relation très harmonieuse et plus attendue que la table ICA2014.

L'échelle de droite indique une approximation pour une prime unique (PU) estimant l'incidence sur les coûts de la protection contre la mortalité. Nous supposons des tables de taux de déchéance raisonnables décroissants et un taux d'actualisation fixe de 4 %. Il ne s'agit aucunement d'une valeur absolue et utile, mais simplement d'un moyen de comparer les tables. La valeur en dollars est le nombre calculé, tandis que le deuxième chiffre est le ratio à la valeur en dollars pour la table ICA2014.

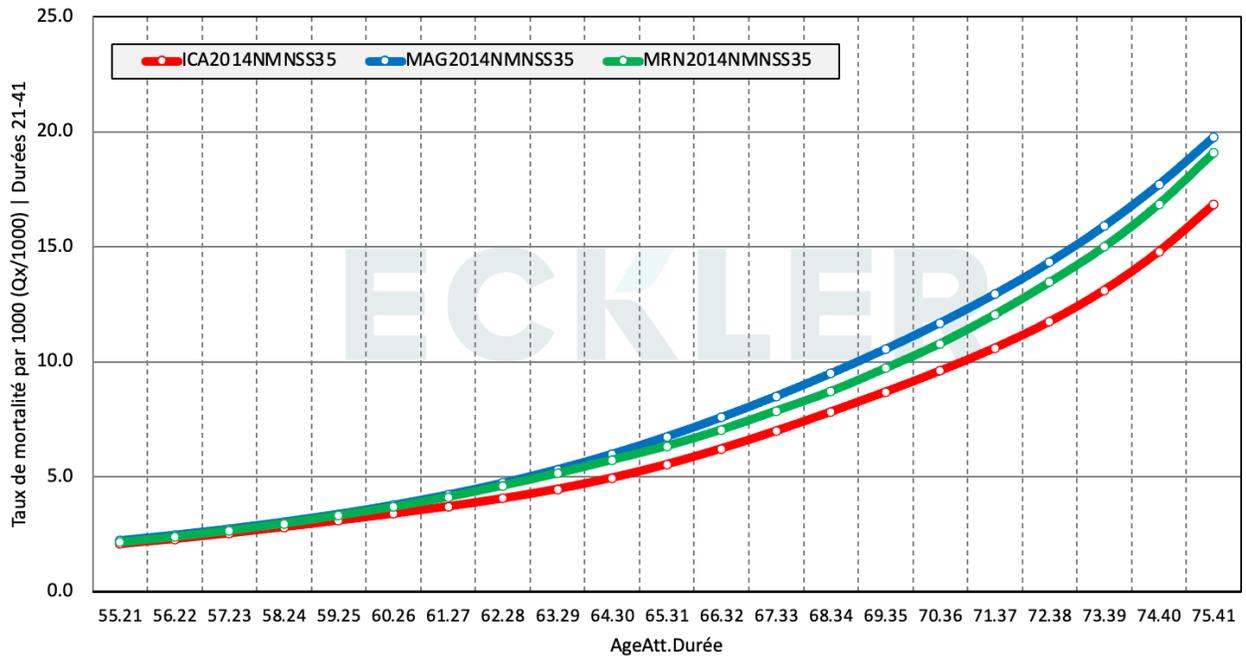


### D.1. Hommes non-fumeurs

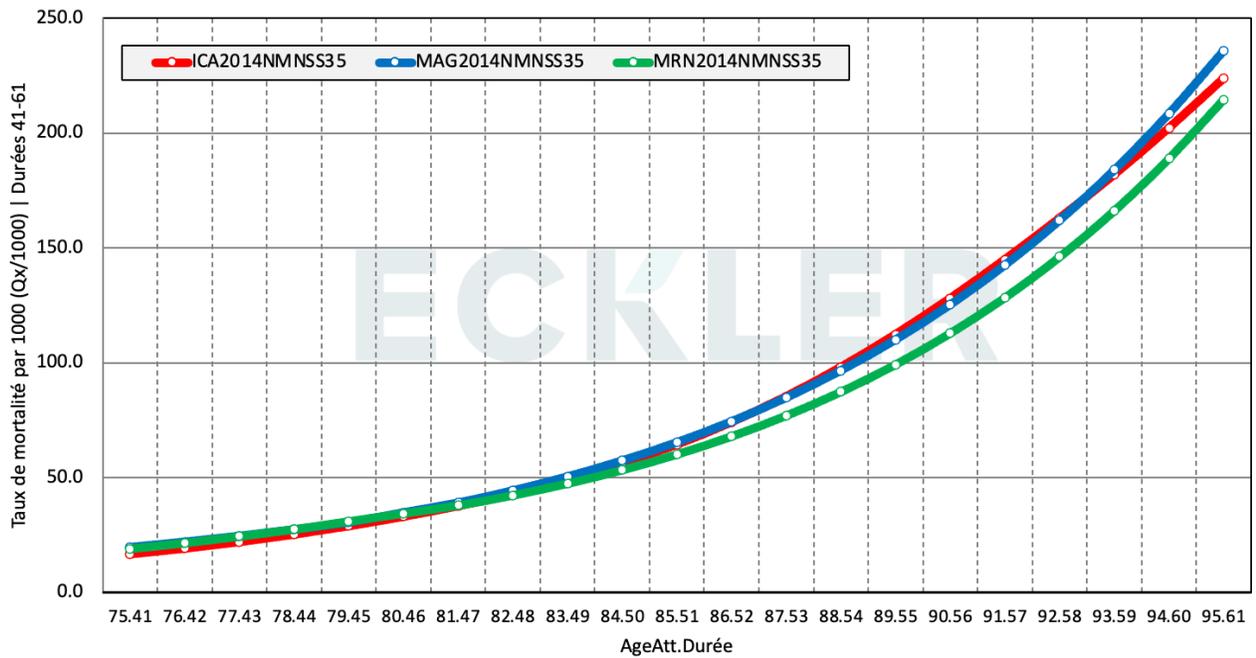


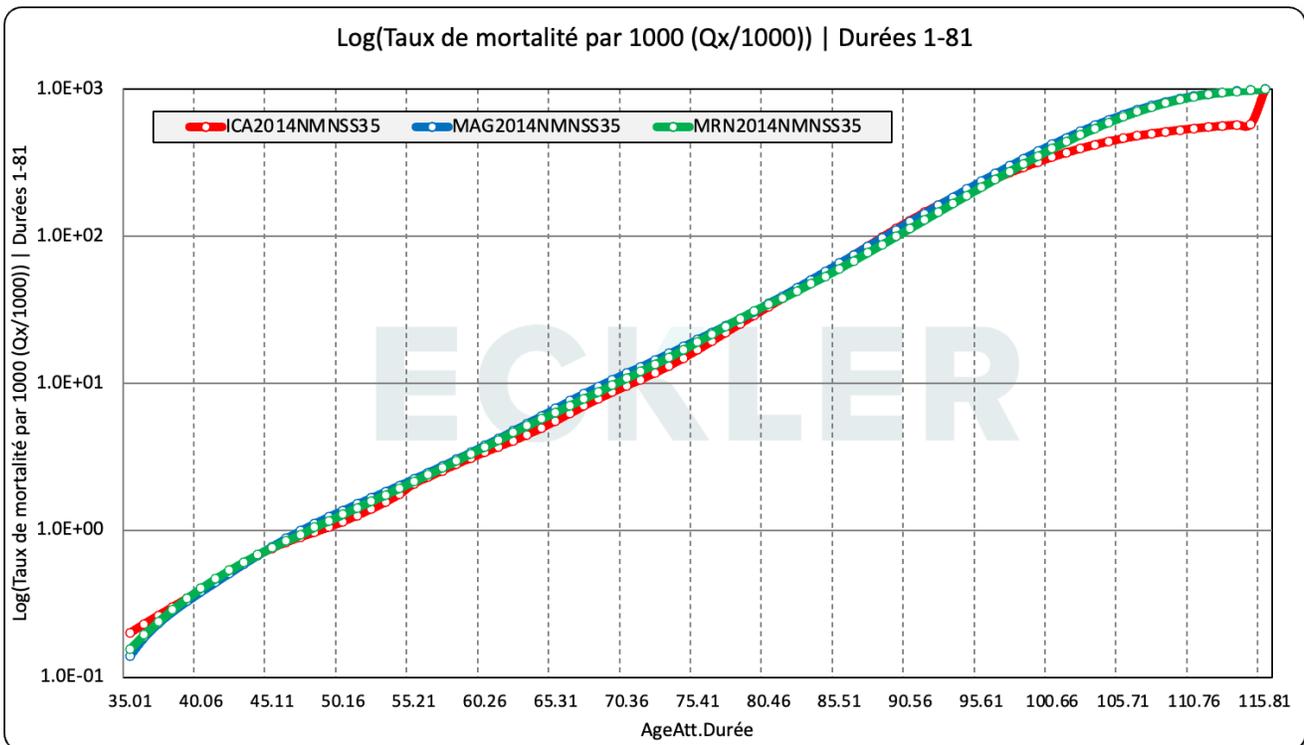
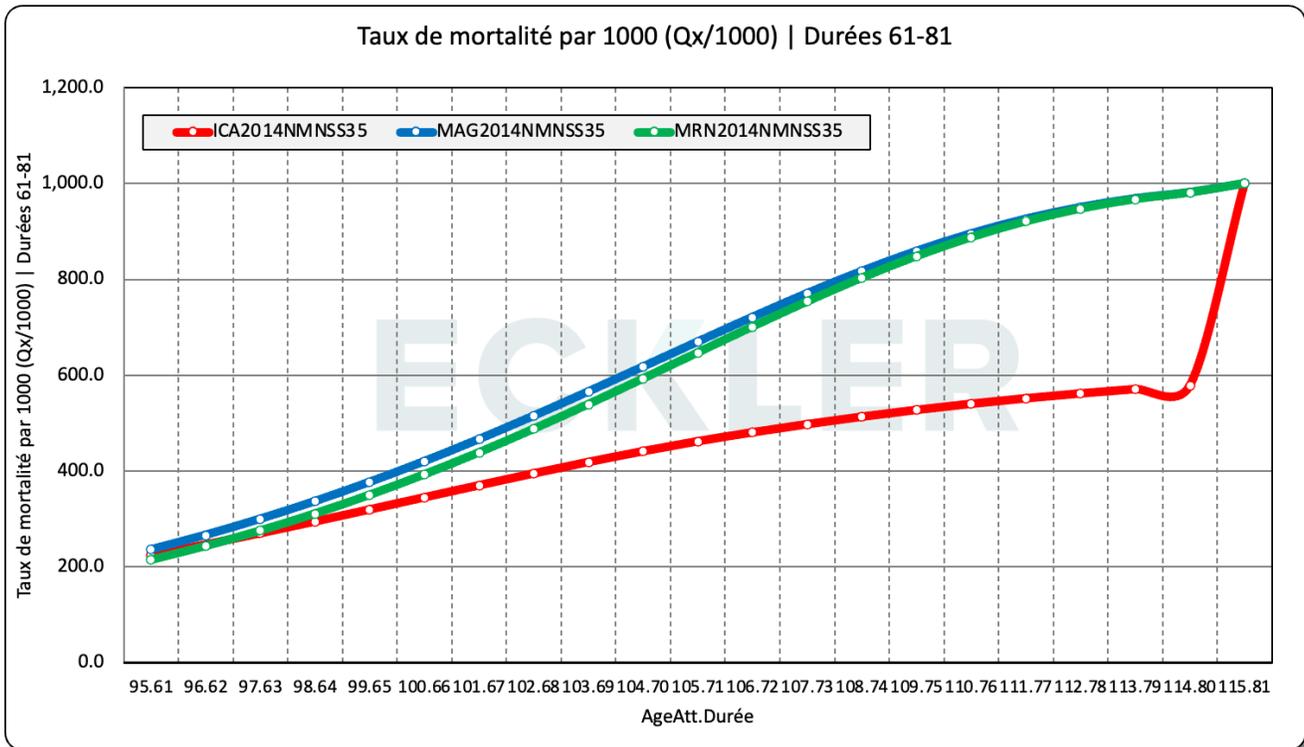


Taux de mortalité par 1000 ( $Q_x/1000$ ) | Durées 21-41



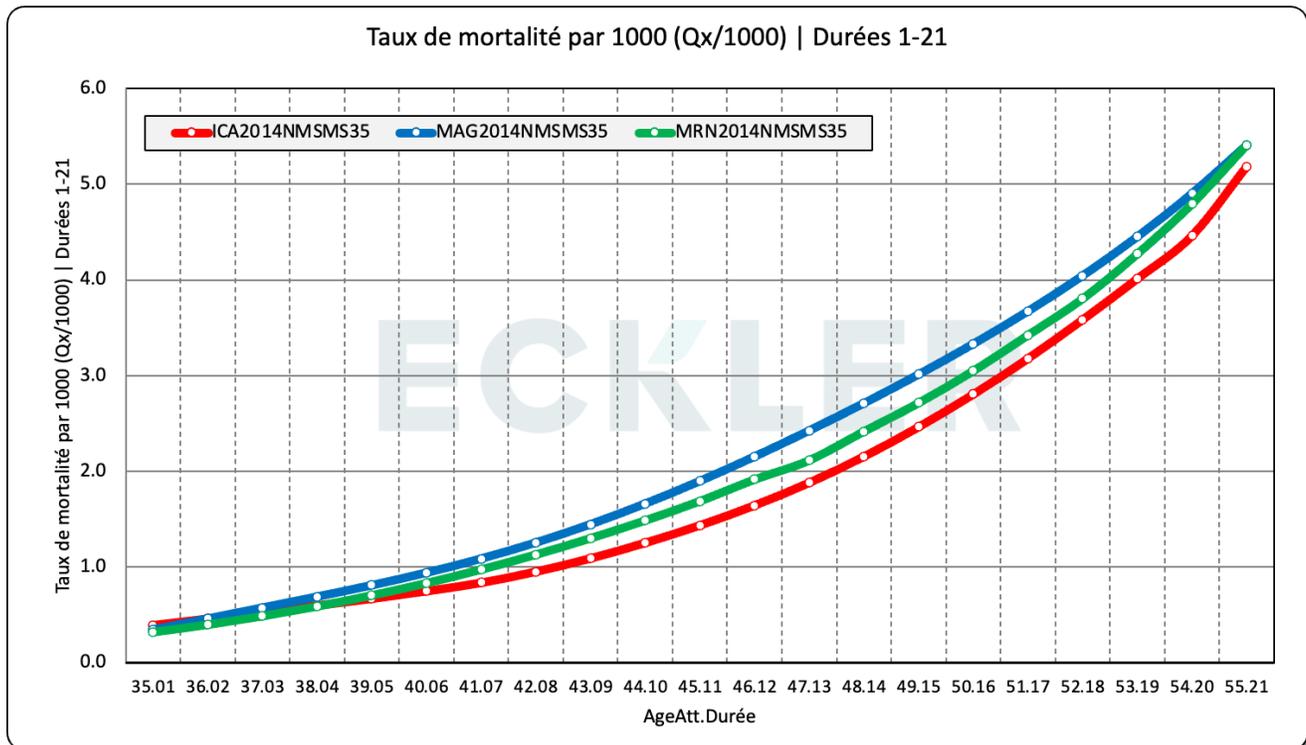
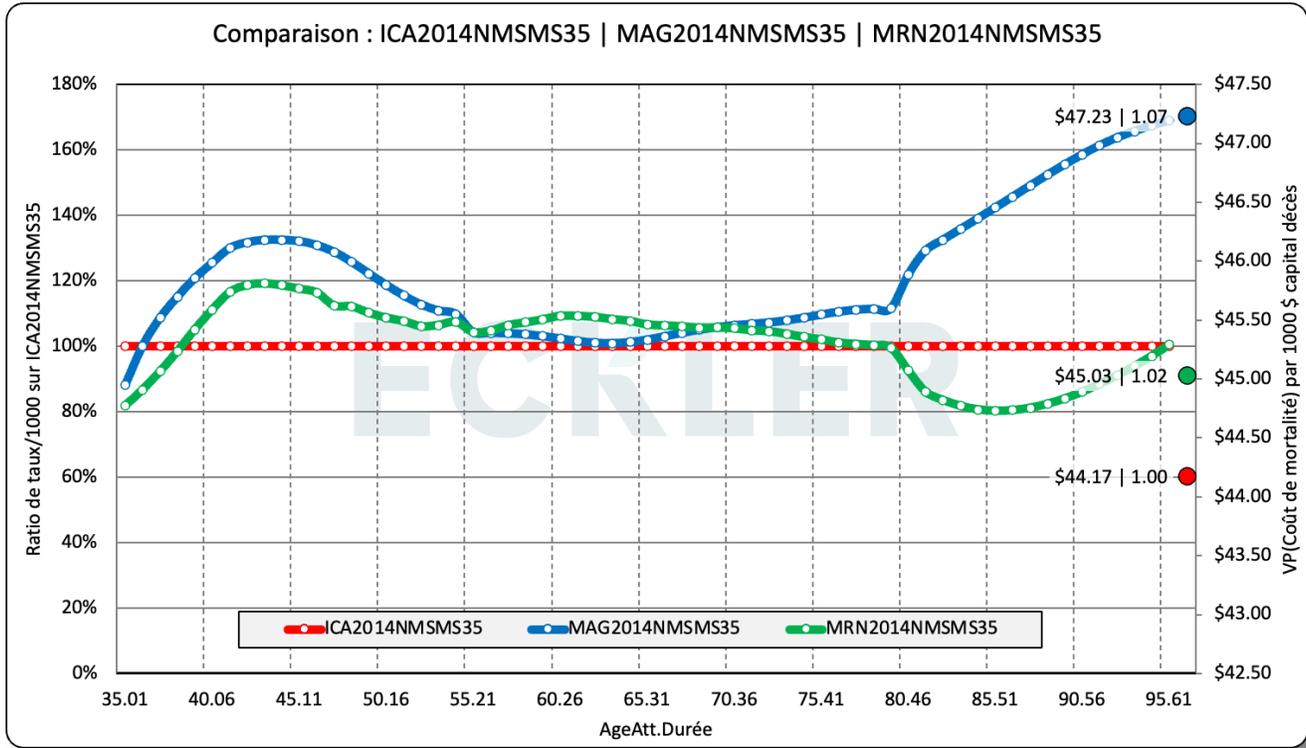
Taux de mortalité par 1000 ( $Q_x/1000$ ) | Durées 41-61





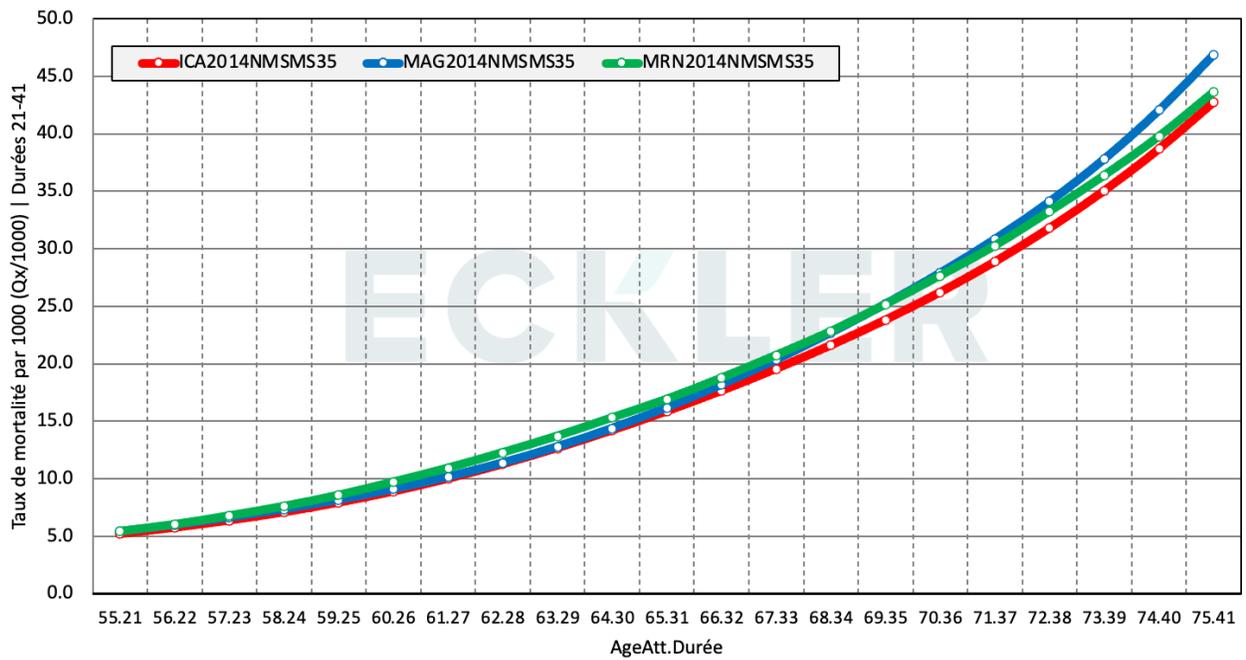


## D.2. Hommes fumeurs

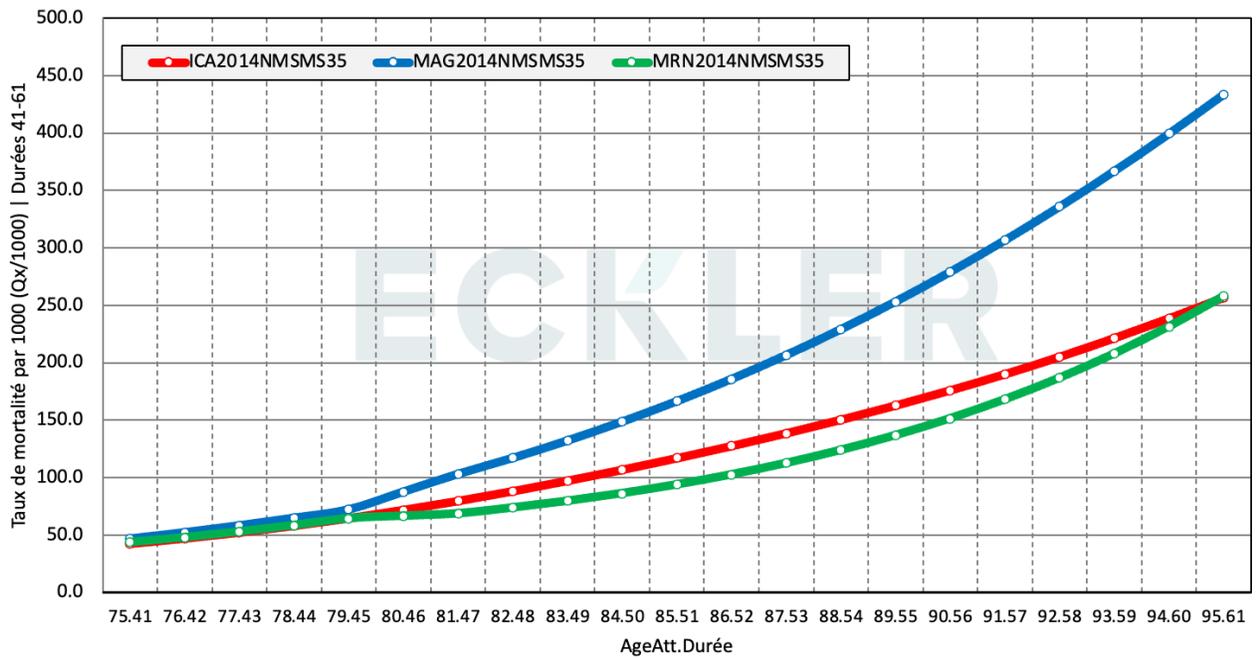


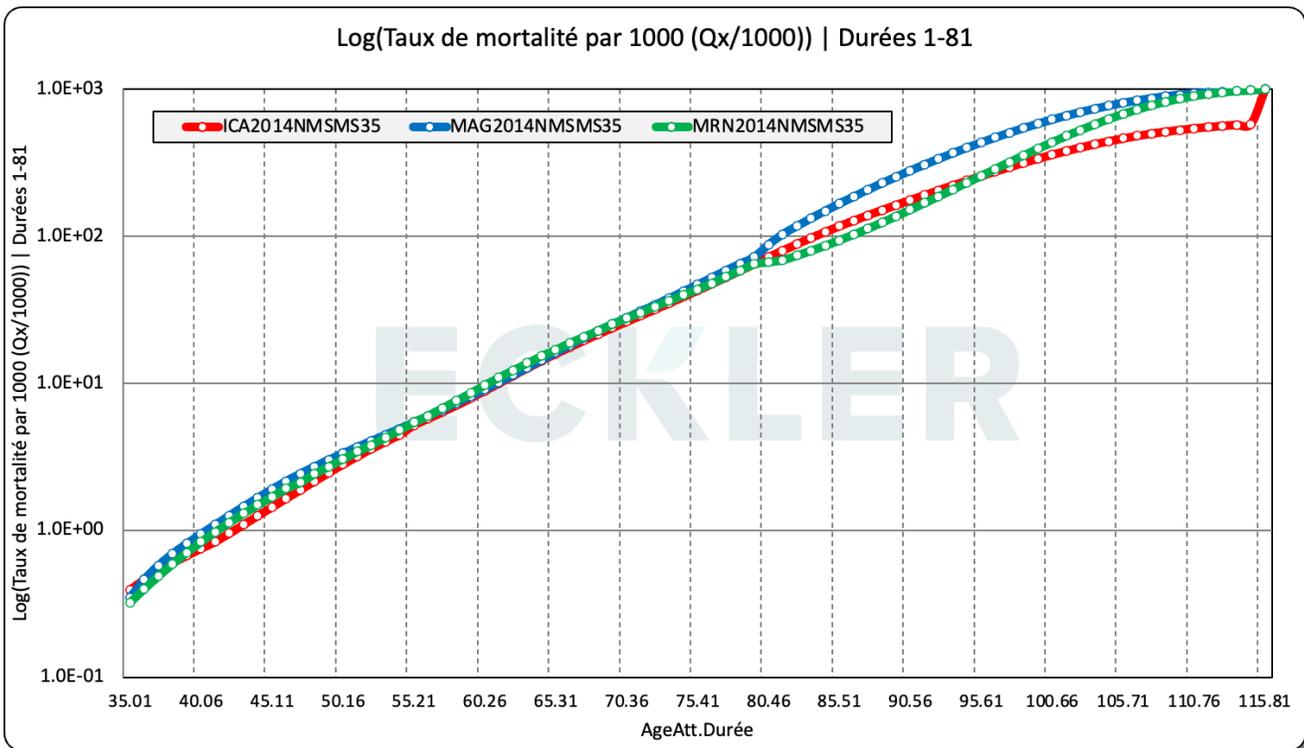
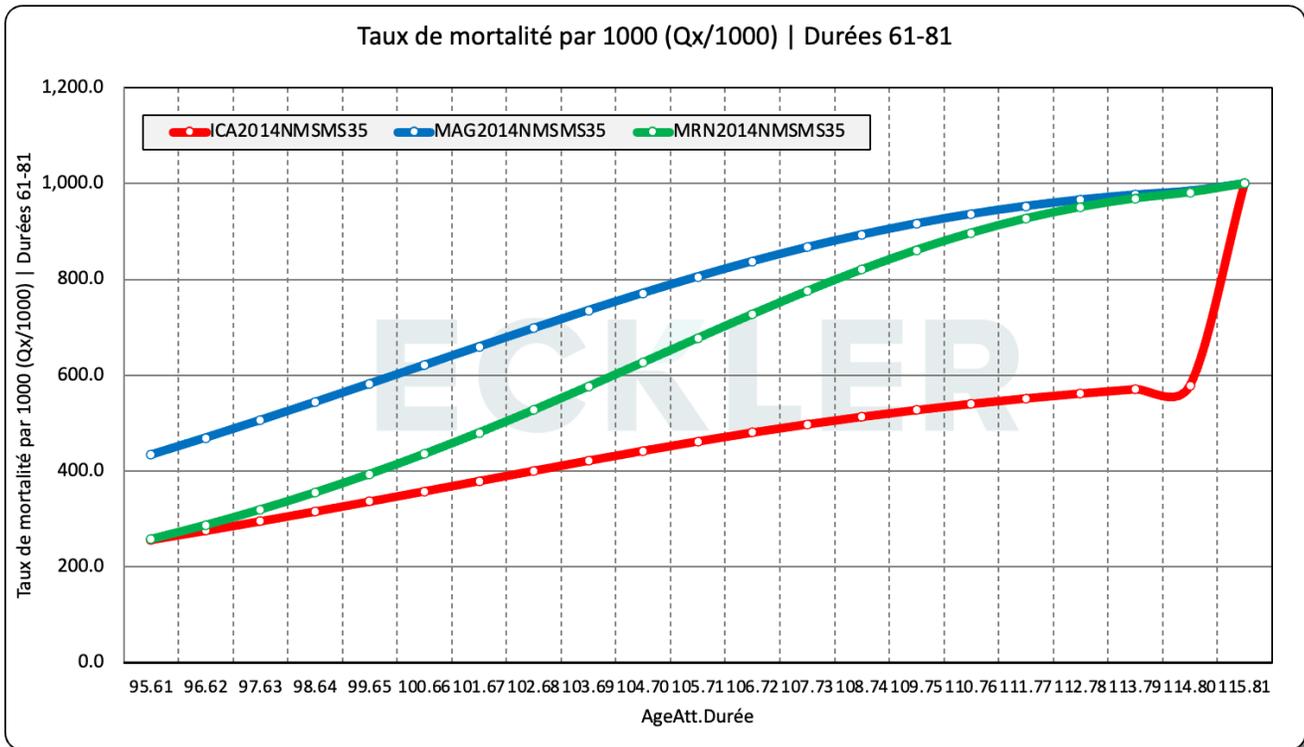


Taux de mortalité par 1000 ( $Q_x/1000$ ) | Durées 21-41



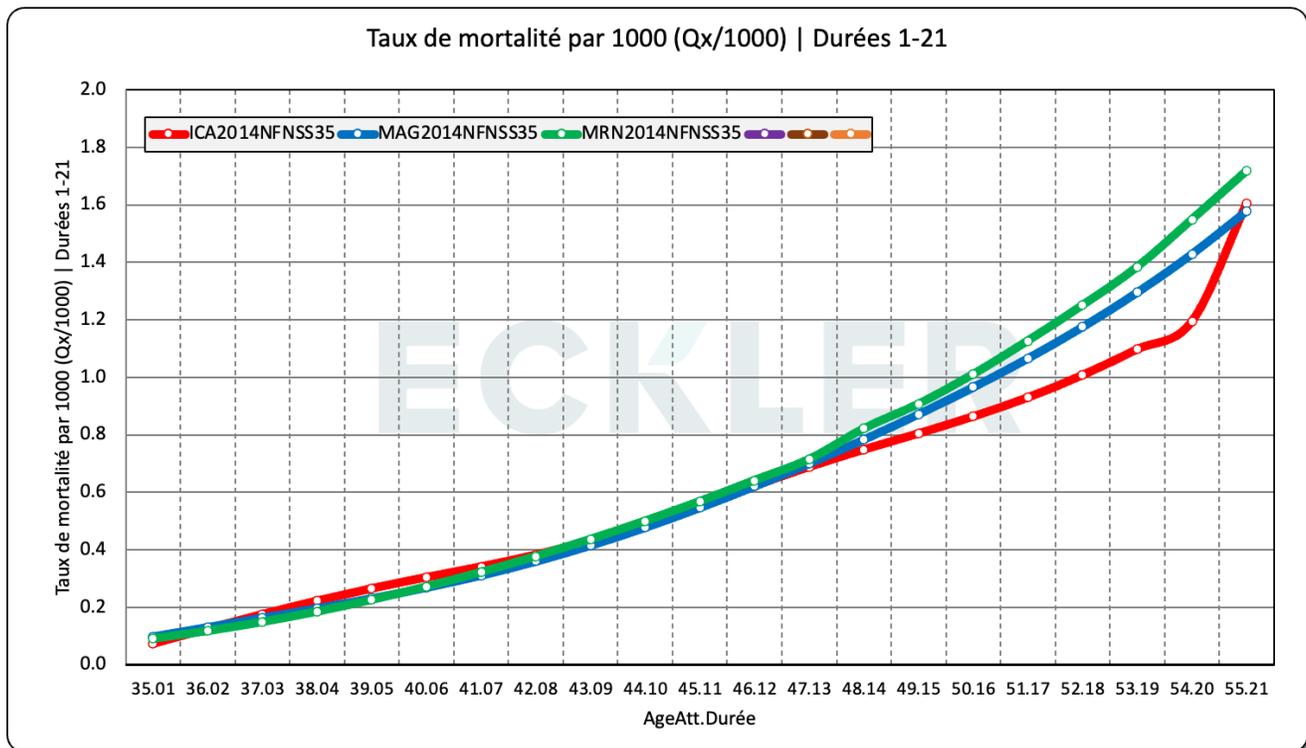
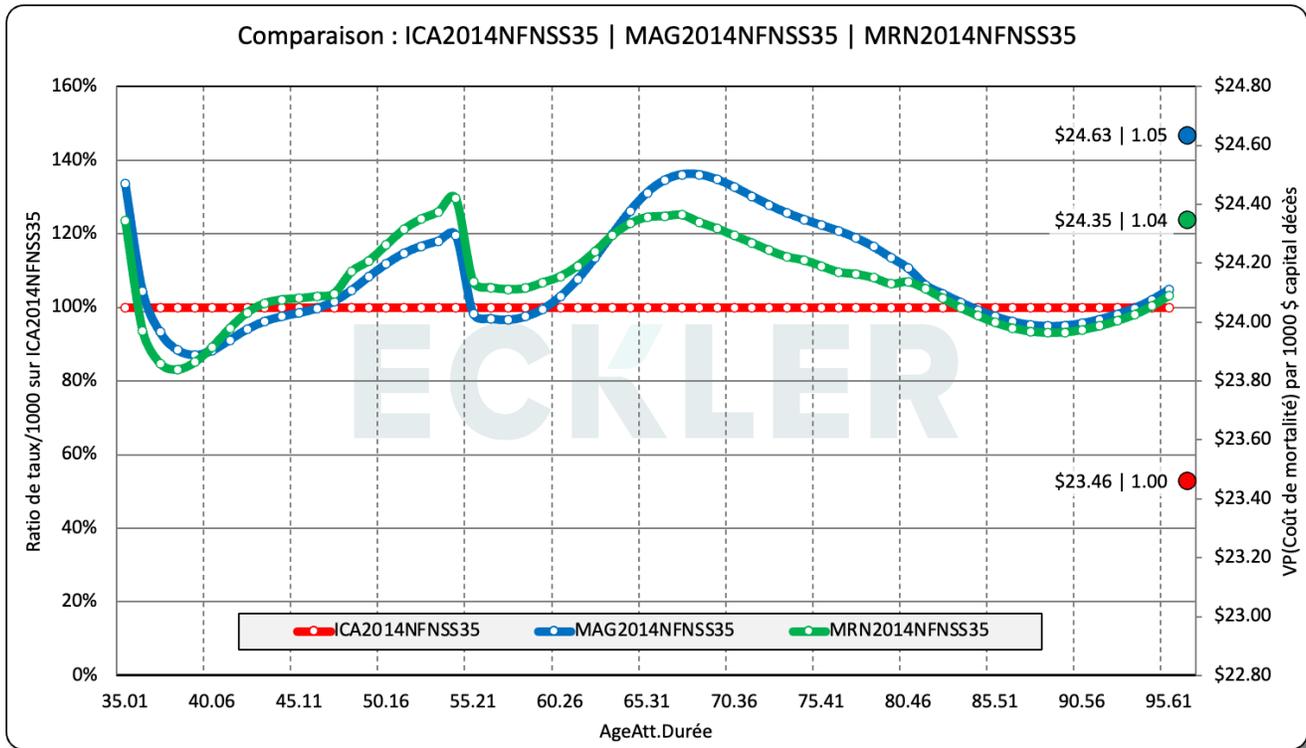
Taux de mortalité par 1000 ( $Q_x/1000$ ) | Durées 41-61





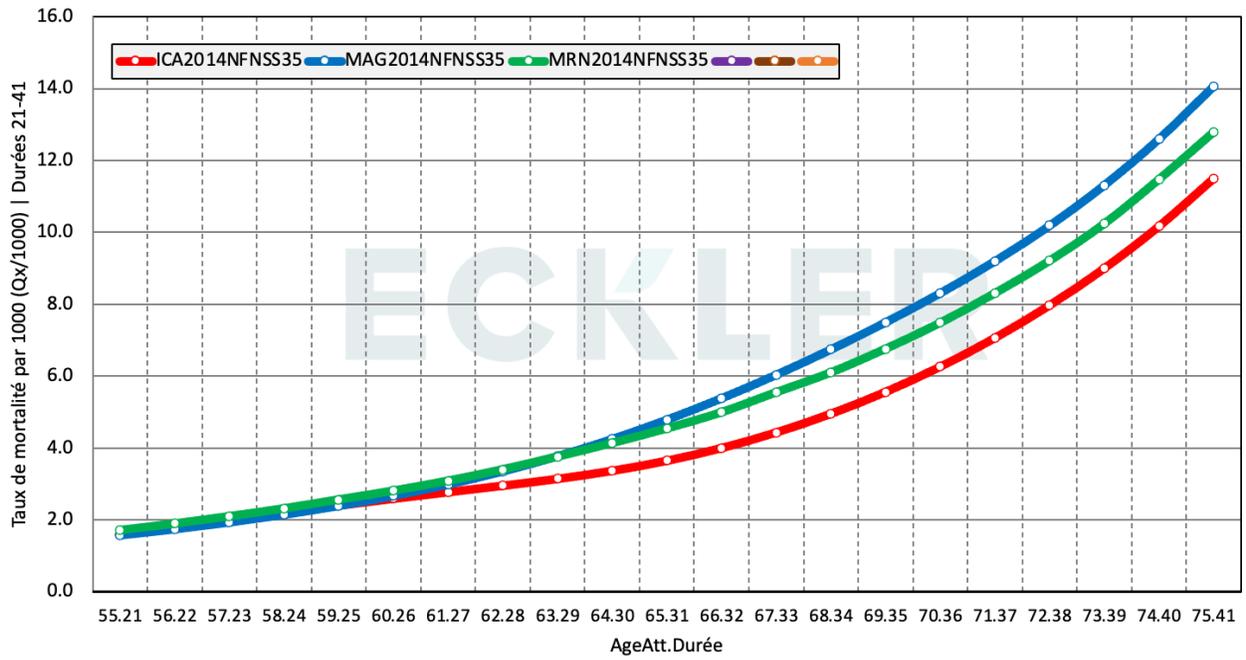


### D.3. Femmes non fumeuses

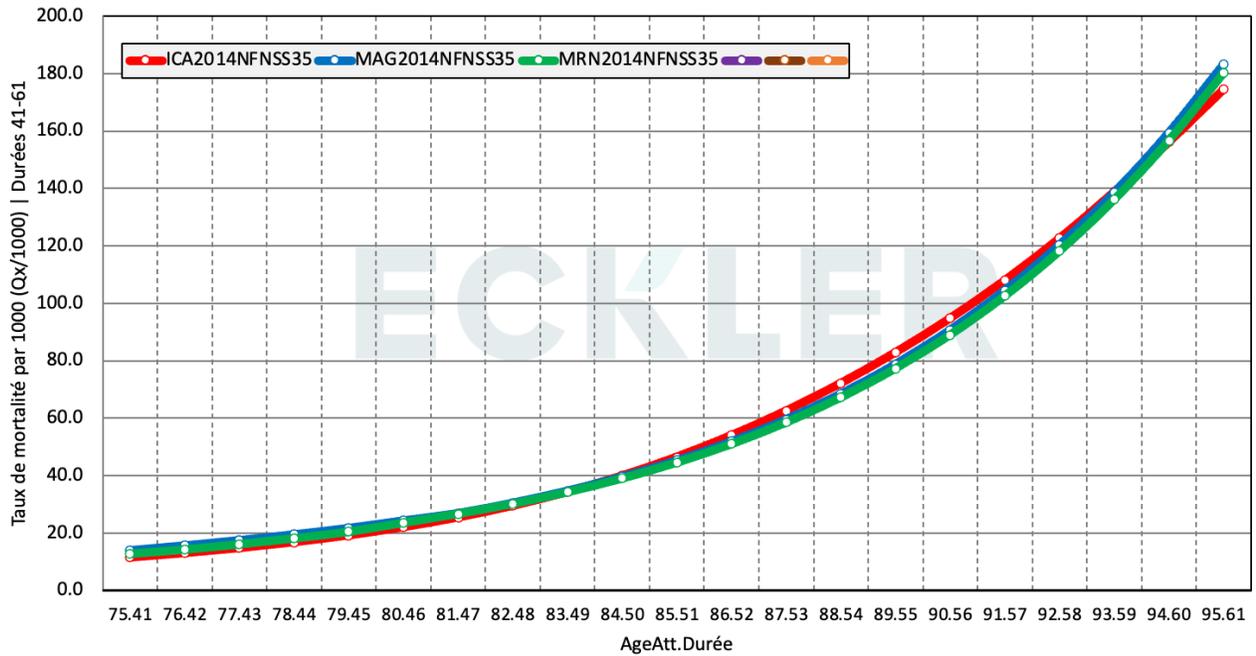




Taux de mortalité par 1000 ( $Q_x/1000$ ) | Durées 21-41

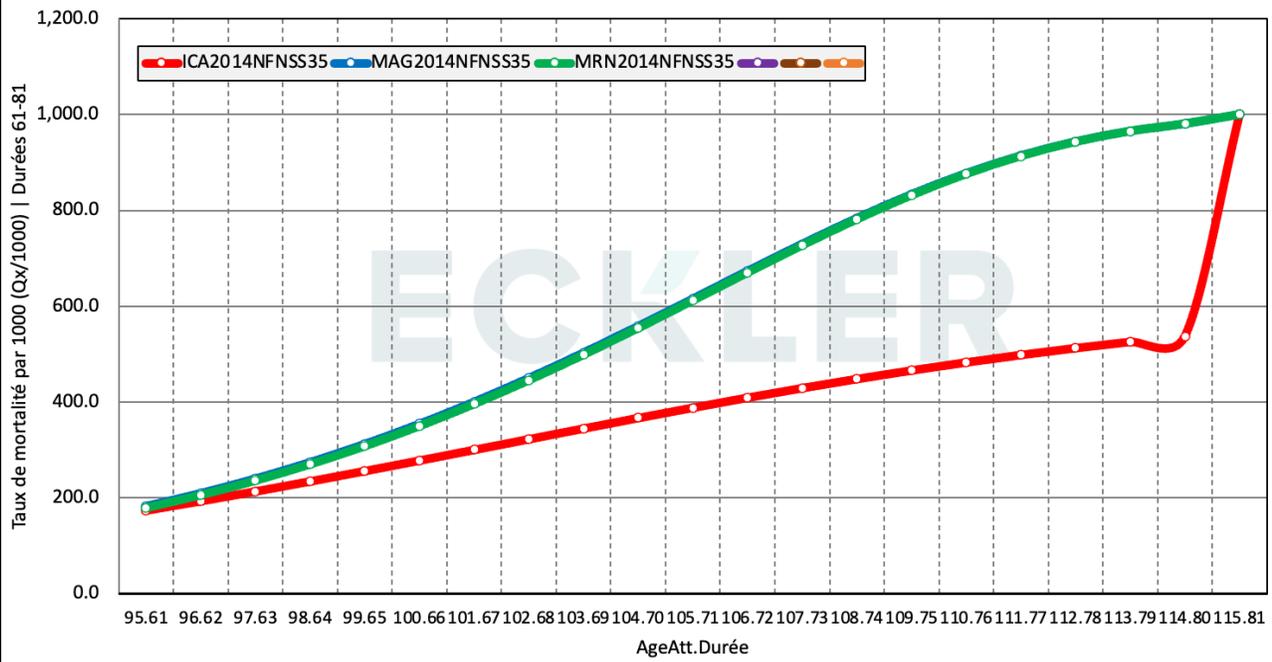


Taux de mortalité par 1000 ( $Q_x/1000$ ) | Durées 41-61

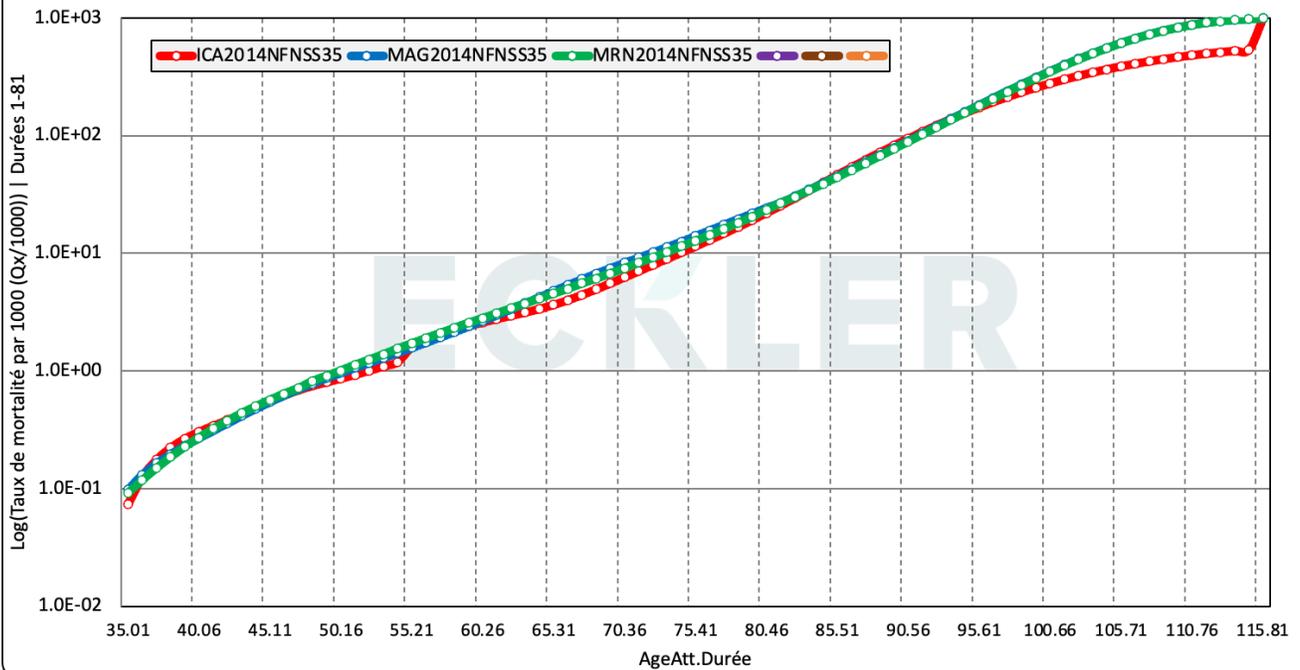




Taux de mortalité par 1000 ( $Q_x/1000$ ) | Durées 61-81

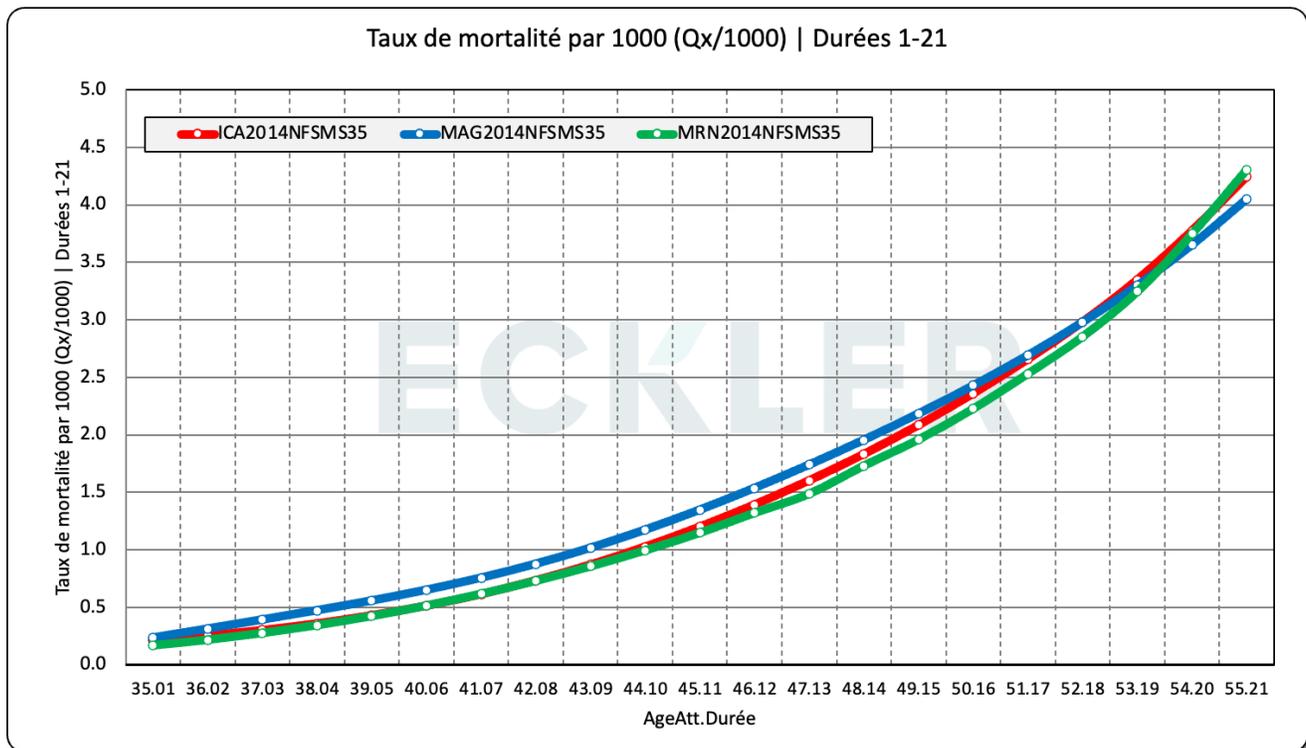
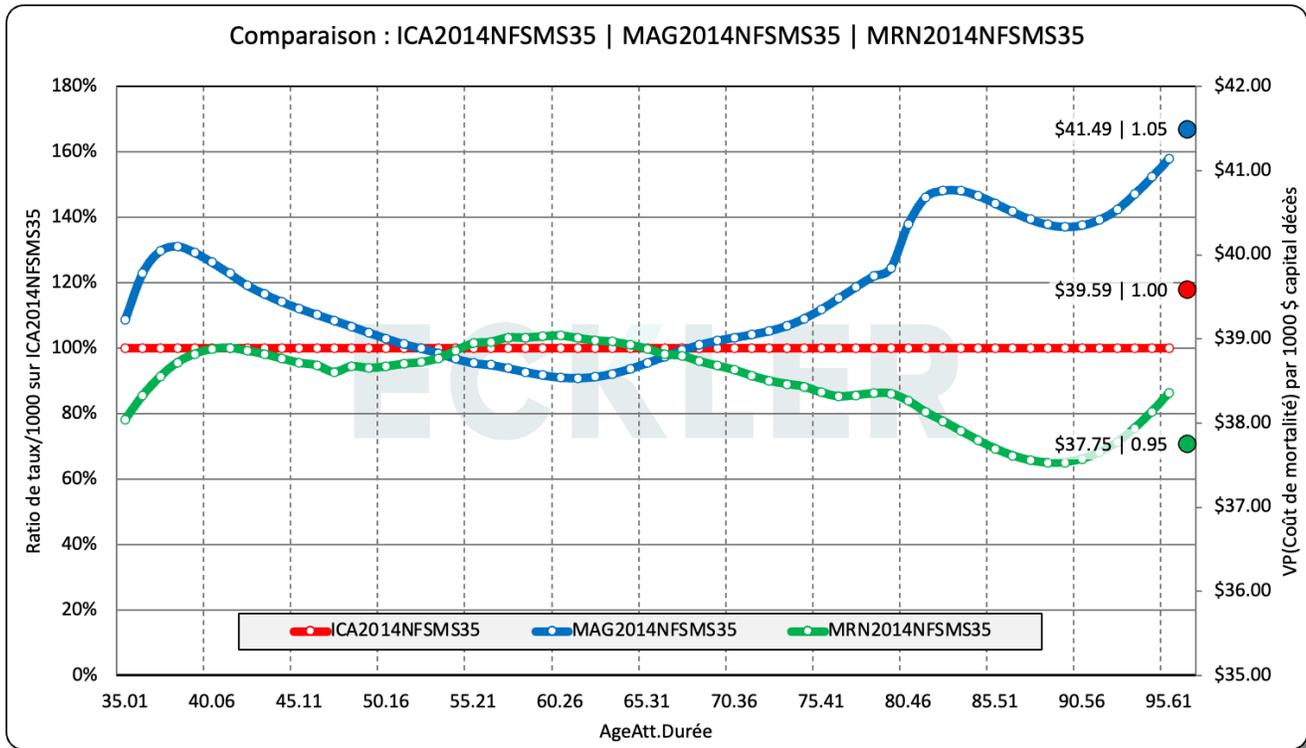


Log(Taux de mortalité par 1000 ( $Q_x/1000$ )) | Durées 1-81



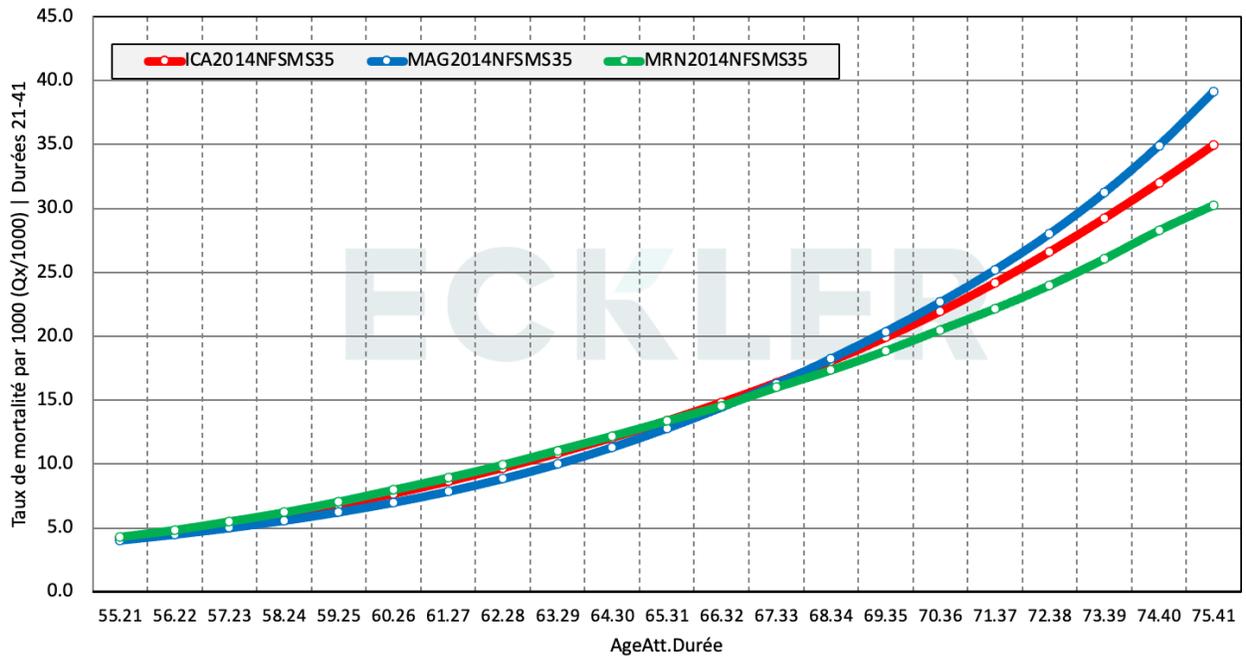


#### D.4. Femmes fumeuses

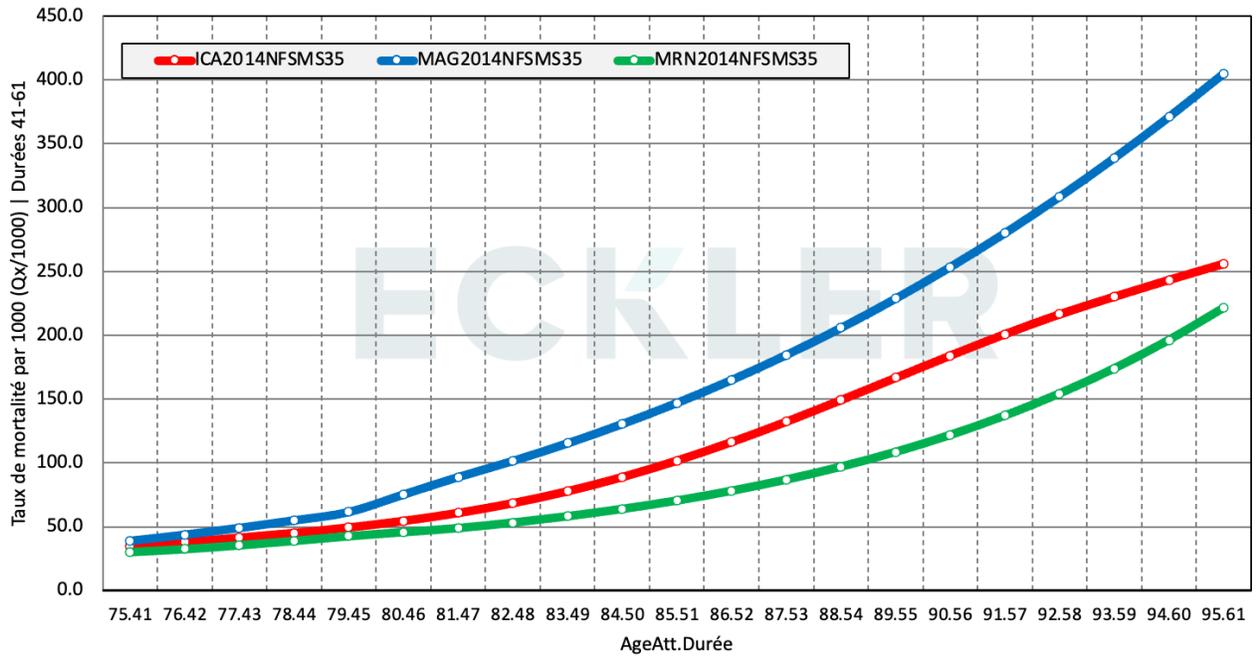


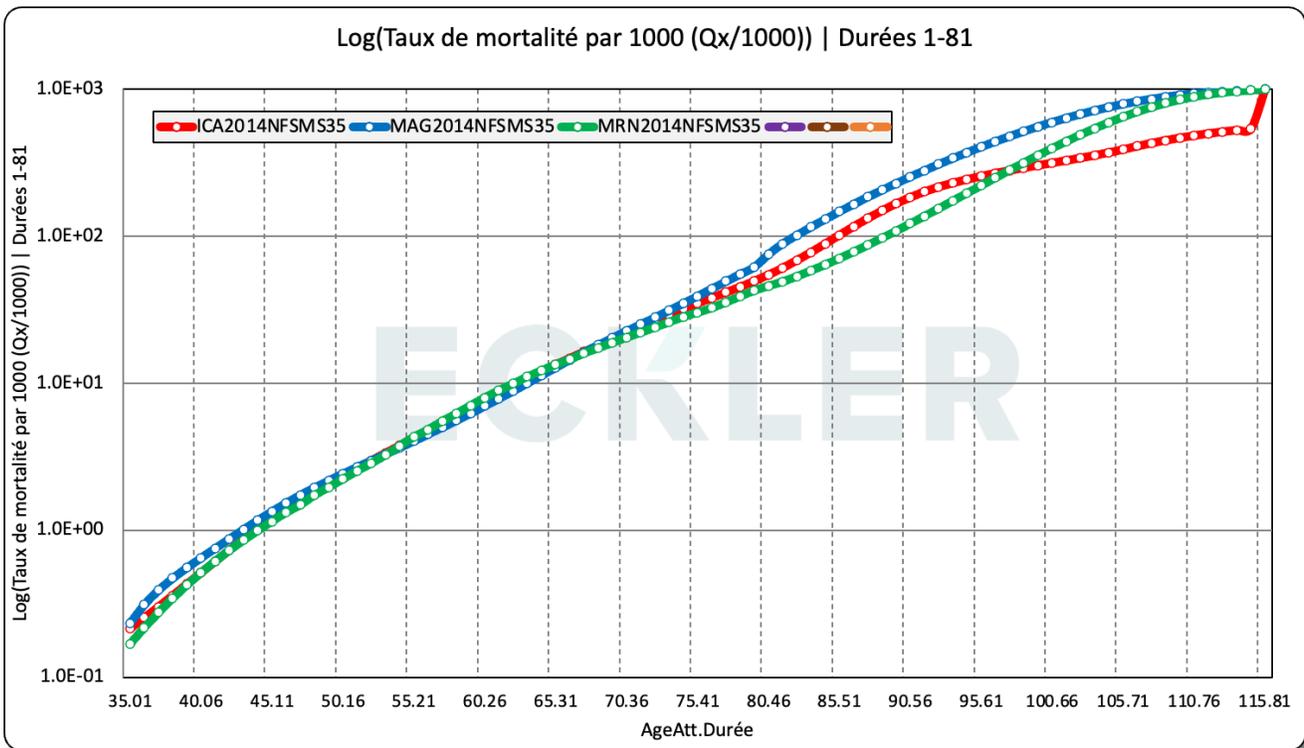
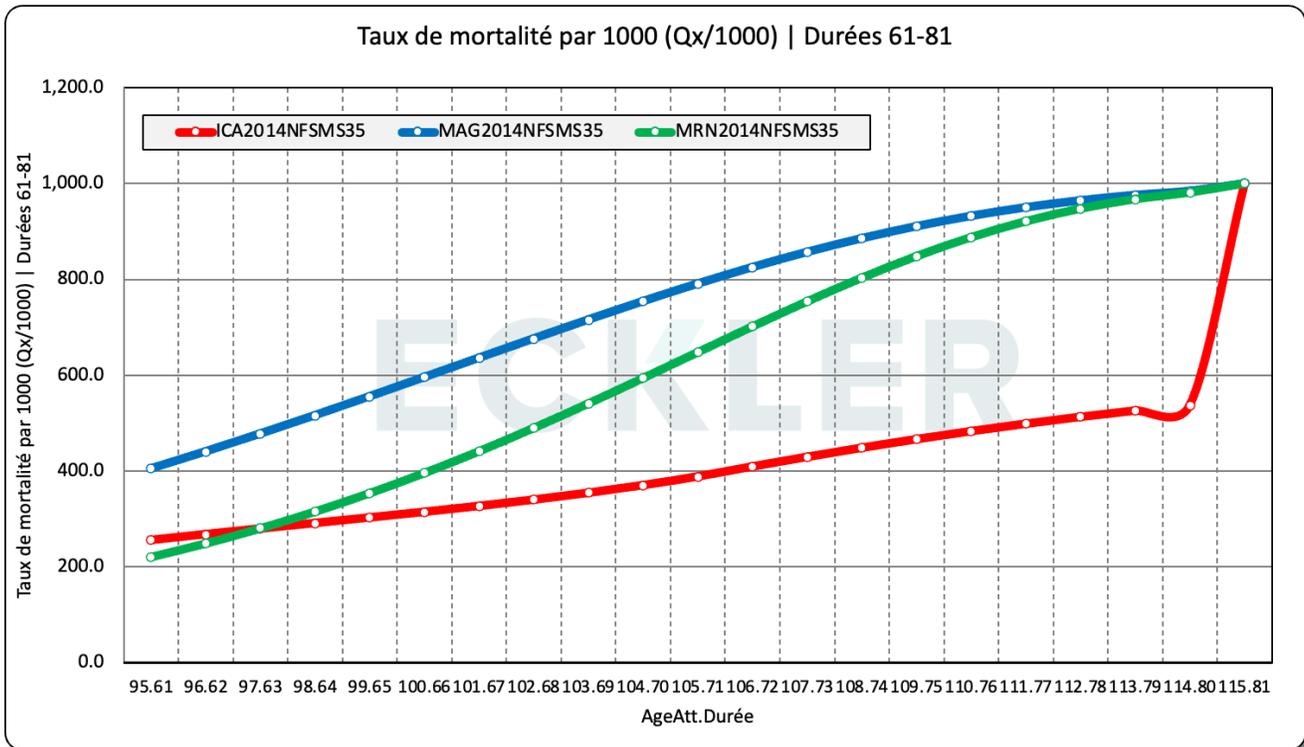


Taux de mortalité par 1000 ( $Q_x/1000$ ) | Durées 21-41



Taux de mortalité par 1000 ( $Q_x/1000$ ) | Durées 41-61

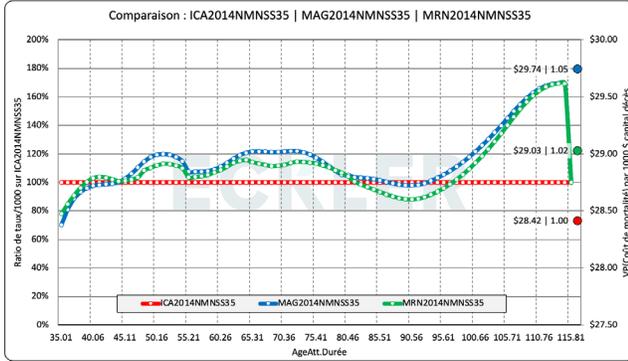




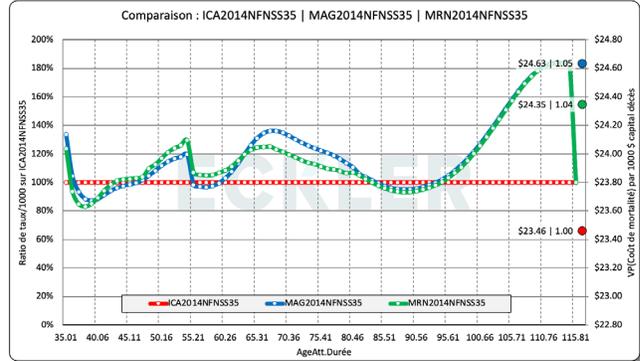


## D.5. Toutes catégories

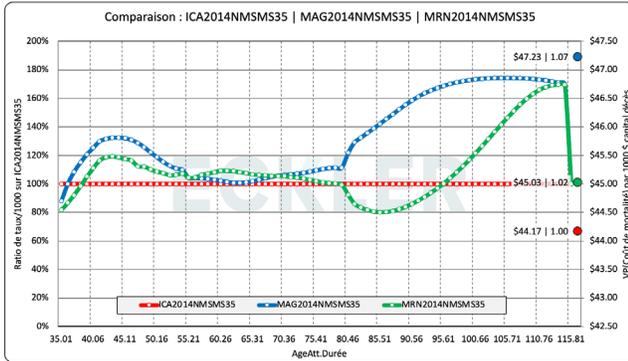
### Hommes non-fumeurs



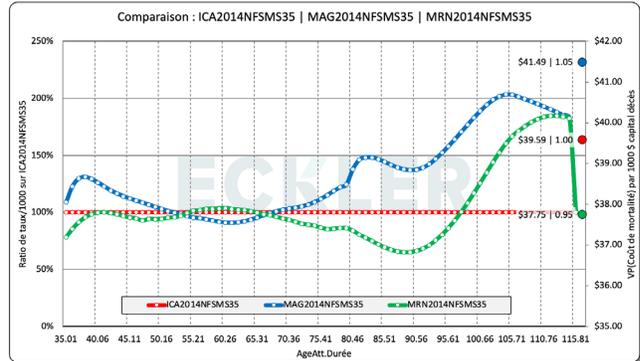
### Femmes non fumeuses



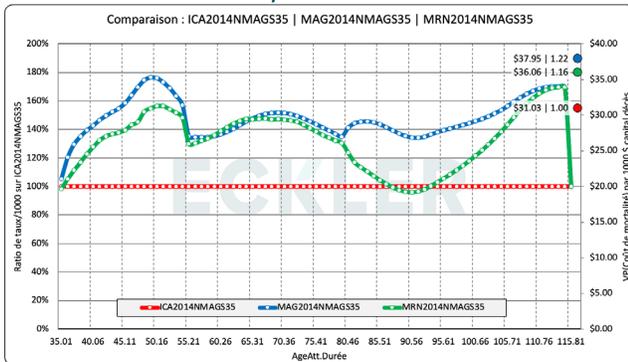
### Hommes fumeurs



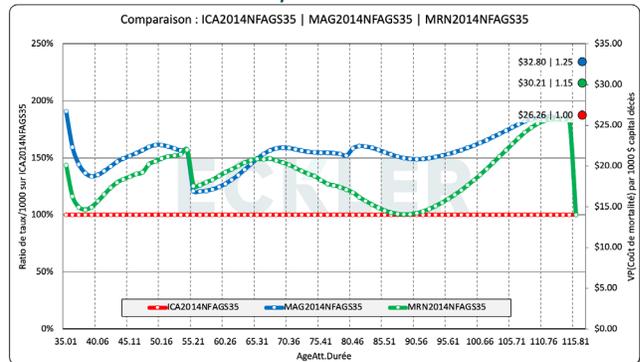
### Femmes fumeuses



### Total pour hommes

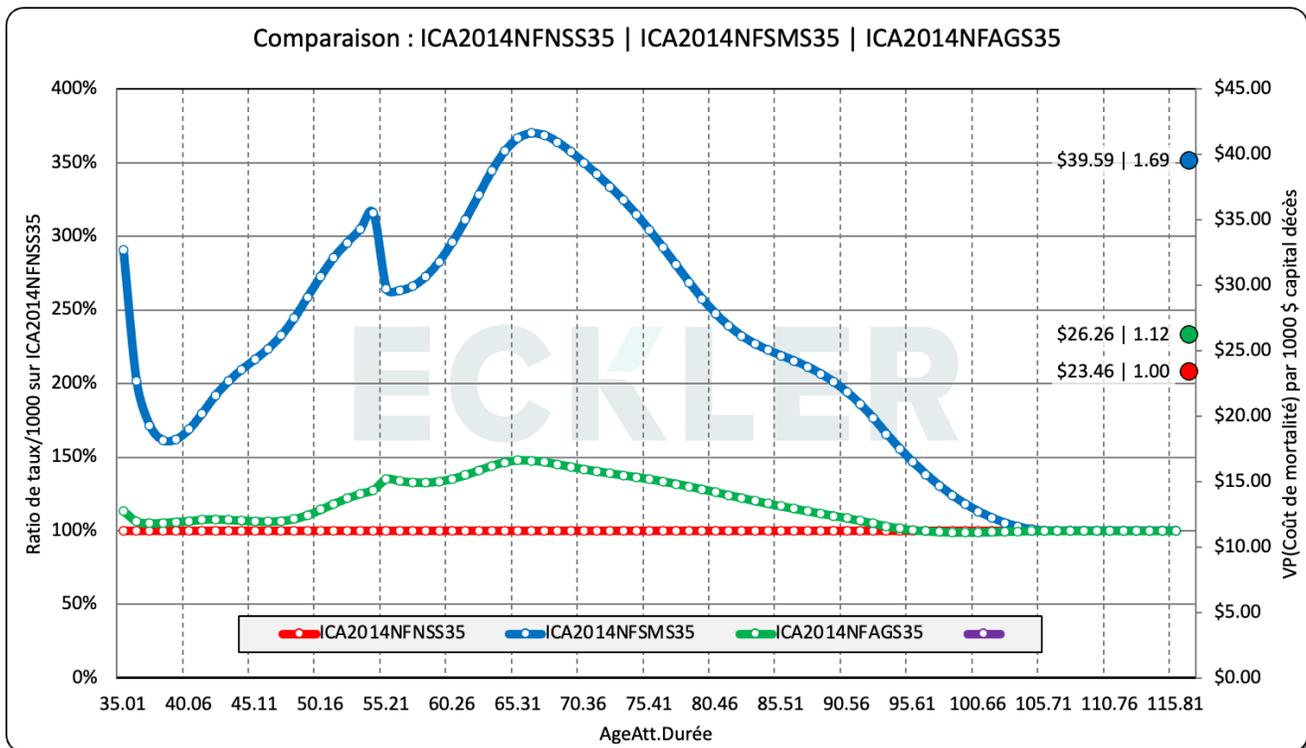
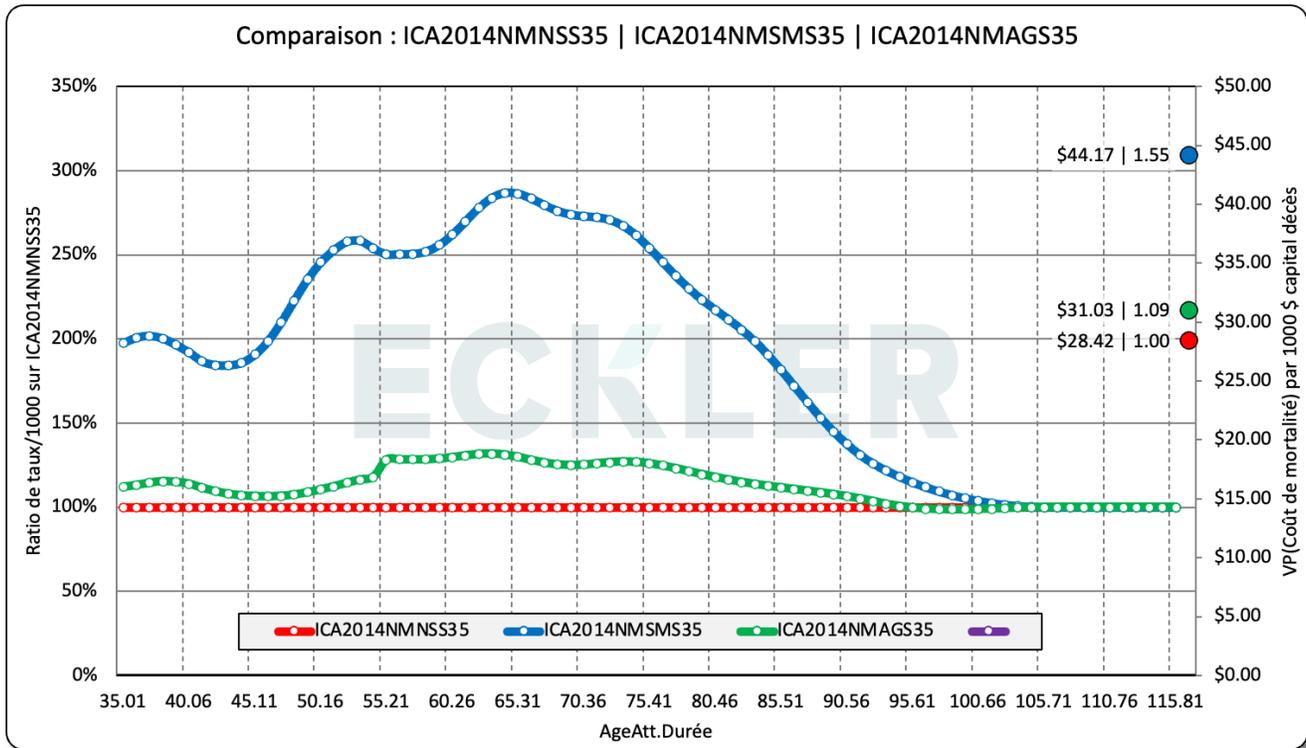


### Total pour femmes



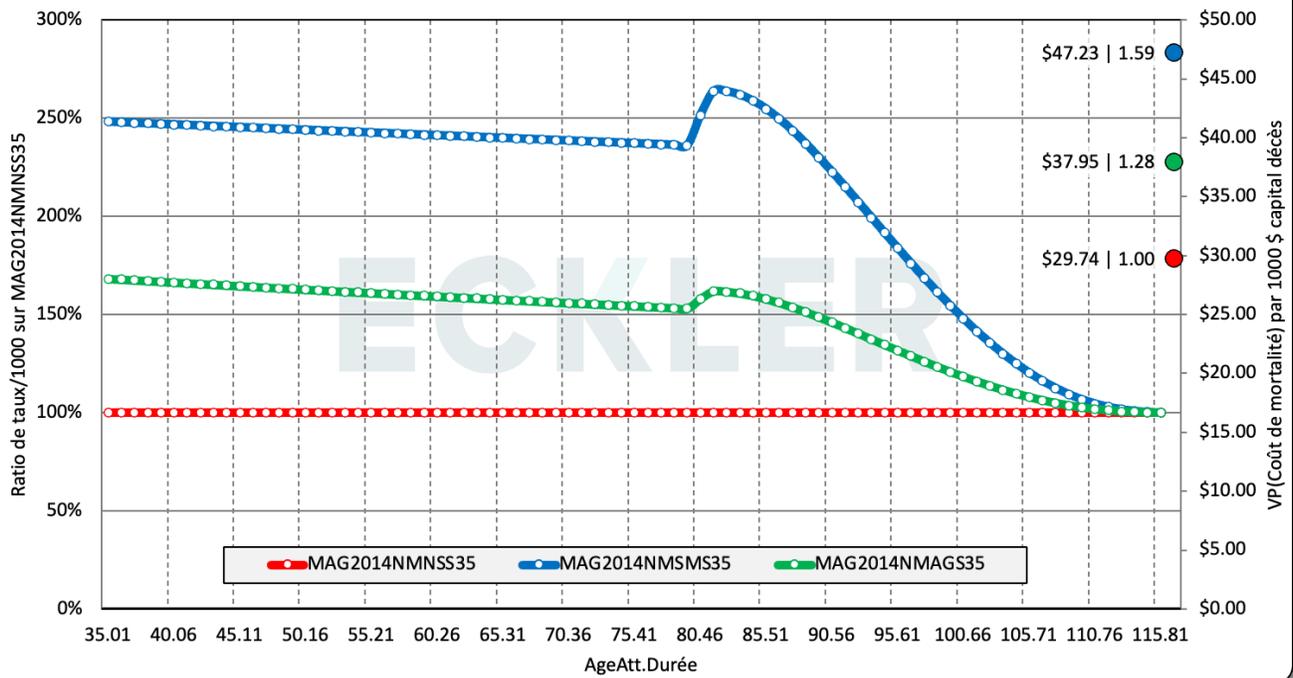


## D.6. Comparaison entre les catégories

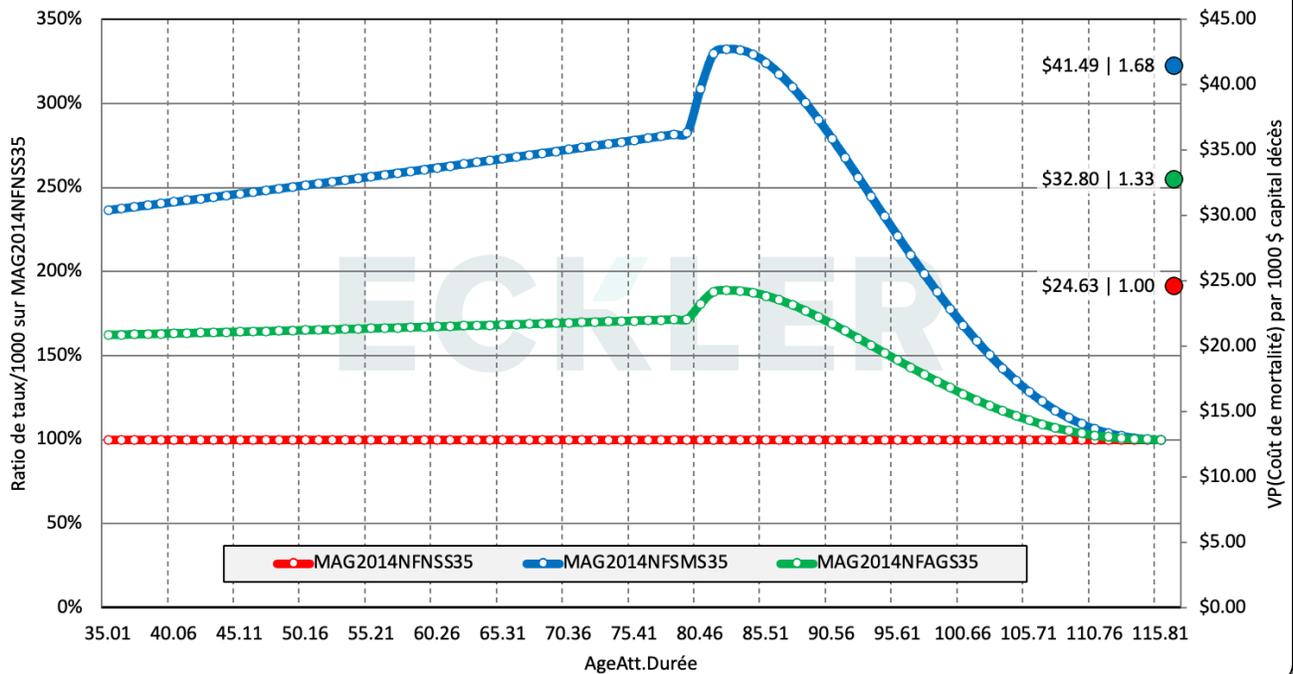




Comparaison : MAG2014NMSS35 | MAG2014NMSMS35 | MAG2014NMAGS35

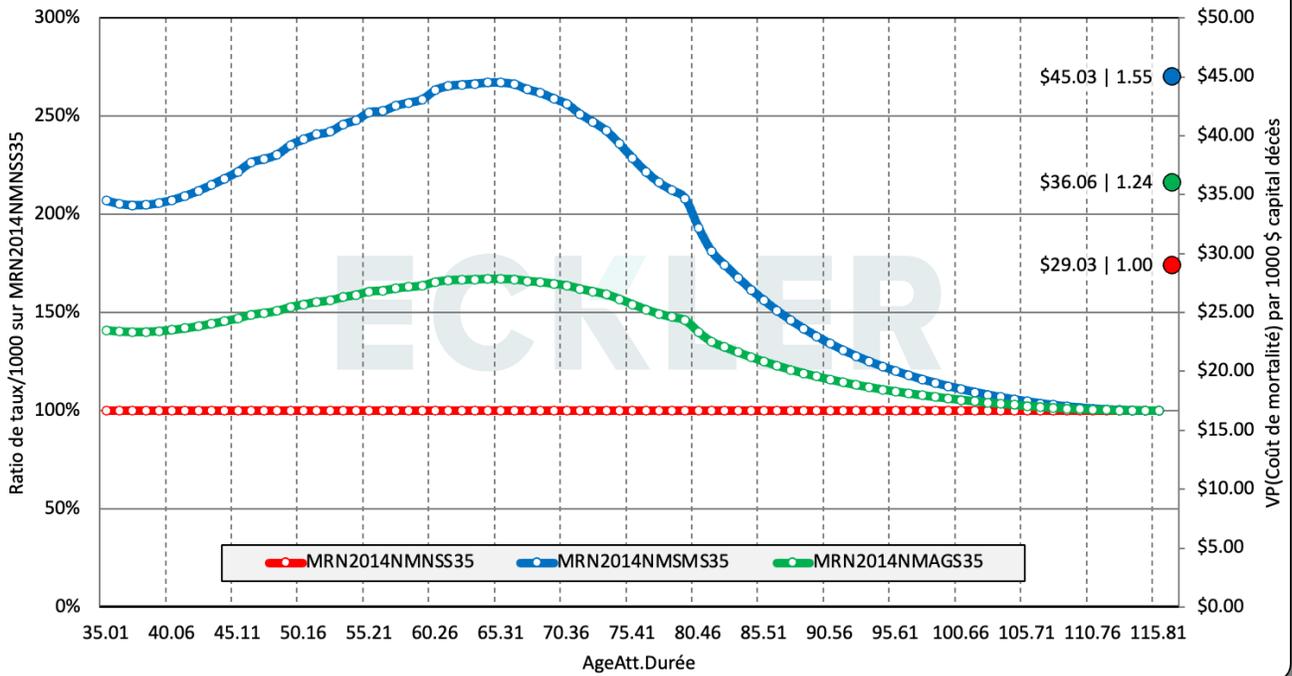


Comparaison : MAG2014NFSS35 | MAG2014NFSMS35 | MAG2014NFAGS35

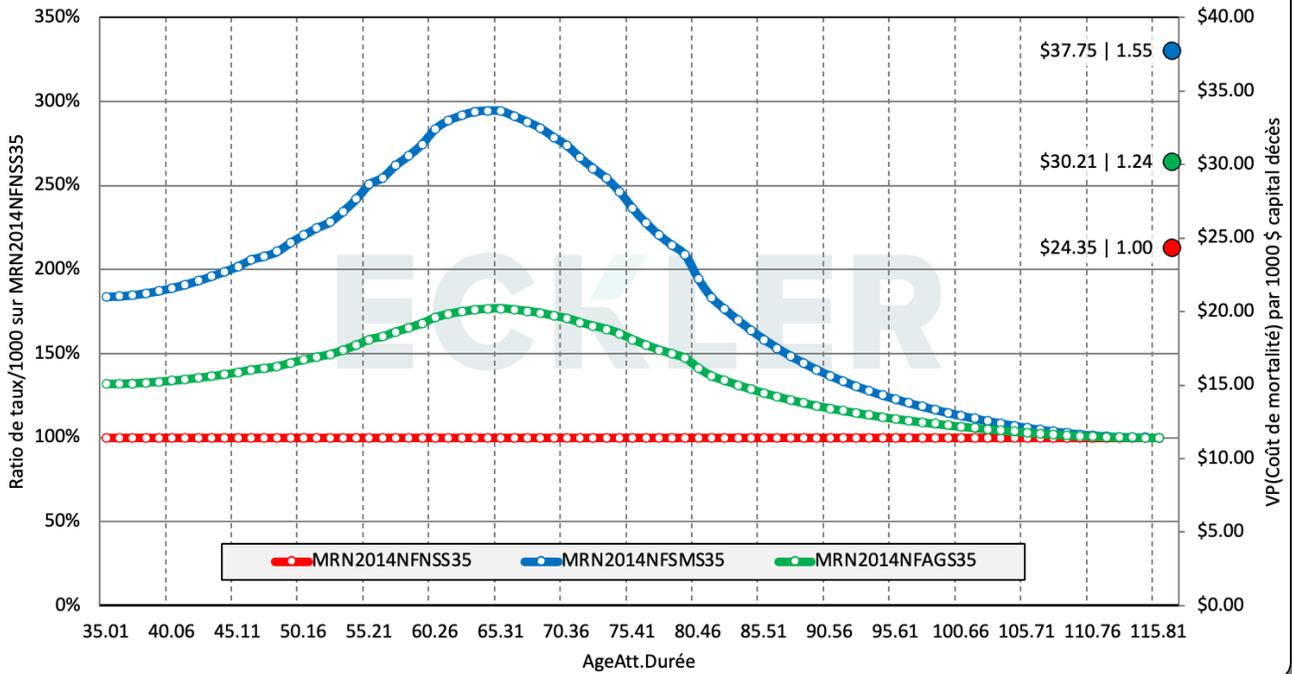




Comparaison : MRN2014NMNSS35 | MRN2014NMSMS35 | MRN2014NMAGS35

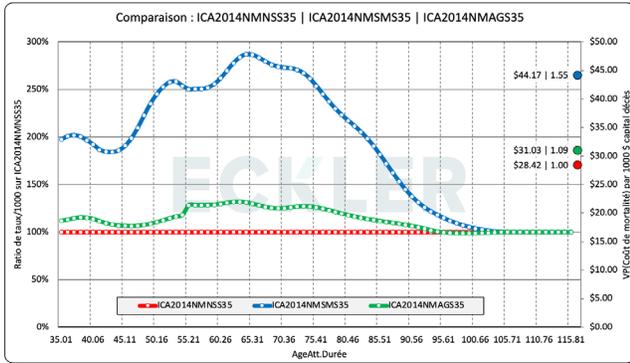


Comparaison : MRN2014NFNSS35 | MRN2014NFSMS35 | MRN2014NFAGS35

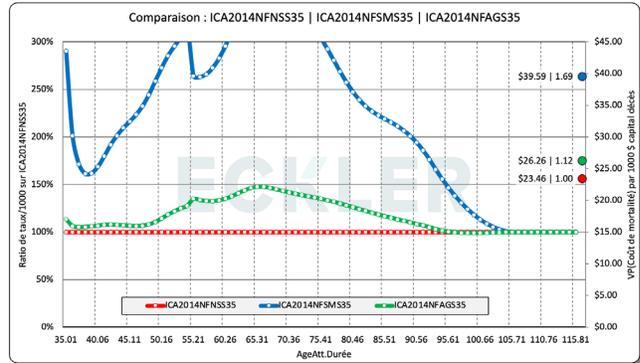




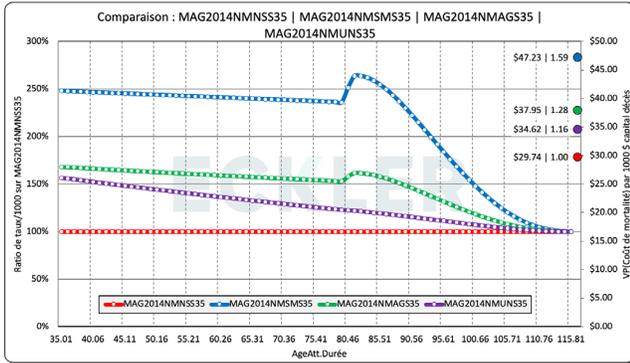
### ICA2014 Hommes



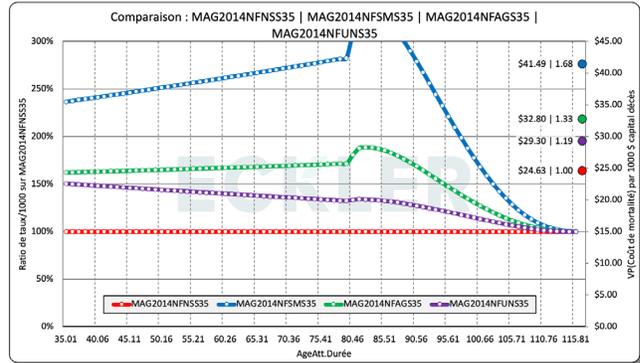
### ICA2014 Femmes



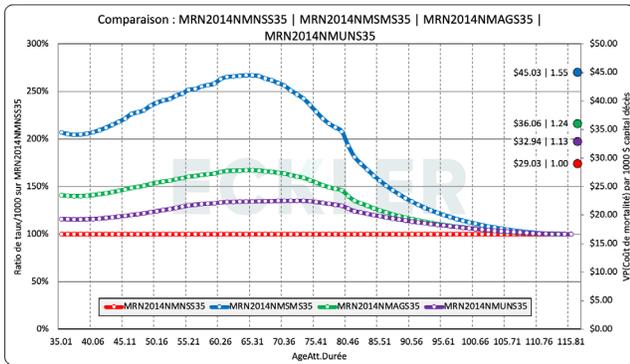
### MAG2014 Hommes



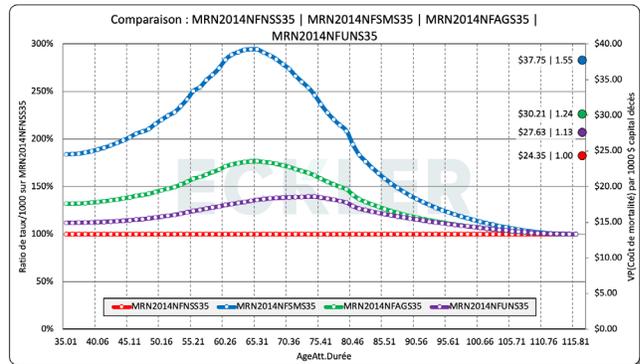
### MAG2014 Femmes



### MRN2014 Hommes



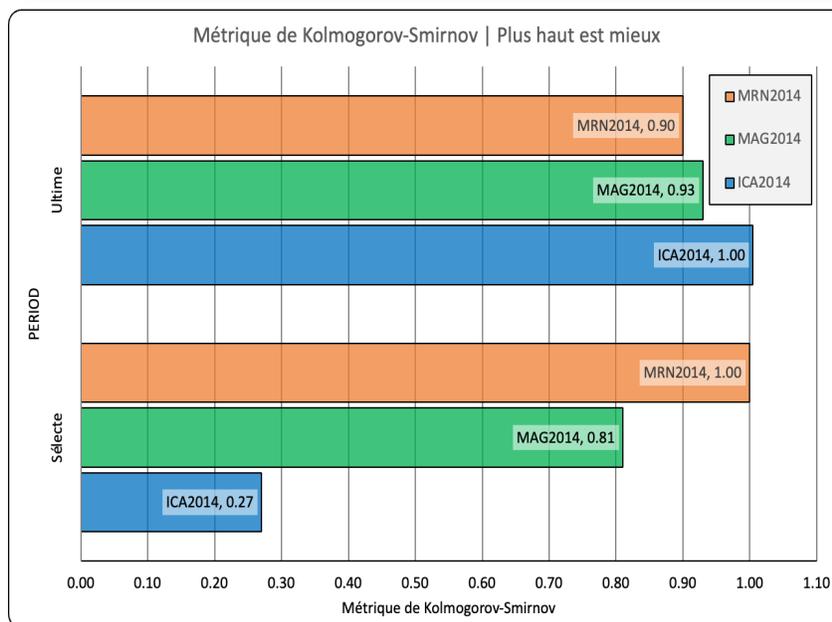
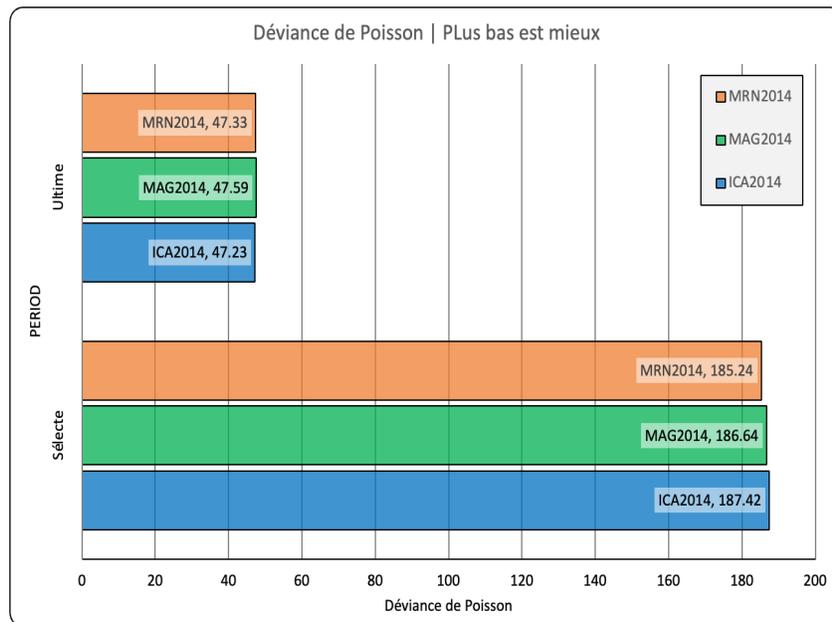
### MRN2014 Femmes





## D.7. Déviance de Poisson et mesure de Kolmogorov–Smirnov

Les graphiques qui suivent montrent la comparaison de la déviance de Poisson et la mesure KS dans les trois tables :



La piètre performance de la table ICA2014 pour la période sélecte s’explique, entre autres choses, par le fait que la table n’établit pas de différence par année, de sorte qu’il y aura un mauvais ajustement par année.

























## H. EXTRAIT DE L'EXPOSITION SELON L'ÂGE À L'ÉMISSION ET LA DURÉE

### H.1. Âge à l'anniversaire le plus proche | Hommes non-fumeurs

Durée de police	MONTANT NOMINAL TOTAL EXPOSITION   Prediction Year 2009-2019 agrégat   Homme non fumeur   Âge à l'anniversaire le plus proche											
	001	006	011	016	021	026	031	041	061	081	101	116
Âge à l'émission												
000	0	0	0	0	719 311 176	428 544 702	178 490 303	225 959	2 000	0	0	0
005	0	0	0	177 814 676	174 378 276	92 879 879	32 464 731	108 384	2 000	0	0	0
010	0	0	145 692 226	175 646 688	168 986 307	97 307 695	37 626 815	30 000	0	0	0	0
015	0	380 686 762	313 452 065	298 838 450	260 234 450	180 753 030	75 398 996	198 815	0	0	0	0
020	2 673 597 997	1 608 793 602	1 083 233 184	933 921 014	813 001 941	659 918 286	341 180 421	804 392	0	0	0	0
025	8 805 583 201	5 111 520 532	2 771 815 650	2 053 330 263	1 950 496 894	1 743 445 904	924 825 130	2 109 556	1 150	0	0	0
030	21 026 075 603	13 504 573 531	6 445 914 029	4 323 004 732	3 540 737 637	2 929 716 858	1 280 004 130	1 942 460	1 000	0	0	0
035	29 684 685 044	20 276 907 583	9 289 176 408	5 742 029 401	3 779 686 254	2 737 511 372	1 037 652 866	1 723 787	0	0	0	0
040	29 194 221 036	21 603 695 232	9 227 642 441	5 456 803 861	3 131 584 831	1 975 198 967	699 133 819	1 011 078	0	0	0	0
045	23 907 984 615	17 488 416 766	6 413 024 668	3 722 568 425	1 994 741 097	1 234 553 806	399 017 737	1 445 950	0	0	0	0
050	18 136 915 902	13 169 416 619	3 869 180 983	2 188 043 076	1 289 740 412	696 381 265	222 949 587	486 736	0	0	0	0
055	11 008 255 567	7 018 446 813	1 743 868 497	1 088 470 341	638 919 158	418 329 210	124 057 968	201 518	0	0	0	0
060	5 115 624 038	3 146 806 606	832 061 108	552 120 817	435 537 268	263 720 856	47 378 261	0	0	0	0	0
065	2 334 922 772	1 272 852 624	469 897 788	444 082 431	343 388 229	122 002 594	12 210 812	0	0	0	0	0
070	565 358 240	282 793 937	121 085 948	117 739 100	67 488 653	16 208 467	1 011 736	0	0	0	0	0
075	108 462 070	86 110 403	47 723 544	26 343 308	9 248 472	371 250	0	0	0	0	0	0
080	23 209 191	16 566 809	8 101 017	3 606 502	321 688	0	0	0	0	0	0	0
085	2 279 192	4 072 746	2 572 557	200 000	0	0	0	0	0	0	0	0
090	237 422	50 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7 574 621 998 178	744 217 806 901	510 520 855 911	208 788 343 182	133 200 695 720	91 714 441 909	64 703 943 193	25 871 232 402	43 437 146	78 623	0	0	0

### H.2. Âge à l'anniversaire le plus proche | Hommes fumeurs

Durée de police	MONTANT NOMINAL TOTAL EXPOSITION   Prediction Year 2009-2019 agrégat   Homme fumeur   Âge à l'anniversaire le plus proche											
	001	006	011	016	021	026	031	041	061	081	101	116
Âge à l'émission												
000	0	0	0	0	805 257 731	682 163 323	382 796 302	2 342 945	176 840	0	0	0
005	0	0	0	189 821 763	143 013 726	148 153 732	89 490 681	205 971	57 862	0	0	0
010	0	0	256 834 323	178 744 272	139 710 457	121 496 877	74 268 845	149 778	38 512	7 000	0	0
015	0	178 823 647	193 979 437	196 466 983	120 369 751	88 854 349	31 177 205	286 512	94 127	3 860	0	0
020	432 272 173	300 690 915	233 385 049	205 681 490	136 976 372	99 225 455	56 611 658	2 108 213	234 658	2 150	0	0
025	1 681 856 649	963 557 967	490 275 259	358 186 804	338 460 805	326 301 899	186 290 978	1 963 372	290 270	0	0	0
030	3 494 444 891	2 000 416 817	806 574 652	590 728 205	555 650 721	494 214 474	236 589 517	1 423 042	78 622	0	0	0
035	4 121 913 402	2 344 096 052	956 319 963	695 183 471	532 130 935	402 658 895	167 341 391	828 745	21 956	0	0	0
040	3 205 490 891	2 150 191 717	820 767 936	566 498 271	376 485 911	255 481 988	99 723 235	1 938 869	0	0	0	0
045	2 223 802 726	1 463 831 604	489 294 495	321 498 064	197 649 134	138 742 843	55 323 183	273 852	0	0	0	0
050	1 520 835 177	947 915 813	306 263 264	190 021 330	110 162 751	64 712 628	24 730 485	90 132	0	0	0	0
055	731 471 580	361 056 096	92 826 200	68 643 329	50 546 035	25 585 479	9 110 370	19 018	0	0	0	0
060	247 594 898	107 458 376	44 271 137	29 572 848	24 217 974	9 213 099	1 850 935	1 184	0	0	0	0
065	68 048 525	35 664 262	21 355 897	19 951 960	17 658 013	3 630 377	590 812	0	0	0	0	0
070	20 565 681	5 120 024	4 106 750	4 381 245	1 243 867	139 091	27 938	0	0	0	0	0
075	1 823 031	901 122	635 748	147 797	26 175	1 000	0	0	0	0	0	0
080	392 509	365 570	405 000	10 000	0	0	0	0	0	0	0	0
085	25 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
090	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
924 092 596 978	87 056 217 874	54 074 085 006	23 712 142 327	18 598 181 340	15 081 501 008	12 105 623 203	5 877 933 198	50 665 071	4 583 251	21 181	0	0



### H.3. Âge à l'anniversaire le plus proche | Hommes statut agrégat

MONTANT NOMINAL TOTAL EXPOSITION   Prediction Year 2009-2019 agrégat   Homme statut agrégat   Âge à l'anniversaire le plus proche												
Durée de police	001	006	011	016	021	026	031	041	061	081	101	116
Âge à l'émission												
000	4 820 942 769	3 030 650 603	2 424 907 593	2 634 080 163	2 887 893 067	2 245 605 343	1 326 224 994	398 007 696	138 348 183	801 776	134	0
005	1 427 201 394	817 007 255	639 324 730	578 951 212	576 072 378	434 075 986	231 749 351	39 526 891	10 006 966	328 501	0	0
010	1 275 087 886	778 341 785	609 898 037	516 763 661	460 786 732	358 160 118	190 358 933	31 338 239	10 473 565	637 970	0	0
015	1 500 040 526	973 612 625	779 005 669	641 777 767	512 408 670	370 705 405	189 480 993	50 091 115	18 885 361	734 267	0	0
020	3 116 149 344	1 927 603 143	1 336 967 822	1 153 997 321	1 013 643 559	897 768 357	621 885 789	259 339 508	44 177 444	654 273	0	0
025	10 487 902 250	6 075 543 588	3 263 553 998	2 414 915 905	2 443 755 101	2 538 409 320	1 663 893 925	305 615 420	46 788 688	0	0	0
030	24 520 788 366	15 505 335 789	7 252 605 706	4 917 761 825	4 287 157 515	3 946 233 842	2 052 639 793	170 156 578	20 593 135	0	0	0
035	33 806 906 223	22 621 124 517	10 245 630 869	6 440 511 336	4 454 910 319	3 549 397 066	1 617 225 057	107 975 800	5 948 707	0	0	0
040	32 399 917 967	23 753 997 947	10 048 519 878	6 028 227 836	3 621 431 480	2 524 060 359	1 082 151 119	84 477 949	1 066 317	0	0	0
045	26 222 086 566	18 952 422 686	6 902 541 550	4 047 969 857	2 256 536 083	1 521 846 112	611 619 469	37 322 884	0	0	0	0
050	19 658 017 026	14 117 528 914	4 175 643 149	2 381 406 083	1 435 246 401	839 517 677	336 887 087	13 596 521	0	0	0	0
055	11 740 066 591	7 379 741 231	1 837 123 715	1 158 934 278	708 300 087	489 690 733	179 035 618	2 098 273	0	0	0	0
060	5 363 390 729	3 254 415 272	876 930 884	583 209 751	472 543 907	295 450 135	64 681 548	146 270	0	0	0	0
065	2 404 161 992	1 309 730 526	492 309 992	465 697 027	369 230 546	135 678 669	16 327 935	0	0	0	0	0
070	586 154 318	288 084 390	125 315 205	122 541 863	70 642 095	17 623 658	1 331 947	0	0	0	0	0
075	110 537 086	87 067 640	48 390 804	26 526 659	9 349 977	3 79 687	0	0	0	0	0	0
080	23 693 782	16 962 751	8 513 785	3 616 502	370 197	0	0	0	0	0	0	0
085	2 317 453	4 080 158	2 576 260	254 574	0	0	0	0	0	0	0	0
090	240 276	50 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9 071 261 284 373	860 671 764 957	580 190 055 796	242 402 629 652	158 645 100 637	116 490 465 301	92 100 253 715	46 107 220 569	5 999 055 974	982 913 980	10 421 965	134	0

### H.4. Âge à l'anniversaire le plus proche | Hommes statut inconnu

MONTANT NOMINAL TOTAL EXPOSITION   Prediction Year 2009-2019 agrégat   Homme statut inconnu   Âge à l'anniversaire le plus proche												
Durée de police	001	006	011	016	021	026	031	041	061	081	101	116
Âge à l'émission												
000	4 820 942 769	3 030 650 603	2 424 907 593	2 634 080 163	1 363 314 161	1 134 897 318	764 938 389	395 438 791	138 169 343	801 776	134	0
005	1 427 201 394	817 007 255	639 324 730	211 314 773	258 680 376	193 042 376	109 793 939	39 212 536	9 947 104	328 501	0	0
010	1 275 087 886	778 341 785	207 371 488	162 372 700	152 089 968	139 355 546	78 463 273	31 158 461	10 435 053	630 970	0	0
015	1 500 040 526	414 102 216	271 574 167	146 472 334	131 804 470	101 098 026	82 904 792	49 605 788	18 791 234	730 407	0	0
020	10 279 175	18 118 626	20 349 588	14 394 817	63 665 246	138 624 615	224 093 710	256 426 903	43 942 786	652 123	0	0
025	462 401	465 089	1 463 089	3 398 838	154 797 403	468 661 516	552 777 818	301 542 492	46 497 268	0	0	0
030	267 872	345 442	117 025	4 028 888	190 769 158	522 302 511	536 046 146	166 791 076	20 513 513	0	0	0
035	307 777	120 882	134 498	3 298 463	143 093 130	409 226 799	412 230 800	105 423 268	5 926 751	0	0	0
040	206 040	110 998	109 502	4 925 705	113 360 738	293 379 403	283 294 065	81 531 002	1 066 317	0	0	0
045	299 225	174 316	222 387	3 903 369	64 145 852	148 549 463	157 278 550	35 603 082	0	0	0	0
050	265 947	196 483	198 901	3 341 677	35 343 237	78 423 783	89 207 014	13 019 653	0	0	0	0
055	339 444	238 322	429 018	1 820 609	18 834 893	45 776 044	45 867 281	1 877 737	0	0	0	0
060	171 794	150 290	598 639	1 516 086	12 788 665	22 516 179	15 452 352	145 086	0	0	0	0
065	1 190 696	1 213 640	1 056 307	1 662 635	8 184 305	10 045 698	3 526 311	0	0	0	0	0
070	230 397	170 430	122 507	421 518	1 909 575	1 276 100	292 273	0	0	0	0	0
075	251 986	56 116	31 512	35 554	75 330	7 437	0	0	0	0	0	0
080	92 082	30 373	7 768	0	48 509	0	0	0	0	0	0	0
085	13 261	7 412	3 703	54 574	0	0	0	0	0	0	0	0
090	2 854	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
572 546 689 217	29 397 740 182	15 595 114 878	9 902 144 143	6 846 223 576	9 694 522 385	15 290 687 319	14 358 054 969	5 904 953 757	978 252 107	10 400 784	134	0



## H.5. Âge à l'anniversaire le plus proche | Femmes non-fumeuses

		MONTANT NOMINAL TOTAL EXPOSITION   Prediction Year 2009-2019 agrégat   Femme non fumeuse   Âge à l'anniversaire le plus proche										
Durée de police	001	006	011	016	021	026	031	041	061	081	101	116
Âge à l'émission												
000	0	0	0	0	765 198 717	442 496 616	182 828 879	435 206	3 000	0	0	0
005	0	0	0	169 979 164	155 435 125	85 942 995	35 356 136	25 000	0	0	0	0
010	0	0	126 976 456	180 383 999	162 037 138	88 043 785	32 445 330	57 006	0	0	0	0
015	0	370 554 268	271 570 465	273 365 851	238 033 855	156 480 363	63 693 683	181 028	0	0	0	0
020	2 637 080 091	1 485 812 333	1 041 002 746	896 724 627	794 321 336	601 655 418	275 512 105	558 138	0	0	0	0
025	10 649 044 247	6 519 838 185	3 317 672 389	2 184 713 077	1 805 577 839	1 416 257 693	620 198 429	498 851	0	0	0	0
030	21 465 188 222	13 484 011 401	6 097 500 411	3 530 822 967	2 432 648 501	1 753 313 526	680 054 445	329 113	500	0	0	0
035	24 234 978 318	15 713 944 063	6 820 566 658	3 850 166 244	2 244 603 718	1 420 532 539	461 656 995	252 803	0	0	0	0
040	19 858 772 183	13 679 323 450	5 722 243 260	3 152 512 177	1 647 743 773	877 315 430	266 303 041	116 338	0	0	0	0
045	14 437 783 419	9 658 839 226	3 563 407 591	1 956 948 586	996 666 981	509 727 444	132 385 868	21 612	0	0	0	0
050	9 424 661 827	6 067 430 847	2 059 273 597	1 193 506 399	570 812 061	253 130 623	70 092 285	463 261	0	0	0	0
055	5 063 726 106	2 977 857 213	961 870 120	617 869 813	357 389 454	168 989 800	40 277 849	0	0	0	0	0
060	2 233 728 379	1 306 490 818	529 123 997	403 664 586	277 266 196	140 574 439	22 911 073	0	0	0	0	0
065	1 202 407 581	692 548 478	409 685 806	316 200 561	231 150 741	86 795 171	7 372 908	0	0	0	0	0
070	395 905 530	279 649 491	251 691 596	215 816 429	98 742 253	25 932 343	547 747	0	0	0	0	0
075	162 307 040	132 626 569	106 328 582	73 148 660	22 061 792	1 977 831	0	0	0	0	0	0
080	59 076 180	65 620 015	41 011 806	13 368 211	1 927 613	0	0	0	0	0	0	0
085	5 197 179	7 508 647	7 016 877	3 573 074	0	0	0	0	0	0	0	0
090	45 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 288 416 668 676	551 099 856 424	356 552 358 614	154 339 927 861	93 649 857 636	61 045 613 603	38 163 079 143	13 709 767 458	9 449 458	22 100	0	0	0

## H.6. Âge à l'anniversaire le plus proche | Femmes fumeuses

		MONTANT NOMINAL TOTAL EXPOSITION   Prediction Year 2009-2019 agrégat   Femme fumeuse   Âge à l'anniversaire le plus proche										
Durée de police	001	006	011	016	021	026	031	041	061	081	101	116
Âge à l'émission												
000	0	0	0	0	794 565 625	675 934 481	379 989 044	873 599	146 762	0	0	0
005	0	0	0	180 610 651	133 889 150	146 067 902	91 128 808	203 721	25 000	275	0	0
010	0	0	257 616 855	155 377 497	129 329 422	115 271 682	69 625 884	97 092	12 000	3 000	0	0
015	0	153 604 497	179 154 080	144 453 640	108 792 733	74 580 025	27 052 657	146 844	19 512	1 000	0	0
020	249 651 239	216 965 983	164 281 436	170 246 013	154 180 039	132 678 755	70 025 440	1 093 742	77 330	740	0	0
025	1 040 780 302	697 913 908	391 997 912	320 677 861	331 660 187	307 861 469	160 936 118	1 032 694	45 092	0	0	0
030	1 566 134 709	1 013 819 800	488 170 088	413 215 533	409 746 729	353 333 504	156 766 311	446 518	26 561	0	0	0
035	1 508 165 719	960 903 087	504 216 220	440 864 706	362 122 955	254 013 951	83 086 852	274 920	8 000	0	0	0
040	1 177 001 305	875 207 575	403 738 340	328 637 528	218 072 262	136 147 712	48 327 235	296 070	1 500	0	0	0
045	852 294 966	691 584 485	286 030 056	207 360 238	130 431 516	72 514 944	22 232 824	177 225	0	0	0	0
050	693 802 741	487 152 697	152 487 637	109 907 412	72 006 328	34 349 711	12 681 513	106 323	0	0	0	0
055	396 326 141	201 003 157	66 731 642	53 156 075	39 918 099	20 993 827	7 894 581	8 500	0	0	0	0
060	147 693 437	85 444 015	42 855 764	32 553 028	24 359 198	11 180 619	1 771 240	3 500	0	0	0	0
065	55 463 288	31 786 260	19 343 354	19 713 204	14 398 260	4 724 818	1 190 919	0	0	0	0	0
070	22 487 154	9 970 486	11 623 817	7 547 344	3 627 725	551 690	21 686	0	0	0	0	0
075	6 458 807	6 760 876	2 447 010	875 148	267 195	26 937	0	0	0	0	0	0
080	11 998 638	3 810 071	557 443	122 501	0	0	0	0	0	0	0	0
085	135 000	37 872	2 000 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
091	42 263	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 38 067 855 688	38 290 238 112	27 497 471 770	15 413 539 984	13 950 708 220	11 989 063 040	9 373 081 912	4 436 226 133	18 531 991	1 290 883	15 337	0	0



## H.7. Âge à l'anniversaire le plus proche | Femmes statut agrégat

		MONTANT NOMINAL TOTAL EXPOSITION   Prediction Year 2009-2019 agrégat   Femme statut agrégat   Âge à l'anniversaire le plus proche											
Durée de police		001	006	011	016	021	026	031	041	061	081	101	116
Âge à l'émission													
000		4 697 765 645	3 020 366 272	2 508 558 060	2 773 307 232	3 013 152 997	2 288 178 810	1 235 249 564	250 935 247	46 857 646	560 144	0	0
005		1 471 055 744	878 772 043	713 683 625	565 838 128	549 161 337	429 257 063	224 880 796	24 654 806	2 376 546	115 492	0	0
010		1 230 850 265	736 529 754	607 823 558	517 307 513	452 564 896	344 864 587	167 428 340	14 890 462	1 576 920	354 100	0	0
015		1 388 668 470	952 457 520	677 253 197	530 697 268	459 633 369	315 836 551	147 915 087	16 976 896	2 653 001	259 348	0	0
020		2 896 989 000	1 721 399 337	1 227 786 279	1 079 567 326	1 012 268 554	866 037 965	521 153 044	105 904 306	7 316 944	171 544	0	0
025		11 690 133 958	7 218 111 522	3 710 212 848	2 508 417 746	2 267 527 188	2 081 152 607	1 124 805 722	69 469 506	3 585 198	0	0	0
030		23 031 906 895	14 498 039 975	6 585 792 492	3 946 970 445	2 956 928 902	2 425 446 515	1 129 956 297	42 631 119	2 017 498	0	0	0
035		25 743 559 236	16 674 954 468	7 324 831 342	4 295 033 064	2 699 011 528	1 889 882 862	735 941 962	27 192 319	1 108 700	0	0	0
040		21 036 091 009	14 554 683 112	6 126 105 040	3 485 427 417	1 921 203 976	1 141 196 167	425 758 033	22 019 498	266 583	0	0	0
045		15 290 323 779	10 350 504 649	3 849 560 198	2 168 792 075	1 159 448 522	647 411 265	215 210 482	14 847 112	0	0	0	0
050		10 118 697 077	6 554 844 549	2 211 931 605	1 306 212 874	662 529 042	325 414 789	117 692 542	7 653 288	0	0	0	0
055		5 460 690 082	3 179 036 226	1 028 770 594	673 152 961	409 342 946	213 927 291	68 626 567	2 032 088	0	0	0	0
060		2 381 621 510	1 392 080 296	572 127 382	439 126 925	312 438 057	166 401 034	33 016 694	335 018	0	0	0	0
065		1 258 174 764	724 546 140	429 270 730	338 178 603	253 821 513	100 321 198	11 795 698	0	0	0	0	0
070		418 659 050	289 651 539	263 518 193	224 442 115	104 556 074	27 801 874	640 946	0	0	0	0	0
075		168 814 519	139 412 704	108 869 229	74 426 299	23 021 904	2 123 542	0	0	0	0	0	0
080		71 559 645	69 452 331	41 613 290	13 764 051	2 026 767	0	0	0	0	0	0	0
085		5 341 327	7 550 520	9 016 877	3 573 074	0	0	0	0	0	0	0	0
090		66 086	704	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6 262 139 407 722		6 18 549 144 824	3 99 907 651 664	1 80 061 756 739	1 14 648 576 518	8 162 250 967	58 800 549 906	26 855 689 395	2 101 966 247	170 892 821	4 648 984	0	0

## H.8. Âge à l'anniversaire le plus proche | Femmes statut inconnu

		MONTANT NOMINAL TOTAL EXPOSITION   Prediction Year 2009-2019 agrégat   Femme statut inconnu   Âge à l'anniversaire le plus proche											
Durée de police		001	006	011	016	021	026	031	041	061	081	101	116
Âge à l'émission													
000		4 697 765 645	3 020 366 272	2 508 558 060	2 773 307 232	1 453 388 654	1 169 747 713	672 431 641	249 626 441	46 707 884	560 144	0	0
005		1 471 055 744	878 772 043	713 683 625	215 248 314	259 837 062	197 246 166	98 395 852	24 426 085	2 351 546	115 217	0	0
010		1 230 850 265	736 529 754	223 230 247	181 546 017	161 198 336	141 549 121	65 357 127	14 736 364	1 564 920	351 100	0	0
015		1 388 668 470	428 298 755	226 528 652	112 877 777	112 806 781	84 776 162	57 168 747	16 649 024	2 633 489	258 348	0	0
020		10 257 670	18 621 021	22 502 096	12 596 686	63 767 178	131 703 793	175 615 499	104 252 426	7 239 614	170 804	0	0
025		309 410	359 429	542 547	3 026 808	130 289 163	357 033 446	343 671 174	67 937 961	3 540 106	0	0	0
030		583 964	208 774	121 993	2 931 945	114 533 672	318 799 485	293 135 541	41 855 488	1 990 437	0	0	0
035		415 200	107 318	48 464	4 002 114	92 284 855	215 336 371	191 198 114	26 664 596	1 100 700	0	0	0
040		317 521	152 087	123 441	4 277 712	55 387 941	127 733 024	111 127 756	21 607 089	265 083	0	0	0
045		245 393	80 937	122 551	4 483 251	32 350 025	65 168 877	60 591 790	14 648 274	0	0	0	0
050		232 508	261 005	170 371	2 799 063	19 710 653	37 934 456	34 918 743	7 083 705	0	0	0	0
055		637 834	175 857	168 833	2 127 072	12 035 393	23 943 663	20 454 138	2 023 588	0	0	0	0
060		199 695	145 462	147 621	2 909 312	10 812 663	14 645 976	8 334 381	331 518	0	0	0	0
065		303 895	211 401	241 570	2 264 838	8 272 513	8 801 208	3 231 871	0	0	0	0	0
070		266 366	31 562	202 780	1 078 343	2 186 096	1 317 841	0	0	0	0	0	0
075		48 671	25 259	93 637	402 491	692 917	118 774	0	0	0	0	0	0
080		484 828	22 246	44 042	273 339	99 154	0	0	0	0	0	0	0
085		9 148	4 001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
090		11 086	704	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
435 654 938 148		29 159 092 551	15 857 821 281	10 308 288 894	7 048 010 662	8 587 824 325	11 264 388 851	8 709 695 804	2 073 984 798	169 579 838	4 633 647	0	0



## I. RECONNAISSANCE

Les travaux qui sous-tendent le présent rapport, y compris nos constatations, ont été commandés par l'ICA dans le cadre du projet de recherche sur la construction des tables de mortalité canadiennes et ils ont été surveillés par un groupe chargé de la surveillance du projet (GSP). Le présent rapport a été rédigé par R.C.W. (Bob) Howard et il a été approuvé par la Direction de la recherche de l'ICA, la Commission sur les études d'expérience et le GSP.

Les membres du Groupe de surveillance du projet sont :

Leena Lalith Kumar (présidente)

David Gourlay

Nicholas Li

Jinxia Ma

Yves Nasri

Khanh Nguyen

Marie-Claude Rioux

Kelvin Siu

Franklin Reynolds

Jean-René Vaillant

La révision par les pairs à l'interne a été effectuée par Christine Finlay, FICA, Eckler.



© 2022 Institut canadien des actuaires

## CONTACT

Institut canadien des actuaires  
360, rue Albert, bureau 1740  
Ottawa, ON K1R 7X7  
613-236-8196

[siege.social@cia-ica.ca](mailto:siege.social@cia-ica.ca)

[cia-ica.ca](http://cia-ica.ca)

[voiraudeladurisque.ca](http://voiraudeladurisque.ca)



L'Institut canadien des actuaires (ICA) est l'organisme de qualification et de gouvernance de la profession actuarielle au Canada. Nous élaborons et maintenons des normes rigoureuses, partageons notre expertise en gestion du risque et faisons progresser la science actuarielle pour le bien-être financier de la société. Nos plus de 6 000 membres utilisent leurs connaissances en mathématiques, en statistiques, en analyses de données et en affaires dans le but de prodiguer des services et des conseils de la plus haute qualité pour aider à assurer la sécurité financière de toute la population canadienne.