

**Mémoire présenté devant l'ENSAE ParisTech
pour l'obtention du diplôme de la filière Actuariat
et l'admission à l'Institut des Actuaires**

le _____

Par : Philéas CONDEMINÉ

Titre: Etude de la sur-sinistralité des conducteurs âgés

Confidentialité : ☐ NON ☒ OUI (Durée : ☐ 1 an ☒ 2 ans)

Les signataires s'engagent à respecter la confidentialité indiquée ci-dessus

Membre présents du jury de l'Institut
des Actuaires

signature

Entreprise :

Nom : AXA Belgium

Signature :

Directeur de mémoire en entreprise :

Nom : Guillaume GORGE

Signature :

Invité :

Nom : Kévin Masset

Signature :

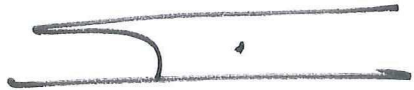
Autorisation de publication et de

mise en ligne sur un site de

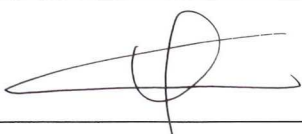
diffusion de documents actuariels

(après expiration de l'éventuel délai de
confidentialité)

Signature du responsable entreprise



Signature du candidat



Secrétariat

Bibliothèque :

MÉMOIRE D'ACTUARIAT ETUDE DE LA SUR-SINISTRALITÉ DES CONDUCTEURS ÂGÉS

Philéas CONDEMINÉ

Encadrants :
Guillaume GORGE
Kévin MASSET

Groupe de travail

Années 2013-2014

Résumé

La sensibilité de la fréquence et du coût des accidents à l'âge est un enjeu clairement établi pour les jeunes conducteurs et les conclusions sont bien connues. En revanche, de l'autre côté de la pyramide des âges, on ne peut pas en dire autant.

Cette étude propose d'y apporter des réponses, d'abord en établissant un état de la recherche sur la sinistralité des conducteurs âgés. De nombreux éléments issus d'enquêtes épidémiologiques amènent à deviner une sinistralité spécifique aggravée des conducteurs âgés : déficits sensoriels et moteurs, consommation de psychotropes, anticipation et gestion imparfaites des dangers. Nous disposons de la base de données des polices des assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans suivis sur 4 années. Afin de mettre en évidence l'impact de l'âge sur la sinistralité des conducteurs âgés, nous proposons dans un premier temps une partie de statistiques descriptives. On montre ainsi une sinistralité spécifique des conducteurs en fonction de l'heure d'occurrence des sinistres. On observe également une spécificité dans le type de sinistres. Pour l'occurrence d'un sinistre en responsabilité civile en tort, la fréquence de dommage sur le flanc droit est 28% vs 36% pour les tranches d'âge 60-70 ans vs plus de 80 ans. Cette observation s'interprète comme une augmentation du nombre de refus de priorité à droite imputable à une mauvaise connaissance du Code de la route et une mauvaise anticipation des véhicules tiers malgré un choix de conduite plus lente. Nous proposons de confirmer nos autres intuitions par des modélisations économétriques afin de mesurer plus finement l'effet de l'âge sur le coût, la fréquence et le risque de responsabilité dans les sinistres RC. Nous montrons ainsi que, pour l'occurrence d'un sinistre en responsabilité civile, la probabilité qu'il soit en tort plutôt qu'en droit est 48% vs 73% pour les tranches d'âge 60-70 vs plus de 90 ans. Pour un conducteur belge standard, la fréquence de sinistres en responsabilité civile en tort est en moyenne 41% plus élevée pour les octogénaires que pour les sexagénaires. Le coût de sinistres semble également augmenter avec l'âge, la tendance est moins claire et mériterait une étude approfondie. Nous terminons notre étude par une tentative d'identification (et de correction) des bons et mauvais conducteurs en fonction de leur catégorie d'âge. Cette étude montre que l'effet individuel ne prédomine pas sur l'effet de cohorte (effet collectif). Il est donc délicat de dire qu'un conducteur âgé est catégoriquement "à risque", on se permettra de supposer que cet état "rigide" est cohérent lorsque la sinistralité récente de l'assuré est très importante, par exemple 3 sinistres en responsabilité civile en tort en 2 ans. Sur la population précitée des conducteurs "à risque", nous proposons une évaluation de l'efficacité des mesures prises par AXA Belgium depuis quelques années dans le but de réduire la sinistralité des conducteurs les plus à risque. Les résultats étant satisfaisants, nous encourageons un travail dans cette direction et une recherche de nouvelles méthodes peu coûteuses et efficaces visant à corriger le risque des conducteurs âgés. L'effet cohorte étant prédominant, nous encourageons un travail de sensibilisation globale de la population des conducteurs âgés plutôt qu'un travail pointu et coûteux pour quelques individus.

Abstract

Age dependence of car crash costs and frequency for younger drivers is a widely known issue and results are clearly established. Meanwhile sinistrality of drivers on the other extremity of the pyramid of ages is still discussed, we intent to give some answers.

This study first offers a state of the art of elderly people's sinistrality causes. Many elements argue for a specific and higher sinistrality of older drivers : sensory and physical deficiency, drugs consumption, bad anticipation and management of traffic dangers. What answers could an actuarial database offer ? A DataBase of AXA Belgium 60+ insured drivers on a 4 years scope helps us challenging the issue of older drivers' sinistrality. In order to highlight the impact of aging on sinistrality, we first make a sensitivity study to age for several variables. Thus we prove that the distribution of crashes within the hours of the day narrows around midday when aging. A specific type of crashes is also underlined. Frequency of right-side damages for an at fault third party liability (TPL) car crash are 28% vs 36% for 60-70 vs 80+ clusters of age. This observation might be associated with an increase of non-yielding to the priority vehicles coming from the right. Such a behavior is probably attributable to a poor knowledge of Highway Code and an inability to anticipate other vehicles behaviors that even a drastically slower and more cautious driving does not neutralize. In order to assess more accurately other intuitions, we use econometric modelling to infer the impact of age on costs, frequency and responsibility in car crashes. The figures inferred are quite interesting, in a two¹-vehicles crash, the probability that the insured driver is at fault rather than at right is 48% vs 73% for 60-70 vs 80-90 age clusters. Moreover, the frequency of at fault TPL crashes is 41% higher for 80-90 than for 60-70 age cluster. The mean-costs of car crashes also increases when aging, but the trend is not obvious, one should deepen research on this complex subject including a 60-65 and 65+ analysis. To determine how to control older drivers' sinistrality, one first needs to understand the way it is distributed within drivers. Does older drivers' sinistrality skyrocket for a few when other drivers remain similar to younger drivers (30-60) in terms of sinistrality ? (stiff individual effect) Does the increase of crash severity split within the majority of the aging population ? (cohort effect) After using several methods, individual effect proved not to exceed the cohort effect. Therefore, one should be cautious when selecting some "bad drivers" and we suggest to treat specifically only (the few) tremendously "bad risks" whom recent sinistrality is above 3 (at fault TPL vehicles crashes) in the recent 2-3 years. AXA Belgium currently asks medical assessment of the precited population to control their sinistrality, which our analysis proved to be efficient, especially with women. We encourage further works to improve the costs and efficiency of such signals. Since the cohort effect prevails over the individual effect, we deeply promote the development of widespread measures addressing to every aging driver in order to prevent their sinistrality from deteriorating, for instance a briefing about the risks of priority refusal or traffic risk managing.

1. Or more

Merci à :

- Guillaume GORGE, mon directeur de mémoire, qui m'a proposé ce sujet d'étude, pour ses encouragements, ses critiques, ses idées et son temps.
- Kévin MASSET, mon autre encadrant de mémoire, pour son aide dans l'élaboration des nombreuses bases de données, dans mon questionnement méthodologique, dans les problématiques soulevées, éthique comme technique, et enfin dans son travail de suivi et de relecture.
- Claire CONDEMINÉ, ma mère, pour son aide immense dans la recherche de sources d'informations et la réflexion sur les questions éthiques, épidémiologiques et médicales associées à ce sujet.
- Léonard CONDEMINÉ, mon frère jumeau, ancien élève à l'ISUP, qui m'a aidé dans la réflexion aussi bien sur mon sujet que sur la rédaction des notes de synthèses, résumé, soutenance.
- Olivier LOPEZ, professeur à l'ENSAE, qui m'a aidé à affronter des problèmes techniques et méthodologiques en particulier sur l'application des modèles linéaires généralisés sur les bases de données actuarielles.
- Les développeurs de R et LATEX ainsi que les membres de multiples forums associés qui m'ont permis de résoudre la plupart des problèmes de logiciel rencontrés.

Censure des données pour raisons de confidentialité

Pour des raisons de confidentialité, et afin de permettre une diffusion plus large de la recherche au sein de la communauté actuarielle, les données sensibles ont été supprimées ou reformatées pour ne faire apparaître que des données relatives. Ces changements n'altèrent en rien les conclusions de ce mémoire : tous les coefficients et indicateurs liés à l'âge, ou à l'impact de l'âge n'ont pas été modifiés. Les niveaux pour la fréquence et le coût moyen des sinistres ont été relativisés en fonction d'une base 100 qui est précisée dans chaque tableau. Cette transformation permet de mesurer clairement les impacts de l'âge sur les grandeurs étudiées. Ce mémoire a été fait avec Axa Belgium, mais les conclusions et réflexions présentes dans ce mémoire sont de la seule responsabilité de son auteur et n'engagent en rien Axa Belgium.

***Mots-clés :** vieillissement, conducteurs âgés, accidents de la route, sinistralité, responsabilité civile, responsabilité, en tort, en droit, coûts, fréquences, assurance belge*

Synthèse

L’objectif de cette note de synthèse est de présenter le thème, la problématique, la méthodologie envisagée pour traiter notre sujet, les informations à disposition, et surtout, les principaux résultats obtenus ainsi que quelques propositions d’ouvertures.

L’enjeu de notre recherche est d’étudier la sur-sinistralité des conducteurs âgés. Certains la considèrent acquise mais contrairement à la sur-sinistralité des jeunes conducteurs qui est clairement établie, la question est moins claire pour les conducteurs seniors. Nous chercherons à déterminer si l’entrée dans la vieillesse implique un surplus de sinistralité, en coût ou en fréquence. La population ciblée est celle des assurés d’AXA Belgium. Cette population est à considérer dans sa spécificité en termes de richesse et de réglementation routière. Afin de pallier les différents effets parasites qui sont associés au passage à la retraite et aux changements de contraintes budgétaires, nous proposons d’étudier spécifiquement les assurés de plus de 60 ans (pour la plupart de moins de 90 ans). Nous étudierons souvent des tranches d’âges d’une dizaine ou d’une quinzaine d’années selon que nous souhaitons comparer 2 ou 3 groupes, en fonction de la cohérence pour la question étudiée.

Nous commençons par étudier les idées développées dans la littérature. Ensuite nous proposons des tests élémentaires de certaines thèses rencontrées via des méthodes de statistiques descriptives. Puis nous mettons en place des modèles économétriques afin de mesurer l’impact de l’âge sur la fréquence, le coût et la responsabilité dans les sinistres. Pour finir nous étudions la répartition de la sur-sinistralité dans la population et nous évaluons les solutions mises en place par AXA Belgium pour contrôler les conducteurs les plus à risque.

1 Recherches préliminaires

Nos recherches sur la question de la sinistralité des conducteurs âgés, nous ont amenés à consulter de nombreux articles d’épidémiologie publiés par des professionnels de santé ou des chercheurs spécialisés dans le domaine². On identifie ainsi de nombreuses causes probables de sinistralité associées à des défauts de vue [14], d’ouïe, de motricité (TMS), d’anticipation, d’analyse [34] et de réaction aux situations de danger [60]. La consommation de psychotropes dans le cadre des prescriptions médicales est également une piste d’étude [50] [68] [16]. La méconnaissance du Code de la route est également une cause possible de sinistres [30].

Les thèses des articles retenues sont directement citées en réponse aux résultats que nous avons obtenus.

2 Une évolution importante de la fréquence de sinistre avec l’âge

On constate une augmentation de la fréquence de sinistre en fonction de l’âge en Belgique.

2.1 Baisse de fréquence en droit, hausse de fréquence en tort avec l’âge

On réalise l’étude de la fréquence via des modèles économétriques linéaires généralisés standards, ici modèles de Poisson. On propose de “contrôler” l’impact de l’âge sur la sinistralité en introduisant diverses variables explicatives de la sinistralité d’un individu, par exemple son genre, sa sinistralité passée ou la valeur du véhicule qu’il conduit. L’intérêt d’une variable de contrôle est évalué par la significativité des coefficients (estimés) associés et par les modifications qu’elle apporte aux coefficients relatifs aux variables d’âge de l’assuré. Avec l’ajout de variables de contrôle de la sinistralité des conducteurs, on constate que les conducteurs de 80-90 ans ont 41% plus de sinistres en tort que les 60-70 ans (Partie 4.1.1, page 61 du rapport et 34% moins de sinistres en droit RDR³ que les 60-70 ans (Partie 4.1.3, page 65 du rapport). La littérature est partagée (pour [46], contre [15]) mais ici c’est assez clair, surtout si on rapporte la fréquence de sinistre à la distance parcourue annuellement. D’autre part, il est globalement admis que la conduite plus rare et défensive explique la baisse de fréquence de sinistres en droit [45] [71].

2. La question a déjà suscité un grand nombre de recherches dans ce secteur. Elles sont disponibles sur le site “PUBMED”, site de référence de PUBLications de MEDecine, c’est une base de données américaine de référence qui recense un grand nombre d’articles de toutes nationalités et qui dépassent la simple question médicale.

3. Les dommages sont couverts par AXA Belgium qui récupérera la somme avancée auprès de l’assureur tiers.

2.2 Diminution de la distance parcourue annuellement

Le nombre de kilomètres parcourus annuellement n'est pas connu précisément, mais on a pu montrer que la distance moyenne entre le lieu d'un sinistre et le lieu de résidence de l'assuré diminue avec l'âge, par extension, la distance parcourue diminue avec l'âge. Pour cela on utilise la connaissance du code postal du lieu de résidence de l'assuré et du lieu d'occurrence de l'accident. L'information est codée suivant trois modalités : le sinistre a-t-il lieu dans la même région ? le même code postal que le lieu de résidence de l'assuré ? Afin de mesurer simplement l'effet de l'âge on met en place un modèle polytomique de probabilités proportionnelles. On montre ainsi que les conducteurs de 80-90 ans ont 48% plus de chance d'avoir un sinistre à distance courte (plutôt que longue) de leur domicile que les 60-70 ans.

L'emploi de méthodes de *geocoding* peut être envisagé afin de mesurer plus précisément la distance entre ces deux emplacements, faute de temps nous n'avons pas mis en pratique cette idée. Le résultat obtenu est en accord avec les éléments rencontrés dans la littérature : les personnes âgées conduisent moins [18].

2.3 La fréquence de sinistres multiples en un jour est sensible à l'âge et au genre

Concernant la fréquence de sinistres multiples en une courte période, typiquement l'occurrence de plusieurs sinistres en tort en un jour, on a pu noter une sous implication globale des femmes dans ce type d'événement, cependant les conducteurs de plus de 80 ans, en particulier lorsqu'il s'agit d'une femme, ont une fréquence de multi-sinistres en un jour relativement supérieure à celle des conducteurs de moins de 80 ans : 28% des femmes qui ont plusieurs sinistres RC en tort en 1 jour ont plus de 80 ans alors que seulement 11% des femmes qui ont un sinistre RC en tort ont plus de 80% (table 1).

2.4 Une fréquence de sinistre élevée pour les conducteurs de voiturette sans effet âge

Bien que la fréquence de sinistre des conducteurs de voiturette soit bien plus importante que celle des conducteurs de voitures standards, dont la conduite requière la détention du permis B, on ne distingue pas d'effet âge pour cette population, le manque d'observation peut justifier ce résultat. Pour montrer cela on a comparé des modèles de fréquence multi-niveaux avec variables de contrôle où seul le coefficient de la variable d'âge est estimé distinctement selon que l'assuré conduit une voiture ou une voiturette, le contrôle est donc le même pour ces deux catégories de conducteurs.

3 Une très forte hausse du risque de sinistre en tort plutôt qu'en droit avec l'âge

3.1 Fort taux de responsabilité

Le taux de sinistres en tort augmente avec l'âge d'après la partie 4.3, page 71 du rapport. On emploie ici des modèles dichotomiques pour comparer l'occurrence de sinistres en droit ou en tort. Lorsqu'un assuré a un accident en droit ou en tort (responsabilité 0% ou 100%), la probabilité, pour un individu "standard"⁴, que ce soit un sinistre en tort est 48% vs 73% pour les tranches d'âge 60-70 vs plus de 90 ans.

Ces éléments s'imposent dans la littérature ([10], [15], [25], [12]) pour divers motifs : pertes d'acuité sensorielle et motrice, consommations de psychotropes, diminution des réflexes.

3.2 Modification sensible du type de sinistres

La tendance observée sur le taux de responsabilité provient probablement de l'augmentation de la fréquence de sinistres sur les flancs, en effet le motif du sinistre évolue avec l'âge de l'assuré. Cet élément est confirmé par la littérature. Les accidents sur les flancs sont associés à des refus de priorité. On note une augmentation de la fréquence de sinistres en tort sur le flanc droit (resp. gauche) du véhicule de l'assuré : 28% vs 36% (resp. 25% vs 30%) pour les tranches d'âge 60-70 ans vs plus de 80 ans (table 1). Une méconnaissance du Code de la route peut-être soupçonnée, il serait intéressant de tester la connaissance du Code de la route par les assurés. Cette idée est encouragée par les résultats très positifs d'une étude réalisée en Angleterre qui compare différents tests de détection de la sinistralité [30].

4. On entend par là, individu qui correspond aux valeurs moyennes des variables de contrôle : un homme vivant en zone urbaine et conduisant un véhicule vieux de 5 à 10 ans et n'ayant pas eu de sinistres RC en tort depuis 10 ans.

Classe d'âge	Ecart de fréquence de sinistres en tort ^a	Ecart de fréquence de sinistres en droit RDR ^b	Taux de responsabilité ^c	Accident à courte vs longue distance du domicile ^d
Référence (60-70 ans)	1	1	48%	1
70-80 ans	+18%	-23%	56%	+24%
80-90 ans	+41%	-34%	65%	+48% ^e
Plus de 90 ans	+63%	-72%	73%	/

TABLE 1 – Tableau de synthèse

a. Table 15, page 63 du rapport.

b. Table 19, page 66 du rapport.

c. Table 27, page 73 du rapport, calculs pour un conducteur "standard".

d. Table 28, page 74 du rapport.

e. Pour l'ensemble des plus de 80 ans

4 Sensibilité complexe mais importante à l'âge du coût moyen des sinistres en tort

4.1 L'effet retraite sur le coût des sinistres en tort

Le coût moyen des sinistres en tort augmente globalement avec l'âge, l'effet est moins net que sur la fréquence ; en effet, le coût moyen des assurés de 60-65 ans est bien supérieur à celui des 65-70 ans ⁵. Cependant, l'augmentation du coût des sinistres en tort est régulière ⁶ de 65 jusqu'à 85 ans. Les modèles économétriques, essentiellement loi Gamma avec lien logarithmique et découpage des coûts en tranches de valeur, sur la population des 60-90 ans indiquent une absence de caractère explicatif de l'âge sur le coût, sans doute à cause de cette irrégularité entre les moins de 65 ans et les plus de 65 ans (Partie 4.5, page 75 du rapport). La littérature indique une sensibilité importante à l'âge de l'occurrence de sinistres graves, particulièrement coûteux [15].

4.2 Sinistres en droit - pas d'effet âge

Le coût moyen des sinistres en droit dépend très peu de l'âge de l'assuré, ceci signifie que la gravité du sinistre associé au statut de victime dépend peu de l'âge. De cette observation, on déduit également que la diminution de la fréquence de sinistres en droit avec l'âge peut être interprétée comme une sous-exposition aux dangers de la route ie une diminution de la fréquence de conduite parce que les conditions des sinistres en droit : localisation des dommages au véhicules et coûts, varient peu en fonction de l'âge de l'assuré.

4.3 Impact sur l'heure du sinistre du coût et de l'âge

On remarque également qu'en moyenne le coût des sinistres, en tort comme en droit, de jour est nettement inférieur à celui des sinistres de nuit. Les sinistres en tort (resp. en droit) coûtent environ 100 ⁷ (resp. 80) lorsqu'ils ont lieu entre 10h et 16h contre quasiment 150 (resp. 90) sur d'autres tranches horaires, en particulier entre 20h et 5h. On remarque simultanément que les sinistres de nuit sont associés à des conducteurs moins âgés, de deux ans en moyenne, soit une moyenne d'âge de 69 ans pour les sinistres de nuit contre 71 ans pour les sinistres de jour. Ceci permet de préciser la répartition de l'exposition des conducteurs âgés : avec l'âge, les conducteurs conduisent dans des tranches horaires de plus en plus resserrées autour du milieu de journée (Table 12, page 57 du rapport).

5 L'effet individuel est plus faible que l'effet de cohorte

Concernant l'évolution de la sinistralité avec l'âge dans la population des assurés, nous avons montré que l'effet cohorte est plus important que l'effet individuel dans une population fermée de conducteurs belges de plus de 60 ans suivis sur 4 années. En effet, on observe une faible persistance des individus dans le groupe des mauvais risques. Nous avons montré cela de plusieurs manières.

5. Ceci est imputable à la différence importante de conduite entre les actifs et les retraités.

6. Si on considère des tranches d'âge de 5 ans, sinon on observe un "bruit" important.

7. Indice de référence de coût.

Notons cependant qu'il serait profitable de reproduire cette étude sur un horizon plus long, de 10 ou 20 ans par exemple en contrôlant les effets exogènes.

5.1 Tests simples des intuitions

Tout d'abord grâce à une étude temporelle des fréquences de sinistres par classe d'âge, on ne distingue aucune tendance significative.

5.2 Introduction d'une méthode de test innovante : modèle 2-Poisson

Ensuite, grâce à une étude de la répartition de la population dans le temps en deux groupes, les bons et les mauvais conducteurs, jugés par leur fréquence de sinistre récent. Le modèle sous-jacent est parfois appelé modèle 2-Poisson. On n'observe pas d'augmentation de la fréquence de sinistres des "mauvais conducteurs" ou d'augmentation de leur part relative dans la population suivie.

5.3 Alternative - une méthode plus classique : coefficient de dispersion

Enfin, à travers une étude temporelle des coefficients de sur-dispersion estimés pour des modèles de loi binomiale négative. La sur-dispersion n'augmente pas de façon régulière dans le temps. Entre deux effets : dégradation de la cohorte ou augmentation du nombre de mauvais conducteurs, c'est le premier qui est observé, soit une aggravation globale de la sinistralité avec l'âge (parties 5.1 à 5.5, pages 84 à 90 du rapport).

5.4 Complétion par une évaluation de la déviation des mauvais conducteurs

Chez les conducteurs les plus à risque, on observe un taux de résiliation de contrat moindre que dans la population sans sinistre récent. Ce résultat permet de montrer que l'ajustement dynamique des assurés qui présentent une sur-sinistralité récente ne permet pas d'expliquer une stabilité de la proportion des "mauvais conducteurs" (partie 5.6 page 92 du rapport).

5.5 Prise en compte de ces résultats

Dans la littérature, on rencontre souvent des propositions de diagnostics coûteux et ciblés pour les déficits sensoriels, moteurs ou cognitifs des conducteurs à fort potentiel de risque ([5], [4], [65], etc.). Les résultats que nous avons obtenus incitent davantage à mettre en place des tests peu coûteux et généralisés à l'ensemble des conducteurs âgés visant à anticiper la possible dégradation de leur conduite. Pour cela des articles proposent des tests simples, peu coûteux et efficaces : de simples labyrinthes pour tester les capacités de réflexion[67] ou une évaluation de la connaissance du Code de la route [30].

6 Une régulation encourageante de la sinistralité des mauvais conducteurs encore améliorable

L'effet de l'envoi d'un courrier à l'assuré, qui l'informe d'une sinistralité trop élevée et l'invite à réaliser un test d'aptitude médical, est important chez les femmes, mais modéré chez les hommes. Cette capacité d'adaptation suite à la prise de conscience de ses propres risques était mise en avant dans la littérature [6]. De plus, dissociation par genre était attendue dans la littérature [17]. Notons, pour ce résultat que nous disposions de peu de recul et de peu de données, un renouvellement dans quelques années pourrait être très profitable. Afin de réaliser cette étude, on compare, en fonction du genre, l'ajustement de la sinistralité des assurés ayant reçu un courrier à celle d'assurés qui affichent une sinistralité très proche au même moment, mais à qui aucun courrier n'a été envoyé (on parle de population de référence). La rigueur de construction de cet échantillon de population pourrait être améliorée en choisissant un critère quantitatif d'envoi de courrier.

Key-words : *aging, car-crash, regulation, controlling sinistrality, older driver, third-party liability, at fault, at right, costs, frequency, belgian insurance*

Synthesis

This synthesis introduces the themes and methodology chosen to deal with our subject. The information at disposal and the results obtained are summed up. The challenge of our research is to study the sinistrality of older drivers. Contrary to the over-sinistrality of young drivers which is clearly established, the question is still debated for the senior drivers. We will study the effect of aging on frequency, costs and responsibility in third-party liability (TPL) policies. This case study focuses on belgian drivers over 60 years old insured by AXA Belgium on a 4 years scope. We will mostly study 10-years-wide-clusters of age.

First we study the ideas found in the literature about the impact of aging on car crashes. Then we use descriptive statistics methods to test some intuition. To deepen this work we use econometric modelling to measure the impact of age on costs, frequency or responsibility rate in TPL car crashes. Finally we assess the heterogeneity of sinistrality within older drivers and measure the efficiency of the measures currently proposed by AXA Belgium to decrease the sinistrality of “bad drivers”.

1 Preliminary research

1.1 Factors of sinistrality

Studying the scientific debate on causes and solutions to the sinistrality of older drivers, most of the literature came from medical and road-safety professional. Many studies have already been led in countries such as Australia, USA or UK⁸. Plenty of liable sources of increase, and sometimes decrease, have been brought up associated with experience, self-regulation, hearing, view [14], motor skills (RSIs⁹), emotions, dementia[34], anticipation and adaptation to hazard, knowledge of Highway Code [30] and drugs consumption [50] [68] [16].

Pros and Cons are directly introduced to complete the results from our computations.

2 Frequency highly modified when aging

2.1 Decreasing at right frequency vs increasing at fault frequency for older drivers

The increase of at fault crash frequency with age in Belgium is blatant. Generalized linear models, with Poisson models, are used in order to prove this effect. To control properly the impact of age, variables are introduced. For instance : gender of the driver, number of recent car crashes, power of the engine, etc. The relevance of each variable is tested : significativity and impact on the estimates of age variable coefficients. Adding variables, one observes that the 80 to 90 have 41% more at fault accidents than the 60-70 (section 4.1.1, page 61 of the corpus) and 34% less at right RDR¹⁰ than 60-70 (section 4.1.3, page 65 of the corpus. Table 2.). The literature is split on this subject (pros [46], cons [15]). The hesitations found in the literature are settled. The ratio of frequency over yearly driven distance must have even bigger variations. Moreover, literature agrees that elderly people drive less and more defensively, thus a decrease in at right crashes frequency [45] [71],

The yearly driven distance is not known with precision but we used the postal code to establish a first proxy of the average distance between car location and insurer’s residence location. The decrease with age is important. Using geo-coding methods, one could increase our approximations and tests. This observation is confirmed by literature :

-Elderly people drive less [18].

8. Most of our references are gathered in “PUBMED” which is a reference for PUBLications in MEDecine and related works.

9. Repetitive strain injury.

10. Claims covered by AXA Belgium which directly recovers it from the third insurer.

2.2 A gender and age sensitive multiple crashes frequency

We also studied the occurrence of multiple crashes in a short period, for instance in one day. Women are globally less involved in this kind of crashes than in scarce car crashes, but 80+ drivers are relatively more involved than the 60-80. If one considers women who have multiple crashes, 28% of them are 80+ when only 11% of women having a “standard” scarce crash are 80+.

2.3 “Voiturette” drivers’ high crash frequency without age effect

A comparison within Belgian 60+ of “standard-car” drivers and “voiturette” drivers (cars one can drive without driving licence) has proven that the frequency of crashes for the second population is higher. But for these drivers, the frequency of car crashes does not depend on age. This result is limited by the relatively small amount of observations. In order to compare the two drivers populations, we build a multi-level frequency model with controlling variables where only age-variable-coefficients depends on the type of vehicle.

3 Severe risk increase of at fault versus at right crashes with age

3.1 High responsibility rate for elderly people

Considering a crash can be at fault or at right, we make a comparison of the frequency of the two possibilities. The proportion of at fault crashes increases tremendously (section 4.3, page 71 of the corpus). This result is due to the decrease in at right crashes and the increase in at fault crashes. A dichotomic model is introduced in order to measure this trend comparing events of “pure” responsibility : 0% or 100%. The probability for the standard individual¹¹ involved in a crash accident to be at fault is 48% vs 73% for the clusters 60-70 vs 90+ (table 2.).

3.2 Modification of type of crashes with age

The previous trend probably results from a simultaneous average-increase of at fault crashes frequency and average-decrease of at right crashes frequency with age. The increase of side damages with age, related to the refusal to give way to vehicles coming from the right, expected from the articles we read, might explain this trend. There is an important increase in the frequency of right(resp. left)-side damages with age : 28% vs 36% (resp . 25% vs 30%) for the age clusters 60-70 vs over 80. One might suspect a deficient knowledge of the Highway Code by the elderly people, an article published by English researchers indicates this is currently the best indicator they found to predict sinistrality [30], this idea should be tested and used by AXA.

Age clusters	At fault crashes frequency spread ^a	At right crashes frequency spread ^b	Responsibility rate ^c	Long vs short crash location-home distance ^d
Reference (60-70)	1	1	48%	1
70-80	+18%	-23%	56%	+24%
80-90	+41%	-34%	65%	+48% ^e
90+	+63%	-72%	73%	/

TABLE 2 – Tynthesis table

^a. Table 15, page 63 of the corpus.

^b. Table 19, page 66 of the corpus.

^c. Table 27, page 73, of the corpus, computations for a “standard” driver.

^d. Table 28, page 74 of the corpus.

^e. For 80+

4 Complex but important age sensitivity of car crashes costs

4.1 At fault crash cost and retirement effect

The average-cost of at fault car crashes globally increases with age. The trend is not as clear as it was for frequency. The 60-65 average-cost of at fault crashes is greater than the average-cost

11. Defined by the average value of each variable used for control : man living in an urban area, driving a 5-10 years old car, who didn’t have a crash at fault in the last 10 years.

of the 65-70¹², but between 65 and 85, the increase is stable. Econometric models, using Gamma law and a subset for different severities for drivers of 60-90, do not show any impact of age on the cost of at fault crashes, perhaps because of the difference between 60-65 and 65+ (section 4.5, page 75 of the corpus.). Literature exposes several example of sharp increases of car crashes severity with age [15].

4.2 At right crash cost - no aging effect

Average-cost of at right crashes hardly depends on age, therefore, the severity of at right crashes does not depend on the driver age. Moreover, considering the fact that the localization of damages, on the vehicle in at right crashes, does not depend on the driver's age, this justifies the interpretation of the frequency of at right crashes as a decrease of exposure.

4.3 Crash hour impact of cost and age

Nevertheless, the average-cost is higher for crashes occurring at night than for these occurring during the day. At fault (resp. at right) crashes cost approx. 100¹³ (resp.80) when they occur between 10 am and 4 pm, and 150 (resp. 90) when they take place between 8 pm and 5 am. In the meantime, the 10 am-4 pm crashes are related to a 71 age population when 8 am-5 pm crashes are associated with, much younger, a 69 age population. Thus, the daytime distribution of elderly people's driving seems to narrow around midday with age, this should lead to a decrease of average-costs with age. Further studies should be led by AXA to use this remark.

5 The individual effect is not as important as cohort effect

Does the evolution of sinistrality with age rely on a collective effect or an individual effect? Are there some "bad drivers" with a recurrent high sinistrality in opposition to some "standard-sinistrality drivers"? We tried to study this problem with several methods. We have shown the cohort effect is more important than the individual effect on short-term, 4 years horizon. Drivers taken individually have a low persistence in the "high risks" group. The tests we introduce should be carried out on a longer horizon, for instance 10 or 20 years with a control of exogene effects.

5.1 Elementary test ideas

With a time series analysis of crash frequencies for different age clusters, no significative trend is noticed.

5.2 Innovative method : 2-Poisson

Another idea was to use an adaptation of a 2-Poisson model which consists in separating drivers into two groups : low or high sinistrality. Considering the evolution of these groups in time, it appears that neither the intensity nor the proportion of "bad risks" increases with time over 4 years on a closed population (only exit).

5.3 Alternative - a classic method : Dispersion coefficient

Finally we studied the evolution of the dispersion coefficient with a negative binomial car crash frequency modelling, no stable trend was noticed (sections 5.1 to 5.5, pages 84 to 90.).

5.4 Completion by an assessment of bad risks deviations

Moreover, drivers whose recent sinistrality is high, have a smaller rate of contract ending. This proves that no dynamic adjustment of the portfolio by the insurer underlies our conclusion ie it is not fallacious (section 5.6, page 92 of the corpus.).

5.5 Inclusion of these results in practice

In many research articles, one can find expansive and specific methods to assess sensitive, physical or cognitive deficiencies of high risks ([5], [4], [65], etc.). The previous results encourage to develop cheaper, efficient and widespread tests to anticipate and correct each driver's slight deficiency. Few articles focus on this methodology for instance one could introduce simples mazes tests [67] or Highway Code knowledge assessment [30].

6 Encouraging impact of prevention and control measures on bad drivers, to be improved

What is the impact of sending a mail to some insured drivers to inform them of their tremendous recent sinistrality and ask them to make a check-up of their driving abilities with a physician

12. Perhaps because of the difference of behaviour between the pre-retirement and post-restirement drivers.

13. Cost reference index.

paid by the insurer? Given this warning, women's sinistrality gets quite lower, whereas men's sinistrality only slightly decreases. This effect is expected from former researches [6]. Moreover, gender-sensitive-effect was described in literature [17]. To assess this trend, only few data were available in quantity (lateral) and in time (longitudinal), a renewal in a few years would be interesting. We compared, given gender, the sinistrality ajustement of the population that received a warning (target population) with the sinistrality ajustement of a population which parameters of risk are the same but did not receive mail (reference population). The idea is to replicate a panel data methodology. To be more rigorous in the definition of the reference sample, a quantitative criterion to characterize the drivers who received a signal would be preferable.

Table des matières

1	Analyse de la littérature et cadre d'étude	17
1.1	Cadre d'étude	17
1.1.1	Contexte	17
1.1.2	La question de l'âge	18
1.1.3	Le conducteur : prêt de véhicule	18
1.2	Méthodologie de recherche	19
1.3	Enjeux sociétaux	20
1.3.1	Autonomie des personnes âgées	20
1.3.2	Rôle du régulateur	21
1.3.3	Les conducteurs âgés : un risque pour autrui et pour eux-mêmes ?	22
1.3.4	Quelques projections	22
1.4	Quels risques spécifiquement ? Analyse des accidents	23
1.5	Des facteurs susceptibles de diminuer la sinistralité des personnes âgées	23
1.5.1	L'expérience	24
1.5.2	Une amélioration de certains facteurs de santé et de vigilance après la retraite	24
1.5.3	Auto régulation - Conscience de ses propres risques	24
1.5.4	Les motifs de la conduite en Belgique	25
1.6	Les causes possibles d'une sur-sinistralité des conducteurs âgés	25
1.6.1	La fragilité corporelle - Diminution de la résistance physique	26
1.6.2	Les défaillances motrices - Difficultés physiques dans la conduite	26
1.6.3	Diminution de la vue	27
1.6.4	Perte de capacités auditives	27
1.6.5	Défaillances cognitives	27
1.6.6	Mauvaises décisions : diminution des capacités de jugement	28
1.6.7	Consommation de psychotropes	28
1.6.8	Fréquence de conduite	29
1.6.9	Remarques	30
2	Les dispositifs à mettre en place pour diminuer la sinistralité : prévention par la régulation ou la sensibilisation	31
2.1	Introduction	31
2.2	Visite médicale	33
2.2.1	Critères d'acuité visuelle	33
2.2.2	Compétences auditives	34
2.2.3	Capacités cognitives	34
2.2.4	Capacités physiques ou tests moteurs	36
2.2.5	Qualité de la conduite	37
2.2.6	Consommation médicamenteuse	38
2.3	Evaluation par un proche	38
2.4	Education des conducteurs	39
2.4.1	Permis temporaire	39
2.4.2	Stages de pratique, révision du Code de la route	39
2.5	Conduite limitée à certains véhicules avec options particulières pour une conduite assistée/sécurisée	40
2.5.1	Véhicule petit et confortable ?	40
2.5.2	Option anti-somnolence	40
2.5.3	Option de détection des stops et feux rouge/vert signalés par des sons	41
2.6	Modification de l'infrastructure et des facteurs extérieurs	41
2.6.1	Les modifications à apporter aux routes pour rendre la conduite moins dangereuse	41
2.7	Résultats des mesures de prévention et pistes de recherche	41
3	Analyse de la base de données et réflexion sur les opportunités associées	43
3.1	Présentation générale de la base de données et premières hypothèses	43
3.1.1	Construction et hypothèses	43
3.1.2	Méthodologie	44
3.1.3	La base de données en bref	44
3.2	Statistiques descriptives	45
3.2.1	Age de l'assuré	45

3.2.2	Quelques éléments de lien entre âge de l'assuré et sa sinistralité : coût, fréquence et responsabilité	45
3.2.3	Nombre de sinistres	47
3.2.4	Age du véhicule assuré	47
3.2.5	Historique sinistralité	51
3.2.6	Circulation type	53
3.2.7	Variables comportementales et socio-économiques	54
3.2.8	Genre	56
3.2.9	Heure du sinistre	56
3.2.10	Localisation des dommages	57
3.3	Propositions de construction de nouvelles données	60
3.4	Des déclarations reçues par l'assureur qui seraient biaisées	60
4	Modèles économétriques	61
4.1	Modélisation de la probabilité d'occurrence et de la fréquence d'un sinistre	61
4.1.1	Fréquence pour tous coûts de sinistres RC en tort confondus	61
4.1.2	Distinction par coûts de sinistres RC en tort	63
4.1.3	Tous sinistres en droit type RDR	65
4.1.4	Sinistres en droit hors RDR	66
4.1.5	Sensibilité à l'âge des multi-sinistres en un jour	68
4.2	Etude de la fréquence de sinistre des conducteurs de voiturette	69
4.3	Modèle dichotomique de responsabilité	71
4.4	Sinistralité et exposition au risque	73
4.4.1	Adaptation et sinistralité	73
4.4.2	La diminution de la fréquence de conduite : un facteur de sur sinistralité quelque soit l'âge	73
4.4.3	Pour appuyer les intuitions sur les distances parcourues	74
4.5	Modélisation des coûts de sinistres	75
4.6	Bilan	83
5	Approche temporelle : hétérogénéité des conducteurs âgés en termes de sinistralité	84
5.1	Méthode élémentaire	84
5.2	Mélange de deux lois de poisson	85
5.2.1	Théorie	85
5.3	Mise en pratique	87
5.4	Loi binomiale négative	90
5.4.1	Théorie	90
5.5	Mise en pratique	90
5.6	Ajustement de la population "à risque"	92
5.7	Bilan sur la mesure de l'hétérogénéité	93
5.8	Etude temporelle avec "choc" : impact de l'envoi d'un signal aux assurés "mauvais risques"	93
5.9	Extrapolation aux nombres de blessés imputables aux conducteurs âgés	96
6	Conclusion et ouverture	98
	Références	103

Introduction

Le 9 mars 2014 on lisait dans la presse belge un article alarmant :

Un octogénaire prend la E411 à contresens près de Namur

Un homme de 84 ans a circulé dimanche après-midi à contresens sur une portion de l'autoroute E411 avant de se faire intercepter par la police à hauteur de Bouge. Son permis de conduire lui a immédiatement été retiré, a indiqué le parquet de Namur. L'octogénaire a reconnu les faits mais n'en mesurait vraisemblablement pas la gravité. L'incident n'a fait aucune victime. Plusieurs véhicules ont dû éviter l'octogénaire qui, à un moment donné, remarquant que quelque chose n'était pas normal, a immobilisé son véhicule sur le terre-plein central de l'autoroute.

Mais au lieu de s'arrêter, il a décidé de redémarrer et a traversé les trois voies de circulation pour rejoindre la bande d'arrêt d'urgence sur laquelle il a encore roulé avant de se faire intercepter par la police à la sortie de Bouge.

L'homme n'était pas sous l'influence de l'alcool. Il a eu un retrait de permis immédiat et comparaitra devant le tribunal de police de Namur. Il s'agit d'une infraction de degré 4, c'est-à-dire la plus grave. Il a reconnu les faits mais a déclaré qu'il ne comprenait pas trop où était le problème. *BELGA*

Ce fait-divers met l'accent sur la démente du conducteur et le fait que l'individu était âgé de 84 ans. L'importance donnée à l'âge n'est pas à prendre à la légère. S'agit-il d'un événement isolé ou d'un risque récurrent chez les conducteurs âgés ?

Le vieillissement des “baby-boomers” des “30 glorieuses” (cf figure 1) engendre une augmentation rapide du poids relatif de la population âgée. Plusieurs chiffres à ce propos sont inquiétants, par exemple sur les autoroutes des USA les plus de 55 ans ont une probabilité de décès trois fois supérieure à celle des 18-54 ans [7]¹⁴. Naturellement la question de l'accroissement des risques liés au vieillissement se pose, mais le débat, en effervescence, est loin d'être clos. Les enjeux sont considérables puisqu'il s'agit de déterminer si les personnes âgées peuvent conserver leur indépendance et à quel coût. Ce problème présente des contraintes puisqu'une régulation trop brutale du droit des conducteurs âgés à conduire risquerait de les marginaliser. On devine aisément le nombre d'acteurs sollicités par ce débat puisque la question est :

- (i) Politique : au moins parce que ces personnes âgées pèsent largement dans la balance des scrutins,
- (ii) Sociétale parce qu'il s'agit de prendre la bonne décision afin de maintenir la cohésion sociale entre les générations
- (iii) Economique parce qu'en cas de preuve d'une sur-fragilité le sur-coût serait assumé d'une manière ou d'une autre par un tiers
- (iv) Ethique parce que le critère de la gestion des risques économiques (pour les assureurs) et vitaux (pour les assurés) est insuffisant : peut-on réduire les droits ou augmenter les devoirs d'une frange de la population ?
- (v) Juridique.

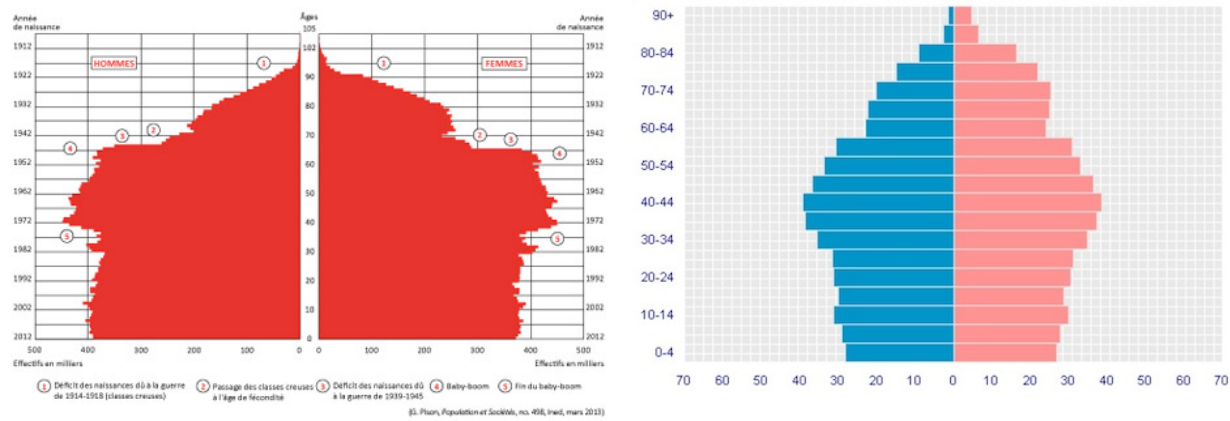
Pour la société d'assurance AXA Belgium, la question est essentielle et s'applique spécifiquement aux conducteurs de véhicules. La perte de permis de conduire qu'elle soit définitive ou temporaire¹⁵, partielle ou totale¹⁶, n'est donc pas à prendre à la légère. Afin d'apporter des éléments de réponse quantitatifs, nous proposons dans un premier temps d'examiner l'ensemble des thèses avancées par les différents agents intéressés (parties 1 et 2) : centres d'épidémiologie, philosophes, sociologues, gouvernements, assureurs, conducteurs, etc. Avec l'âge, la conduite est-elle modifiée ? Les accidents changent-ils de nature ? Excès de vitesse, refus de priorité, dépassement par la droite... ? Quel est impact sur la sévérité des dommages ? L'âge est-il un paramètre causal ou est-ce que le lieu de résidence, la fréquence de conduite, la qualité du véhicule, ou d'autres paramètres sensibles à l'âge permettent de justifier une modification de la sinistralité ? Ces thèses seront confrontées à des tests réalisés sur des bases de données d'AXA Belgium. Pour cela des méthodes

14. Cette étude compare les moins de 55 ans aux plus de 55 mais les classes à l'intérieur sont très hétérogènes. Parmi les moins de 55 ans on compte les jeunes conducteurs très à risque, mais aussi conducteurs d'âge moyen à risque modéré. Les 45-60 sont les moins à risque. En revanche, parmi les plus de 55 ans : beaucoup de chiffres sont en faveur d'une faible sinistralité pour les 55-65 ans. Les conducteurs plus âgés seraient en revanche plus “à risque”. Cet affinement dans les catégories d'âge fera partie de notre étude. Nous ciblerons des tranches d'âge d'environ 10 ans pour les plus de 65 ans pour de multiples raisons évoquées par la suite.

15. Soumission à des tests d'aptitude, passage du permis de conduire renouvelé.

16. Limitation de distance parcourue, de durée de conduite, de type de véhicule utilisé.

de statistiques descriptives permettront d’apporter quelques réponses (partie 3) après quoi nous mettrons en place des modèles économétriques afin d’évaluer l’impact de l’âge de l’assuré sur les fréquences et les coûts de sinistres en responsabilité civile (partie 4). Pour finir, nous emploierons d’autres outils économétriques afin de déterminer si la sinistralité est un phénomène individuel ou collectif chez les conducteurs âgés et nous évaluerons également l’impact de certaines pratiques de détection et de contrôle des conducteurs à risque mises en place par AXA Belgium (partie 5).



Pyramide des âges française expliquée
Source : INED France 2013

Pyramide des âges belge, homme à gauche, femme à droite
Source : mefirst.be Belgique 2004

FIGURE 1 – Pyramides des âges indicatrices du “papy boom” à venir

1 Analyse de la littérature et cadre d'étude

Dans cette partie, nous tentons de cerner le contexte dans lequel s'inscrit notre étude. Il s'agit de synthétiser les enjeux de la question des risques spécifiques des conducteurs âgés pour les différents acteurs de ce débat.

1.1 Cadre d'étude

1.1.1 Contexte

Dans ce papier, nous nous plaçons dans le cadre spécifique de la conduite de véhicules personnels. De nombreuses études ont déjà confirmé que la population des jeunes conducteurs, les 18-25 ans en Europe, présente un risque de sinistre supérieur à la moyenne de la population pour plusieurs raisons : les conduites à risque associées à la consommation d'alcool et stupéfiants (Cf : les enquêtes Stupéfiant et Accidents Mortels SAM) le manque d'expérience de conduite, la mauvaise appréhension des risques, une conduite trop irrégulière en général associée à des circonstances de surexposition aux risques d'accident.

En revanche la question de la sur-sinistralité des conducteurs âgés reste ouverte. De nombreuses études ont déjà été réalisées depuis 20 ans dans les pays anglophones principalement. Ces études visent en général à tester des facteurs de prédiction, d'explication et de prévention de la sinistralité des conducteurs âgés. La figure 2 montre par exemple l'augmentation sensible de la mortalité des conducteurs âgés aux USA dans les dernières années, probablement à cause de l'augmentation de la part des personnes âgées dans la population et sur les routes. Notre objectif est ici de réaliser un état de l'art, d'apporter des critiques et de tester

les hypothèses associées via une base de données assurancielle. De telles données sont complémentaires des données d'études épistémologiques que nous étudions dans la première partie de ce papier. Les données actuarielles sont soumises à des contraintes économiques¹⁷ et ont pour objectif d'aider à mieux cerner le risque des assurés dans un objectif de segmentation et de tarification. Ainsi on peut donc penser que pour des raisons pratiques et méthodologiques, les informations relatives au risque contenues dans une telle base de données diffèrent de celles recueillies dans le cadre d'une étude épidémiologique.

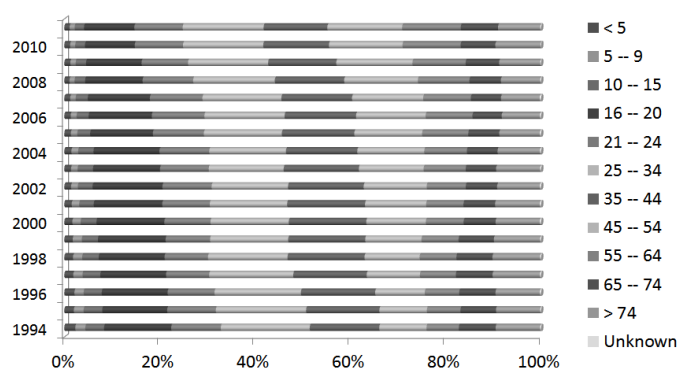


FIGURE 2 – Evolution de la mortalité liée aux accidents de voiture par tranche d'âge, USA 1994-2011 (Source de données NHTSA)

17. Limitation de l'information pour des raisons de concurrence, on ne peut pas en demander trop à l'assuré

1.1.2 La question de l'âge

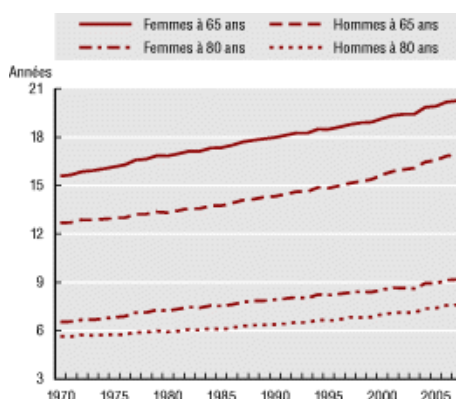


FIGURE 3 – Evolution de l'espérance de vie résiduelle à 65 ou 80 ans entre 1970 et 2008//Source : OCDE France 2009

Il nous faut d'abord définir notre sujet : qu'entend-on par "population âgée" ? Il est socialement admis que le passage à la retraite (c'est d'ailleurs la justification de l'entrée à la retraite) définit la limite entre la vie active dans toutes ses acceptions et la vieillesse. C'est en fait la vieillesse qui justifie la retraite. Cependant, il est important de noter que l'âge définissant cette limite n'est pas accepté unanimement. Le débat sur le déplacement de l'âge de la retraite en est un exemple flagrant. Selon un certain nombre de chercheurs en biologie humaine l'accroissement de l'espérance de vie (cf figure 3) est concomitant d'un ralentissement du processus de vieillissement ie d'un retardement dans le développement des pathologies associées. Il est donc justifié de décaler la limite définissant la "population âgée" au-delà de l'âge de la retraite.

Un autre argument va dans le sens de cette proposition. Pour les conducteurs, le passage à la retraite est mécaniquement associé à une transition d'une conduite régulière à une conduite occasionnelle. De plus, pour le conducteur retraité les trajets réguliers sur des routes connues sont réduits naturellement par la disparition du trajet quotidien entre le domicile et le lieu de travail.

En outre, le temps disponible libéré est souvent mis à profit pour voyager sur des routes moins bien connues de l'usager. Cette méconnaissance des routes empruntées est souvent considérée comme étant un élément de risque supplémentaire. Pour certains c'est un facteur de diminution du risque parce que la méconnaissance de la route incite le conducteur à être plus attentif et précautionneux. La routine serait davantage une cause de sur-sinistralité parce que la vigilance du conducteur diminue lorsqu'il est en confiance. Quel que soit l'impact de ces sources de risque, on retiendra l'idée selon laquelle le passage à la retraite s'accompagne d'une mutation importante des habitudes des automobilistes. Nous souhaitons ici éviter de capturer cet effet structurel pour étudier plus spécifiquement l'effet de l'âge sur la sinistralité des conducteurs âgés. Nous proposons donc d'étudier les effets du vieillissement au delà de l'âge de la retraite.

1.1.3 Le conducteur : prêt de véhicule

Du point de vue de l'assureur le conducteur d'un véhicule est celui au nom duquel la voiture est assurée. Cependant de nombreux articles de recherche soulignent le fait que les conducteurs occasionnels, en particulier les personnes âgées, prêtent leur véhicule à des amis ou membres de la famille, typiquement leurs petits-enfants. Il est donc nécessaire de prendre en compte cet élément qui pourra nous être utile par la suite d'autant que les jeunes conducteurs ne disposant pas d'un véhicule personnel, ni d'une assurance, souvent en raison du malus associé à leur âge, et qui utilisent le véhicule d'un tiers, resteront indétectables en cas d'accident. Dans la base de données que nous utilisons dans notre travail de recherche, on n'observe pas un effet « conducteur jeune » qui viendrait aggraver la sinistralité des personnes âgées. On a pu réaliser des tests sur un peu moins de 10% des sinistres en responsabilité civile sur nos 4 années d'étude où un autre conducteur conduit le véhicule de l'assuré qui a entre 60 et 100 ans. La probabilité que le conducteur ait 20-30 (resp. 30-40) ans est 9,9% (resp. 18,0%) pour les assurés de 60-70 ans, 8,4% (resp. 11%) pour les assurés de 70-80 ans, 9,7% (resp. 12,9%) pour les assurés de 80-90 ans. La proportion de prêts de véhicule aux jeunes conducteurs n'augmente pas avec l'âge de l'assuré, ce qui permet, par extrapolation, d'éliminer l'hypothèse du biais des "jeunes cachés".

1.2 Méthodologie de recherche

Nous envisageons, dans la première partie de ce papier, de faire une revue de la littérature concernant la question de la sinistralité des conducteurs âgés. Pour ce faire, nous avons cherché à diversifier le plus possible les sources d'information. La première étape consiste à obtenir des informations de la part des centres français d'épidémiologie qui s'intéressent à la question de la mortalité de populations spécifiques. La question de la mortalité des jeunes conducteurs est largement couverte, mais celle des conducteurs âgés est encore très peu étudiée par ces organismes nationaux. En complément de cette approche visant à observer et comprendre, il existe également des instituts responsables de la prévention des conduites à risque qui passe, dans ce cas, par la communication auprès de tous les conducteurs mais aussi de leurs proches. Parmi eux, on peut citer l'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux) qui travaille depuis plusieurs années à la mise en place de pratiques d'amélioration des conditions de conduite des personnes âgées, à leur encadrement et leur assistance. Pour ces instituts également la compréhension des sous-jacents est essentielle puisqu'il s'agit de déterminer s'il est nécessaire de mettre en place des mesures de prévention des risques spécifiques pour les conducteurs âgés.

Afin de ne manquer aucune piste et parce que la recherche sur ce sujet est peu développée en France, en particulier en ce qui concerne l'évaluation des solutions proposées, la seconde étape de ce travail bibliographique est un élargissement des recherches aux articles publiés à l'international par différents groupes de chercheurs. Comme le montre la première partie, plusieurs types de chercheurs s'intéressent à la question de la sinistralité des conducteurs âgés. Le sujet intéresse fortement les Etats-Unis, le Canada et l'Australie mais on trouve également des articles danois, suédois et néo-zélandais. Naturellement, la première piste de recherche que nous avons suivie est celle de l'épidémiologie, elle conduit au moteur de recherche extrêmement influent dans ce secteur : *PubMed*. Il s'agit de la base de données officielle des Etats-Unis pour les articles de recherche en médecine et disciplines associées. Elle recense tous les articles de recherche connexes à la médecine écrits en anglais ou non, publiés sous forme de livres, d'articles dans toutes sortes de publication. On y trouve donc toutes les recherches en gériatrie, en psychiatrie, neurologie, ophtalmologie, orthophonie, médecine générale. Toutes ces branches de la médecine ont un rapport avec le sujet de la sur-sinistralité des personnes âgées. On trouve également des articles associés à la pharmaco-vigilance ie les risques associés à diverses consommations médicamenteuses. D'autres articles proposent d'évaluer les dispositifs concrets de tests des aptitudes cognitives, motrices, visuelles, auditives, physiques, psychologiques des conducteurs, qu'elles soient opérationnelles ou théoriques. Tous ces articles dans leur grande diversité se réunissent autour de la question de santé publique au sens large et sont caractérisés par une rigueur méthodologique en particulier dans l'utilisation systématique de méthodes statistiques pour tester les hypothèses proposées. Afin de considérer l'essentiel des sources d'information, nous avons également employé d'autres moteurs de recherche d'articles : *tandfonline* qui recense un grand nombre d'articles¹⁸, *ResearchGate* : base de données dédiée à la publication d'articles de recherche¹⁹, *Elsevier* et *ScienceDirect* qui fonctionnent de façon complémentaire²⁰. Afin de focaliser nos recherches sur des articles n'appartenant pas à la branche médicale, *PubMed* regorgeant déjà de cette littérature, nous avons recensé l'ensemble des thèmes et sous-thèmes de recherche proposés par *ScienceDirect*²¹. Dans la liste de celles qui se rapprochent du sujet de notre étude, nous avons retenu la branche "sciences sociales" entendue au sens très large. On y retrouve des journaux tels que *Safety Science*, *Accident Analysis and Prevention*, *Transportation Research*, *Journal of Safety Research*.

18. Peu manipulable sans payer parce que les références ne sont pas accessibles.

19. Peu exploitable sans compte, seuls les chercheurs proposant des publications peuvent créer un compte.

20. Moteur de recherche sur l'ensemble des articles recensés par *ScienceDirect*, prise en main rapide.

21. Le confort d'utilisation nous a incité à privilégier ce site, dont le contenu est en fait très comparable à celui des deux autres : *TandFonline* et *ResearchGate*, après vérification.

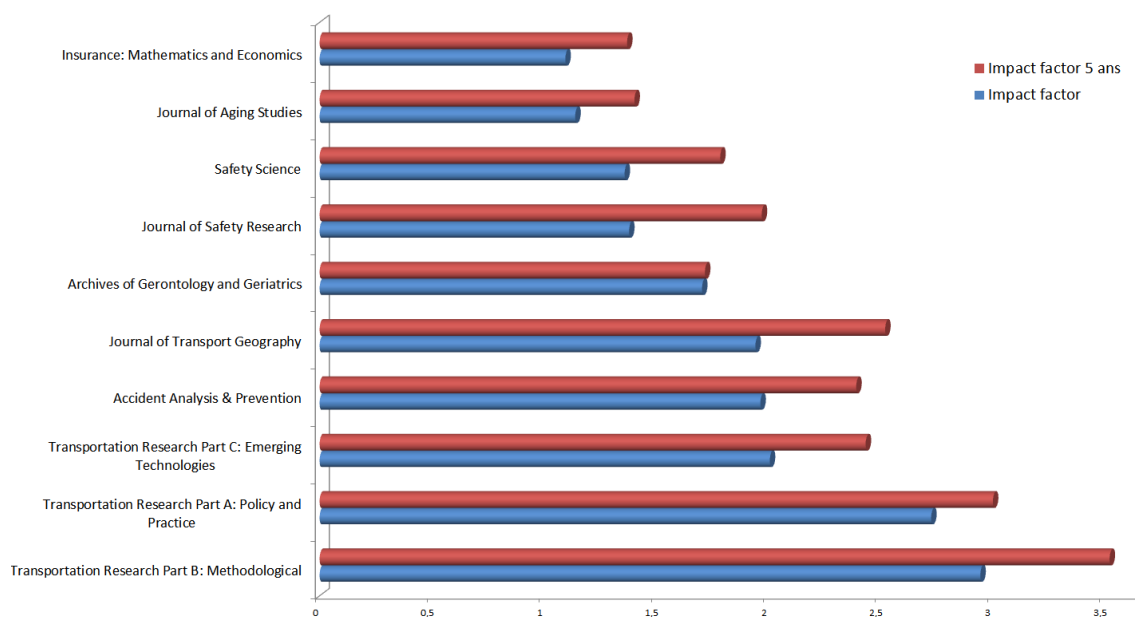


FIGURE 4 – Valeurs des *Impact Factors* de Thomson Reuters de 2013 pour les principaux journaux de sciences sociales recensés

Parmi les 227 journaux associés à ce thème, nous avons sélectionné ceux qui se rapprochent de la thématique de la vieillesse ou des transports. Vingt-sept journaux répondaient à ce critère, nous avons donc décidé de les classer selon des critères de visibilité, l'objectif pour nous était de distinguer les journaux influents et crédibles. Après un travail de renseignement sur les différents critères d'évaluation de cette qualité (SNIP, SJR, *Eigenfactor*, *Impact Factor* de *Thomson Reuters*), nous avons pu les utiliser pour classer ces journaux. L'*Impact Factor* publié par *Thomson Reuters* est le plus souvent renseigné et il fait autorité sur le marché de la presse. La figure 4 présente les *Impact Factor* à 1 ou 5 ans pour les journaux les mieux notés. Il ressort du classement par cet indice que *Transportation Research* et *Accident Analysis and Prevention* sont des journaux très influents en ce sens que les articles publiés dans cette revue sont souvent cités dans la recherche dans les années qui suivent. *Journal of Safety Research* et *Safety Science* sont également importants, mais dans une moindre mesure. Nous avons accordé la priorité aux articles associés à ces journaux, sans éliminer ceux publiés dans d'autres revues en complément des articles de la presse médicale que nous avons pu trouver dans *PubMed*. Nous avons pu constater que de nombreux articles très comparables en termes de problématique, de méthodologie et de résultats sont publiés dans des revues médicales et de sciences sociales et qu'il y a une forte redondance entre les différentes bases de données, *a priori* différentes, que nous avons utilisées. Pour compléter ce travail bibliographique nous avons également recherché de l'information dans les articles et mémoires réalisés par des actuaires ou pour des assureurs.

1.3 Enjeux sociétaux

1.3.1 Autonomie des personnes âgées

Dans la plupart des problèmes d'arbitrage complexes entre bénéfice et risque (investissement financier, usages de médicaments, légalisation de substances psychotropes : alcool et tabac...) la solution reste associée à une prise de risque. Dans le cas de la conduite, même si nous parvenons à diagnostiquer un excès de risque pour certaines populations, on ne peut pas simplement supprimer ce risque en empêchant ces usagers de conduire parce que les conséquences humaines et sanitaires peuvent être plus coûteuses encore. Il existe un risque important de tomber en dépression lors de la perte des possibilités de conduire par contrainte :

- (i) Les conducteurs ayant renoncé à la conduite présentent des signes de dépression plus marqués à 3 ans après arrêt qu'auparavant.[42]
- (ii) Les conducteurs ayant renoncé à conduire présentent, après 6 ans, des signes de dépression marqués.[54]

- (iii) L'arrêt de la conduite est fortement corrélé à la réduction des activités extérieures, et à la perte d'autonomie.[43]

En plus de ces facteurs de risque pour la santé des individus, il existe également un coût sur le plan économique si le régulateur souhaite conserver le même niveau d'utilité sociale²². Une étude réalisée en Europe montre que pour l'ensemble de la population, le passage du statut de conducteur à celui de piéton s'accompagne d'un risque de mort par accident plus élevé. Renoncer à la conduite est donc, de façon générale, une prise de risque supplémentaire sur le plan corporel et non matériel.[48]. Un tel constat, s'il est validé dans le cadre spécifique des conducteurs âgés, devrait fortement encourager le régulateur à tenter de maintenir sur la route les conducteurs âgés ie chercher des solutions pour réduire leur sinistralité sans les exclure.

1.3.2 Rôle du régulateur

Suivant ses objectifs et ses engagements, le régulateur social (l'Etat et ses délégations) peut avoir un rôle important à jouer dans l'assistance aux conducteurs âgés. En particulier son choix en matière de régulation du permis de conduire (permis temporaire ou non, modalités de renouvellement) est décisif. Les politiques hétérogènes en termes de législation sur le permis de conduire dans les différents Etats des Etats-Unis permettent de comparer l'efficacité des différentes alternatives.

De nombreuses études que nous détaillerons dans la suite de ce papier montrent que l'accès à la conduite chez les personnes âgées (autorégulation, adaptation des habitudes de conduite) dépend fortement des réglementations en matière de durée de validité du permis qui varient sensiblement d'un Etat à l'autre aux Etats-Unis. Les tests cognitifs et sensoriels nécessaires pour le ré-obtention du permis ainsi que la fréquence de renouvellement du permis influencent fortement le comportement des conducteurs âgés.

Le choix de rendre le permis temporaire ou de mettre en place des dispositifs d'évaluation des capacités de conduite des individus visant à leur permettre de prendre conscience de leurs lacunes sont à considérer dans l'optique d'un arbitrage entre prévention et sensibilisation des usagers.

La figure 5 montre l'impact des politiques de prévention des risques de la route en France en 50 ans. La diminution du nombre de blessé est sous-évaluée dans la mesure où le nombre d'automobilistes reste croissant, un calcul du nombre d'accidents corporels pour 1000 automobilistes aurait sans doute affiché une tendance plus impressionnante encore. Notons que cette figure est construite par l'IRDES qui tente d'expliquer la diminution des accidents corporels par les mesures introduites en France afin de réduire les dangers de la route. L'augmentation des cours de "prévention routière" dès le plus jeune âge ainsi que l'amélioration de la solidité des véhicules et l'introduction d'éléments facilitant la conduite (direction assistée, *Auto-blocking system*) doivent également être pris en compte.

22. Prenons l'exemple de la dépendance induite par le retrait du permis de conduire qui peut empêcher un habitant en zone rurale de faire des achats alimentaires. Dans ce cas précis, une solution offerte par un "Etat providence" serait de mettre à disposition un service d'accompagnement ou de rendre possible les achats à distance avec livraison pour ces consommateurs ce qui suppose la possession d'un ordinateur, une connexion à internet, une connaissance du fonctionnement des sites d'achat en ligne et l'existence d'un supermarché qui livre en zone rurale.

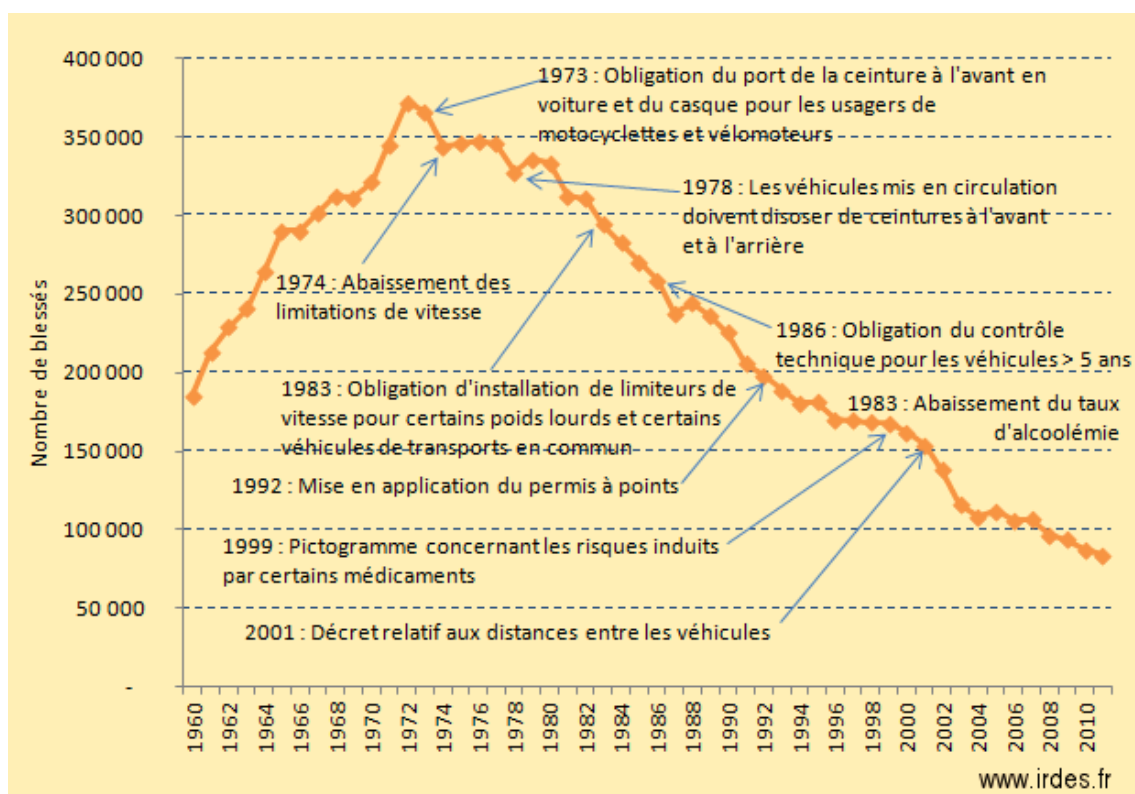


FIGURE 5 – Evolution du nombre de blessés par accident de la route en France entre 1960 et 2011
Source : www.ecosante.fr, Données : Observatoire national interministériel de sécurité routière (Onisr)

1.3.3 Les conducteurs âgés : un risque pour autrui et pour eux-mêmes ?

A cause de la spécificité des accidents des conducteurs âgés : situation en tort engageant deux véhicules, il est légitime de se demander si, quelle que soit la quantité de sinistres, d'un point de vue qualitatif, les conducteurs âgés représentent un risque de dommage corporel élevé pour eux même et pour autrui. Plusieurs études montrent qu'un nombre important d'utilisateurs atteints de troubles visuels ou cognitifs (dont de démence) conduisent.²³ C'est pourquoi, face à l'urgence que constitue cette situation, le choix entre une politique optimiste de sensibilisation et une politique contraignante associée à de nombreux effets pervers est d'autant plus délicat[56]. Un article publié en 1997 aux USA[15] tente de déterminer si les conducteurs âgés occasionnent un surplus de dommages corporels à autrui dans des accidents de voiture. Les dommages considérés sont ceux qui sont suffisamment graves pour que la victime soit emmenée à l'hôpital. L'étude montre que les conducteurs de 65-74 présentent le même risque que la population plus jeune. Les conducteurs de plus de 75 ans présenteraient un surplus significatif de dommages corporels occasionnés à autrui. Ce surplus serait cependant très léger et l'auteur invite à le modérer à cause de la présence possible de "variables parasites"²⁴. Une étude réalisée au Royaume-Uni entre 1994 et 2007[10] montre que la part d'accidents dont le conducteur est responsable augmente énormément en fonction de l'âge entre 60 ans et 89 ans. Il est deux fois plus élevé pour les 70-74 ans que pour les 60-64 ans. Il est quatre fois plus élevé pour les 80-84 ans que pour les 60-64 ans.

1.3.4 Quelques projections

Selon un article paru dans *Injury Prevention* en 2002, entre 2000 et 2030 on attend une augmentation de 34% des accidents et de 39% de la mortalité par accident. Les conducteurs de plus de 65 ans formeront plus de 50% de l'augmentation de la mortalité et 40% de la croissance des accidents. Ils formeront 25% des morts en 2030 contre 14% à ce jour[40]. Ces estimations pessimistes sont de simples projections linéaires de la sinistralité actuelle des personnes âgées sur la part de la population qu'elles représenteront dans 20 ans.²⁵

23. Ces facteurs de risque sont spécifiés dans la sous-partie suivante

24. Confounding

25. Des études plus fines citées dans la sous-partie relative aux conséquences de la politique d'amélioration de la sécurité routière permettent d'ajuster ce scénario catastrophique

1.4 Quels risques spécifiquement ? Analyse des accidents

Les conducteurs âgés présentent des comportements presque opposés à ceux des jeunes conducteurs et ceci s'observe sur la nature des accidents. Les conducteurs âgés sont en général impliqués dans des accidents comprenant deux véhicules contrairement aux jeunes conducteurs qui ont fréquemment des accidents impliquant un seul véhicule[15][24]. En outre, les conducteurs âgés sont très souvent responsables des accidents dans lesquels ils sont impliqués[15][25][12]. Leur responsabilité s'explique par des problèmes de perception et de réflexe qui les amènent à ne pas voir le véhicule tiers à temps et à ne pas céder le droit de passage. Réciproquement la rareté du statut de victime s'explique par une sur-vigilance des conducteurs âgés qui se manifeste par une conduite lente et prudente contrairement aux jeunes conducteurs dont la conduite est moins défensive [45] [71].

Lorsque les conducteurs âgés sont victimes (responsable ou non) c'est généralement à un carrefour. Les percussions latérales sont les plus susceptibles de générer des dommages corporels. En outre, la fragilité corporelle des personnes âgées est indéniable. Ceci explique que lorsque les personnes âgées sont victimes d'un accident les dommages corporels sont souvent graves.[38]

Les types d'accidents les plus fréquents pour les personnes âgées (plus de 60 ans) varient avec le vieillissement. Parmi les conducteurs âgés, les 60-69 ans sont les moins susceptibles d'être impliqués dans un accident mais les plus susceptibles d'avoir un accident sur un échangeur (autoroutes) ou en état de fatigue ou après avoir consommé de l'alcool. Les 70-79 ans sont un intermédiaire dans cette classe d'âge en termes de taux d'implication dans les accidents, en tant que responsable ou non. Ils représentent le groupe le plus susceptible d'avoir un accident à un stop ou un cédez-le-passage parmi les conducteurs âgés. Les conducteurs de plus de 80 ans sont les plus susceptibles de mourir ou d'être sérieusement blessés lors d'un accident de voiture qu'ils soient responsables ou non. Ils sont aussi les plus susceptibles d'avoir un accident à un carrefour ou sur un rond-point. On décèle, en outre, une importante diversité des risques d'accidents parmi les personnes âgées en fonction de leur âge. Il est nécessaire de prendre en compte cette subtilité afin de prendre des mesures de sécurité adaptées[55]. Par exemple il peut s'agir d'une épreuve différente pour le renouvellement du permis de conduire selon la classe d'âge ou d'une adaptation des stages de conduite ou des tests d'aptitude en fonction de l'âge.

- Voici quelques chiffres pour mesurer cette différence de sinistralité entre les conducteurs âgés de plus de 69 ans et les conducteurs d'âge moyen 30-39 ans. Ils sont tirés d'une étude réalisée aux USA entre 1992 et 1995 [11].
- Les personnes âgées ont beaucoup moins de risque d'avoir un accident associé à la consommation de drogue ou d'alcool²⁶, ils sont aussi moins susceptibles d'avoir un accident à grande vitesse²⁷.
- Les conducteurs âgés ont la même vraisemblance que les jeunes d'avoir un accident de voiture en tournant à droite²⁸.
- En revanche, ils ont deux fois plus de chances d'avoir un accident en tournant à gauche.
- En outre, les conducteurs âgés ont bien plus de risque d'être tués ou hospitalisés suite à un accident²⁹.

Enfin les conducteurs âgés qui portent la ceinture de sécurité ont 7 fois plus de chances d'avoir un accident grave qu'un jeune conducteur portant également la ceinture de sécurité³⁰. Ce dernier point montre que la ceinture de sécurité n'est pas un dispositif de protection du conducteur suffisant pour les personnes âgées dont la sur-fragilité devrait être compensée par des moyens supplémentaires.

1.5 Des facteurs susceptibles de diminuer la sinistralité des personnes âgées

Dans cette sous-partie, nous proposons une liste d'éléments en faveur d'une diminution de la sinistralité des personnes âgées.

26. (Odds-Ratio [OR] 0.1 ; 95% Intervalle de Confiance [CI] 0.1 to 0.2).

27. (OR 0.6 ; 95% CI 0.6 to 0.7).

28. (OR 1.0 ; 95% CI 0.9 to 1.1).

29. (OR, 3.5 ; P < .001).

30. (OR 6.9 ; 95% CI 5.4 to 8.9).

1.5.1 L'expérience

Les conducteurs âgés bénéficient d'un surplus d'expérience au volant grâce à des années de conduite[34]. Cette expérience donne des atouts bien spécifiques. Par exemple, une connaissance des stratégies à adopter dans des situations délicates (insertion dans un rond-point, circulation saturée à une intersection, danger de passer au feu orange) et l'expérience et la connaissance des chemins empruntés permettent d'anticiper la saturation du trafic et le retard accumulé sur un trajet.³¹

1.5.2 Une amélioration de certains facteurs de santé et de vigilance après la retraite

Une étude réalisée en France grâce à la cohorte GAZEL³² montre une diminution significative de 46% des problèmes de maux de tête durant la période de transition vers la retraite (début de retraite). Une fois cette transition passée, on observe que la diminution durable (entre la vie active et plusieurs années après le passage à la retraite) de ce problème est de 11-13%. Cette étude dispose d'informations fines sur les sujets et permet de montrer que la diminution est plus importante pour les personnes ayant un travail impliquant une forte charge de stress ainsi que chez les individus qui sont aisément stressés.[64]

Il faut noter, malgré la diversité des métiers observés dans un groupe tel que EDF-GDF que ce groupe ne permet probablement pas de refléter la population des actifs français, mais il faut reconnaître que cette tâche est très délicate étant donné l'hétérogénéité des travailleurs français en termes d'âge d'entrée à la retraite, de charge de travail au quotidien durant la vie active ou de proportion de jours de congé dans l'année. On devine aisément que ces facteurs ont un impact sur la charge de fatigue et de stress. Outre les symptômes de stress, les migraines et autres maux de tête, la fatigue et les symptômes de dépression sont aussi modifiés par le passage à la retraite.

Une étude réalisée en France en 2010 montre, non seulement que le passage à la retraite ne s'accompagne pas d'un accroissement du risque de maladies chroniques graves, mais qu'elle est associée à une diminution de la fatigue mentale et physique ainsi que des symptômes de dépression, en particulier parmi les personnes atteintes de maladies chroniques.[73] La diminution de ces pathologies s'accompagne mécaniquement d'un baisse de la consommation d'anti-migraineux, antidépresseurs, anxiolytiques, antalgiques, somnifères connus pour leurs effets addictifs et psychotropes. Cependant cet effet espéré n'est pas significatif en France. L'addiction des patients, le non respect des durées de traitement par les prescripteurs, et l'apparition d'autres pathologies accélérée par la vieillesse expliquent partiellement une surconsommation de psychotropes en France et en Belgique, en particulier chez les femmes³³.

1.5.3 Auto régulation - Conscience de ses propres risques

Les conducteurs âgés s'auto-régulent et cessent de conduire en fonction de leur état de santé, de leur perception d'aptitudes et de conseils d'autrui. On reprend ci-dessous les énoncés et conclusions afférents trouvés dans la littérature.

- Les facteurs d'auto-évaluation des aptitudes à la conduite déterminent la décision de suspendre l'activité[20] plutôt que des facteurs environnementaux liés au coût ou aux alternatives [41],
- Les conducteurs âgés régulent leur consommation d'alcool, les femmes renoncent 3 fois plus souvent que les hommes à conduire sous alcool (Australie) [69],
- Les conducteurs australiens âgés soumis à des tests d'aptitude rapportent ne plus conduire 1,5 à 2,2 fois plus que les conducteurs non soumis aux tests [57],
- Les conducteurs âgés régulent leur maintien dans la conduite, abandonnent sur conseil (33%), suite à des problèmes de santé (28%), ou d'une perte d'habileté (18%); rares sont ceux qui maintiennent leur conduite alors qu'ils ont pris conscience qu'ils présentent un profil à risque [6],

31. Ainsi plutôt que de se précipiter en ne respectant pas les feux orange, les stops et les priorités, le conducteur expérimenté anticipera un retard éventuel et pourra continuer de rouler dans le respect des codes de la sécurité routière.

32. Il s'agit du enquête de santé dont le principe est le suivi longitudinal, à l'échelle individuelle, d'un groupe de sujets. La spécificité de cette cohorte est qu'elle est "fermée" : 20 000 volontaires sont entrés sous observation en 1989, à l'époque ils avaient entre 35 et 50 ans et étaient employés de EDF-GDF et depuis cette date aucun nouveau sujet n'a été inclus.

33. Plus de détails dans la sous partie relative aux facteurs explicatifs de la sursinistralité des conducteurs âgés

- Les personnes âgées évaluent parfois elles-mêmes leur niveau de santé et leur capacité à conduire. Cette auto-analyse est nettement plus efficace (en termes de prédiction de la sinistralité) que les critères objectifs de la situation médicale ou des capacités auditives et visuelles[2]. Il est néanmoins difficile de tirer avantage de cette remarque parce qu'il est délicat d'amener les personnes âgées à réaliser cette auto-analyse sincèrement lorsqu'elle n'est pas spontanée. On peut espérer objectiver les moyens de cette auto-analyse pour la répliquer. Jusqu'à maintenant la qualité prédictive de cette auto-analyse sert uniquement de niveau de référence pour les diagnostics médicaux mis en place pour évaluer le risque de sinistralité des conducteurs âgés.

Nous reviendrons tout particulièrement sur cet argument de l'auto-régulation parce que nous pensons que l'assureur peut jouer un rôle dans la sensibilisation du conducteur aux risques auxquels il s'expose grâce à l'émission de signaux, typiquement une lettre à l'assuré.

Les multiples références citées ici permettent de mettre en avant la confiance des chercheurs dans les capacités des conducteurs à s'auto-réguler. Une telle croyance s'appuie sur le paradigme de la sensibilisation par opposition à la prévention par la régulation. Afin de favoriser l'auto-régulation des conducteurs âgés, il est nécessaire de leur permettre une prise de conscience de l'éventuelle modification de la qualité de leur conduite avec le temps. Il s'agit d'émettre un signal objectif d'évaluation du conducteur en espérant, en réponse, un ajustement de son comportement.

Il est néanmoins important de noter que la capacité d'auto-régulation varie selon le genre de l'assuré. Une femme consciente d'un risque particulier conduira de la même manière qu'un homme qui prend également en compte ce risque. Cependant, on remarque que les femmes admettent plus fréquemment que les hommes ne pas être conscientes d'un risque, ce qui entraîne une modification de la conduite. Il en résulte une meilleure capacité d'auto-régulation suite à un accident chez les femmes.³⁴ Nous nous efforcerons de confirmer cette hypothèse via les données à notre disposition.

1.5.4 Les motifs de la conduite en Belgique

En Belgique, il est souvent nécessaire de disposer d'un véhicule personnel pour se rendre à son lieu de travail. La distance qui sépare le domicile du lieu de travail est souvent considérable et justifie d'une importante distance parcourue quotidiennement. Ainsi lors du passage à la retraite la nécessité de conduire est fortement diminuée, on peut donc attendre une baisse importante de la présence des conducteurs sur la route après la retraite.

1.6 Les causes possibles d'une sur-sinistralité des conducteurs âgés

Malgré la liste des facteurs pouvant justifier d'une diminution de la sinistralité des personnes âgées, la fragilité de ces conducteurs et le nombre d'accidents subis par unité de distance parcourue restent considérables. Le taux de mortalité sur la route par unité de distance parcourue est 13 fois plus élevé pour les plus de 80 ans que pour la population moyenne. Le risque de blessure corporelle dans un accident de voiture augmente significativement dès 60 ans et ne cesse d'augmenter rapidement avec l'âge. Parmi les personnes âgées, selon le genre et la sous-classe d'âge, la fragilité corporelle contribue entre 60% et 95% dans l'explication (dans son acception économétrique) des accidents mortels[37]. L'accroissement de la sinistralité corporelle est interprété comme la résultante de deux facteurs : l'augmentation de la fragilité des conducteurs avec l'âge et la modification de la distribution des accidents par type en fonction de l'âge. Les résultats sont confirmés par plusieurs sources. On compte deux fois plus de blessés de 70 ans que parmi les 30-59 ans. Le risque de sur-accidentalité ne cesse d'augmenter jusqu'à 80 ans, après quoi il continue encore d'augmenter chez les hommes mais se stabilise chez les femmes [46]. Il est important d'essayer de comprendre les causes de cette fragilité et de cette sinistralité spécifique afin de pouvoir les contrôler et éventuellement les corriger. De nombreuses études tentent de déceler les causes possibles d'une sur-sinistralité et de mesurer leur participation dans les risques d'accident. La figure 6 montre la modification de la répartition des pathologies physiques en fonction de l'âge. Les causes étudiées sont diverses : elles concernent les sens, les aptitudes motrices, la fragilité corporelle, les capacités cognitives (réflexion et connaissances), la consommation de psychotrope. Une étude montre que les facteurs de santé qui induisent des difficultés de conduite chez les personnes âgées sont : maladies rénales, troubles cognitifs, hypertension artérielle, cataracte³⁵. De façon comparable, une étude réalisée aux USA en

34. Cet écart comportemental entre hommes et femmes a été mesuré (dans une étude publiée par Merill Lynch) en évaluant les choix d'investissements et les connaissances financières : on pose une même question à des hommes et des femmes avec ou sans la possibilité de répondre "je ne sais pas". Lorsque cette option est laissée, les femmes la choisissent bien plus souvent que les hommes. En revanche, lorsque cette modalité n'est pas proposée, les femmes obtiennent le même taux de bonnes réponses que les hommes. [17]

35. Cf diminution de la vue dans les sous-parties suivantes.

1998 montre que, pour des populations de conducteurs âgés parcourant environ la même distance annuellement, les maux de dos, la consommation d'anti-dépresseurs, les défauts de mémoire (test de mémoire de séquences de mots) sont associés à un risque plus grand d'accident de la route[29]. Ceci montre que cette diversité des causes étudiées n'est pas vaine puisque tous ces facteurs, de nature différente, ont un impact sensible sur le risque des conducteurs âgés[39].

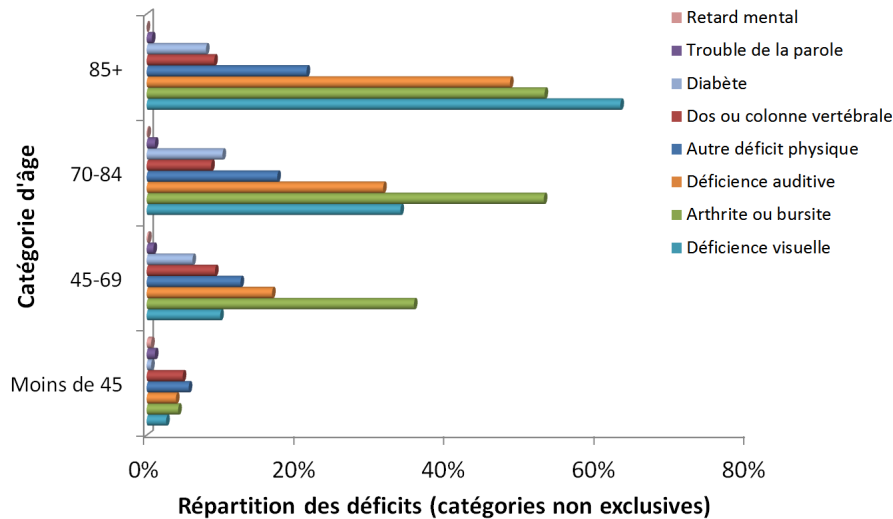


FIGURE 6 – Répartition des déficits physiques ou sensoriels parmi les catégories d'âge aux USA dans les années 80, les catégories sont cumulables.

Source des données : *National Health Interview Surveys*, 1983-1985.

1.6.1 La fragilité corporelle - Diminution de la résistance physique

Une étude réalisée entre 1990 et 1995 montre que les conducteurs âgés sont, certes moins souvent impliqués dans des accidents que les autres, mais plus souvent lorsqu'il s'agit d'accident mortel (1990-95)[40]. Ceci s'explique d'après les médecins, par une fragilité corporelle importante des personnes âgées, en particulier pour les os, mais aussi les muscles et organes, ainsi qu'une sensibilité importante aux stress importants. Outre cette faiblesse passive qui n'a pas d'impact direct sur la conduite, mais sur l'importance des dommages aigus en cas de sinistre (ie sur le coût moyen), il existe un certain nombre de critères susceptibles d'augmenter la fréquence des sinistres.

1.6.2 Les défaillances motrices - Difficultés physiques dans la conduite

Des symptômes de fatigue³⁶ sont souvent observés chez les conducteurs âgés :

- Les automatismes de conduite sont affectés, ainsi on constate une insuffisance de contrôle des rétroviseurs.
- La somnolence peut entraîner des sorties de route, sur-accélération, déviation de la ligne de conduite, emboutissage d'un autre véhicule.
- Les réflexes diminuent ce qui augmente les délais de freinage ou de réaction à un signal extérieur, par exemple un coup de klaxon qui signale un danger.

De nombreux individus ont subi, dans leur vie, des Troubles Musculo-Squelettique (TMS). C'est la maladie professionnelle la plus courante dans les pays développés, il s'agit de blessures des tissus de soutien : muscles, tendons et nerfs. Les régions touchées sont en général : main, poignet, coude, épaule, genou, pied, cheville. Les douleurs au dos sont bien plus répandues encore. Toutes ces régions du corps sont sollicitées dans la conduite or, une douleur intense est un facteur de distraction ie de diminution de la vigilance au volant. Ainsi, ces causes de douleurs ou de réduction des capacités motrices sont à prendre en compte dans l'évaluation des aptitudes du conducteur.

36. Dans la partie concernant les facteurs de diminution des risques pour les personnes âgées, nous avons cité la diminution du stress et de la fatigue des retraités, mais il est possible qu'une fatigue physique associée au manque de fatigue soit remplacée par une fatigue psychologique ou psychique dont les symptômes peuvent être un manque de volonté ou un manque de réflexes ; dans le cas de la consommation de psychotropes de palier 2 ou 3, la somnolence est générée par la substance et peut ne pas être ressentie par le consommateur tout en agissant sur son comportement.

1.6.6 Mauvaises décisions : diminution des capacités de jugement

Certains psychiatres et épidémiologues affirment que les troubles de l'humeur sont particulièrement fréquents chez les personnes âgées et les pousseraient à des comportements dangereux voire délétères, pour eux-mêmes et pour autrui[60].

1.6.7 Consommation de psychotropes

Les médecins affirment que les personnes âgées sont les plus exposées au développement d'effets secondaires associés à la consommation de psychotropes prescrits à usage thérapeutique[60]. En outre, la consommation de psychotropes en France et en Belgique est très élevée comme le montrent les chiffres de l'Observatoire Français des Drogues et Toxicomanies rattaché à l'INSERM. La figure 9 propose une représentation des troubles visuels associés à une consommation excessive de médicaments.

En 2010, en France, 18% des 18-75 ans déclarent avoir pris au moins un médicament psychotrope au cours des 12 derniers mois (10% ont consommé un anxiolytique au cours de l'année, 6% un hypnotique, 6% un antidépresseur, 0,7% un régulateur de l'humeur et 0,9% un neuroleptique), soit une hausse de 3 points par rapport à 2005. L'usage est nettement plus important chez les femmes (23% contre 13% chez les hommes) et augmente fortement avec l'âge chez ces dernières, progressant de 11% dans la classe d'âge 18-25 ans à 33% dans celle des 64-74 ans pour régresser ensuite. Chez les hommes, il atteint un pic à 18% chez les 45-54 ans, pour stagner ensuite aux alentours de 14%[50].



FIGURE 9 – Source : PCSD (partenariat pour un Canada sans drogue) article sur la drogue au volant

La consommation de médicaments psychotropes en France est l'une des plus importantes d'Europe. En 2010, selon les données de production et de vente déclarées par les États, la France arriverait en deuxième position après la Belgique pour les hypnotiques, tandis que, pour les anxiolytiques, elle serait en sixième position après le Portugal, la Belgique, l'Espagne et plusieurs pays du centre de l'Europe. D'autres sources de données placent également la France parmi les pays de tête[50].

Ces chiffres permettent de soupçonner que beaucoup de personnes âgées (en particulier des femmes) conduisent sous l'emprise de psychotropes qui modifient leurs compétences cognitives, leurs réflexes, leur vue et leur concentration.

Une étude réalisée entre 1980 et 1997 en Angleterre, en France, en Allemagne et en Italie montre que la conduite sous benzodiazépine³⁷ double le risque d'avoir un accident de voiture. Pour les personnes âgées ce risque est encore accru et croît encore avec la durée du traitement et les quantités ingérées[68].

Plus récemment, une étude réalisée en France sur 70.000 conducteurs impliqués dans un accident de voiture entre 2005 et 2008 a permis de mesurer rigoureusement l'impact de la consommation de médicaments sur la sinistralité des conducteurs. Elle montre également que la prise de médicament est impliquée dans 3 à 4% des accidents corporels en France[16]. Ce chiffre peut sembler négligeable face aux 30% liés à l'alcool et 14,5% liés à la consommation de cannabis. Mais pour les conducteurs âgés, la distribution des causes d'accident est fortement modifiée. La consommation de médicaments favorables aux accidents de voiture est augmentée et la consommation de stupéfiants et d'alcool est sensiblement réduite par rapport aux populations plus jeunes. On peut donc attendre un impact bien supérieur de la consommation de médicament sur les accidents pour ces conducteurs.

37. Classe de médicaments psychotropes

Classe de médicaments	Augmentation du risque d'accidents de la route (risque multiplié par x)	Fraction attribuable à l'ensemble des accidents
Anxiolytiques et dérivés des benzodiazépines	x1,45	1,28%
Hypnotiques et sédatifs	x1,25	0,35%
Antidépresseurs	x1,4	1%
Substituts des stupéfiants	x1,9	0,32%

Source : étude CESIR-A

Remarque : la fraction attribuable peut être faible parce que la population concernée est petite ou parce que les recommandations des médecins pour éviter le volant sont fortes (ex : les hypnotiques)³⁸

Il est difficile de savoir lequel, de la substance ou de l'état de santé du patient, est responsable de cette sur-sinistralité. D'autre part, les chiffres ci-dessus sont probablement sous-estimés parce qu'il est rare que la piste de la consommation médicamenteuse soit évoquée dans la déclaration des sinistres, les drogues et l'alcool sont en général les seuls psychotropes spécifiquement recherchés.

1.6.8 Fréquence de conduite

Les conducteurs âgés parcourent moins de kilomètres que l'ensemble des conducteurs et développent des stratégies de compensation, par exemple en évitant de conduire dans des conditions difficiles ou en roulant moins vite que les autres. Ces facteurs de diminution de l'habitude de conduire peuvent expliquer une perte de confiance du conducteur et un stress supplémentaire lorsque la conduite devient difficile. Cette interprétation est à rapprocher de la sur-implication des conducteurs âgés dans les accidents d'intersection [18]. Il est néanmoins nécessaire de nuancer cette thèse de la moindre fréquence de conduite parce que selon une étude réalisée en 2003 en France, les analyses montrent que les seniors sont de plus en plus présents sur les routes avec une habitude de conduite qui augmente, notamment chez les conductrices. En 2003, le sur-risque d'accident par kilomètre, observé plusieurs années auparavant chez les seniors, tendait déjà à diminuer, voire à disparaître si l'on contrôle l'effet du kilométrage annuel parcouru.[18]

Remarque importante : La diminution de la fréquence de conduite est un facteur de sur-sinistralité quel que soit l'âge

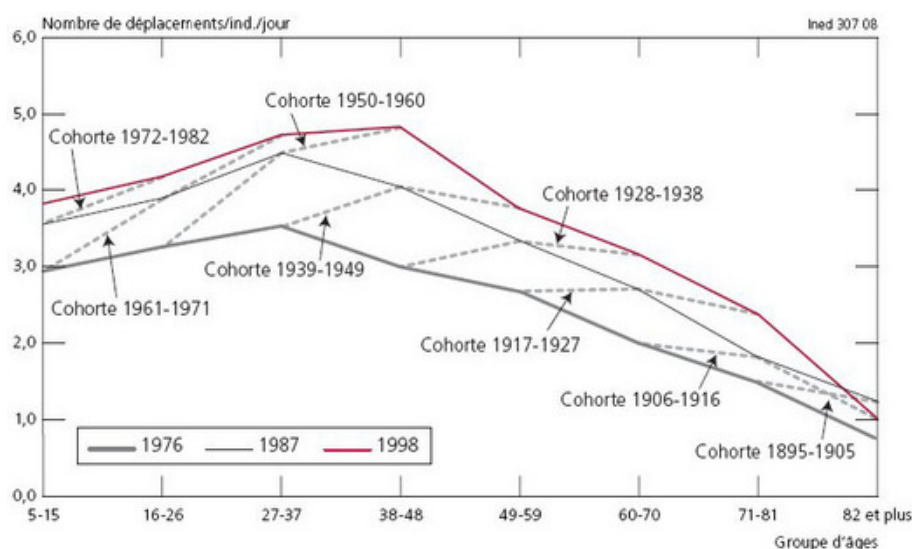


FIGURE 10 – Nombre de déplacements par jour et par individu en fonction de leur catégorie d'âge
Sources : Inrets, enquêtes ménages-déplacements 1976, 1987 et 1998.

La figure 10 montre une augmentation globale de la conduite des générations successives (cohortes 1976, 1987, 1998). On note également un effet assez robuste de diminution importante

38. <http://www.sciencesetavenir.fr/sante/20120830.OBS0805/antidepresseurs-un-risque-accru-d'accident-de-la-route-en-debut-de-traitement.html>

du nombre de déplacements avec l'âge. Sur les cohortes les plus récentes, la diminution de la conduite avec l'âge semble de plus en plus rapide. Ceci peut être à l'origine d'un phénomène de scission plus importante entre les tranches d'âge à cause d'une très grande différence d'exposition aux dangers de la route.

D'après l'article de référence [26], le nombre d'accidents graves pour les personnes âgées est significativement supérieur à celui des tranches d'âge incluses entre 30 et 60 ans, mais c'est en général le ratio de sinistralité moyenne sur la distance moyenne parcourue annuellement qui est le plus frappant. Cependant ce chiffre est souvent mal interprété. Une étude a permis de montrer que lorsqu'on sélectionne des sous-populations d'individus des tranches d'âge moyennes (incluses entre 30 et 60 ans) dont la distance parcourue annuellement en voiture est homogène à celle des personnes âgées, on obtient une sinistralité comparable. Cet effet observé de sursinistralité au kilomètre pour les conducteurs occasionnels n'est donc pas lié à l'âge. Autrement dit, ce sont les conducteurs qui parcourent de longues distances chaque année qui ont un risque de sinistralité au kilomètre inférieur à ceux qui conduisent peu et en vieillissant les conducteurs de la première catégorie rejoignent ceux de la deuxième. La spécificité des conducteurs âgés est d'être majoritairement des conducteurs occasionnels alors que les conducteurs d'âge inférieur conduisent, en général, plus fréquemment. Si les personnes âgées conduisaient davantage, leur sinistralité serait elle aussi élevée ?

1.6.9 Remarques

Bien que certains des facteurs de sinistralité mentionnés ne soient pas spécifiques aux conducteurs âgés, ils peuvent s'ajouter à d'autres facteurs et expliquer une sursinistralité. Il serait par exemple intéressant d'être capable de tester les effets croisés entre de ces différents facteurs et selon les résultats nous pourrions être amenés à tester l'indépendance entre ces facteurs en fonction des différentes populations. Est-ce que la sinistralité des conducteurs âgés s'explique par une défaillance extrême concernant l'un des facteurs ou par une petite hausse de plusieurs facteurs de risque ?

Notons également qu'une possible ignorance du code de la route par les conducteurs âgés, en raison de l'évolution de celui-ci, peut expliquer une augmentation importante du nombre de sinistres de cette population malgré une conduite manifestement plus défensive. Une telle hypothèse serait évaluable indirectement si on détectait une spécificité des sinistres des conducteurs âgés, par exemple une redondance de mauvaises conduites dans un rond-point ou un carrefour.

2 Les dispositifs à mettre en place pour diminuer la sinistralité : prévention par la régulation ou la sensibilisation

2.1 Introduction

Nous proposons dans cette partie de présenter les mesures proposées par diverses sources et celles que nous avons imaginées pour réduire la sinistralité des conducteurs âgés. On remarque que deux approches relatives à la recherche de solution se distinguent. Celle proposée en général par les organismes publics consiste à prôner la prévention des risques. Il s'agit d'identifier et de mesurer l'impact des conduites à risque puis de prendre en charge les individus afin de diminuer ou d'empêcher leurs prises de risques. C'est la prévention par la régulation. Cette approche est probablement la plus efficace à court terme et la plus sûre puisqu'elle ne laisse pas de choix aux usagers.

D'autres agents économiques, dont les assureurs, mais aussi certains instituts publics qui misent sur une politique de long terme, proposent en général une politique complémentaire de la prévention par la régulation, il s'agit de la sensibilisation des usagers. Elle passe par l'émission de signaux aux agents auxquels ceux-ci devraient réagir d'une certaine façon. Au lieu de tenter de moduler, par la contrainte, l'accès à la conduite de certaines personnes, il s'agit d'amener les individus eux-mêmes à prendre conscience des risques qu'ils prennent et à s'auto-réguler ie diminuer voire renoncer à la conduite si nécessaire. Illustration sur la figure 11.

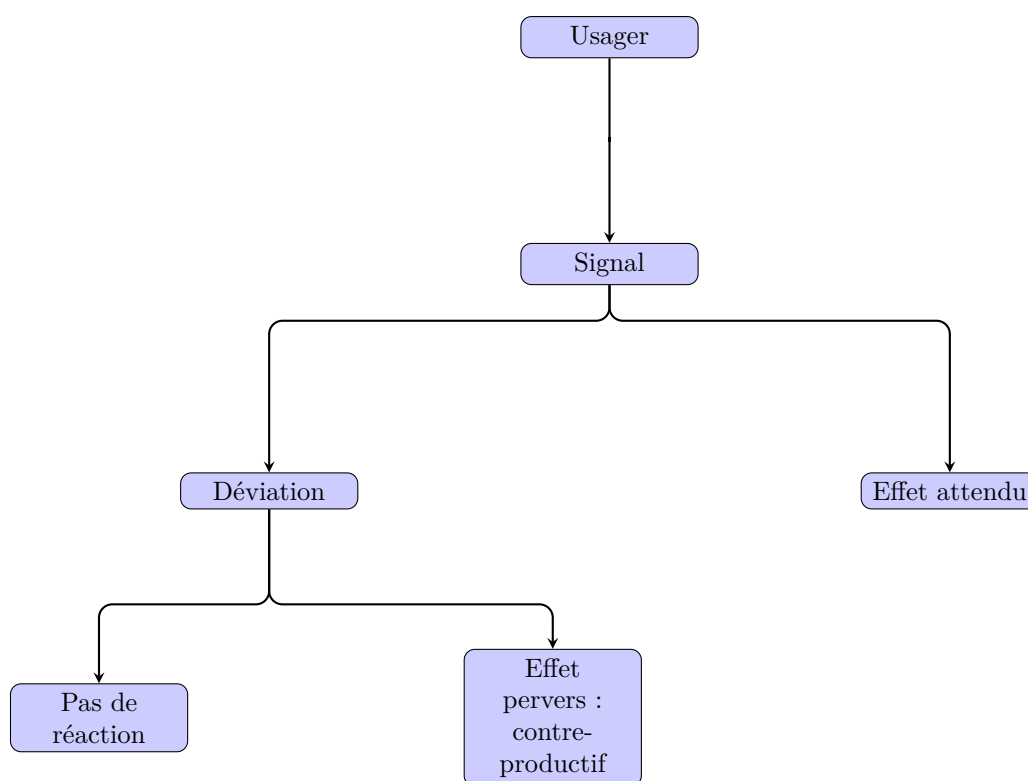


FIGURE 11 – Illustration simple du processus de réaction à un signal

Les deux mécanismes se recoupent parfois, par exemple dans le cas de la politique de prévention qui passe par l'instauration du permis temporaire. Les conducteurs âgés ont alors l'obligation de repasser des examens, éventuellement spécifiques à leur âge et leur condition, afin de pouvoir conduire de nouveau. La difficulté de l'examen peut être contraignante et éliminer tous les conducteurs à risque. Mais un examen plus souple (qui peut être vu comme trop souple ou peu performant puisqu'il n'élimine pas d'emblée les conducteurs à risque) entraîne parfois une objectivation des défauts de conduite de l'utilisateur et une prise de conscience des risques associés. La régulation devient alors une émission de signal à l'utilisateur.

Cette dualité d'approche d'une même solution montre que les résultats à un test peuvent être traités, le plus souvent, de deux manières : soit on impose aux conducteurs une régulation de la conduite en fonction de ses résultats ; soit on considère la note affectée comme indicative. Cette information est alors mise à la disposition de l'utilisateur afin de l'encourager à questionner son

aptitude à conduire et à s'auto-réguler. Ces deux approches duales sont présentées dans la figure 12.

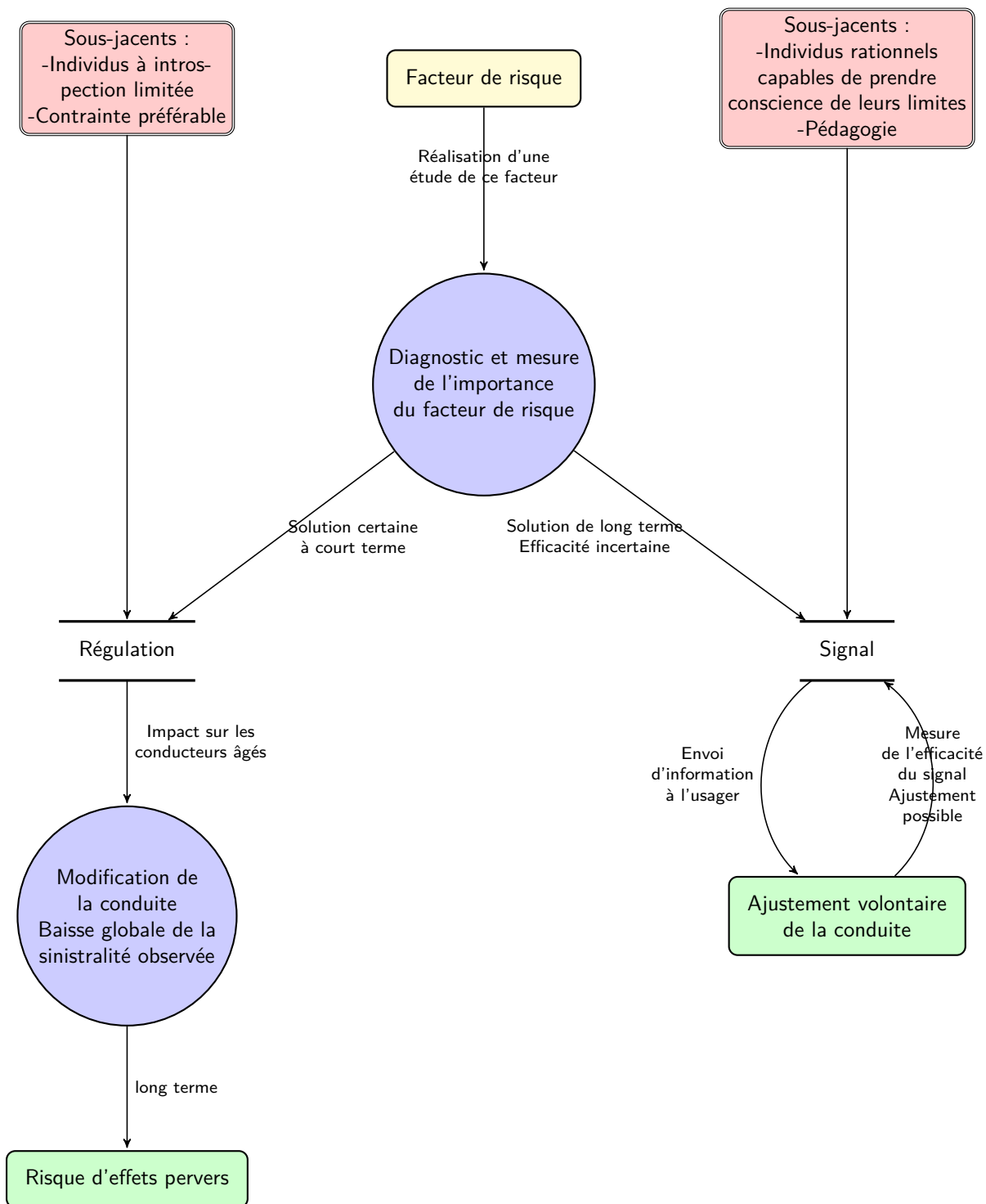


FIGURE 12 – Illustration de l'alternative entre prévention et régulation.

La plupart des articles retenus proposent la mise en place de tests mono- ou multi-critères et évaluent la qualité prédictive des résultats à ces tests sur la sinistralité des conducteurs. Souvent, les résultats offerts par deux articles ne sont pas comparables étant donné que les critères d'aptitude évalués diffèrent sensiblement. Les différences entre les échantillons de test s'ajoutent à cette hétérogénéité. Ainsi, il est délicat d'évaluer la qualité des résultats proposés par un article. Si un article affirme que les critères d'aptitude qu'il propose de prendre en compte ne sont pas performants, on peut seulement supposer qu'il n'a pas choisi les bons tests de capacité des conducteurs ou que la

population de test est mal choisie. A l'inverse, face à un article qui ne rejette pas l'hypothèse de bonne prédiction de la sinistralité par les critères d'aptitude proposés, on doit rester vigilant quant à la qualité et surtout la quantité³⁹ des données et, dans une moindre mesure, l'adéquation des tests statistiques employés.

2.2 Visite médicale

Riches de 60 ans d'expérience, des chercheurs dans le Maryland ont mis au point une batterie de tests médicaux efficaces pour discriminer les conducteurs à risque, ces tests ont été évalués sur sept années de mise en application[66]. Par tests médicaux on entend, au sens large, tous les tests qu'un médecin peut être amené à faire passer à un patient pour évaluer ses capacités visuelles, cognitives, motrices, auditives, ses pathologies ou sa consommation médicamenteuse.

2.2.1 Critères d'acuité visuelle

Il s'agit de tests très fréquemment pratiqués parce qu'ils ont un impact direct et *a priori* très important sur la qualité de la conduite et de capacité d'anticipation des obstacles. On distingue les tests du champ visuel (amplitude de la vue, vision centrale et latérale) des tests de précision de la vue (vision de nuit, vision des couleurs, qualité de la vue à distance, capacité à distinguer les contrastes, vitesse d'ajustement aux variations lumineuses, aux flashes, aux phares). La figure 13 illustre la sensibilité à l'âge de certaines mesures de la qualité du champ visuel. Ces mesures font partie des tests ophtalmologiques actuellement pratiqués pour déterminer l'aptitude visuelle des conducteurs.

Selon une étude réalisée au Canada, l'évaluation de l'aptitude à la conduite devrait s'appuyer sur des tests de vision, mais il semblerait qu'il n'y ait aujourd'hui pas de test qui permette de prédire le risque d'accidentalité à partir des performances visuelles (Canada)[13].

Une étude réalisée en 1999 aux USA montre que les tests visuels prédictifs du risque d'accident sont ceux liés à la réduction du champ visuel, à l'attention visuelle, ainsi qu'à la vitesse de réaction, cependant il semble que la précision de la vue et la vision des contrastes et des couleurs soient sans relation avec le risque d'accident[51].

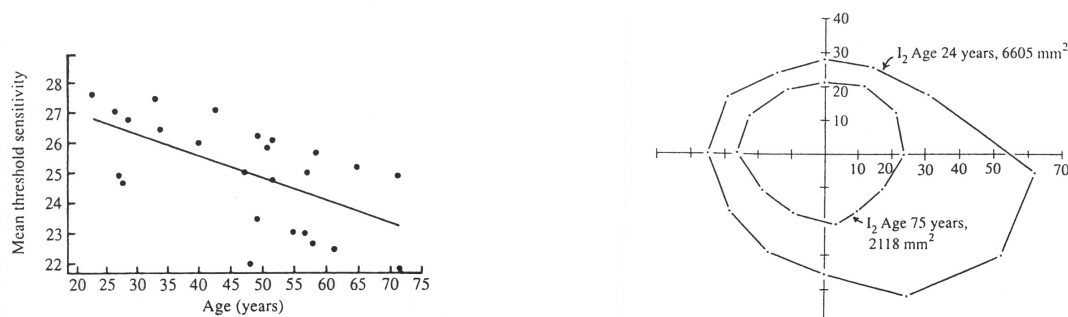
Une étude réalisée en 2007 à Londres montre que certains critères objectifs de diminution des capacités visuelles sont significativement corrélés avec le risque d'accident. On observe une certaine subtilité dans les résultats de cette étude : pour les conducteurs ayant une vision bonne ou moyenne, le risque d'accident décroît paradoxalement lorsqu'apparaissent ces symptômes de diminution des capacités visuelles. Cependant, l'augmentation de ces symptômes pour les personnes ayant une mauvaise vue est associée avec un risque plus élevé d'accident. Ceci s'explique par les capacités d'auto-évaluation des conducteurs. Lorsque le trouble de la vue est faible, les personnes âgées pallient ce problème par une conduite plus prudente. Cependant lorsque les troubles visuels sont déjà trop importants il n'est plus possible de les compenser par des ajustements supplémentaires de la conduite et la sinistralité augmente[58].

Certaines études recommandent la mise en place de tests complets incluant les tests visuels parce que les tests de vision seuls ne semblent pas adéquats pour prédire les troubles de la conduite. Même s'ils ne sont pas une condition suffisante de discrimination des conducteurs âgés à risque, il est très probable que ce facteur soit explicatif conditionnellement à l'apport d'autres informations ce qui en fait une condition nécessaire de la bonne appréhension du risque des conducteurs. Par conséquent, les tests visuels doivent être assortis de considérations sur la santé générale et les habiletés fonctionnelles de la personne[5].

Cette hypothèse de nécessité est démontrée dans le cas du renouvellement du permis de conduire aux Etats-Unis. Deux études déjà anciennes (1985-1989 et 1989-1991) montrent l'impact positif de l'introduction de tests d'aptitudes visuelle sur la mortalité (diminution de 12%) et elles quantifient l'économie budgétaire associée (31 Millions de dollars)[62]. Les résultats montrent également que l'efficacité de l'ajout d'un test cognitif aux tests visuels n'est pas significative[36].

Si les tests cognitifs proposés à l'époque n'ajoutent rien à la qualité de prédiction des tests visuels, il est légitime de se demander si certains tests cognitifs ne sont pas plus efficaces que les tests visuels (substitution) ou s'il n'existe pas des tests cognitifs et visuels complémentaires permettant de mieux sélectionner les personnes âgées à haut risque. Cette recherche suppose le développement

39. Beaucoup d'articles proposent une première analyse des critères d'aptitude proposés dans l'espoir de motiver des financements permettant de réaliser une étude sur davantage d'individus, avec plus de critères et sur une durée plus importante.



Mesure de la périmétrie statique

Source : JAFFE 1986

Mesure de la périmétrie cinétique

Source : WILLIAMS 1983

FIGURE 13 – Tests ophtalmologiques standards, illustration de la perte d'acuité visuelle avec l'âge

de nouveaux tests plus idoines dans les 20 dernières années.

2.2.2 Compétences auditives

Très peu de tests des capacités auditives sont aujourd'hui développés. Une étude montre que les déficits conjugués visuels et auditifs accroissent le risque d'accident plus que chaque déficit pris isolément[23]. Il s'agit d'un effet de couplage des risques. Voici une proposition de modélisation simple de ce couplage.

Si on note X la mesure du risque associée au déficit visuel et Y celle associée au déficit auditif (par exemple des échelles de 1 à 10). La mesure de risque joint des déficits auditifs et visuels est de la forme $X+Y+XY$.

L'importance des capacités auditives sur la détection de certains dangers est évidente, cependant elles semblent moins primordiales que la vue ou les capacités de détection de dangers et d'élaboration de solutions ou de prise de décision. Il semble donc légitime de considérer ce facteur de détection des risques comme complémentaire à d'autres facteurs dominants *a priori*.

Ceci montre un effet pervers de la stratégie d'émission de signaux sur la qualité de la conduite. Pour tirer des enseignements de cette étude, on pourrait envisager d'envoyer un signal aux assurés uniquement dans le cas d'un mauvais résultat aux tests de conduite.

2.2.3 Capacités cognitives

Les tests cognitifs ont en général l'avantage d'être théoriques et donc faciles à mettre en place, aucun matériel technique (coûteux) n'est requis. Ces tests consistent à mettre en place des raisonnements, répondre à des questions, mémoriser des images, des textes ou de résoudre des problèmes logiques. L'objectif est de tester la mémoire, l'interprétation des perceptions visuelles, les capacités de représentation dans l'espace, les capacités d'attention, de gestion de plusieurs problèmes et de prise de décision.

Les tests cognitifs sont fortement corrélés aux risques d'accident responsable chez les conducteurs âgés[4]. En particulier, les résultats aux tests visuels cognitifs sont corrélés à la prévalence d'accidents chez les conducteurs[19]. Les tests visuels cognitifs sont intuitivement une synthèse entre des tests de capacités visuelles et des tests de mémorisation, d'interprétation et de résolution. Puisque le sens le plus sollicité lors de la conduite est la vue, il semble légitime de proposer des tests qui mettent en application les capacités visuelles dans un contexte de réflexion, comme lorsque le conducteur doit non seulement voir ce qui l'entoure, mais interpréter les vitesses des autres objets et les risques associés. Il s'agit d'être capable d'identifier en continu les sources de danger lors de la conduite.

Un test des capacités cognitives basé sur la résolution de labyrinthes permet de prédire efficacement le risque d'accident de voiture des personnes âgées d'après une étude réalisée sur une population diversifiée de conducteurs ruraux ou urbains. Ces tests sont particulièrement efficaces pour la prédiction des accidents qui n'ont pas lieu sur un carrefour. Il serait donc nécessaire

de trouver des compléments à ce test sous hypothèse que les accidents sur un carrefour soient idiosyncratiques des conducteurs âgés[67].

Dans une étude réalisée au Danemark, un test cognitif réalisable en médecine générale est appliqué à des personnes à risque qui repassent un test de conduite. Il existe une corrélation forte entre le résultat au test cognitif (MMSE) et le résultat du test de conduite. Ainsi, le test cognitif MMSE est donc un bon prédicteur d'une perte d'habileté à la conduite ; or il présente l'avantage d'être bien moins coûteux à mettre en oeuvre et pourrait être aisément généralisé à toute une population à risque[28]. Une autre étude montre que les tests cognitifs sont les plus reproductibles pour prédire l'aptitude à la conduite après un accident vasculaire cérébral[44]. Les résultats de ces deux études sont semblables. Les tests cognitifs proposés permettent d'anticiper une perte d'aptitude à la conduite, en complément il est nécessaire de prendre des décisions adéquates en fonction de l'importance des aptitudes perdues.

Mieux encore, une étude souligne le fait que de récents tests cognitifs sont de meilleurs prédicteurs de la sinistralité des conducteurs que les tests visuels ou les tests de conduite ⁴⁰[65]. Cette thèse est encourageante puisque les tests cognitifs sont aussi les moins coûteux à mettre en place pour des questions de durée, de matériel et de personnel qualifié nécessaire. Cependant, même si on donne la priorité aux tests cognitifs devant les autres il ne faut pas pour autant oublier l'importance d'un diagnostic complet pour bien appréhender les risques des conducteurs. Par exemple, un conducteur répondant parfaitement aux tests cognitifs peut avoir des difficultés motrices importantes pour la conduite qui restent cachées faute d'un test clinique spécifique ou de la mise en situation de conduite.

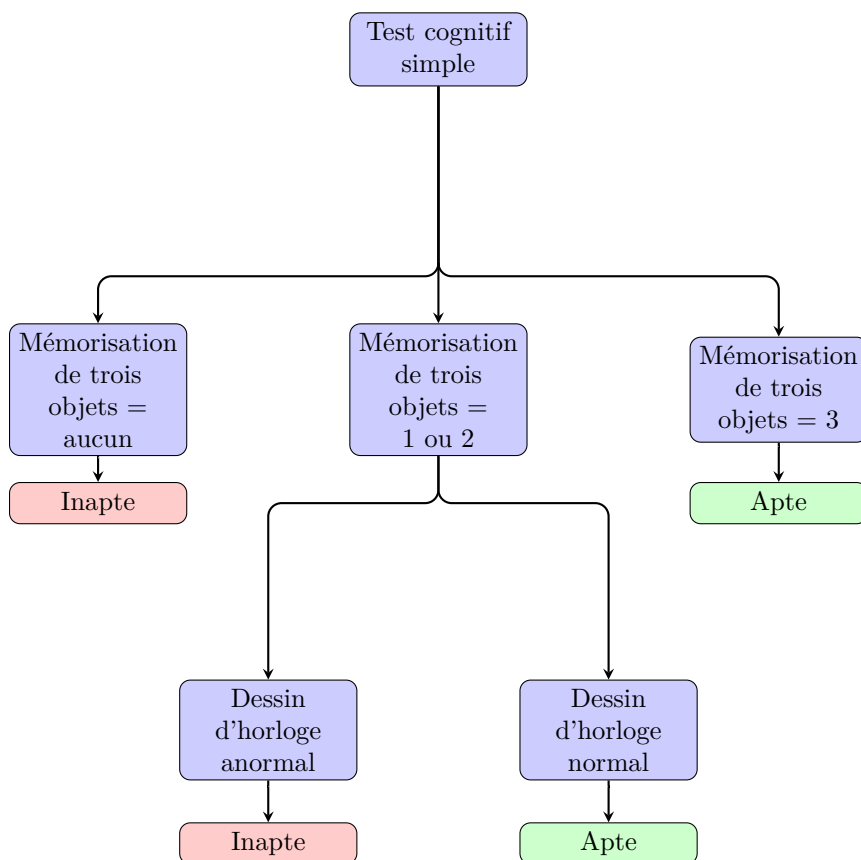


FIGURE 14 – Illustration simple d'un processus de test des capacités cognitives

Mais les résultats ne sont pas tous aussi optimistes, selon une étude réalisée en Angleterre sur la population des conducteurs âgés présentant des signes légers de démence, aucun des tests cognitifs établis par des psychiatres et proposés jusqu'alors dans ce pays pour déterminer leur aptitude à la conduite n'est efficace. En revanche, la réponse à un questionnaire sur le code de l'autoroute mis en place très récemment semble efficient.[30]

Une étude réalisée aux Canada en collaboration avec l'Australie et la Nouvelle-Zélande (sur 1230 personnes de plus de 70 ans sur 2 années) propose de comparer des tests cognitifs/visuels et

40. pratique de la conduite dans des conditions bien précises avec une voiture.

physiques issus de la batterie de tests ADReS (Assessment of Driving-Related Skills) au risque d'accidents. Un test de corrélation du Khi-2 permet de rejeter l'hypothèse de corrélation entre les résultats à ces tests et l'occurrence d'un accident de voiture. Cette étude montre encore une fois une faiblesse de certains tests cognitifs et la difficulté de choisir les bons critères d'évaluation des capacités cognitives, mais il est important de remarquer que l'étude est réalisée sur une durée assez courte avec un nombre d'observations assez faible d'autant que seulement 5,1% des personnes suivies ont eu un accident de voiture, le test est donc réalisé sur 63 individus ⁴¹ ayant eu un accident et ayant passé le test cognitif proposé.[74]

Convaincus de l'insuffisance des tests cognitifs proposés en médecine générale, des chercheurs canadiens travaillent actuellement au développement de nouveaux processus de test clinique adaptés aux personnes âgées afin de déterminer spécifiquement la capacité à conduire de cette population aux risques spécifiques[49].

De même, selon une étude réalisée en 2011 en Suisse, les diagnostics cognitifs de médecine générale sont insuffisants pour évaluer finement la capacité de conduite des personnes âgées. Notamment, le déficit cognitif est mal cerné. Cependant, ces chercheurs placent beaucoup d'espoirs dans les résultats des "médecins spécialistes" lors de tests en clinique ou directement sur la route[72]. Malheureusement, le développement des tests cognitifs dans cette direction risque de les rendre très onéreux à cause du coût matériel et des honoraires des spécialistes, ainsi la faisabilité et les délais de mise en place de tels tests sont incertains.

Cependant, on note parfois des effets pervers de l'envoi d'un signal aux assurés. Un article publié au Danemark en 2012[63] propose une comparaison de la sinistralité des conducteurs âgés avant et après la mise en place d'un dispositif de test cognitif. Non seulement l'introduction de ce test n'a eu aucun impact de réduction du risque d'accidents mortels pour les personnes âgées, mais on observe en outre (uniquement pour les conducteurs âgés) un accroissement de la mortalité de cette population sous forme d'autres accidents. Cela laisse supposer que le gain de confiance associé à la réussite du test entraîne une diminution de la vigilance ainsi que des autres dispositifs de protection et de compensation des lacunes ⁴².

2.2.4 Capacités physiques ou tests moteurs

Les tests de capacités physiques sont mis en place pour mesurer la possibilité pour l'usager de maîtriser son véhicule et son environnement dans les bons délais et avec précision. Ceci passe par la capacité à se tourner pour observer la circulation (souplesse du buste et de la nuque). Il est également nécessaire pour le conducteur d'avoir une certaine aisance pour entrer et sortir facilement du véhicule et pour mettre la ceinture de sécurité. La réponse musculaire, les réflexes et l'endurance sont également nécessaires pour des mouvements aussi simples que l'usage des pédales d'embrayage, d'accélération et de freinage. Chacune de ces pédales sollicite des qualités musculaires différentes : vitesse pour le freinage, endurance pour l'accélération, coordination pour l'embrayage. L'évaluation de la souplesse et de la force de la cheville semble donc très importante. Une étude réalisée au Royaume-Uni met en avant pour les personnes âgées l'occurrence répétée d'accélération excessives non-ressenties qui peut s'expliquer par un manque de proprioception ie les conducteurs ne se rendent pas compte qu'ils appuient de plus en plus sur la pédale d'accélération et ne réalisent pas que la vitesse du véhicule augmente[10]. Dans la même optique d'aisance motrice, il est également nécessaire d'évaluer le confort dans la position de conduite.

Comme nous l'avons évoqué dans la partie précédente, les conducteurs âgés, à l'instar des jeunes conducteurs, ont souvent des accidents à deux véhicules qui impliquent des dommages matériels légers, mais d'importants dégâts à eux-mêmes alors que les jeunes conducteurs ont typiquement des accidents à un seul véhicule à grande vitesse, qui entraînent de lourds dommages au véhicule et de graves blessures ou la mort de tous les passagers. L'importance des dégâts corporels subis par les conducteurs âgés dans des accidents peu graves du point de vue matériel est associée à la sur-fragilité corporelle de ces conducteurs. Afin de prédire, non la fréquence, mais la vraisemblance d'un dommage corporel grave ou de la mort (et donc affiner l'estimation de la loi des coûts des sinistres pour cette population) de ces conducteurs, on pourrait réaliser des analyses médicales : scintigraphie pour mesure la densité minérale osseuse ou des radiographies simples afin d'évaluer la trame calcique et protéique. Coûteuses, ces analyses pourraient s'inscrire dans le suivi médical

41. Certes le test du Chi-2 est cohérent puisqu'il est valable à "distance finie" mais on peut toujours questionner la significativité d'un échantillon aussi réduit lorsque le problème est aussi complexe et multi-factoriel. Par exemple mentionnons le biais de ce genre de test : un individu que la profession habitue à passer des tests ou évaluations (professeur, chercheur, profession avec suivi des connaissances : actuaire, médecin, etc.) sera fortement avantagé par rapport à un individu au travail plus manuel, moins théorique sans que ceci ait un lien avec les capacités appliquées à la conduite. Ainsi nous recommandons un calibrage du test spécifique à des classes d'individus cohérentes.

42. Éléments évoqués dans la partie 1.5, page 23 concernant les motifs de sous sinistralité des conducteurs âgés.

général des personnes âgées. Cette démarche est très spécifique des assureurs puisque l'objectif est seulement d'anticiper les coûts probables d'un accident pour les assurés afin d'ajuster la prime à payer. Ce fait explique sans doute qu'on ne trouve pas d'étude de la fragilité des personnes âgées ou de prédiction des dommages corporels subis en fonction de la fragilité.

L'Etat du Maryland évalue les facteurs qui conduisent les usagers à réduire ou maintenir leur pratique : age, sexe, état de santé, statut cognitif ont un effet direct sur la fréquence de la conduite, contrairement à l'état physique[70]. Ceci confirme que les conducteurs ont une tendance à l'auto-régulation. Plus spécifiquement celle-ci est souvent nourrie par une appréhension de la conduite. L'étude montre que les usagers ne prennent pas en compte les facteurs objectifs de leur état physique pour évaluer leur aptitude à la conduite. Ceci peut-être vu comme une défaillance dans leur diagnostic. L'ajout d'un diagnostic médical pourrait pallier ce problème. On peut supposer que les conducteurs ne réalisent pas l'impact de leur état physique sur la qualité de leur conduite et qu'une sensibilisation par un professionnel de santé pourrait les éclairer.

2.2.5 Qualité de la conduite



FIGURE 15 – Exemple de simulateur de conduite pouvant aider à évaluer la qualité de la conduite : Dakota3D

Une étude réalisée en Australie en 2003 propose de tester un prototype de simulateur de conduite sur ordinateur avec des manettes permettant d'imiter les pédales, la boîte de vitesse et le volant de la voiture. La figure 15 illustre, sur un autre modèle de simulateur, les conditions dans lesquelles les conducteurs sont mis afin de reproduire une conduite réelle et d'évaluer leurs aptitudes en pratique. Ce dispositif permet de répliquer la conduite réelle et de soumettre les conducteurs à des situations bien particulières, par exemple un virage à gauche après un cédez-le-passage ou un stop avec un véhicule arrivant par la gauche à une vitesse élevée (cause principale d'accident pour les personnes âgées qui ne voient pas la voiture arriver à gauche et ne cèdent pas la priorité). Cette étude présente un certain nombre de faiblesses : l'échantillon est restreint (129 individus) un biais de sélection sur la population peut être suspecté puisque les personnes ayant passé les tests de conduite sont volontaires et que 60% des conducteurs de cet échantillon déclarent avoir eu un accident dans l'année passée. Cette étude basée sur la comparaison de déclarations d'événements passés (étude rétrospective) à des résultats à un test de conduite met en avant la relation entre risques d'accident de voiture (rétrospectif et non prospectif) et la qualité de la conduite à travers l'évaluation des capacités visuelles, prises de décision sous contrainte de temps et de la confiance dans ses capacités lors d'une conduite à vitesse élevée[35]. L'enjeu de cet article était de motiver un travail de recherche de plus grande ampleur en soulignant l'intérêt d'un tel dispositif d'évaluation à moindre coût de la qualité de la conduite utilisée pour expliquer (et à terme pour prédire) le risque d'accident.

Des tests d'aptitude à la conduite ont été évalués dans leur corrélation avec le risque d'accidentalité. Ces tests sont cependant inadaptés à la sélection des conducteurs à risque car trop peu spécifiques.[33]

2.2.6 Consommation médicamenteuse

Dans la partie précédente, nous avons tenté de mettre en avant l'importance de la consommation de psychotropes en France et en Belgique. L'usage de ces substances a un impact considérable sur la conduite. La compréhension des modifications de la conduite liées à une telle consommation devrait permettre d'anticiper les types d'accidents qu'elle favorise et donc d'ajuster les distributions de sinistres en coût et en fréquence des assurés.

Afin de détecter la consommation de ces molécules psychotropes, il serait possible à moindre coût, en comptant sur la bonne foi des assurés, de leur demander de déclarer les médicaments qu'ils consomment et les posologies associées. Une méthode plus coûteuse serait de réaliser des analyses biologiques en laboratoire pour mesurer la concentration de ces molécules dans le sang des assurés. La fraude est toujours possible pour l'usager en interrompant la consommation de ces substances avant la réalisation des analyses.

La faisabilité de ce dispositif qui permettrait une nouvelle segmentation n'est pas évidente, d'autant que la consommation en psychotropes peut être justifiée médicalement, elle peut être temporaire, elle peut également s'accroître très rapidement. Aussi le suivi d'une telle consommation devrait être régulier, au moins annuel.

Une première piste à explorer avant d'étudier la viabilité économique d'un tel suivi est l'envoi d'information aux assurés. La plupart des individus ne sont pas conscients des risques associés à la consommation de médicaments, en particulier dans le cas de la conduite.

En France et en Belgique, à cause de la nature de leur formation, les médecins sont peu (insuffisamment) sensibilisés et instruits dans leur formation à la pharmacologie, en particulier sur le plan chimique et physiologique, ainsi ils connaissent mal les molécules qu'ils prescrivent et les effets secondaires associés. Pourtant la prescription de médicaments reste dans la plupart des cas, la solution proposée aux patients⁴³.

Outre le fait que les médecins semblent manquer de formations en pharmacologie⁴⁴, on remarque également le manque de temps pour présenter les risques aux patients au cours d'une consultation. Les pharmaciens, mieux formés à la connaissance et à la compréhension des effets secondaires et interactions médicamenteuses sont actuellement les agents les plus à même de renseigner les consommateurs.

Dans le cas de la France, la loi Bachelot HPST du 22 juillet 2009⁴⁵ énonce, entre autres choses, les nouvelles obligations des professionnels de santé en matière de prévention qui donne aux pharmaciens l'obligation d'inclure dans leur pratique professionnelle des formations liées à l'information et la prévention des pratiques de santé aux consommateurs. C'est donc seulement en 2013 qu'ont commencé des discussions sur la rémunération au forfait des pharmaciens pour des délivrances de conseils en matière de santé.

L'enjeu est de permettre au pharmacien de consacrer du temps aux patients, non seulement pour leur expliquer les modalités de consommation des produits ainsi que la posologie⁴⁶, mais également pour leur offrir les moyens de comprendre les risques associés à ces produits dont les effets secondaires possibles. Les assureurs pourraient collaborer à ce processus de développement de la prévention des risques en plein développement.

Notons, en outre, qu'un travail doit être effectué afin de déterminer la part de risque imputable au médicament ou à la pathologie associée, que les médicaments visent à corriger : dépression, anxiété, etc.

2.3 Evaluation par un proche

Une étude réalisée entre 2001 et 2005 dans l'Etat du Missouri met en avant le rôle des extérieurs dans l'évaluation des capacités à conduire des personnes âgées. Chaque année l'autorité fédérale responsable de la délivrance des permis de conduire reçoit des déclarations spontanées provenant d'agent de police (30%), de membres du personnel associé au passage du permis de conduire

43. Témoignage d'un médecin spécialiste en pharmacologie et pharmaco-vigilance, formateur et conseiller en France auprès de médecins, pharmaciens et des particuliers sur les risques et interactions de diverses molécules : médicaments, compléments alimentaires.

44. (i) Comparaison des programmes d'enseignement des pharmaciens et médecins. (ii) Témoignages de médecins responsables de services de pharmacologie/pharmaco-vigilance dans divers CHU français à travers les AMPLD : Antennes Médicales de Lutte et de Prévention du Dopage qui incluent toute la surveillance/classification/étude pharmacologique des compléments alimentaires, médicaments et autres substances réglementées. (iii) Constat à l'origine de la loi Bachelot mentionnée plus bas.

45. Plus de détails dans le rapport IGAS, RAPPORT N°RM2011-090P, en annexe 13 qui précise les enjeux de l'éducation thérapeutique du patient par les pharmaciens.

46. Jusqu'à maintenant le rôle des pharmaciens se limite à cela pour des raisons économiques et légales.

(27%), de médecins (20%), de membres de la famille (16%) ou autres (7%). Ces déclarations représentent un avis médical sur les capacités d'un tiers à conduire. Elles sont encouragées par une loi fédérale (House Bill HB-1536 : Missouri's voluntary reporting law qui date de 1998). L'âge moyen des personnes mentionnées dans ces déclarations est 80 ans. L'article propose une étude de la corrélation entre les déclarations concernant des personnes âgées et la sinistralité de ces personnes. Il est important de noter que 45% de ces déclarations mentionnent la démence ou les défaillances cognitives du conducteur, ceci justifie l'importance des tests cognitifs. En 2001, le risque d'accident de la population de contrôle est à 2,2% contre 9,3% pour la population des conducteurs mentionnés dans les déclarations volontaires. Cet écart très important montre que les déclarations volontaires sont un bon moyen (peu onéreux) d'obtenir un avis de bonne qualité sur la capacité à conduire des personnes âgées. L'évolution temporelle des résultats est importante et permet de mesurer l'efficacité de cette loi. Dans les années qui suivent 2001 (ie quelques temps après l'introduction de la loi sur les déclarations spontanées), le taux de sinistralité des conducteurs mentionnés dans ces déclarations a rapidement chuté. Ceci s'explique par une importante diminution du nombre de permis de conduire dans cette population. En effet, acceptant l'évaluation qui est faite de leurs capacités, les personnes âgées renoncent à renouveler leur permis de conduire. En conclusion, des 4100 individus qui ont fait l'objet d'une déclaration spontanée, seulement 144 (3,5%) conservent leur permis de conduire[47]. Pour imiter cette procédure d'évaluation, on pourrait mettre en place un dispositif incitatif⁴⁷ d'évaluation d'un conducteur âgé par un tiers, éventuellement un proche.

Une étude réalisée en 2004 aux USA a tenté d'évaluer l'impact des mesures de sensibilisation aux risques de la conduite automobile. La population de test sollicitée est celle des personnes âgées ayant des troubles visuels et des antécédents récents d'accidents de la route, il s'agit d'une population de conducteurs à risque élevé. Les résultats montrent que les mesures de prévention n'ont aucun impact sur la sinistralité des conducteurs. Cependant, on remarque une importante auto-régulation des conducteurs sensibilisés aux dangers de la route qui renoncent partiellement ou totalement à la conduite[52].

2.4 Education des conducteurs

2.4.1 Permis temporaire

Une étude réalisée aux Etats-Unis entre janvier 1990 et décembre 2000 pour les tranches de population d'âges 25-64, 65-74, 74-85 et plus de 85 ans a permis d'évaluer l'impact sur les risques d'accidents mortels de plusieurs mesures : les tests de vision imposés par certains Etats, le renouvellement du permis de conduire (avec diverses fréquences), des contrôles des papiers et de l'alcoolémie des conducteurs. De nombreuses variables de contrôle ont été introduites pour comparer des états homogènes en termes de richesses et de législation sur la conduite. Afin d'isoler éventuellement certains effets associés à la conduite nocturne, l'étude statistique a également été réalisée sur les conducteurs de jour. Notons néanmoins à titre indicatif que le ratio d'accident ayant lieu de jour est de 64% pour les conducteurs de moins de 20 ans contre 90% pour les plus de 80 ans selon une étude réalisée en 1992 en Australie.[59]. Selon l'étude de très grande ampleur réalisée aux USA, seule la mortalité des conducteurs de plus de 85 ans est influencée par l'une de ces mesures de prévention et parmi ces mesures, seul le renouvellement obligatoire du permis de conduire (permis temporaire) a un impact significatif. En outre, il est rassurant de voir que cet effet est bien une diminution de la mortalité, on aurait pu craindre d'observer un phénomène de biais de sélection associé au scénario suivant : les Etats pour lesquels la mortalité sur la route est la plus élevée introduisent des mesures qui devraient diminuer les risques tels que le permis temporaire, mais l'effet de ces mesures n'est pas suffisant pour contrer la surmortalité constatée initialement.[22]

2.4.2 Stages de pratique, révision du Code de la route

Le travail de deux chercheurs canadiens révèle des effets pervers instructifs à travers l'étude d'une population participant à un programme de formation complémentaire pour les détenteurs du permis B. L'effet observé est un biais d'auto-sélection. Les individus âgés de plus de 75 ans qui participent au programme d'enseignement présentent une surmortalité par rapport à la population moyenne des conducteurs de leur classe d'âge alors que les individus de moins de 75 ans présentent une sinistralité identique à celle de la population moyenne[21]. L'étude montre globalement que les

47. proposer par exemple un bonus dans le cadre d'un résultat positif, le dispositif serait à élaborer pour éviter la fraude et s'assurer que le conducteur âgé est confronté à une évaluation de bonne foi

conducteurs très âgés ont recours à des dispositifs d'amélioration de leur conduite lorsqu'ils ont été confrontés à des accidents (ie lorsqu'ils sont convaincus qu'ils représentent un risque important). Pour les conducteurs âgés plus jeunes, c'est la conscience de l'accroissement du risque d'accident et surtout de l'augmentation de la gravité des accidents conditionnellement à leur survenance, qui incite les usagers à suivre des stages de conduite, quelle que soit leur sinistralité *a priori*. Il est possible que sans avoir eu d'accidents, ils aient également eu l'occasion d'être confrontés à des difficultés nouvelles, liées au vieillissement, lors de la conduite.

On retrouve ce biais de sélection dans une autre étude dans laquelle les autorités responsables de l'attribution du permis de conduire comparent le risque d'accident entre 2 régions d'Australie, une où les conducteurs âgés sont amenés à être évalués selon leur âge et une où ils ne le sont pas. *A priori* on n'attend pas de différences sur l'accidentalité entre ces deux régions. Les résultats montrent pourtant que les conducteurs non évalués ont moins d'accidents que ceux qui sont évalués[31]. On peut interpréter ce résultat de deux manières :

- Soit les conducteurs de cette région présentent une sinistralité moindre que ceux de l'autre région, et c'est pour cette raison que la seconde a introduit des mesures visant à réduire la sinistralité.
- Soit les dispositifs d'évaluation mis en place sont contre-productifs, trop simples par exemple, et ont tendance à encourager la prise de risque des conducteurs âgés, convaincus par l'évaluation qu'ils sont aptes à conduire sans aucune réserve.

2.5 Conduite limitée à certains véhicules avec options particulières pour une conduite assistée/sécurisée

2.5.1 Véhicule petit et confortable ?

Le lien entre puissance du véhicule et importance des dommages, en particulier corporels, est souvent mentionné. On pourra donc préférer des véhicules peu puissants afin d'espérer réduire les chances d'accidents graves. La notion de confort dans le véhicule est également à retenir supposant que l'inconfort est une source de distraction, de sous-vigilance et donc d'accroissement du risque. On suppose également que les conducteurs âgés sont davantage susceptibles d'être exposés à ce risque d'inconfort (TMS, arthrose, raideur, etc.). La figure 16 montre l'augmentation importante des TMS en France dans les dernières années. Leur présence a doublé en 10 ans. Ceci justifie une augmentation de la vigilance pour ces causes possibles d'inaptitude à la conduite.

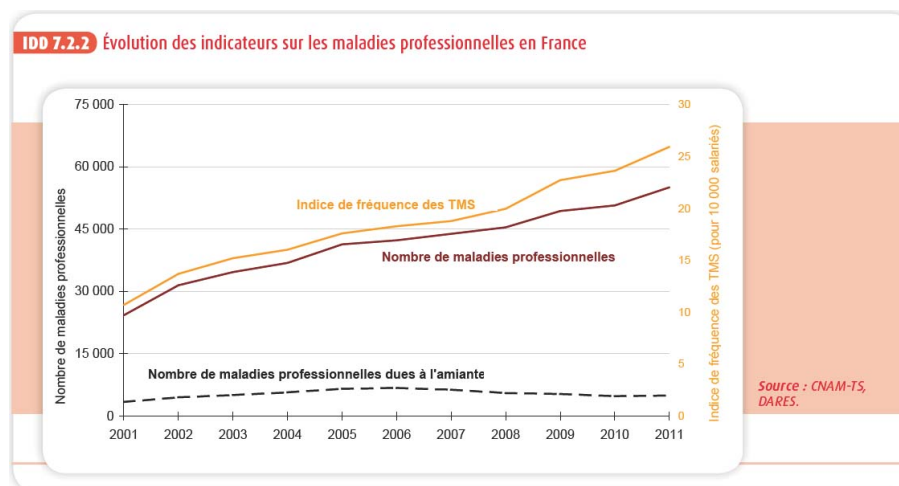


FIGURE 16 – Augmentation des troubles musculo-squelettique en France dans les dernières années
Source : CNAM-TS, DARES 2012.

2.5.2 Option anti-somnolence

Le but d'un tel dispositif est d'empêcher l'attention du conducteur de diminuer pour des raisons de somnolence. Pour ce faire, il est nécessaire de mettre en place un dispositif de vigilance permettant de détecter la somnolence des conducteurs ainsi qu'un dispositif de maintien en éveil : signal sonore par exemple.

2.5.3 Option de détection des stops et feux rouge/vert signalés par des sons

De même que certains feux rouges sont équipés de dispositifs permettant leur détection pour les piétons malvoyants, on peut aisément étendre ce dispositif aux panneaux stop/cédez-le-passage/feux tricolore afin de renforcer l'attention visuelle par des dispositifs auditifs.

2.6 Modification de l'infrastructure et des facteurs extérieurs

2.6.1 Les modifications à apporter aux routes pour rendre la conduite moins dangereuse

Un article de recherche [38] propose de réduire la sinistralité des conducteurs en général et spécifiquement des personnes âgées grâce à des améliorations dans la conception et l'exploitation des autoroutes, en particulier l'utilisation du rond-point. Par rapport à des intersections conventionnelles (carrefours), les ronds-points ont le potentiel de réduire de façon significative le type de collision le plus nuisible (angles) et de ralentir la vitesse de fonctionnement de tous les véhicules, tout en conservant une grande capacité de mouvement du trafic dans une intersection. Si tous les conducteurs, et en particulier les conducteurs âgés, augmentaient leur utilisation de ces installations routières, et les utilisaient correctement, on observerait très probablement une diminution massive du nombre de blessures et de décès par accident de voiture. En conséquence, cette recherche visait à identifier les éléments de conception et d'exploitation des rond-points qui étaient problématiques pour les conducteurs âgés, et à élaborer des recommandations et des lignes directrices pour les mesures qui pourraient améliorer le confort, la confiance et la sécurité des personnes âgées en utilisant les ronds-points. Pour atteindre les objectifs de cette étude, une série de groupes de discussion (Phase I), dans laquelle les conducteurs âgés de plus de 65 ans ont fourni des informations, a eu lieu afin de déterminer les éléments d'amélioration des ronds-points, tels que la géométrie de la route, les panneaux de signalisation et marques sur la chaussée qui peuvent être problématiques pour les conducteurs âgés. Un questionnaire a été construit suite à l'identification de ces éléments et proposé à un nouvel échantillon de personnes de la même classe d'âge. L'objectif était d'évaluer les mesures qui pourraient être mises en œuvre pour améliorer le confort, la confiance et la sécurité des conducteurs âgés qui utilisent ces installations. Les résultats montrent qu'il est crucial d'introduire des éléments tels que des panneaux et marquages afin d'accompagner les conducteurs âgés dans les ronds-points. La demande de spécification des cédez-le-passage, panneaux de sorties et de directions est également sensible.[38]

2.7 Résultats des mesures de prévention et pistes de recherche

L'étude consiste à comparer la population des conducteurs âgés (65-84 ans) à la population des conducteurs plus jeunes en Suède. Les résultats montrent sur les séries entre 1983 et 1999 que l'accroissement de sinistralité des personnes âgées est moindre que l'accroissement de présence des personnes âgées sur les routes. Ainsi, on observe une décroissance relative du nombre d'accidents des personnes âgées par permis de conduire et par conducteur actif entre 1983 et 1999. Ceci montre que les méthodes simples de prévision de la sinistralité des personnes âgées proportionnellement (régression linéaire) à l'augmentation de leur présence sur les routes dans le temps sont excessivement pessimistes.[27]

Une autre étude réalisée aux USA sur le pays entier et sur spécifiquement sur 13 Etats entre 1997 et 2008 (1997-2005 pour l'étude sur les 13 Etats) comparant les conducteurs âgés de plus de 70 ans et ceux d'âge moyen (35-54 ans) arrive à des conclusions comparables. La sinistralité des conducteurs âgés décroît plus rapidement que celle des conducteurs d'âge moyen. Concernant les accidents mortels, on observe une réduction de 37% pour les conducteurs âgés contre 23% pour les conducteurs d'âge moyen à l'échelle nationale et 22% contre 1% à l'échelle de ces Etats. Les accidents entraînant des dommages corporels non mortels ont diminué de 22% contre 16% à l'échelle des 13 Etats, ces résultats ne sont pas statistiquement significatifs. Les accidents n'entraînant que des dommages matériels ont diminué de 10% pour les conducteurs âgés contre 1% pour les conducteurs d'âge moyen sur les 13 Etats. En 1997, les conducteurs âgés avaient 3,5 fois plus de chance de mourir dans un accident rapporté par la police qu'un conducteur d'âge moyen (6,2 contre 1,8 morts pour 1000 accidents), en 2005 ce ratio est descendu à 2,9. La probabilité de mourir dans un accident de voiture est restée stable pour les conducteurs d'âge moyen mais elle est passée à 5,5 pour 1000 accidents pour les conducteurs de plus de 70 ans[9]. Nous supposons que cette baisse des risques de décès dans le temps pour les conducteurs âgés est imputable à une amélioration de la santé de ces individus qui voient la qualité de leur conduite augmenter également.

On peut espérer que les bons diagnostics permettront aux assureurs ou aux législateurs sur le permis de conduire, de mettre en oeuvre des mesures visant à offrir des réponses appropriées aux populations les plus fragiles. Cependant, il est important de remarquer que les conducteurs appartenant à la population active, pour qui la mobilité est un impératif professionnel, modulent peu leur présence sur la route, en tant que conducteurs, en fonction de leurs expériences d'accidents ou de leur situation médicale comme le montre une étude réalisée en France entre 2000 et 2002 sur des populations de 45-60 ans.[53] Trouver une solution pour les individus de cette classe d'âge pourrait également résoudre celui des conducteurs plus âgés : en cherchant à résoudre le problème des populations actives à risque qui continuent de conduire pour travailler on pourrait espérer résoudre le problème des conducteurs âgés à risque qui persistent dans la conduite malgré une surexposition aux risques d'accident. Dans ce papier, nous emploierons une démarche inverse qui consiste à chercher une solution au problème de la sinistralité des conducteurs âgés qui pourrait éventuellement être étendue à la population active.

3 Analyse de la base de données et réflexion sur les opportunités associées

Il s'agit d'émettre des hypothèses, tester des liens ou des tendances sur une ou plusieurs variables pour guider nos réflexions et émettre des propositions ou autres réflexions sur les données à disposition et les mesures qui pourraient être appliquées.

3.1 Présentation générale de la base de données et premières hypothèses

3.1.1 Construction et hypothèses

En général, en économétrie (hors séries temporelles) on suppose que les observations disponibles sont indépendantes conditionnellement à des facteurs d'hétérogénéités⁴⁸ afin de pouvoir utiliser les estimateurs usuels pour calibrer le modèle. Nous verrons que la base de données à disposition ne respecte pas exactement cette hypothèse mais qu'on s'affranchit usuellement de cette contrainte par approximation et on considère que les données à disposition sont extraites de bases de données de polices et sinistres. La quantité d'information disponible est susceptible d'évoluer dans le temps.

- (i) L'assureur peut décider de prendre en compte un nouveau critère de segmentation et donc exiger une nouvelle information de l'assuré. Dans le cadre d'une étude longitudinale, ceci est limitant (information tronquée à gauche). En pratique, notre étude se limite à la période de 4 années consécutives qui est certes courte, mais homogène sur le plan du nombre et de la qualité des variables année après année.
- (ii) Pour des raisons de fusions et acquisitions avec d'autres portefeuilles d'assureurs, les données peuvent parfois présenter des valeurs manquantes.
- (iii) Selon la police choisie par l'assuré⁴⁹ les informations demandées/retenues pour la tarification du contrat ne sont pas les mêmes
- (iv) Les assurés sont susceptibles, en outre, de choisir des options supplémentaires, par exemple, l'option de "sécurité du conducteur" qui couvre d'éventuels dégâts corporels au conducteur en cas de tort.
 - Les options donnent parfois des surplus d'informations objectifs (nouvelles informations fournies par l'assuré dans la mesure où on couvre de nouveaux risques),
 - Le choix d'une option est un signal "implicite" en situation d'asymétrie d'information,
 - Le choix de l'option peut parfois être ambigu et associé aux spécificités des processus de souscription.

La base de données recense l'information de chaque assuré en termes de risque. La première intuition est d'associer n contrats à n observations. Il s'agit dans ce cas de présenter une image figée du portefeuille à une date t et de renseigner le profil de risque de chaque assuré⁵⁰. Si on souhaite suivre le portefeuille d'assurés dans le temps, il est nécessaire de maintenir la cohérence mentionnée précédemment en termes de profil de risque. Si le risque d'un assuré change⁵¹ alors tout se passe comme si on observait un autre individu, plus précisément un autre profil de risque puisque l'individu couvert reste le même⁵². En outre, beaucoup de paramètres de risque sont liés au temps : âge du conducteur, âge du véhicule, âge du permis, temps depuis le dernier sinistre, caractéristiques annuelles⁵³ ainsi on considère, pour simplifier, que le profil de risque est modifié chaque année. Plusieurs possibilités s'offrent à nous pour choisir la date qui délimite deux profils de risque (associés à un même assuré)

- Date anniversaire du contrat : pour l'âge du contrat et la date de paiement de la prime
- Date anniversaire de l'assuré : modification de sa tranche d'âge jour pour jour, ceci est peu cohérent parce que les tranches d'âge sont assez "floues", on ne change pas de profil de risque d'un jour à l'autre et il s'agit d'une simple convention.

48. Variables explicatives.

49. On distingue divers contrats (i) Responsabilité civile (RC) : couverture de base légalement obligatoire (ii) Mini-Omnium (iii) Omnium. Voir description commerciale sur le site internet d'AXA Belgium.

50. Il s'agit de l'information au sens large sur l'assuré : (i) Sinistralité passée, (ii) Paramètres de risque individuel : âge de l'assuré, âge du permis, etc. (iii) Paramètres de risque matériel : puissance du véhicule, âge du véhicule, valeur du véhicule, etc.

51. Occurrence d'un sinistre, changement de couverture.

52. Il y a évolution temporelle du risque, c'est à ce détail que se joue le "problème" de l'indépendance des profils de risque observés.

53. Par exemple les hivers 2012 et 2013 n'ont rien à voir en termes de risque intrinsèque à cause de la météo, mais nous ne disposons pas de variables pour contrôler cet effet.

- Fin d'année calendaire : ce choix a l'avantage d'offrir une certaine homogénéité (*design* déterministe⁵⁴) parmi les "profils de risque renseignés", toutes les observations sont incluses dans une année calendaire⁵⁵.

On construit donc une "base de données d'images" qui recense l'ensemble des profils de risque qui sont spécifiés par un numéro de contrat (un assuré), un début d'image (changement de profil de risque) et une fin d'image (nouveau changement de profil de risque)⁵⁶. Afin de mettre en place des modèles économétriques, on suppose que les différents profils de risque sont "indépendants". Ceci est bien sûr une approximation, certes très fréquente en assurance, puisque le numéro de contrat à lui seul indique un lien entre les images. Pour être plus précis, nous pourrions envisager le suivi de chaque contrat comme une série temporelle (à *design* aléatoire défini par l'occurrence de sinistres, changement de contrat ou de profil de risque pour d'autres raisons). A chaque date t (sur 4 années) de l'échantillon on observe $(X_{i,t})_{i \in 1 \dots n}$ n -échantillon⁵⁷ de séries temporelles de variables aléatoires. La cohérence du choix d'une série temporelle est validée par l'observation de l'auto-corrélation de la série. En effet, si un individu n'a pas de sinistre dans l'année (ce qui arrive souvent), alors la plupart de ses indicateurs de risque n'auront pas ou peu changé entre une année et la suivante. Cette persistance des profils de risque à numéro de contrat donné est captée par l'auto-corrélation et les méthodes de correction associées (modèles économétriques incluant l'information aux dates passées pour expliquer la situation présente ou projeter l'évolution).

La dépendance que nous observons ici est principalement temporelle. Il s'agit du lien probable entre une observation⁵⁸ entre t_1 et t_2 et une observation entre les dates t_3 et t_4 sachant que les deux observations sont associées à un même numéro de contrat. Ici $[t_1; t_2] \cap [t_3; t_4] = \emptyset$.

Une autre hypothèse importante que nous ferons par la suite est celle (classique en actuariat) d'indépendance entre les coûts et les fréquences de sinistre conditionnellement aux facteurs de risque externes à disposition.

(Fréquence) Afin d'incorporer au modèle notre *a priori*⁵⁹ d'indépendance des images entre elles, on utilise une modélisation de Poisson qui est une loi avec "absence de mémoire" ie qui ne tient pas compte du passé.

(Coût) La modélisation des coûts de sinistres repose sur l'utilisation d'observations qui incluent un sinistre. En outre, l'hypothèse exacte employée en économétrie est celle l'indépendance conditionnelle à l'observation de variables. Or, la sinistralité passée des conducteurs fait partie des variables explicatives utilisées. On fait donc l'hypothèse que les observations sont indépendantes conditionnellement à la connaissance de facteurs individuels (comportement à risque, aversion au risque), de facteurs matériels (puissances et fragilité du véhicule) et de mesures de la sinistralité passée.

3.1.2 Méthodologie

Afin de présenter l'ensemble des variables disponibles et de développer quelques premières intuitions, nous proposons de les présenter une à une et de réaliser quelques premières analyses quantitatives sur les variables par croisement avec les facteurs d'intérêt. Cette démarche nous permettra d'arriver, nous l'espérons, naturellement à des modèles plus complexes qui exploitent les premiers résultats que nous aurons démontrés dans cette partie. En outre, l'évaluation de certaines thèses proposées dans les parties précédentes requière des méthodologies de tests simples que nous pourrions réaliser dans cette partie.

Nous proposons d'abord une présentation très courte et chiffrée de la base de données principale utilisée avant de nous focaliser sur les éléments plus spécifiques à notre étude de la sinistralité des conducteurs âgés.

3.1.3 La base de données en bref

Dans cette sous partie, nous présentons rapidement les caractéristiques quantitatives de la base de données afin que le lecteur puisse mieux se la représenter. Bien qu'une base de données plus

54. La composante aléatoire dans le *design* des observations tient à l'occurrence de sinistre, modification du contrat ou autres événements "imprévisibles".

55. Remarquons que pour une base de données d'une profondeur de 4 années, un assuré suivi sur toute la période sera donc représenté par au moins 4 images/observations.

56. Comme nous l'avons dit précédemment le début et la fin d'image sont distants d'au plus une année.

57. On suppose pour cela l'indépendance entre les assurés, la validation de cette hypothèse est une problématique plus globale et sensible de gestion des risques que nous n'avons pas l'ambition de régler ici.

58. L'observation est considérée valable sur une période de temps.

59. A l'instar des méthodes bayésiennes.

importante soit disponible, le matériel à ma disposition⁶⁰ et l'utilisation du logiciel libre R, limité dans son optimisation des calculs, nous amènent à restreindre notre étude à des bases de données de 50 000 contrats (300 000 observations) pour estimer les fréquences de sinistres ou considérer des données de panel (population fermée). Nous disposons également de l'ensemble des sinistres en responsabilité civile des assurés de plus de 60 ans chez AXA Belgium sur 4 années.

Age des assurés Entre 60 et 100 ans.

Couverture En responsabilité civile (RC), Mini-Omnium⁶¹ et Omnium⁶².

Genre de l'assuré Environ 70% d'hommes.

Type de voiture Voitures et voiturettes. Ces données seront exploitées pour des études spécifiques.

Age du véhicule En moyenne 7-8 ans avec une sensibilité importante à l'âge de l'assuré.

Puissance du véhicule Valeur comprise entre 30 et 999. Presque toujours renseignée, sensible à l'âge de l'assuré, elle impacte *a priori* le coût potentiel des sinistres⁶³, nous l'utiliserons comme une variable de contrôle.

Sinistralité Fréquence On compte plusieurs dizaines de milliers de sinistres de charge positive avec une légère majorité des sinistres en tort devant les sinistres en droit. D'autre part une image dure au moins un jour donc il peut y avoir plusieurs sinistres par image, dans ce cas on utilisera une approximation du coût moyen par sinistre dans l'image.

Coût matériel On remarque que les queues de distribution sont épaisses.

Coût corporel Cette variable sera peu étudiée parce que son renseignement est délicat, en particulier les coûts corporels à l'assuré sont ceux qui nous intéressent et ils sont peu renseignés. Si l'assuré est en tort alors le renseignement de la variable est conditionné par le choix de l'option supplémentaire de sécurité du conducteur. Dans le cas contraire, il est très probable que les dommages soient directement couverts par l'assureur tiers.

3.2 Statistiques descriptives

3.2.1 Age de l'assuré

On s'intéresse à la population des assurés âgés de 60 à 100 ans. Dans la moitié des observations, l'assuré a moins de 69 ans. Ceci permet de travailler avec le découpage autour de 70 ans proposé en introduction. Nous chercherons également à discuter un découpage autour de 80 ou 90 ans ce qui nous conduit à construire 4 catégories d'âge : 60-70 ans, 70-80 ans, 80-90 ans et plus de 90 ans.

3.2.2 Quelques éléments de lien entre âge de l'assuré et sa sinistralité : coût, fréquence et responsabilité

On dispose d'une variable qui permet de connaître le degré de responsabilité de l'assuré dans l'accident, les modalités significatives (en nombre d'occurrences) sont 0% (non responsable), 50% (responsabilité partagée également), 100% (responsable).

Lorsqu'il s'agit de s'intéresser à la sinistralité en droit ou en tort nous privilégions une responsabilité non partagée ie 0% ou 100%. Cependant afin d'évaluer précisément le taux de responsabilité nous prenons en compte ces 3 modalités.

Notons que tous les sinistres en droit ne sont pas correctement renseignés (parce qu'ils sont parfois transparents pour l'assureur qui n'est pas contacté par l'assuré dédommagé par l'assureur du tiers) ainsi le taux de responsabilité en tort qui, pour la population totale, doit être proche de 50% est toujours supérieur à 50% dans notre échantillon à cause de ce biais de sélection lié à une information incomplète du côté des sinistres en droit. Cette remarque est soumise à caution parce que nous disposons parfois du renseignement relatif à l'occurrence d'un sinistre en droit non couvert directement par AXA Belgium. Nous ne savons pas s'il est systématique.

La table 3 montre quelques éléments de lien entre l'âge et la sinistralité des conducteurs. On propose un découpage en 4 tranches régulières selon le découpage qui sera utilisé en général dans la suite de nos travaux. L'âge moyen et médian pour chaque tranche permet d'avoir une idée de la répartition des individus dans les tranches d'âge. Entre 60 et 80 ans les individus ont un taux de sortie (arrêt de la conduite) relativement faible et l'âge moyen observé est proche de l'âge moyen

60. Ordinateur portable personnel.

61. Avec garantie vol, bris de vitre, force de la nature et incendie.

62. Mini-Omnium plus complémentaire dommage, c'est une assurance "tous risques".

63. La gravité liée à la vitesse.

d'une population homogène en âge. En revanche, on remarque pour les plus de 80 ans (et plus encore pour les plus de 90 ans) le décalage très important de la moyenne vers le minimum de la tranche d'âge : moyenne à 83 ans, médian à 82 ans pour la tranche 80-90 ans ; moyenne à 91,4 ans, médiane à 91 ans pour les plus de 90 ans. Ceci traduit un taux de résiliation des individus très élevé après 80 ans.

On remarque une augmentation significative de la fréquence de sinistres en tort avec l'âge et inversement une diminution importante de la fréquence de sinistre en droit. Le deuxième fait traduit une diminution de l'exposition à la conduite (conduite moins fréquente) et la seconde traduit une augmentation des risques de sinistre liée à l'âge.

Concernant les sinistres en tort, on remarque que les coûts médians sont à peu près stables mais que les coûts moyens décroissent ce qui traduit une diminution des coûts extrêmes avec l'âge. Malgré une augmentation de la fréquence des sinistres en tort, les coûts sont réduits, sans doute à cause des comportements cités dans les premières parties de ce rapport : conduite plus lente, mais aussi des véhicules moins puissants et moins solides qui sont donc moins susceptibles d'engendrer des dommages importants au véhicule tiers.

Concernant les coûts de sinistres en droit, on observe la tendance inverse, les coûts médians augmentent avec l'âge et de façon bien plus sensible. On voit les coûts moyens de sinistre exploser avec l'âge passant de augmentation de 22% entre les 60-70 et les 80-90 ans.

Pour finir on remarque également une augmentation très sensible du taux de responsabilité des conducteurs avec l'âge. Il passe de 59% pour les 60-70 ans à 69% pour les 70-80 ans, 78% pour les 80-90 ans et 85% pour les plus de 90 ans. Cette augmentation est le résultat de l'augmentation de la fréquence de sinistres en tort et de la diminution de la fréquence de sinistres en droit. Rappelons que les sinistres en tort sont ceux qui sont coûteux pour l'assureur dans le cas d'une simple couverture responsabilité civile.

En conclusion, ces quelques chiffres traduisent l'augmentation sensible avec l'âge de la sinistralité sur le plan de la fréquence et de la responsabilité. Les coûts de sinistre en tort n'évoluent pas de façon régulière avec l'âge. Le coût moyen de sinistre RC en tort est 10% plus élevé pour les 80-90 ans que pour les 70-80 ans. En faveur d'une augmentation de la fragilité des conducteurs âgés, on note l'augmentation importante des coûts de sinistres en droit. Environ 21% plus élevé pour les 80-90 ans que pour les 60-80 ans et 71% plus élevé pour les plus de 90 ans que pour les 60-80 ans. Notons que ces coûts sont probablement sous-évalués à cause d'un biais sur le renseignement des coûts des sinistres en droit ^a.

a. Seuls les sinistres RDR pour lesquels AXA Belgium avance les frais à l'assuré en droit avant de récupérer directement ce montant auprès de l'assureur tiers. En général ce mode de remboursement est effectué pour des dommages matériels peu coûteux.

Age de l'assuré	Nombre d'années-images ^a	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^b		Age (moyen/médian) ^c		Fréquence de sinistres (Droit/-Tort) ^d		Taux de responsabilité ^e
60-70 ans	50	44	58	64,1	64	60	100	59%
70-80 ans	36	37	32	74,2	74	40	100	69%
80-90 ans	14	18	10	83,0	82	40	140	78%
Plus de 90 ans	1	1	0,4	91,4	91	40	180	85%
total	100	100	100	70,6		60	100	66%

Age de l'assuré	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^f		Age (moyen/médian) ^g		Coût moyen (Tort/Droit) ^h		Coût médian (Tort/Droit) ⁱ	
60-70 ans	44	57	64,2	64	26	20	25	24
70-80 ans	38	33	74,3	74	25	21	24	24
80-90 ans	18	10	83,0	82	27	25	25	25
Plus de 90 ans	0,9	0,4	91,3	91	22	35	26	27
total	100	100	71,5		100	100		

TABLE 3 – Eléments quantitatifs d'évaluation du lien entre l'âge de l'assuré et sa sinistralité : fréquence, coût, responsabilité

a. Base de données échantillon de 50 000 contrats.

b. Base de données échantillon de 50 000 contrats.

c. Age moyen ou médian de l'assuré estimé sur une base de données échantillon de 50 000 contrats

d. On choisit en base 100 la fréquence totale des sinistres en tort.

e. Estimé sur l'échantillon de 50 000 contrats.

f. Base de données de l'ensemble des sinistres aux assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans sur 4 années.

g. Age moyen ou médian des classes d'âge des assurés sinistrés.

h. Coût moyen des sinistres en responsabilité civile.

i. Coût médian des sinistres en responsabilité civile.

3.2.3 Nombre de sinistres

Dans la base de données, on observe une personne qui a eu plus de 3 accidents en un jour (une image), ce qui nous a amené à nous poser une question : lors du vieillissement, on observe une augmentation de la vraisemblance de tomber dans un état un peu dépressif[60][42][54][43], mais pouvons-nous dire, en général, que le sujet devient plus influençable et émotif? Suite à un accident, *a fortiori* s'il est grave, on s'attend à observer des séquelles psychologiques, des traumatismes chez les personnes impliquées. Est-ce qu'une personne sera impactée mentalement plus fortement par un premier accident si elle est plus âgée? Quelles conséquences pratiques? L'assuré plus âgé encourra-t-il un risque accru d'avoir un sinistre supplémentaire?

Notons que ce sujet est lié à la question de l'indépendance entre les deux sinistres. L'identification d'une relation de dépendance entre les sinistres d'un assuré imposerait des corrections idoines avant de pouvoir mettre en place un modèle poissonien basé sur l'absence de mémoire.

Nous tenterons d'apporter une réponse à ces questions dans la partie 4.1.5.

3.2.4 Age du véhicule assuré

Ici nous cherchons à identifier un éventuel lien entre l'âge du véhicule de l'assuré et d'une part l'âge de l'assuré et d'autre part sa sinistralité. Si ces deux liens semblent cohérents nous utiliserons cette variable comme variable de contrôle dans nos modèles économétriques d'étude de la sinistralité en fonction de l'âge.

Eléments quantitatifs de lien avec la sinistralité et l'âge de l'assuré La table ⁶⁴ 4 montre une sensibilité importante de l'âge de l'assuré et de sa sinistralité à l'âge du véhicule employé. L'âge moyen et l'âge médian de l'assuré augmentent significativement avec l'âge du

64. Les histogrammes permettent de se représenter la répartition empirique des modalités d'une variable. On utilisera la variable de durée de l'image en années-risque pour pondérer tous les histogrammes que nous serons amenés à calculer (estimation des distributions) afin de ne pas biaiser les calculs par des contrats sur-représentés en nombre d'images mais qui ne durent pas plus longtemps que la plupart (en général 4 ans puisque la profondeur de la base de données est 4 ans).

véhicule. Autre fait intéressant, en cas de sinistre, l'assuré est bien plus souvent responsable du sinistre lorsqu'il conduit un véhicule ancien⁶⁵ le taux de responsabilité est de 61% pour un véhicule récent, contre 72% pour les véhicules les plus anciens (plus de 15 ans). La fréquence de sinistre, en droit comme en tort reste la même lorsque le véhicule vieillit. Pour finir, concernant les coûts de sinistres, on remarque qu'en tort les montants ne dépendent pas de l'âge du véhicule, c'est à dire que le véhicule, quel que soit son âge, garde le même potentiel de dommages qui dépend probablement davantage de la puissance et de la solidité du véhicule⁶⁶. En revanche, les coûts de sinistre en droit diminuent lorsque le véhicule vieillit. Ceci est justifié par la perte de valeur du véhicule de l'assuré et donc la diminution du montant qui peut lui être reversé pour cause de dommages matériels.

Age du véhicule assuré	Nombre d'années-images ^a	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^b		Age (moyen/médian) ^c		Fréquence de sinistres (Droit/-Tort) ^d		Taux de responsabilité ^e
Moins de 2 ans	9	9	11	68,7	67	60	100	61%
2-5 ans	21	21	23	69,1	68	60	100	64%
5-10 ans	33	33	34	70,0	69	60	100	65%
10-15 ans	24	25	23	71,3	71	60	100	68%
Plus de 15 ans	13	12	9	73,3	73	40	100	72%
total	100	100	100	70,5		60	100	66%

Age du véhicule assuré	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^f		Age (moyen/-médian) ^g		Coût moyen (Tort/Droit) ^h		Coût médian (Tort/Droit) ⁱ	
Moins de 2 ans	9	12	69,0	68	20	21	20	20
2-5 ans	21	24	69,5	68	20	23	20	22
5-10 ans	33	34	70,4	69	18	22	20	22
10-15 ans	24	21	71,6	71	22	20	20	20
Plus de 15 ans	12	9	73,3	74	20	14	20	16
total	100	100	70,7		100	100		

TABLE 4 – Elements quantitatifs d'évaluation du lien entre la variable d'âge du véhicule et la sinistralité des conducteurs ainsi que leur âge

a. Base de données échantillon de 50 000 contrats.

b. Base de données échantillon de 50 000 contrats.

c. Age moyen ou médian de l'assuré estimé sur une base de données échantillon de 50 000 contrats

d. On choisit en base 100 la fréquence totale des sinistres en tort.

e. Estimé sur l'échantillon de 50 000 contrats.

f. Base de données de l'ensemble des sinistres aux assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans sur 4 années.

g. Age moyen ou médian des classes d'âge des assurés sinistrés.

h. Coût moyen des sinistres en responsabilité civile.

i. Coût médian des sinistres en responsabilité civile.

Etude du lien avec l'âge de l'assuré D'après la table 17, les 60-70 ans conduisent principalement des véhicules plutôt récents. Cet élément devient plus intéressant lorsqu'on le compare aux autres tranches d'âge : on observe que la distribution des âges de véhicules se "décale" vers la droite ie dans la direction d'un vieillissement global du véhicule lorsqu'on considère des échantillons de populations plus âgées. Ceci est peut être dû une ressemblance des 60-70 ans avec la population active qui dispose d'un budget suffisant pour changer fréquemment de véhicule et qui s'inscrit dans un processus de distinction plus important à cause d'une sur-exposition sociale au quotidien. On propose dans le paragraphe suivant d'évaluer quelques indicateurs de la sinistralité des assurés pour divers croisement d'âge du véhicule et d'âge de l'assuré.

Sinistralité et croisement entre âge du véhicule et âge de l'assuré Dans la table 5 on considère 3 tranches d'âge du véhicule, moins de 4 ans, 4 à 10 ans, plus de 10 ans. On propose

65. Prise de risque supérieure associée à une conscience de la faible valeur du véhicule de l'assuré ? Matériel défaillant entraînant une perte du contrôle du véhicule et un sinistre ?

66. Par exemple le pare-buffle souvent équipé sur les 4x4.

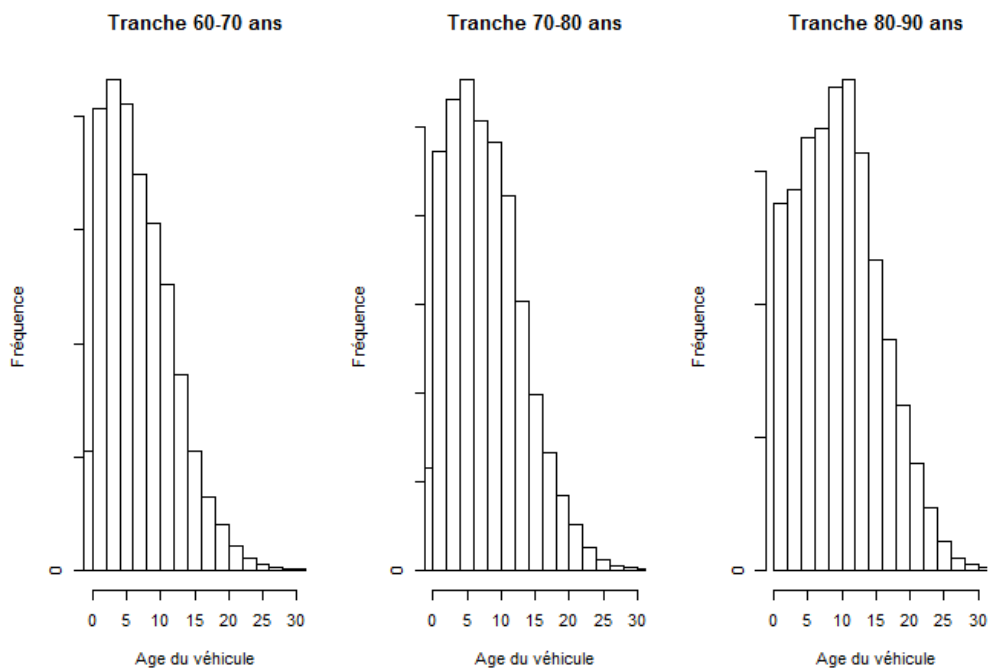


FIGURE 17 – Répartition de l'âge des véhicules des assurés par tranche d'âge

également trois tranches d'âge de l'assuré, 60-70 ans, 70-80 ans et plus de 80 ans. On se propose de calculer des indicateurs de sinistralité : fréquence, coût et taux de responsabilité pour les 9 croisements entre les variables de catégories d'âge. Le nombre d'années-images par classe confirme la tendance observée dans le paragraphe précédent.

Age du véhicule	Age de l'assuré	Nombre d'années-images ^a	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^b		Age (moyen/médian) ^c		Fréquence de sinistres (Tort/-Droit) ^d		TR ^e
0-3 ans	60-70 ans	13	11	17	64,1	64	100	80	56%
0-3 ans	70-80 ans	8	8	8	73,9	74	120	60	66%
0-3 ans	Sup. 80 ans	2	3	2	83,0	82	140	60	70%
4-10 ans	60-70 ans	21	19	25	64,1	64	100	60	59%
4-10 ans	70-80 ans	14	16	13	74,1	74	120	60	70%
4-10 ans	Sup. 80 ans	5	7	4	83,2	82	140	40	76%
Sup. 10 ans	60-70 ans	15	13	17	64,1	64	100	60	61%
Sup. 10 ans	70-80 ans	14	14	11	74,5	75	100	40	71%
Sup. 10 ans	Sup. 80 ans	8	10	4	83,6	83	120	20	82%
Total		100	100	100	73,9		100	60	

TR : Taux de responsabilité

Sup. : supérieur à

Age du véhicule	Age de l'assuré	Nombre de sinistres (Tort/Droit) ^f		Coût moyen (Tort/Droit) ^g		Coût médian (Tort/Droit) ^h	
0-3 ans	60-70 ans	12	18	10	11	11	11
0-3 ans	70-80 ans	8	8	11	11	11	11
0-3 ans	Sup. 80 ans	3	2	10	14	11	12
4-10 ans	60-70 ans	19	25	10	11	11	11
4-10 ans	70-80 ans	16	14	10	10	11	12
4-10 ans	Sup. 80 ans	7	4	13	13	11	13
Sup. 10 ans	60-70 ans	13	15	13	8	11	10
Sup. 10 ans	70-80 ans	14	11	10	10	11	10
Sup. 10 ans	Sup. 80 ans	9	4	11	12	11	10
Total		100	100	100	100	100	100

TABLE 5 – Elements quantitatifs d'évaluation de la sensibilité de la sinistralité des conducteurs variables croisées d'âge du véhicule et d'âge de l'assuré

^a. Base de données échantillon de 50 000 contrats.^b. Base de données échantillon de 50 000 contrats.^c. Age moyen ou médian de l'assuré estimé sur une base de données échantillon de 50 000 contrats^d. On choisit en base 100 la fréquence totale des sinistres en tort.^e. Estimé sur l'échantillon de 50 000 contrats.^f. Base de données de l'ensemble des sinistres aux assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans sur 4 années.^g. Coût moyen des sinistres en responsabilité civile.^h. Coût médian des sinistres en responsabilité civile.

La fréquence de sinistre en tort comme en droit semble diminuer avec l'âge du véhicule. On peut penser que c'est lié à une diminution de la fréquence de conduite et donc de l'exposition de l'assuré aux risques de la route. Nous ne pouvons malheureusement tester rigoureusement cette hypothèse faute d'information suffisante sur la distance parcourue annuellement par chaque assuré. La fréquence de sinistre en tort augmente avec l'âge de l'assuré tandis que celle de sinistres en droit diminue avec l'âge de l'assuré, même en tenant compte de l'effet associé à l'âge du véhicule. La diminution est très sensible. Ceci va dans le sens de notre hypothèse précédente : les conducteurs les plus âgés conduisent généralement moins, cependant ceux qui acquièrent de nouveaux véhicules forment un sous-groupe spécifique et s'exposent davantage aux risques par une conduite plus régulière qui se retrouve dans une fréquence de sinistres en droit supérieure. Globalement sur les coûts de sinistres en droit, on retrouve les tendances déjà vues, augmentation du coût avec l'âge de l'assuré et diminution avec l'âge du véhicule. Ceci est assez intuitif et montre que le croisement des variables n'est pas nécessaire dans ce cadre. En revanche, dans le cas des coûts moyens de sinistres en tort, on observe des effets plus complexes. Les 70-80 ans ont les sinistres en tort les plus coûteux avec des véhicules récents : 13% plus que les 60-70 ans et 15% plus que les plus de 80 ans. Les coûts de sinistres

en tort avec des véhicules de 4 à 10 ans sont clairement supérieurs pour les plus de 80 ans que pour les autres catégories d'âge : 25% au dessus des autres catégories. Pour les véhicules plus anciens ce sont les 60-70 ans qui ont les coûts de sinistres les plus élevés : 28% plus que les 70-80 ans et 20% plus que les plus de 80 ans. Globalement les coûts augmentent avec l'âge du véhicule. Les coûts moyens de sinistres en tort sont mal expliqués par une étude découpée des âges de l'assuré et de l'âge du véhicule. Il est nécessaire de croiser ces variables ⁶⁷.

3.2.5 Historique sinistralité

Nous disposons de deux variables qui indiquent notre connaissance de la sinistralité passée de l'assuré : le nombre de sinistres en responsabilité civile de l'assuré chez AXA depuis x ans et le temps écoulé depuis l'occurrence du dernier sinistre responsabilité civile de l'assuré chez AXA sur une profondeur de x ans maximum. Ces variables de crédibilité seront employées comme variable de contrôle.

Temps écoulé depuis le dernier sinistre La table 6 indique l'intérêt de l'information apportée par la connaissance du nombre d'années écoulées depuis le dernier sinistre en RC (en tort) de l'assuré. On distingue les assurés ayant eu un sinistre récemment, de ceux ayant eu un sinistre il y a quelques années, ici 2 à 5 ans. La dernière catégorie est celle des assurés qui n'ont pas eu de sinistres depuis plusieurs années, ici plus de 5 ans ⁶⁸. Les trois classes induites par ce découpage sont très hétérogènes. Les populations ayant eu des sinistres récemment (moins de 5 ans) sont légèrement plus âgées que les populations qui n'en ont pas eu depuis plus de 5 ans. L'effet reste assez léger alors que les écarts en termes de sinistralité sont importants. On note la différence dans le nombre d'observations de chaque classe, les profils les plus à risque sont les plus rares. Les assurés qui ont un sinistre en tort après en avoir eu un il y a moins de 2 ans représentent moins de 10% de la population. On propose de s'intéresser au coûts spécifiques de cette population ⁶⁹. On suppose en général l'indépendance entre la fréquence et le coût des sinistres, on va voir ici que cette hypothèse n'est pas vérifiée. Si les coûts médians de sinistre en droit comme en tort semblent ne pas dépendre des classes proposées, on remarque que les coûts moyens de sinistre en droit et en tort sont bien plus élevés pour les assurés qui avaient déjà eu un sinistre il y a moins de 2 ans. Ceci montre que les assurés ayant 2 sinistres en moins de 2 ans relèvent d'une anomalie par rapport au reste de la population, la structure de leur risque semble très différente. L'écart de tendance entre la moyenne et la médiane montre qu'il s'agit de coûts "extrêmes" plus fréquents ou plus élevés pour cette population.

On observe ici de façon surprenante un lien entre l'occurrence et le coût de sinistres en droit avec l'historique de sinistres en tort de l'assuré. Les coûts de sinistres RC en droit, dits RDR, recensés dans notre base sont associés aux sinistres pour lesquels AXA Belgium paie directement le montant des dédommagements avant de les réclamer à l'assureur tiers. Cette procédure serait appliquée uniquement pour les sinistres matériels peu coûteux. Ceci limite la possibilité d'interprétation de l'augmentation des coûts de sinistre en droit. Les données sont-elles tronquées à droite (pas de dommages coûteux en RDR ?). Quel est le critère de sélection des dédommagements directs ?

Cette analyse nous donne une intuition intéressante que nous tenterons de confirmer dans la partie de modélisation économétrique. Il semble que les individus qui ont eu 2 sinistres en moins de 2 ans représentent un risque important non seulement en fréquence mais également en coût. Réduire la sinistralité de cette population serait utile et justifié (éléments objectifs de sinistralité passée.). Le financement de tests médicaux ou psychotechniques pour l'assuré afin de mesurer son aptitude à la conduite fait partie des modalités d'amélioration de la sinistralité actuellement proposées par AXA Belgium. La plupart des individus de cette population ne présentent pas un sur-coût important ⁷⁰, mais le nombre de coûts élevés ou le montant maximum des coûts associés y est bien plus important (écart médiane/moyenne). L'entrée dans cette catégorie est faiblement liée à l'âge.

Nombre de sinistres A travers la table 7 on se propose de mesurer l'effet du nombre de sinistres

67. Malheureusement sur la base de données réduite de 50 000 contrats sur laquelle nous réaliserons nos travaux économétriques, faute de puissance de calcul suffisante, il ne sera pas possible d'intégrer ce croisement subtil associé à 9 modalités croisées auxquelles on doit ajouter les 3 ou 4 modalités de classe d'âge de l'assuré ainsi que des variables de contrôle supplémentaires.

68. Les individus qui n'ont jamais eu de sinistres sont inclus.

69. L'étude de la fréquence de sinistres de cette population fera l'objet d'une étude spécifique dans la partie 5.1.

70. Interprétation de la médiane.

passés en RC en tort de l'assuré sur sa sinistralité et son âge, autrement dit, identifier l'information que nous apporte la connaissance de la sinistralité de l'assuré sur son profil de risque. Les trois classes proposées sont simplement : les assurés qui n'ont pas eu de sinistre RC en tort depuis plus de x ans, ceux qui en ont eu 1 et ceux qui en ont eu 2 ou plus. Les populations affichant une sinistralité passée (non nulle) sont sensiblement plus âgées. Cette variable a un lien direct avec la fréquence et le taux de responsabilité de l'assuré puisqu'elle compte le nombre de sinistre RC en tort. On observe une fréquence et un taux de responsabilité supérieur pour les individus ayant une sinistralité passée plus importante. Exactement comme pour la variable étudiée précédemment (temps écoulé depuis le dernier sinistre) le coût moyen d'un sinistre en droit ou en tort pour un assuré qui vient d'avoir un accident et avait déjà eu plus de 2 sinistres dans les x dernières années, dépasse très largement celui des autres classes. En revanche, le coût médian reste à peu près le même pour les différentes classes. Les interprétations sont les mêmes que dans le paragraphe précédent.

Les tendances observées pour ces deux variables étant les mêmes nous pensons qu'il serait redondant d'incorporer les deux dans nos modèles économétriques et nous choisirons en général le nombre de sinistres dans le passé plutôt que le temps écoulé depuis le dernier sinistre.

Temps depuis le dernier sinistre	Nombre d'années-images ^a	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^b		Age (moyen/médian) ^c		Fréquence de sinistres (Droit/-Tort) ^d		Taux de responsabilité ^e
Moins de 2 ans	5	8	6	71,4	71	80	180	72%
2-5 ans	10	16	13	71,5	71	80	160	70%
plus de 5 ans	85	76	81	70,3	69	60	100	64%
total	100	100	100	70,5		60	100	65%

Temps depuis le dernier sinistre	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^f		Age (moyen/-médian) ^g		Coût moyen (Tort/Droit) ^h		Coût médian (Tort/Droit) ⁱ	
Moins de 2 ans	8	6	71,7	71	45	40	34	34
2-5 ans	16	13	71,9	72	27	29	34	33
plus de 5 ans	76	81	70,4	69	28	31	32	33
total	100	100	70,7		100	100		

TABLE 6 – Éléments quantitatifs d'évaluation du lien entre la variable de temps depuis le dernier sinistre de l'assuré et sa sinistralité actuelle ainsi que son âge

^a. Base de données échantillon de 50 000 contrats.

^b. Base de données échantillon de 50 000 contrats.

^c. Age moyen ou médian de l'assuré estimé sur une base de données échantillon de 50 000 contrats

^d. On choisit en base 100 la fréquence totale des sinistres en tort.

^e. Estimé sur l'échantillon de 50 000 contrats.

^f. Base de données de l'ensemble des sinistres aux assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans sur 4 années.

^g. Age moyen ou médian des classes d'âge des assurés sinistrés.

^h. Coût moyen des sinistres en responsabilité civile.

ⁱ. Coût médian des sinistres en responsabilité civile.

Nombre de sinistres	Nombre d'années-images ^a	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^b		Age (moyen/médian) ^c		Fréquence de sinistres (Droit/-Tort) ^d		Taux de responsabilité ^e
0	75	73	68	70,1	69	40	80	64%
1	20	25	23	71,4	71	60	140	68%
2 ou plus	6	11	9	72,1	72	80	200	72%
total	100	100	100	70,5		60	100	65%

Nombre de sinistres	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^f		Age (moyen/médian) ^g		Coût moyen (Tort/Droit) ^h		Coût médian (Tort/Droit) ⁱ	
0	64	69	70,1	69	30	30	32	33
1	25	23	71,5	71	28	33	33	34
2 ou plus	11	8	72,6	73	43	38	35	34
total	100	100	70,7		100	100		

TABLE 7 – Éléments quantitatifs d'évaluation du lien entre la variable de nombre de sinistres en x ans de l'assuré et sa sinistralité actuelle ainsi que son âge

- a.* Base de données échantillon de 50 000 contrats.
b. Base de données échantillon de 50 000 contrats.
c. Age moyen ou médian de l'assuré estimé sur une base de données échantillon de 50 000 contrats
d. On choisit en base 100 la fréquence totale des sinistres en tort.
e. Estimé sur l'échantillon de 50 000 contrats.
f. Base de données de l'ensemble des sinistres aux assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans sur 4 années.
g. Age moyen ou médian des classes d'âge des assurés sinistrés.
h. Coût moyen des sinistres en responsabilité civile.
i. Coût médian des sinistres en responsabilité civile.

3.2.6 Circulation type

Seules 3 modalités sont présentes en quantité significative pour être étudiées. Ces 3 modalités semblent dire à peu près la même chose : l'individu compte peu circuler et peu utiliser sa voiture. Ainsi, on propose d'opposer les individus qui s'engagent à limiter leur conduite aux autres ie ceux pour qui la variable n'est pas renseignée.

Sur la table 8, on compare ces deux populations. On observe une différence d'âge importante, la limitation de la conduite étant plus répandue chez les personnes âgées : 69,9 ans pour les non limités vs 72,7 ans pour les assurés à conduite limitée. La fréquence de sinistre en tort est à peu près la même dans les deux catégories, en revanche, la fréquence de sinistre en droit est plus faible pour les assurés dont la circulation est limitée, ceci augmente le taux de responsabilité des conducteurs dont la conduite est limitée : 69% vs 65%. Ceci peut s'interpréter comme une diminution de la qualité de la conduite. Le taux de sinistres en droit traduit l'exposition de l'assuré aux dangers de la route, un assuré dont la conduite est limitée roule peu. Une fréquence de sinistre en tort élevée malgré une faible exposition aux risques automobiles révèle un défaut de conduite significatif. Ceci semble confirmer l'idée selon laquelle la sinistralité au kilomètre augmente significativement lorsque l'assuré conduit moins. Un découpage plus fin n'est pas possible avec les variables à disposition mais il pourrait être profitable afin de construire plus clairement la fréquence de sinistre en fonction de la distance parcourue annuellement. Nous proposons néanmoins dans l'explication des sinistres, de prendre en compte la localisation du sinistre par rapport au lieu de résidence de l'assuré. Ceci permet de savoir grossièrement si l'assuré a eu un sinistre à faible, moyenne ou grande distance de son domicile. L'information à disposition est le code postal, ainsi que la province d'occurrence du sinistre et de résidence de l'assuré. Pour finir, remarquons que dans les deux catégories proposées le coût des sinistres ne dépend pas (ou peu) de la limitation de conduite, la gravité n'est donc pas affectée.

Limitation de la circulation	Nombre d'années-images ^a	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^b		Age (moyen/médian) ^c		Fréquence de sinistres (Droit/-Tort) ^d		Taux de responsabilité ^e
Non limitée	81	83	85	69,9	69	60	100	65%
Limitée	19	17	15	72,7	73	40	100	69%
total	100	100	100	70,5		60	100	66%

Limitation de la circulation	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^f		Age (moyen/-médian) ^g		Coût moyen (Tort/Droit) ^h		Coût médian (Tort/Droit) ⁱ	
Non limitée	84	86	70,2	69	52	52	50	51
Limitée	16	14	73,4	74	48	48	50	49
total	100	100	70,7		100	100		

TABLE 8 – Elements quantitatifs d'évaluation du lien entre la limitation de circulation et la sinistralité des conducteurs ainsi que leur âge

a. Base de données échantillon de 50 000 contrats.

b. Base de données échantillon de 50 000 contrats.

c. Age moyen ou médian de l'assuré estimé sur une base de données échantillon de 50 000 contrats

d. On choisit en base 100 la fréquence totale des sinistres en tort.

e. Estimé sur l'échantillon de 50 000 contrats.

f. Base de données de l'ensemble des sinistres aux assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans sur 4 années.

g. Age moyen ou médian des classes d'âge des assurés sinistrés.

h. Coût moyen des sinistres en responsabilité civile.

i. Coût médian des sinistres en responsabilité civile.

3.2.7 Variables comportementales et socio-économiques

Nous disposons, pour un certain nombre d'assurés, de données socio-économiques et comportementales. Nous souhaitons les utiliser comme variables de contrôle dans nos modèles économétriques.

Catégorie socio-professionnelle permet au moins de distinguer les classes sociales inférieure, moyenne et supérieure.

Niveau d'urbanisation permet au moins de distinguer rural vs urbain.

Nous proposons d'étudier dans les deux paragraphes suivant quelques éléments quantitatifs permettant de juger du lien des indicateurs d'urbanisation et de classe sociale des conducteurs avec leur âge et leur sinistralité.

Classe sociale La table 9 permet d'évaluer quantitativement l'intérêt d'un découpage par classe sociale pour le problème qui nous intéresse. Il est légitime d'observer que l'âge de l'assuré ne dépend pas de la classe sociale. En revanche la sinistralité est sensible à cette distinction. La fréquence de sinistre est plus élevée pour les classes sociales plus basses. Les coûts matériels médians des sinistres sont plus faibles pour les classes sociales plus basses. Ceci se comprend facilement, en droit la cause est la valeur inférieure des véhicules des assurés moins aisés, en tort c'est le moindre potentiel de dommages du véhicule de l'assuré (moins puissant, moins résistant). La moyenne, plus sensible que la médiane à l'occurrence de sinistres rares et très coûteux, montre un résultat surprenant. Les coûts de dommages (tort comme droit) sont les plus bas pour la classe inférieure et les plus élevés pour la classe supérieure. On devine un biais de sélection important en observant la différence entre les coûts moyens observés pour cette population et l'échantillon global de 50 000 contrats, pour lequel les coûts moyens en tort sont environ deux fois plus élevés. Nous ferons donc un usage précautionneux de cette variable dans nos modèles économétriques, afin de contrôler ce biais.

Urbanisation du milieu de vie La table 10 affiche les différences entre les populations urbaines ou rurales. Ces deux groupes, surtout le groupe dit "urbain", est hétérogène (les habitants des grandes agglomérations sont mélangés aux habitants des zones urbanisées ou villes régionales) en termes de sinistralité des assurés. Les écarts en termes de responsabilité ou d'âge de l'assuré sont considérés négligeables. En revanche on observe la fréquence élevée de sinistres en zone urbanisée et un surplus de fréquence attribuable à l'assuré par comparaison des fréquences de sinistres en droit et en tort. A l'inverse on observe des coûts de sinistres plus élevés en moyenne dans les zones rurales.

Classe sociale	Nombre d'années-images ^a	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^b		Age (moyen/médian) ^c		Fréquence de sinistres (Droit/-Tort) ^d		Taux de responsabilité ^e
Classe supérieure	24	25	23	70,7	69	40	100	68%
Classe moyenne	50	46	48	70,8	70	40	80	64%
Classe inférieure	26	28	29	70,6	70	60	100	65%
total	100	100	100	70,7		60	100	65%
Classe sociale	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^f		Age (moyen/-médian) ^g		Coût moyen (Tort/Droit) ^h		Coût médian (Tort/Droit) ⁱ	
Classe supérieure	26	24	71,2	70	34	33	34	34
Classe moyenne	47	47	71,1	70	33	34	34	34
Classe inférieure	27	29	70,7	70	33	33	32	32
total	100	100	71,0		100	100		

TABLE 9 – Éléments quantitatifs d'évaluation du lien entre la classe sociale estimée de l'assuré, sa sinistralité et son âge

- a.* Base de données échantillon de 50 000 contrats.
b. Base de données échantillon de 50 000 contrats.
c. Age moyen ou médian de l'assuré estimé sur une base de données échantillon de 50 000 contrats
d. On choisit en base 100 la fréquence totale des sinistres en tort.
e. Estimé sur l'échantillon de 50 000 contrats.
f. Base de données de l'ensemble des sinistres aux assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans sur 4 années.
g. Age moyen ou médian des classes d'âge des assurés sinistrés.
h. Coût moyen des sinistres en responsabilité civile.
i. Coût médian des sinistres en responsabilité civile.

Urbanisation	Nombre d'années-images ^a	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^b		Age (moyen/médian) ^c		Fréquence de sinistres (Droit/-Tort) ^d		Taux de responsabilité ^e
Rural	68	64	62	70,6	70	40	80	66%
Urbain	32	36	38	71,1	70	60	100	65%
total	100	100	100	70,7		60	100	65%
Urbanisation	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^f		Age (moyen/-médian) ^g		Coût moyen (Tort/Droit) ^h		Coût médian (Tort/Droit) ⁱ	
Rural	64	63	70,9	70	54	53	51	50
Urbain	36	37	71,2	70	46	47	49	50
total	100	100	71,0		100	100	100	

TABLE 10 – Éléments quantitatifs d'évaluation du lien entre le niveau d'urbanisation (rural-urbain) du lieu de vie de l'assuré, sa sinistralité et son âge

- a.* Base de données échantillon de 50 000 contrats.
b. Base de données échantillon de 50 000 contrats.
c. Age moyen ou médian de l'assuré estimé sur une base de données échantillon de 50 000 contrats
d. On choisit en base 100 la fréquence totale des sinistres en tort.
e. Estimé sur l'échantillon de 50 000 contrats.
f. Base de données de l'ensemble des sinistres aux assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans sur 4 années.
g. Age moyen ou médian des classes d'âge des assurés sinistrés.
h. Coût moyen des sinistres en responsabilité civile.
i. Coût médian des sinistres en responsabilité civile.

3.2.8 Genre

La table 11 permet d'évaluer l'influence moyenne du genre de l'assuré⁷¹ sur la sinistralité de l'assuré. On note que pour la population des sinistrés, les hommes sont en moyenne plus âgés que les femmes. Or l'espérance de vie des femmes est sensiblement supérieure à celle des hommes. La population globale des assurés AXA présente donc un biais de sélection important tel que la position de la moyenne d'âge des hommes dépasse celle des femmes. D'autre part, la fréquence de sinistre en tort est sensiblement plus élevée chez les femmes que chez les hommes. A l'inverse la fréquence de sinistre en droit est plus élevée chez les hommes que chez les femmes. Malgré l'écart très important de fréquence de sinistre en tort vs en droit chez les femmes, on observe un taux de responsabilité assez faible, en particulier il est proche de celui des hommes dont l'écart de fréquence de sinistre en tort vs en droit est 3 fois plus petit⁷². Les coûts de sinistres estimés sont assez proches à l'exception du coût moyen de sinistres en tort qui est nettement plus élevé pour les hommes que pour les femmes (de 25%).

Genre	Nombre d'années-images ^a	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^b		Age (moyen/médian) ^c		Fréquence de sinistres (Droit/-Tort) ^d		Taux de responsabilité ^e
FEMME	30	33	30	70,0	69	60	120	68%
HOMME	70	67	70	70,7	70	60	100	65%
total	100	100	100	70,5		60	120	66%

Genre	Nombre de sinistres (Tort/-Droit) ^f		Age (moyen/-médian) ^g		Coût moyen (Tort/Droit) ^h		Coût médian (Tort/Droit) ⁱ	
FEMME	32	30	70,1	69	45	61	50	49
HOMME	68	70	70,9	70	55	39	50	51
total	100	100	70,7		100	100		

TABLE 11 – Eléments quantitatifs d'évaluation du lien entre la variable de genre de l'assuré et la sinistralité des conducteurs ainsi que leur âge

- a. Base de données échantillon de 50 000 contrats.
- b. Base de données échantillon de 50 000 contrats.
- c. Age moyen ou médian de l'assuré estimé sur une base de données échantillon de 50 000 contrats
- d. On choisit en base 100 la fréquence totale des sinistres en tort.
- e. Estimé sur l'échantillon de 50 000 contrats.
- f. Base de données de l'ensemble des sinistres aux assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans sur 4 années.
- g. Age moyen ou médian des classes d'âge des assurés sinistrés.
- h. Coût moyen des sinistres en responsabilité civile.
- i. Coût médian des sinistres en responsabilité civile.

3.2.9 Heure du sinistre

Elément bibliographique Une étude réalisée au Royaume-Uni montre une forte sensibilité des conducteurs âgés à la fatigue. En effet 51% de leurs accidents seraient liés à la fatigue. En outre, beaucoup d'accidents de fatigue ont lieu dans l'après midi : 12% entre 12-14h, 12% entre 14-16h, 8% entre 16-18h, 6% entre 18-20h contre 15% répartis sur le reste de la journée.[10] Cette information supplémentaire sur l'heure de survenance des accidents des personnes âgées permet d'éliminer l'hypothèse d'accidents nocturnes fréquents dus à une diminution de la luminosité et à une mauvaise vision de nuit des conducteurs âgés. Ce résultat montre que les conducteurs âgés adaptent leur conduite aux situations qu'ils savent risquées.

Complétion de la thèse précédente Dans la table 12, on propose de compléter les éléments cités dans le paragraphe précédent. En particulier, on cherche à identifier les éléments spécifiques aux accidents par tranches d'heure de survenance. Le second tableau propose le découpage intuitif entre heures de nuit⁷³ et heures de jour. La donnée dont nous disposons

71. Un biais subsiste toujours du fait que les hommes prennent parfois une assurance pour un véhicule qu'ils partagent avec leur femme.

72. Ceci n'est pas totalement incohérent puisque le taux de responsabilité est estimé sur la base de données des sinistres observés alors que la fréquence de sinistre est estimée sur la base de données globale du portefeuille AXA (pour les plus de 60 ans).

73. Il faut que la tranche reflète cette vérité en toute saison.

est bien plus précise, il s'agit de l'heure et minute d'occurrence de l'accident. Nous proposons également un découpage asymétrique de la journée entre la nuit avant/après minuit dans le premier tableau. Le problème d'un découpage en tranches d'heure fixes est que les heures entre 6h et 9h et entre 17h et 20h alternent entre heures de jour (bonne visibilité) et heure de nuit (moindre visibilité) en fonction des saisons. Nous proposons donc d'interpréter uniquement les autres tranches d'heure. Le premier tableau montre une augmentation de la sinistralité de nuit pour les plus de 60 ans. En termes d'âge, l'âge moyen diffère sensiblement (de 2 ans) pour les populations sinistrées de jour ou de nuit. Les conducteurs de nuit sont sensiblement plus jeunes. Le taux de responsabilité de nuit est à peu près le même que de jour. Malgré une proximité des coûts médians de sinistres aux différents moments de la journée, on remarque une différence importante de coûts moyens de sinistres en tort, et dans une moindre mesure en droit. Ceci montre que les sinistres de nuit sont en général plus graves que ceux de jour pour les conducteurs âgés. Le second tableau propose un découpage plus fin qui sépare les classes "nuit" et "autre" en deux parties assez intuitives 20h-minuit et minuit-5h pour la nuit, et naturellement 6h-10h et 17h-20h pour les classes sensibles à la saison. Ceci permet de justifier le regroupement qui a été fait puisqu'on observe la proximité entre les sous-classes issues de la scission des classes précédentes.

HORAIRE	Nombre de sinistres ^a	Age moyen de l'assuré	Coût moyen de sinistre en tort	Coût moyen de sinistre en droit	Responsabilité moyenne
jour (10h-17h)	73	70,9	26	31	56%
nuit (21h-5h)	5	68,9	36	37	53%
autre ^b	22	70,0	38	31	55%

HORAIRE	Nombre de sinistres ^c	Age moyen de l'assuré	Coût moyen de sinistre en tort	Coût moyen de sinistre en droit	Responsabilité moyenne
10h-16h	65	71,0	15	18	56%
17h-20h	18	70,0	21	19	57%
20h-minuit	4	68,9	21	21	55%
minuit-5h	1	68,6	22	24	47%
6h-10h	12	70,2	21	18	54%

TABLE 12 – Éléments quantitatifs de lien entre l'heure du sinistre, l'âge de l'assuré et sa sinistralité

^a. Base de données d'occurrence de sinistres.

^b. Reste de la journée

^c. Base de données d'occurrence de sinistres.

3.2.10 Localisation des dommages

Dans cette partie, nous souhaitons tester l'hypothèse que nous avons présentée dans la revue de la littérature, de spécificité du type de sinistre en fonction de l'âge. En particulier, nous avons lu que les conducteurs âgés, plus que les autres, ont des accidents liés au non respect d'un stop ou d'une priorité à droite comme présenté sur la figure 18 où l'assuré en tort est représenté par le véhicule 2. Nous allons utiliser la variable relative à l'emplacement des dommages au véhicule de l'assuré pour tester cette hypothèse. Nous proposons simplement de sélectionner les sinistres en tort pour lesquels la variable de localisation des dommages est renseignée, soit un peu plus de 10% des sinistres RC en tort renseignés, on peut donc suspecter un biais de sélection, nous comparons ensuite la fréquence d'occurrence de dommages sur les différentes zones du véhicule de l'assuré pour différentes tranches d'âge. La figure 19 ne permet pas de trancher parce que les fréquences, pour une localisation de dommages donnée, sont à peu près égales pour chaque tranche d'âge. L'impact de l'âge sur la typologie des dommages ne peut pas être capté aussi "brutalement".

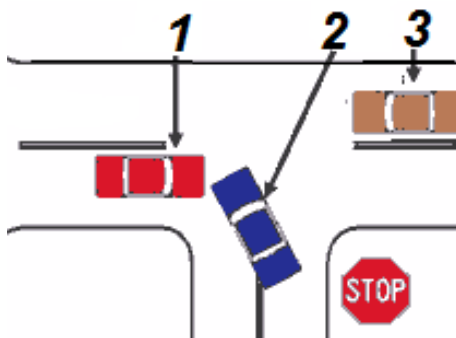


FIGURE 18 – Situation de risque de collision lors d'un virage à gauche après un stop

Sur la table 13 on note une sensibilité importante de la fréquence de dommage par zone en fonction de l'âge. Par exemple, les dommages sur l'avant du véhicule de l'assuré passent de 42% pour les 60-70 ans à 45% pour les 70-80 ans et 48% pour les plus de 80 ans. Notons que ceci n'est pas expliqué par l'augmentation du taux de responsabilité avec l'âge des assurés parce que nous avons isolé les sinistres en tort. On note également une diminution de la fréquence de sinistres sur l'avant du véhicule du tiers par âge de l'assuré : 39%, 37%, 32%. Concernant le véhicule de l'assuré, les dommages sur le flanc gauche et l'arrière gauche diminuent avec l'âge alors que les dommages sur le flanc droit et l'avant droit augmentent, 28%, 33%, 36% pour cette dernière zone. Sur la situation représentée par la figure 18 ceci pourrait signifier une augmentation du cas où le véhicule tiers 3 percute le véhicule 2 qui lui a refusé la priorité et une augmentation de la collision de 2 par 1.

Véhicule	Tranche d'âge assuré	Nombre d'observations	Avant	Avant droit	Avant gauche	Flanc gauche	Flanc droit	Arrière	Arrière droit	Arrière gauche
Assuré	60-70 ans	4081	42%	28%	25%	13%	15%	28%	20%	17%
Assuré	70-80 ans	2705	45%	33%	28%	14%	20%	24%	21%	15%
Assuré	plus de 80 ans	943	48%	36%	30%	12%	19%	21%	20%	13%
Tiers	60-70 ans	577	39%	28%	29%	22%	21%	33%	21%	23%
Tiers	70-80 ans	440	37%	27%	27%	24%	22%	33%	21%	26%
Tiers	plus de 80 ans	208	32%	23%	26%	33%	17%	33%	19%	30%

TABLE 13 – Eléments quantitatifs de lien entre l'âge de l'assuré et la localisation des dommages à son véhicule ou à celui du tiers en cas de sinistre RC en tort.

Il est difficile de conclure avec ces données, peu nombreuses et assez vagues, les dommages sur ces zones du véhicule pourraient être associés à diverses circonstances. Cependant, l'asymétrie des tendances nous amène à l'interprétation suivante : les refus de priorité à droite augmentent avec l'âge de l'assuré (dommage à droite) tandis que l'insertion sur des ronds-points ne semble pas poser de problème (dommage à gauche). D'après les chiffres obtenus, il est clair que la typologie des accidents dépend fortement de l'âge des conducteurs.

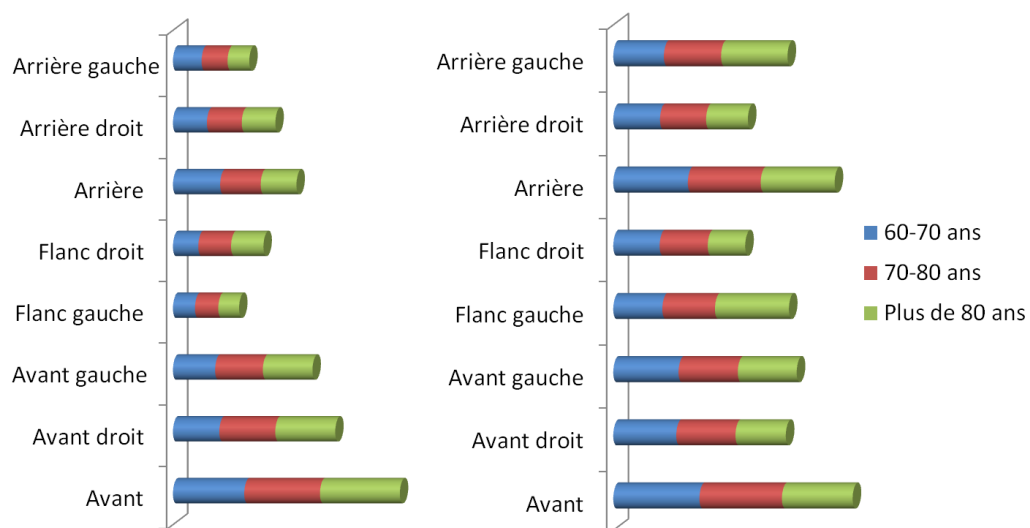


FIGURE 19 – Répartition des dommages par âge de l'assuré en cas de sinistre RC en tort, variable d'intérêt partiellement renseignée.

3.3 Propositions de construction de nouvelles données

De façon idéale, on pourrait espérer obtenir l'adresse exacte (borne sur une auto-route, numéro de voie en ville) d'occurrence des sinistres. On pourrait alors réaliser une requête à un logiciel de mesure de distances géographiques (googleMaps par exemple pour avoir des distances cohérentes pour un véhicule quelconque) afin de calculer la distance entre le lieu de résidence et le lieu d'occurrence de l'accident. Ceci permettrait de tester l'hypothèse selon laquelle les accidents surviennent ou non, fréquemment proche du domicile de l'assuré. Dans l'hypothèse où ces données de localisation seraient trop précises, on peut toujours utiliser la donnée demandée actuellement par l'assureur qui est le code postal de l'emplacement de l'accident. Ainsi, on pourra par le même moyen que précédemment calculer la distance approchée entre le lieu de résidence et l'approximation du lieu de l'accident.

3.4 Des déclarations reçues par l'assureur qui seraient biaisées

Observations chiffrées En 2007, en Australie une étude a été menée afin d'identifier une éventuelle sur-responsabilité des conducteurs âgés. Les chercheurs disposaient d'une base de données mise à disposition par des assureurs contenant les jugements de responsabilité des conducteurs. En parallèle, ils possédaient également l'ensemble des registres de la police relatifs aux jugements de responsabilité dans des accidents de voiture. Les deux recensent les accidents survenus dans l'Etat de Tasmanie entre 1998 et 2002. Ces deux bases de données semblent refléter la même réalité. Pourtant, elles proposent des résultats strictement opposés concernant la responsabilité des personnes âgées. Dans la base de données de déclarations aux assurances, on observe une responsabilité des personnes de plus de 65 ans 50% supérieure à celle des 41-55 ans. En revanche, d'après la base de données de la police, dans 60% des cas, les conducteurs âgés sont finalement reconnus non responsables de l'accident dans lequel ils s'étaient déclarés responsables auprès de l'assurance.[32] Un tel écart est fortement en défaveur des assureurs des conducteurs âgés.

Causes probables Plusieurs éléments peuvent être à l'origine d'une différence entre les observations de la police et celles de l'assureur.

- Les constats à l'amiable ne font pas appel à la police.
- L'appel à la police survient en cas de désaccord, de "crainte d'influencabilité" ou d'accident grave.

Solutions Le problème peut être réglé à travers l'éducation des conducteurs âgés ou bien simplement en mesurant ce biais et en le corrigeant en pratique pour la tarification.

- Prévention avec des tracts pour informer les conducteurs âgés.
- Retraiter ces cas spécifiques avec attention en faisant appel aux données de la police et des experts.

4 Modèles économétriques

Le but de cette partie est de modéliser la probabilité d'occurrence d'un sinistre en fonction des informations disponibles sur le conducteur. On cherche également à modéliser les coûts des sinistres. Notre objectif est d'affiner notre perception de l'effet de l'âge sur ces quantités. Nous envisagerons également l'étude des taux de responsabilité des assurés.

Pour nous aider à mettre en œuvre les différentes méthodes que nous avons employées, nous nous sommes appuyés sur le cours d'économétrie de l'assurance d'Olivier Lopez suivi à l'ENSAE, et de divers cours et articles d'Arthur Charpentier disponibles sur son blog [8].

Pour des raisons de confidentialité les valeurs des constantes (intercepte) dans les régressions linéaires généralisées, qui sont toujours significatives, ne sont pas renseignées ce qui empêche seulement de connaître la fréquence de sinistre ou le coût moyen des sinistres pour la population totale.

4.1 Modélisation de la probabilité d'occurrence et de la fréquence d'un sinistre

Afin de modéliser la fréquence de sinistres nous proposons un modèle GLM souvent utilisé pour une base de données "images", c'est la modélisation par une loi de Poisson avec fonction de lien logarithmique et en offset la durée de l'image : $\log(\mathbb{E}(Y_i|\text{âge}_i)/\text{offset}) = \beta_0 + \beta_1 \text{âge}_i$, $\text{offset} = \text{durée de l'image en année-risque}$, $\mathbb{E}(Y_i|\text{âge}_i)$ de loi de Poisson.

Dans la suite de cette partie, nous considérons un échantillon de 50 000 contrats suivis sur 4 années consécutives⁷⁴ pour lesquels les informations sur la catégorie socio-professionnelle et comportementale sont renseignées. Nous avons vu dans la partie précédente que cette restriction peut générer un biais de sélection, c'est pourquoi nous avons procédé à une comparaison des modèles, sans contrôle par le niveau d'urbanisation ou la classe sociale, avec ou sans restriction de la base de données. Les résultats sont semblables, ce qui justifie notre étude.

Notons, pour les interprétations des modèles, que la fonction de lien, logarithmique comme logistique, est croissante, on peut donc interpréter les coefficients observés en termes de direction des effets marginaux et comparer les coefficients pour mesurer la sensibilité relative.

4.1.1 Fréquence pour tous coûts de sinistres RC en tort confondus

On s'intéresse ici à la sinistralité responsabilité civile en tort. Dans le cadre du modèle binomial, on supprime les rares observations avec plus d'un sinistre par image.

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
70-80 ans ^a	0,17	19%	0,032	3,5e-8 ***
80-90 ans ^b	0,36	43%	0,040	< 2e-16 ***
Plus de 90 ans ^c	0,55	73%	0,15	0,00028 ***

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 14 – Fréquence de sinistres en responsabilité civile en tort des assurés de plus de 60 ans d'AXA Belgium. Modèle de Poisson, lien logarithmique (base de données partielle de 50 000 contrats).

a. Par opposition avec la modalité de référence qui est "appartenir au groupe des 60-70 ans".

b. Idem remarque précédente.

c. Idem remarque précédente.

La table 14 montre une augmentation importante du risque de sinistre RC en tort avec l'âge de l'assuré. Les 70-80 ans (resp. 80-90 ans, plus de 90 ans) ont environ 19%⁷⁵ (resp. 43%⁷⁶, 73%⁷⁷)⁷⁸

74. Certains entrent plus tard ou sortent plus tôt.

75. $e^{0,17} - 1$

76. $e^{0,36} - 1$

77. $e^{0,55} - 1$

78. Si les coefficients sont petits devant 1, on lit directement la valeur du coefficient comme des "odd-ratios"

$\frac{\mathbb{P}(Y=1|X, \text{âge}=70-80 \text{ ans})}{\mathbb{P}(Y=0|X, \text{âge}=70-80 \text{ ans})}$

$\frac{\mathbb{P}(Y=1|X, \text{âge}=60-70 \text{ ans})}{\mathbb{P}(Y=0|X, \text{âge}=60-70 \text{ ans})}$

$\frac{\mathbb{P}(Y=1|X, \text{âge}=60-70 \text{ ans})}{\mathbb{P}(Y=0|X, \text{âge}=60-70 \text{ ans})}$

pour le modèle binomial. Dans le modèle Poisson le terme "odd-ratio" n'est pas adapté mais l'idée est la même. La "quantité" en argument de la fonction logarithme est plus simple $\log(x)$ au lieu de $\log(\frac{x}{1-x})$. On pourrait les baptiser "count-ratio" $\frac{\mathbb{E}(Y|X, \text{âge}=70-80 \text{ ans})}{\mathbb{E}(Y|X, \text{âge}=60-70 \text{ ans})}$. Ce raccourci de lecture est justifié par un développement

plus de sinistres que les 60-70 ans (population de référence), d'après la table 14. Les chiffres sont légèrement supérieurs pour l'autre table et se lisent comme un surplus relatif de probabilité qu'un sinistre ait lieu plutôt qu'il n'ait pas lieu $\frac{p_1}{1-p_2}$, et non en nombre de sinistres brut. Naturellement, on propose d'ajouter des variables de contrôle afin de corriger d'éventuels éléments de sinistralité attribués à tort à un effet âge. On ajoute une à une des variables de contrôle, lorsque le coefficient estimé n'est pas significatif à 0,1% on le retire du modèle, sinon on l'ajoute au modèle utilisé pour la recherche d'autres variables de contrôle. Si l'ajout d'une variable rend non significative une autre variable on retire cette autre variable, si c'est la variable d'âge qui perd en sensibilité, nous le signalons.

La table 15 montre le modèle final retenu. Notons que le modèle est quasiment identique si on utilise une modélisation binomiale avec fonction de lien logistique à la place du modèle de Poisson avec lien logarithmique. Beaucoup de variables de contrôle permettent d'expliquer la fréquence de sinistre des assurés. On remarque cependant que le genre de l'assuré et l'âge du véhicule de l'assuré ne constituent pas des éléments de distinction en termes de fréquence. Les variables ajoutées concernent différents éléments de connaissance de l'assuré, celles qui sont citées ci-dessous sont significatives dans le modèle de régression proposé.

- La sinistralité passée de l'assuré, ici le nombre de sinistres RC en tort que l'assuré a eu chez AXA Belgium il y a moins de x ans.
- Certains assurés décident d'indiquer à l'assureur qu'ils souhaitent limiter leur conduite, dans le but de réduire leur prime, pour cela plusieurs possibilités de limitation s'offrent à eux, distance parcourue, nombre de jours de conduite, véhicule emprunté. Nous décidons d'exploiter simplement le facteur de volonté de l'assuré qui décide d'informer AXA Belgium de son souhait de limiter sa conduite. Notons que cette interprétation est soumise à caution parce que la limitation de la conduite peut être imposée par le courtier ou l'assureur. La dimension du choix de l'assuré, certes guidé par l'espoir de payer moins, nous semble néanmoins cohérente parce qu'en cas de contrainte, il a toujours la possibilité de changer d'assureur.
- Nous utilisons également la donnée de l'ancienneté de l'assuré chez AXA comme élément de crédibilité et de suspicion envers l'assuré qui vient de changer d'assureur.
- La puissance du véhicule de l'assuré ainsi que l'urbanisation de son lieu de vie devraient *a priori* être déterminantes dans la conduite de l'assuré, potentielle, liée à la puissance et contrainte par l'urbanisation. Ces éléments justifient donc le risque spécifique de chaque assuré. Nous complétons cet élément géographique objectif par un zonier propre à AXA Belgium simplifié en une variable bimodale.
- Enfin, autre élément qui permet de prévoir la qualité de la conduite de l'assuré : l'ancienneté de son permis de conduire, on se demande si l'assuré a eu son permis de conduire avec/après ses 25 ans. Lorsqu'on étudie les plus de 60 ans on pourrait penser que le recul rend insignifiante cette considération, pourtant on mesure un effet non négligeable.

Les variables de contrôle incorporées dans le modèle de fréquence diminuent légèrement l'importance relative des tranches d'âge les plus élevées dans l'explication de la fréquence de sinistre. Dans le simple modèle d'explication de la fréquence de sinistre par l'âge, si on considère comme référence la population des 60-70 ans, la fréquence de sinistres des 70-80 ans est 19% supérieure, celle des 80-90 ans est 43% supérieure et celle des plus de 90 ans est 73% supérieure à celle de la population de référence. Dans le modèle avec variables de contrôle, les rapports de nombres moyens de sinistres restent importants : 18%^a, 41%^b et 63%^c au dessus de la population de référence pour les tranches d'âge successives.

- a. $e^{0,17} - 1$
- b. $e^{0,34} - 1$
- c. $e^{0,39} - 1$

limité de la fonction exponentielle (inverse de la fonction de lien logarithmique) $e^x \simeq 1 + x$ pour $x \ll 1$, par exemple $\frac{\mathbb{E}(Y|X, \text{âge}=70-80 \text{ ans})}{\mathbb{E}(Y|X, \text{âge}=60-70 \text{ ans})} = e^{0,17} \simeq 1 + 0,17$ par développement limité, en fait la valeur est un peu sous estimée et $e^{0,17} = 1,1853$ parce que la fonction exponentielle est convexe et que $0,17 \ll 1$ n'est pas "suffisamment" vraie.

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
70-80 ans ^a	0,17	19%	0,034	1,1e-06 ***
80-90 ans ^b	0,34	40%	0,043	1,2e-15 ***
Plus de 90 ans ^c	0,49	63%	0,15	0,00144 **
Sinistralité passée	0,36	43% ^d	0,017	< 2e-16 ***
Circulation limitée	-0,17	-16%	0,39	9,2e-06 ***
Urbain plutôt que rural	0,097	10%	0,030	0,0014 **
Puissance du véhicule de l'assuré	0,0027	0,3% ^e	0,00046	2,3e-09 ***
Contrat de moins de 2 ans	0,37	45%	0,057	3,4e-11 ***
Permis depuis ses 25 ans	0,091	10%	0,033	0,0063**
Zonier AXA	-0,15	-14% ^f	0,029	2,7e-07***

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 15 – Modèle de Poisson final de fréquence de sinistres en tort

- a. Par opposition avec la modalité de référence qui est “appartenir au groupe des 60-70 ans”.
b. Par opposition avec la modalité de référence qui est “appartenir au groupe des 60-70 ans”.
c. Idem remarque précédente.
d. Par sinistre RC tort dans les 10 dernières années.
e. Par unité de puissance, l'indice est compris entre 30 et 999.
f. Tranche supérieure vs inférieure.

4.1.2 Distinction par coûts de sinistres RC en tort

Dans le but d'affiner notre compréhension de la sinistralité des conducteurs âgés, nous décidons de scinder les sinistres en quatre groupes de taille similaire, en fonction de leur coût : deux tranches en dessous du coût médian, la tranche inférieure et la tranche moyenne inférieure, et deux tranches au dessus du coût médian, la tranche moyenne supérieure et la tranche supérieure. En outre, le coût médian est une frontière intuitive qui définit un coût à partir duquel les dommages sont considérés importants par l'assuré qui est alors “bien content d'être assuré.” On propose d'estimer les variables de contrôle pour la population totale selon un modèle de fréquence de Poisson, lien logarithmique, (cf table 16) et d'évaluer la sensibilité aux coûts de sinistres des coefficients d'impact de l'âge sur la fréquence de sinistre (cf table 17.). Ceci devrait nous permettre de mieux comprendre le risque associé aux conducteurs âgés au-delà d'une fréquence globale de sinistres.

Le modèle sous-jacent est un modèle de Poisson avec fonction de lien logarithmique. Notons i une observation/image, O l'offset, durée de l'image, N_c le nombre de sinistres de tranche de coût c dans l'image (suit une loi de Poisson), A le vecteur de variables dichotomiques associées à la catégorie d'âge de l'assuré, X le vecteur de variables de contrôle. On estime le modèle $\log(\frac{N_{c,i}}{O_i}) = \alpha_c A_i + \beta X_i$ où β est le vecteur des coefficients estimés pour les variables de contrôle indépendamment de la tranche de coût, α_c est le vecteur des sensibilités de la sinistralité à la tranche d'âge de l'assuré et au coût du sinistre.

La figure 20 fournit de premières intuitions. La figure de gauche montre une répartition semblable des fréquences de sinistre par tranche de coût entre les tranches d'âge 60-70 ans, 70-80 ans et 80-90 ans. On note une différence importante avec la tranche des plus de 90 ans pour lesquels les sinistres coûteux sont sensiblement plus fréquents. On accorde une confiance limitée dans cette dernière mesure à cause du nombre réduit d'observations. En effet, on dispose d'environ 100 fois moins d'observations pour les plus de 90 ans que pour les 60-70 ans. Les fréquences pour cette dernière classe sont donc estimées sur très peu d'observations de sinistre. La figure de gauche montre que malgré l'uniforme répartition des tranches de coûts par âge, la fréquence de sinistre augmente sensiblement avec l'âge de l'assuré conformément à la partie précédente.

La table 17 recense l'ensemble des coefficients de sensibilité à l'âge pour les différentes tranches de coût avec l'ajout des variables de contrôle. La table confirme ces premiers résultats. Notons que pour des raisons de non-significativité, nous avons été amenés à fusionner les tranches 80-90 ans et plus de 90 ans. Nous n'identifions aucune tendance claire d'accroissement de l'écart de fréquence de sinistre entre les tranches d'âge en termes de sinistralité par tranche de coût, cependant on note un écart de fréquence de sinistre entre les tranches d'âge plus important pour les coûts supérieurs.

Afin de rendre les effets plus synthétiques, on réalise un modèle Poisson-lien logarithmique avec les mêmes variables de contrôle et seulement deux tranches de coûts, les plus ou moins de x , et

deux tranches d'âge, les plus ou moins de 80 ans. Le coefficient estimé pour la variable indicatrice des plus de 80 ans est 0,17 pour les sinistres à moins de x et 0,31 pour les sinistres à plus de x.

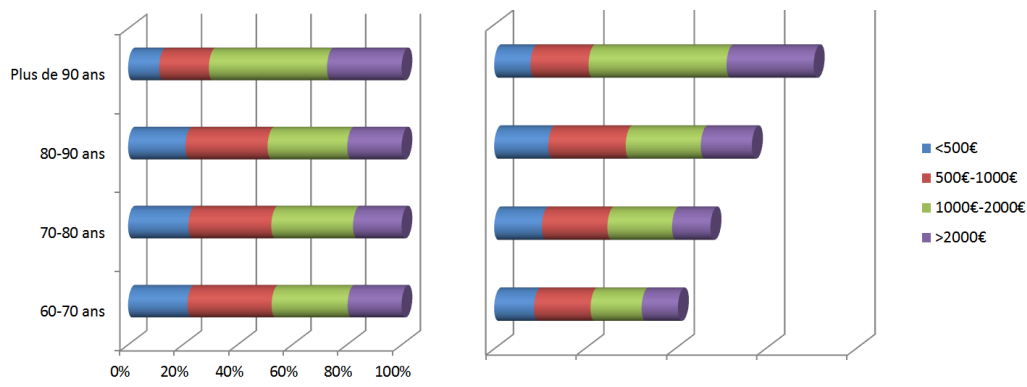


FIGURE 20 – Répartition des fréquences de sinistre en tort par tranche d'âge de l'assuré. A gauche, les contributions par tranche de coût. A droite, les fréquences absolues.

Une distinction fine d'un effet âge et coût en 4x4 classes ne permet pas de distinguer des tendances claires. Avec un découpage en 2x2 classes, en moyenne, toutes choses égales par ailleurs, les plus de 80 ans ont 19% ^a plus de risques d'avoir des sinistres coûtant moins de x que les moins de 80 ans et 37% ^b plus de risques d'avoir des sinistres coûtant plus de x que les moins de 80 ans. Les fréquences de sinistres graves sont plus sensibles à l'âge.

- a. $e^{0,17} - 1$
b. $e^{0,31} - 1$

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Sinistralité passée	0,37	45% ^a	0,017	< 2e-16 ***
Circulation limitée	-0,14	-13%	0,39	0,00025 ***
Urbain plutôt que rural	0,10	11%	0,030	0,00073 **
Puissance du véhicule de l'assuré	0,0023	0,2% ^b	0,00046	2,9e-07 ***
Contrat de moins de 2 ans	0,33	39%	0,057	5,9e-09 ***
Permis depuis ses 25 ans	0,17	19%	0,031	1,8e-08***
Zonier AXA	-0,15	-14%	0,029	4,1e-07***

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 16 – Modèle de Poisson lien logarithmique dit “modèle de contrôle”

- a. Par sinistre RC en tort en x ans.
b. Par unité de puissance.

Coefficient/tranche de coût	Coefficient 70-80 ans		Coefficient plus de 80 ans		Répartition des sinistres observés
Nombre d'années-risque par tranche d'âge	37%		15%		
Coefficient/Ecart en pourcentage	C	P	C	P	
Tranche inférieure	0,15*	16%	0,24**	27%	22
Tranche moyenne inférieure	0,12*	13%	0,26***	30%	30
Tranche moyenne supérieure	0,20***	22%	0,37***	45%	29
Tranche supérieure	0,023	2,3%	0,32***	38%	19

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

C : Coefficient de pente estimé

P : Pourcentage d'écart moyen, toutes choses égales par ailleurs, à la tranche d'âge de référence des 60-70 ans.

TABLE 17 – Paramètres d'effet de l'âge sur la fréquence de sinistre en fonction du coût du sinistre, modèle de contrôle global

4.1.3 Tous sinistres en droit type RDR

On s'intéresse maintenant à la fréquence de sinistres en responsabilité civile en droit de type RDR ie ceux pour lesquels le montant des coûts est connu d'AXA Belgium qui les avance à l'assuré avant de les récupérer directement auprès de l'assureur tiers.

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
70-80 ans ^a	-0,28	-24%	0,042	3,6e-11 ***
80-90 ans ^b	-0,44	-35%	0,064	2,9e-12 ***
Plus de 90 ans ^c	-1,30	-73%	0,45	0,0037**

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 18 – Fréquence de sinistres en responsabilité civile en droit type RDR des assurés de plus de 60 ans d'AXA Belgium (base de données partielle de 50 000 contrats)

- a. Par opposition avec la modalité de référence qui est "appartenir au groupe des 60-70 ans".
b. Idem remarque précédente.
c. Idem remarque précédente.

La table 18 montre l'importance de l'effet âge sur la fréquence de sinistres RC en droit type RDR. Les 70-80 ans (resp. 80-90 ans, plus de 90 ans) ont, en moyenne, 24% (resp. 36%, 73%) moins de sinistres en droit type RDR que les 60-70 ans. La forte diminution de la fréquence de ces sinistres avec l'âge est au moins partiellement liée au fait que les conducteurs plus âgés conduisent moins. Un facteur souvent attribué aux conducteurs âgés est l'augmentation de la prudence sur la route qui diminuerait le sinistralité. On a vu dans la partie précédente sur la fréquence de sinistres en droit que ceci n'est clairement pas vérifié. C'est pourquoi, on préfère, pour simplifier, interpréter cette tendance comme une différence d'exposition ie de temps passé à conduire, plutôt qu'une différence de précaution. Il est possible, cependant, que le problème soit plus complexe. On a vu dans la partie 3.2.10 que la typologie des accidents est fortement modifiée avec l'âge. Par conséquent, il est possible qu'un ajustement de la conduite des personnes âgées "vise" à réduire leur sinistralité, ce qui serait seulement partiellement efficace. Ici on peut imaginer qu'une conduite plus lente, les rendant plus faciles à éviter, réduirait leur taux de sinistre en droit. Cependant des erreurs de conduite telles que des refus de priorité à droite, dangereux malgré une conduite à faible vitesse, peuvent entraîner des sinistres en tort fréquents.

La table 19 montre le modèle final retenu avec un maximum de variables de contrôle significatives. Nous retrouvons des variables déjà utilisées pour expliquer la fréquence de sinistres en tort. On note ici que la puissance du véhicule n'est plus significative. La variable relative au genre de l'assuré n'est toujours pas significative. En revanche la variable indicatrice de l'âge du véhicule est

explicative du risque de sinistre en droit. Les variables d'âge du permis de l'assuré (expérience) et d'âge du contrat de l'assuré (crédibilité) ne sont pas significatives. Le modèle final retenu montre encore une fois un léger resserrement entre les catégories d'âges en termes de sinistralité. Les écarts restent très importants.

Dans la modélisation de la fréquence de sinistres en droit RDR, aucune des variables de contrôle significatives ajoutées ne réduit l'effet âge. Plus les assurés sont âgés, moins ils ont de sinistres en droit RDR. Si on prend la tranche de 60-70 ans comme référence, la fréquence de sinistre est plus faible de 23% pour les 70-80 ans, 34% pour les 80-90 ans et 72%^a pour les plus de 90 ans. Ceci est à rapprocher d'une diminution de la conduite des assurés avec l'âge et donc de l'exposition aux risques associés.

a. Ce dernier chiffre est moins fiable d'autant qu'il est estimé sur beaucoup moins d'observations. Pour les plus de 90 ans on a seulement 622 années-risque et 5 observations de sinistres en droit type RDR contre 51000 années-risque et 1500 sinistres en droit type RDR pour les 60-70 ans.

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
70-80 ans ^a	-0,27	-23%	0,043	3,5e-10***
80-90 ans ^b	-0,42	-34%	0,065	1,2e-10 ***
Plus de 90 ans ^c	-1,26	-72%	0,45	0,0049**
Sinistralité passée	0,20	22% ^d	0,027	3,1e-14 ***
Urbain plutôt que rural	0,18	20%	0,041	1,1e-05 ***
Zonier AXA	-0,15	-14%	0,040	0,00019***
Véhicule de plus de 10 ans	-0,33	-28%	0,044	1,1e-13***

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 19 – Modèle final de fréquence de sinistres en droit type RDR (modèle de Poisson, lien logarithmique)

- a. Par opposition avec la modalité de référence qui est "appartenir au groupe des 60-70 ans".
b. Par opposition avec la modalité de référence qui est "appartenir au groupe des 60-70 ans".
c. Idem remarque précédente.
d. Par sinistre RC en tort en x ans.

Ici on ne propose pas de calculer des effets marginaux parce que nous ne pourrions pas les traduire en nombre de vies épargnées parce qu'il est peut vraisemblable d'assimiler un sinistre peu onéreux ie peu grave à un risque de décès ou dommage corporel important. Cette mesure de prudence est encouragée par les résultats de la partie précédente qui montrent la différence sensible entre sinistres graves ou moindres.

4.1.4 Sinistres en droit hors RDR

Dans cette partie, on propose d'étudier la fréquence d'occurrence de sinistres RC en droit où le montant des charges n'est pas connu d'AXA Belgium. Nous faisons l'hypothèse⁷⁹ que ces sinistres sont associés à des coûts élevés ce qui justifie que l'assureur tiers les dédommage directement. Le nombre de sinistres de ce type est assez rare. Sur notre échantillon d'étude de 50 000 contrats on compte moins de 2000 occurrences. On s'attend donc à ce que la qualité d'estimation des coefficients soit faible et par la même les p-values associées au test de significativité.

La table 20 montre le modèle d'explication simple de l'âge retenu, un découpage en 3 ou 4 tranches d'âge n'est pas significatif en raison du nombre d'observations limité.

79. Recommandée par les encadrants.

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Plus de 80 ans ^a	-0,34	-29%	0,10	0,00068 ***

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 20 – Fréquence de sinistres en responsabilité civile en droit type non RDR des assurés de plus de 60 ans d'AXA Belgium (base de données partielle de 50 000 contrats)

a. Idem remarque précédente.

La figure 21 montre la contribution sinistres de type RDR ou non RDR à la fréquence globale de sinistre en droit. La figure de gauche montre que la part relative des RDR vs non RDR est à peu près identique d'une tranche à l'autre, en tout cas pas de tendance croissante ou décroissante, ceci traduit une faible sensibilité à l'âge. On rappelle que les fréquences estimées pour la tranche des plus de 90 ans sont probablement non significatives à cause du nombre réduit d'observations, quelques centaines d'années-risque. La figure de droite rappelle la différence de fréquence de sinistres en droit associé aux différentes tranches d'âge.

La table 21 montre le modèle de Poisson de fréquence de sinistres en droit type non-RDR retenu. Les variables de contrôle sont essentiellement les mêmes que dans le modèle de fréquence de sinistres en droit type RDR, on remplace l'âge du véhicule par sa puissance. On note ici une fiabilité moindre des coefficients, les significativités sont réduites à une p-value de l'ordre de 0,1%. Ceci est attribuable au nombre réduit d'observations.

L'effet de l'âge sur le risque de sinistres en droit type non-RDR est mesuré de façon assez grossière, faute de pouvoir faire mieux. On mesure une fréquence de sinistres des plus de 80 ans en moyenne inférieure de 29% à celle des moins de 80 ans. La ressemblance entre les modèles de sinistres en droit RDR et non-RDR amène à penser que ces deux catégories de sinistres RC en droit sont en fait semblables en termes de caractéristiques, autrement dit, le fait que l'assureur tiers dédommage directement l'assuré ou non, semble contingent.

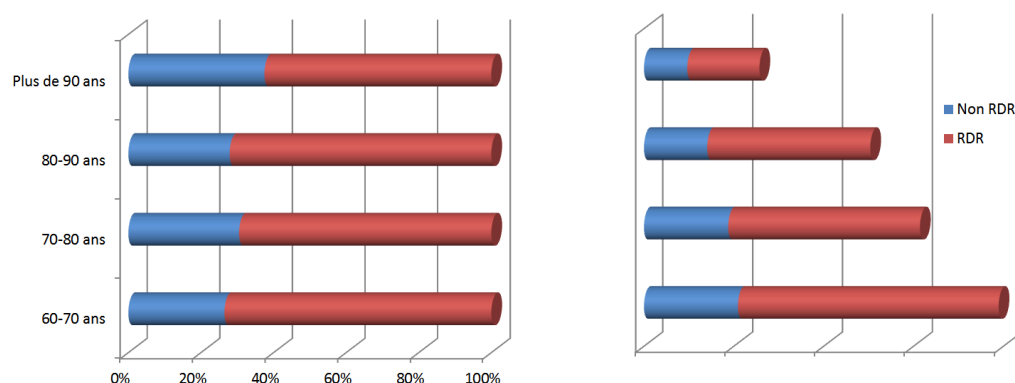


FIGURE 21 – Répartition des fréquences de sinistre en droit par tranche d'âge de l'assuré. À gauche, les contributions des sinistres RDR vs non RDR. À droite, les fréquences absolues.

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Plus de 80 ans ^a	-0,35	-30%	0,1	0,00054 ***
Sinistralité passée	0,12	13% ^b	0,046	0,0096 **
Urbain plutôt que rural	0,21	23%	0,065	0,0014 **
Zonier AXA	-0,21	-19%	0,064	0,0013**
Puissance du véhicule	-0,0028	0,28% ^c	0,00097	0,0036**

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 21 – Modèle final de fréquence de sinistres en droit type non RDR

a. Par opposition avec la modalité de référence qui est "appartenir au groupe des moins de 80 ans".

b. Par sinistre RC en tort en x ans.

c. Par unité de puissance.

4.1.5 Sensibilité à l'âge des multi-sinistres en un jour

Sur l'intégralité de la base de données des sinistres des assurés en responsabilité civile automobile d'AXA Belgium de plus de 60 ans sur 4 années, un peu plus de 0,1% des observations de sinistres RC en tort correspondent à plus d'un sinistre en un jour⁸⁰. On souhaite évaluer la sensibilité à l'âge et au genre de l'assuré, de l'occurrence de plusieurs sinistres en un jour⁸¹. Nous avons vu dans la partie bibliographique l'hypothèse d'augmentation de la sensibilité émotionnelle des conducteurs âgés.

Nous disposons d'une quantité insuffisante d'information pour réaliser des modèles de régression⁸². Nous construisons simplement une variable indicatrice du fait que l'assuré a eu un ou plusieurs sinistres en un jour. Nous souhaitons évaluer le lien entre cette variable et la tranche d'âge de l'assuré ainsi qu'éventuellement son sexe.

La figure 22 permet de présenter la répartition des images de sinistres par genre et par tranche d'âge. Le sous-arbre des assurés qui ont un seul sinistre par jour sert de référence. On constate un découpage des sinistres entre homme et femme de 70% contre 30%. Rien de surprenant puisque deux fois plus de polices sont souscrites par un homme que par une femme⁸³. On remarque que les conducteurs âgés hommes sont plus fréquemment sinistrés que les conductrices âgées. Ceci n'est pas imputable à la répartition spécifique des femmes âgées par rapport aux hommes âgés. Sur la base de données d'observation complète (utilisée pour estimer les fréquences) on calcule des proportions de durées observées en années-risques par tranche de population. Pour les femmes, 13% ont plus de 80 ans. Pour les hommes, 15% ont plus de 80 ans. L'écart est de seulement 2% alors que sur l'arbre ici mentionné, l'écart est de 8%. Ceci dit, on s'intéresse maintenant au sous-arbre des observations de multi-sinistre en un jour. Notons que les quantités estimées ici sont bien moins fiables vu le nombre réduit d'observations. On note néanmoins une sur-implication des hommes dans ce genre d'accidents répétés. La part de conducteurs âgés de plus de 80 ans impliqués dans plusieurs sinistres en 1 jour est la même (29%-28%) chez les hommes et chez les femmes et elle est bien supérieure à la participation "normale" des conducteurs âgés dans les sinistres, de l'ordre de 11% chez les femmes, 19% chez les hommes. Ceci représente un écart très important encore pour les femmes (28% - 11%). Ces observations sont conformes aux éléments de distinction comportementale entre hommes et femmes cités dans la partie 1.5.3.

Malgré le nombre réduit d'observations on conclut sur ces deux éléments : relativement à la population de référence, les femmes sont moins impliquées que les hommes dans des accidents multiples en un jour. D'autre part, les assurés plus âgés sont particulièrement présents dans ces occurrences de sinistres multiples en comparaison de leur participation à la sinistralité moyenne du portefeuille.

80. On dit qu'il y a deux sinistres en 1 jour si les sinistres ont lieu à des emplacements différents et des temps différents, il ne s'agit pas d'un simple artéfact lors d'un accident qui inclurait plusieurs véhicules.

81. Notons d'une part que cette étude justifie notre choix dans la partie précédente de supprimer ces quelques observations pour les traiter séparément et afin de réaliser un modèle de probabilité d'occurrence de sinistre de loi Binomiale à partir de la "base d'images".

82. Un modèle de comptage ou modèle polytomique est clairement exclu. Un modèle dichotomique, même très simple, n'est pas non plus envisageable, aucun coefficient estimé n'est significatif à 5%.

83. Lorsqu'un couple prend une assurance pour un véhicule commun, il semble que ce soit souvent le mari qui souscrive.

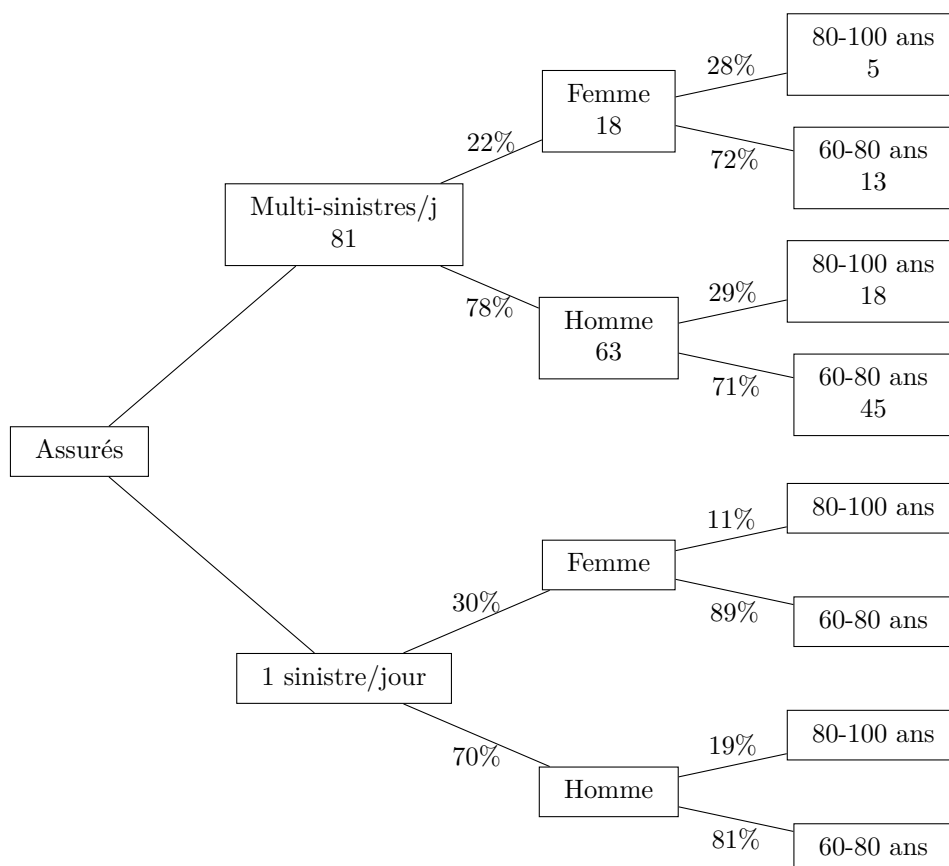


FIGURE 22 – Arbre de répartition des assurés par nombre de sinistres par jour, par genre et par tranche d'âge

4.2 Etude de la fréquence de sinistre des conducteurs de voiturette

Les voiturettes sont, comme leur nom le suggère, de petites voitures, dont la conduite ne requière pas de permis B. Les possibilités sont évidemment limitées, on ne peut pas dépasser les 60 km/h en voiturette et bien sûr, il n'est pas possible d'emprunter l'autoroute, ce qui limite sans doute le montant des dommages possibles. Cependant, les conducteurs de voiturettes sont souvent soumis au mêmes risques que les conducteurs de voitures standards. Quelle confiance peut-on accorder à la conduite d'un conducteur qui ne détient pas le permis B ? Le conducteur et le véhicule correspondent à des critères *a priori* très différents selon qu'ils conduisent une voiture ou une voiturette. L'étude spécifique des conducteurs de voiturettes pourrait à elle seule faire l'objet d'un mémoire. Nous proposons seulement de l'aborder sous l'angle de la sensibilité à l'âge de la fréquence de sinistres en tort avec une comparaison à la population des conducteurs de voitures.

Pour cela on propose de réaliser "manuellement" un modèle multi-niveaux ici à deux niveaux. On propose de calibrer les estimateurs des variables de contrôle sur la population totale. Pour cela, on mélange les conducteurs de voiture et de voiturette. Les variables de contrôle retenues sont : nombre de sinistres RC en tort depuis x ans de l'assuré ; âge du contrat de l'assuré, plus ou moins de 2 ans. La variable relative à l'urbanisation du lieu de vie de l'assuré "est-il urbain ou rural ?", est significative, cependant la prise en compte de cette variable nécessite de restreindre les données. Or nous disposons seulement de plusieurs centaines années-risque d'observations de conducteurs de voiturettes sur les 4 années . Si nous restreignons la base de données afin de prendre en compte les informations socio-professionnelles et comportementales on supprime 1/3 des observations environ. L'arbitrage entre cette variable de contrôle explicative et un gain en nombre d'observations est délicat, nous proposons d'envisager les deux choix.

Prise en compte de l'urbanisation mais perte de données Les variables relatives au genre de l'assuré, à l'âge ou la puissance de son véhicule, à l'âge de son permis de conduire ou au choix de segmenter le paiement de sa prime ne sont pas significatives. Les estimations des coefficients pour le modèle proposé avec limitation du nombre d'observations et prise en compte de l'urbanisation du lieu de vie de l'assuré, sont présentées dans la table 22. Nous incorporons alors dans ce modèle la variable d'âge de l'assuré dont les coefficients sont estimés différemment pour les deux groupes d'assurés : conducteurs de voiturettes et conducteurs de

voitures standards. $\log(N_{i,j}) = \beta_{0,j} + \beta_j^{\text{âge}} X^{\text{âge}} + \beta^{\text{contrôle}} X^{\text{contrôle}} + \epsilon_{i,j}$ La table 23 rappelle l'effet de l'âge sur la fréquence de sinistres RC en tort. Néanmoins, on remarque que les coefficients estimés avec les informations relatives aux conducteurs de voiturette (variables de contrôle) ne sont pas significatifs. Ceci est attribuable au manque d'observations. Les fréquences de sinistres induites sont estimées sur un nombre très réduit d'observations et on note qu'elles ne sont pas ordonnées, en particulier la fréquence de sinistre des plus jeunes : 60-70 ans et des plus âgés : 80-90 ans est à peu près la même. Ceci justifie que nous ne soyons pas parvenus à identifier un effet âge sur la sinistralité des conducteurs de voiturette. Cependant, on remarque une fréquence élevée de sinistres RC en tort pour cette population de conducteurs.

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Sinistralité passée	0,37	45% ^a	0,023	<2e-16 ***
Contrat de plus de 2 ans ^b	0,26	30%	0,075	0,00053 ***
Urbain ^c	0,18	20%	0,039	8,6e-6 ***

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 22 – Modèle de Poisson, lien logarithmique, d'explication de la fréquence de sinistre de la population mélangée par les variables de contrôle, données restreintes

a. Par sinistre RC en tort en x ans.

b. Plutôt que moins de 2 ans.

c. Plutôt que rural.

Variable/Modalité	Conducteur de voiture		Conducteur de voiturette	
	Coefficient	Ecart relatif	Coefficient	Ecart relatif
70-80 ans	0,17***	19%	-0,16 ^{pv=54%}	-15% ^a
80-90 ans	0,37***	45%	-0,15 ^{pv=69%}	-14% ^b
Plus de 90 ans	0,67***	95%	/	/

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

"pv" signifie p-value

"/" signifie qu'il n'y a pas d'observation associée à cette modalité

TABLE 23 – Modèle de Poisson, lien logarithmique, d'explication de la fréquence de sinistre par âge et diverses variables de contrôle, données restreintes, pour les populations conducteurs de voiturettes vs autres conducteurs.

a. Non significatif.

b. Non significatif.

Variable d'urbanisation non intégrée En plus des variables de nombre de sinistres RC en tort depuis x ans et d'âge du contrat de l'assuré, on prend maintenant en compte les variable de genre de l'assuré et d'âge de son permis "obtenu avant ou après ses 25 ans". Afin de pallier l'absence de variable d'urbanisation, on intègre une variable de zonier propre à AXA Belgium que nous simplifions pour nous ramener à un découpage en 2 classes. La table 24 présente le modèle de variable de contrôle global estimé. On ajoute ensuite la variable d'âge avec une estimation par type de conducteur : voiturette ou voiture standard. Comme dans le cas précédent, les coefficients estimés pour la sous-population des conducteurs de voiturette ne sont pas significatifs. L'échantillon total d'assurés conduisant des voiturettes sur 4 années ne permet pas d'identifier un effet âge. Bien qu'estimées sur un nombre réduit d'observations, les fréquences de sinistres semblent fortement sensibles à l'âge mais ne sont pas ordonnées.

On n'identifie pas d'effet régulier d'augmentation de la fréquence de sinistre lié à l'âge de l'assuré chez les conducteurs de voiturette.

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Sinistralité passée	0,35	42% ^a	0,014	<2e-16 ***
Contrat de plus de 2 ans ^b	0,26	30%	0,045	8,8e-09 ***
Genre de l'assuré	-0,084	-8%	0,025	0,00061***
Age de passage du permis de conduire	0,097	10%	0,024	7,5e-05***
Zonier	-0,14	-13%	0,023	9,4e-10***

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 24 – Modèle de Poisson, lien logarithmique, d'explication de la fréquence de sinistre de la population mélangée par les variables de contrôle, données non restreintes

a. Par sinistre RC en tort en x ans.

b. Plutôt que moins de 2 ans.

Variable/Modalité	Conducteur de voiture		Conducteur de voiturette	
	Coefficient	Ecart relatif	Coefficient	Ecart relatif
70-80 ans	0,15***	16%	-0,19 ^{p_v=0,35%}	-17%
80-90 ans	0,31***	36%	0,15 ^{p_v=0,56%}	16%
Plus de 90 ans	0,59***	80%	-12 ^{p_v=98%}	/

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

"p_v" signifie p-value

"/" signifie qu'il n'y a pas d'observation associée à cette modalité

TABLE 25 – Modèle de Poisson, lien logarithmique, d'explication de la fréquence de sinistre de la population mélangée, par l'âge et des variables de contrôle, données non restreintes

4.3 Modèle dichotomique de responsabilité

Dans cette partie, on propose de se focaliser sur la sous population des images qui comptent 1 sinistre en droit ou en tort et pour lesquelles le taux de responsabilité est 0% ou 100%. On compte environ 42% observations de sinistres en droit, 56% observations de sinistres en tort et 2% observations de sinistres en responsabilité partagée. Nous proposons de supprimer cette modalité intermédiaire parce qu'elle est bien plus rare et plus subtile à étudier en termes de coûts, de causes et de typologie d'accident. Notre objectif est de comparer l'occurrence d'un sinistre en tort plutôt qu'en droit avec le moins d'ambiguïté possible.

Selon la même méthodologie que dans les parties précédentes, on propose une modélisation par des GLM de loi binomiale et de fonction de lien logistique du taux de responsabilité de l'assuré expliqué par l'âge d'abord, puis on ajoute des variables de contrôle cohérentes et significatives pour essayer de corriger des effets en apparence associés à l'âge. On appellera taux de responsabilité la probabilité d'avoir un sinistre en tort plutôt qu'en droit. Cette quantité nous permettra de construire simplement des *odd-ratios* comme des ratios de taux de responsabilité.

La table 26 montre une sensibilité très importante du taux de responsabilité à l'âge. Les conducteurs de 60-70 ans ont 5% plus de chance d'avoir un sinistre en tort plutôt qu'en droit. L'écart entre chaque tranche d'âge semble très important. Les 80-90 ans ont plus de 2⁸⁴ fois plus de chances d'avoir un sinistre en tort plutôt qu'en droit que les 60-70 ans. On se demande maintenant si cet accroissement de responsabilité avec l'âge est réellement imputable à l'âge.

La variable de puissance du véhicule n'est pas significative, p-value=81%. La variable qui indique le nombre de sinistres en responsabilité civile en tort de l'assuré depuis x ans est fortement significative mais rend la constante non significative. Ainsi, pour les assurés sans sinistre RC en tort depuis x ans et de 60-70 ans, le taux moyen de sinistralité est 50% ie équiprobabilité d'occurrence d'un sinistre en droit ou en tort. La variable relative à l'âge auquel l'assuré a obtenu son permis⁸⁵ n'est pas significative. En revanche la variable qui indique si l'assuré est client d'AXA Belgium depuis moins de 2 ans⁸⁶ est significative. La constante reste non significative ie la population de

84. $e^{0.8}$

85. L'assuré a eu son permis à moins de 25 ans ou plus de 25 ans.

86. 1 si l'assuré est client d'AXA Belgium depuis plus de 2 ans, 0 sinon.

référence⁸⁷ à un risque de responsabilité équilibré. La variable de limitation de la circulation n'est pas significative. La variable de description de l'âge du véhicule en 5 tranches⁸⁸ est significative (les 4 coefficients associés le sont.). Toutes les autres variables du modèle le restent sauf la constante du modèle parce que l'assuré de référence⁸⁹ n'a pas une sinistralité équilibrée, d'après la constante du modèle, qui est négative, il semble que le taux de responsabilité moyen de la population de référence, les 60-70 ans, soit 45% ie les sinistres en droit sont plus fréquents que les sinistres en tort. A ce stade les variables de contrôle apportent une modération importante du modèle simple d'explication par l'âge de l'assuré. La variable de genre est également significative. Dans le paragraphe suivant, on envisage d'ajouter une variable d'urbanisation, ce qui change légèrement les sensibilités à l'âge de l'assuré, nous proposons donc de donner les probabilités de responsabilité prédites ainsi que les *odd-ratios* pour ce premier modèle de contrôle. Pour un homme ayant un véhicule ancien de 5-10 ans, qui n'a eu aucun sinistre RC en tort en x ans et dont le contrat chez AXA Belgium a plus de 2 ans, les probabilités successives de sinistre en tort, conditionnellement à l'occurrence d'un sinistre de responsabilité 0% ou 100%, sont 48%, 57%, 66% et 70% pour les tranches d'âge croissantes successives. Autrement dit, un assuré de 70-80 ans (resp. 80-90 ans ; plus de 90 ans) a, en moyenne, 1,4 (resp. 2,1 ; 2,5) fois plus de chance d'avoir un sinistre en tort plutôt qu'en droit qu'un assuré de 60-70 ans.

On propose d'ajouter une variable d'urbanisation comme paramètre de contrôle. Ceci impose de limiter la base de données et de diviser par 3 le nombre d'observations. L'estimation du modèle précédent impose alors de retirer la variable relative à l'âge du contrat qui n'est plus significative. Les variables d'urbanisation en 3 ou 4 classes ne sont pas significatives mais la variable de séparation entre les ruraux et urbains est significative.

Variable/Modalité	Coefficients	Odd-ratio	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Constante	0,049	1,05 ^a	0,0094	< 2e-16 ***
70-80 ans ^b	0,37	1,45	0,015	<2e-16 ***
80-90 ans ^c	0,80	2,23	0,021	< 2e-16 ***
Plus de 90 ans ^d	0,99	2,69	0,094	<2e-16 ***

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 26 – Responsabilité de l'assuré expliquée par l'âge dans un modèle GLM de loi binomiale et fonction de lien logistique.

- ^a. Risque de sinistre en tort plutôt qu'en droit pour la population de référence.
^b. Par opposition avec la modalité de référence qui est "appartenir au groupe des 60-70 ans".
^c. Idem remarque précédente.
^d. Idem remarque précédente.

La table 27 montre une sensibilité très importante de la responsabilité à l'âge de l'assuré. L'augmentation du risque de sinistre en tort est très rapide pour chaque tranche d'âge comme le montre l'écart entre les coefficients. Les assurés de 70-80 ans (resp. 80-90 ans ; plus de 90 ans) ont en moyenne 1,4 (resp. 2,1 ; 3⁹⁰) fois plus de chance d'avoir un sinistre en tort plutôt qu'en droit que les assurés de 60-70 ans. Ces écarts sont énormes. Le second paramètre déterminant dans la responsabilité est l'âge du véhicule. Les détenteurs de véhicules anciens semblent avoir une majorité de sinistres en tort. Les hommes (respectivement les urbains) semblent avoir un taux de sinistre en tort moindre que les femmes (respectivement les ruraux). Le nombre de sinistres en responsabilité civile en tort de l'assuré en x ans semble également augmenter sensiblement le risque de récurrence d'un sinistre RC en tort plutôt qu'en droit.

87. Assuré de 60-70 ans, sans sinistre depuis x ans et client depuis plus de 2 ans.

88. Moins de 2 ans, 2-5 ans, 5-10 ans, 10-15 ans, plus de 15 ans.

89. Voiture de moins de 2 ans, contrat de plus de 2 ans, pas de sinistres RC en tort depuis x ans, assuré de 60-70 ans.

90. Contre 2,5 dans le modèle non restreint, il est probable qu'on ait introduit un biais de sélection en retenant uniquement les sinistres associés à des polices pour lesquelles les informations socio-professionnelles et comportementales sont renseignées.

Les assurés diminuent probablement leur présence sur la route en vieillissant, ce qui réduit leur risque de sinistre en droit, ceci a été démontré dans la partie relative à la fréquence de sinistre. En outre, la fréquence de sinistres en tort augmente avec l'âge de l'assuré. Cette étude de la responsabilité permet de mesurer l'effet simultané de l'augmentation du nombre de sinistres en tort et de la diminution du nombre de sinistres en droit avec l'âge. Le risque de sinistre en tort plutôt qu'en droit augmente très sensiblement avec l'âge. Pour chaque tranche d'âge 60-70 ans, 70-80 ans, 80-90 ans, plus de 90 ans, on voit le taux de sinistre en tort vs en droit augmenter. Lorsqu'un assuré a un accident en droit ou en tort (responsabilité 0% ou 100%), la probabilité, pour un homme vivant en zone urbaine et conduisant un véhicule vieux de 5 à 10 ans et n'ayant pas eu de sinistres RC en tort depuis x ans, que ce soit un sinistre en tort est successivement 48%, 56%, 65%, 73% pour les tranches d'âge croissantes successives.

Variable/Modalité	Coefficients	Odd-ratio	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Constante	-0,12	0,89 ^a	0,039	0,0015***
70-80 ans ^b	0,34	1,40	0,024	<2e-16***
80-90 ans ^c	0,74	2,10	0,035	<2e-16***
Plus de 90 ans ^d	1,1	3,0	0,16	7,2e-12 ***
Sinistralité passée	0,19	1,21	0,015	<2e-16 ***
Véhicule de 2 à 5 ans ^e	0,12	1,13	0,040	0,003**
Véhicule de 5 à 10 ans ^f	0,19	1,21	0,038	1,0e-6***
Véhicule de 10 à 15 ans ^g	0,27	1,31	0,041	4.9e-11***
Véhicule de plus de 15 ans ^h	0,36	1,43	0,050	2,0e-12***
Homme ⁱ	-0,091	0,91	0,024	0,00016***
Urbain ^j	-0,078	0,92	0,023	0,00075***

Codes de significativité des coefficients : 0 (***), 0,001 (**), 0,01 (*), 0,05 (.), 0,1 (.), 1

TABLE 27 – Modèle final de taux de responsabilité sur les assurés où les informations socio-professionnelles et comportementales sont renseignées

- a. Risque d'occurrence de sinistre en tort plutôt qu'en droit pour la population de référence.
- b. Par opposition avec la modalité de référence qui est "appartenir au groupe des 60-70 ans".
- c. Idem remarque précédente.
- d. Idem remarque précédente.
- e. Plutôt que moins de 2 ans.
- f. Plutôt que moins de 2 ans.
- g. Plutôt que moins de 2 ans.
- h. Plutôt que moins de 2 ans.
- i. Plutôt que femme.
- j. Plutôt que rural.

4.4 Sinistralité et exposition au risque

Dans cette partie, on propose de compléter notre étude bibliographique par quelques éléments intéressants sur le lien entre sinistralité et fréquence de conduite.

4.4.1 Adaptation et sinistralité

Selon une étude réalisée en Pologne, bien que les personnes âgées aient des performances visuelles et cognitives diminuées, elles modifient leur stratégie de conduite en conséquence et ne constituent pas une population à risque.[1]

4.4.2 La diminution de la fréquence de conduite : un facteur de sur sinistralité quel que soit l'âge

Le nombre d'accidents graves pour les personnes âgées est significativement supérieur à celui des tranches d'âge incluses entre 30 et 60 ans, mais c'est en général le ratio de sinistralité moyenne sur la distance moyenne parcourue annuellement qui est le plus frappant. Cependant ce chiffre est souvent mal interprété. Une étude a permis de montrer que lorsqu'on sélectionne des

sous-populations d'individus des tranches d'âge moyennes (incluses entre 30 et 60 ans) dont la distance parcourue annuellement en voiture est homogène à celle des personnes âgées, on obtient une sinistralité comparable. Cet effet observé de sursinistralité au kilomètre pour les conducteurs occasionnels n'est donc pas lié à l'âge. Autrement dit, ce sont les conducteurs qui parcourent de longues distances chaque année qui ont un risque de sinistralité au kilomètre inférieur à ceux qui conduisent peu et en vieillissant les conducteurs de la première catégorie rejoignent ceux de la deuxième. La spécificité des conducteurs âgés est loin d'être majoritairement des conducteurs occasionnels alors que les conducteurs d'âge inférieur conduisent en général plus fréquemment. [26]

4.4.3 Pour appuyer les intuitions sur les distances parcourues

Nous avons vu dans les sous-parties relatives à l'étude du taux de responsabilité que les conducteurs âgés semblent peu impliqués dans des sinistres en droit en raison d'une plus faible exposition aux risques de la route. Nous souhaitons valider cette intuition de baisse de la conduite avec l'âge. Pour cela notre première piste est la localisation du sinistre. Des sinistres ayant lieu dans une province différente du lieu de vie de l'assuré indiquent, non pas si l'assuré conduit fréquemment, mais s'il conduit sur de longues distances. Si le sinistre a eu lieu dans le même code postal que celui de résidence de l'assuré, ceci indique une très courte distance parcourue. Afin d'exploiter la variable de distinction entre les accidents très proches du domicile, ceux dans la province de résidence de l'assuré ou à une distance importante, nous proposons d'utiliser un modèle polytomique ordonné. La construction de cette variable nécessite la connaissance du code postal de résidence de l'assuré ainsi que celui du lieu du sinistre. Cette information n'est pas toujours disponible. La figure 23 confirme l'intuition selon laquelle les sinistres à longue distance du domicile de l'assuré sont plus vraisemblables chez les conducteurs moins âgés. Pour tenir compte de l'ordre entre les modalités de distance proposées, on utilise un modèle de régression logistique probabilité proportionnelle⁹¹. Les résultats sont présentés dans la table 28, les intervalles de confiance à 0,1% et 99,9% sur les odd-ratio ne contiennent pas 1, les odd-ratio sont donc significatifs.

Les odd-ratio montrent en moyenne que les 70-80 ans (resp. plus des 80 ans) ont 24% (resp. 48%) plus de chance d'avoir des sinistres à courte distance plutôt qu'à grande distance du lieu de résidence que les 60-70 ans. Ceci montre que la distance parcourue annuellement diminue sensiblement avec l'âge de l'assuré.

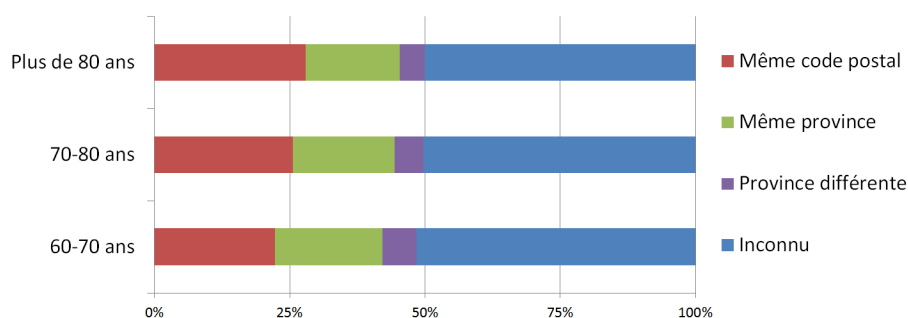


FIGURE 23 – Répartition des sinistres par distance au lieu de résidence de l'assuré pour différentes tranches d'âge

Variable/Modalité	Odd-ratio (OR)	Intervalle de confiance sur OR [0,1% ;99,9%]	
70-80 ans ^a	1,24	1,15	1,34
Plus de 80 ans ^b	1,48	1,34	1,64

TABLE 28 – Ecart entre les modalités de distance du lieu de l'accident au lieu de résidence par âge

^a. Par opposition avec la modalité de référence qui est "appartenir au groupe des 60-70 ans".

^b. Idem remarque précédente.

91. Voir les *Proportional odds models*, par exemple sur "http://en.wikipedia.org/wiki/Ordered_logit".

4.5 Modélisation des coûts de sinistres

La modélisation des coûts par une loi Gamma [3] est choisie parce qu'elle appartient à la famille exponentielle et qu'elle sert à modéliser une variable aléatoire continue sur \mathbb{R}_+ dont le rapport moyenne/variance est constant. Une des premières questions à se poser est donc : est-ce que la dispersion dépend de la moyenne ?

Donc le modèle $g(\mathbb{E}(Y_i|X_i)) = \beta X_i + \epsilon_i$ revient à $\mathbb{E}(Y_i|X_i) = \frac{1}{\beta X_i + \epsilon_i}$

Afin de modéliser le coût des sinistres, nous décidons de considérer les sinistres d'une moyenne⁹² supérieure à 50€ qui représente les frais de traitement du sinistre.

Coût des sinistres en tort

La figure 24 montre la contribution aux log-coûts de sinistres des tranches d'âge des assurés. On observe au centre une contribution assez régulière de chaque tranche d'âge. En revanche, aux extrémités, on constate une sensibilité plus importante à l'âge ce qui nous incite à traiter spécifiquement les coûts faibles ou élevés par rapport au "paquet central" qui représente la majorité des sinistres.

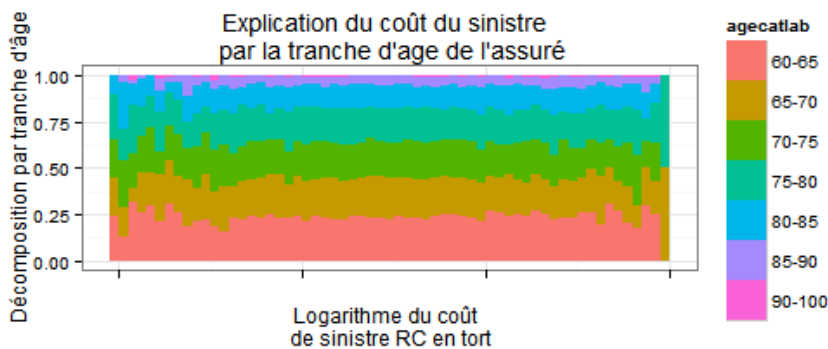


FIGURE 24 – Répartition des log-coûts de sinistres RC en tort par tranches d'âge de l'assuré

Dans un souci de cohérence, afin de contrôler les coûts extrêmes, on modélise le coût par tranche. On traite séparément les coûts extrêmes (plus de 20000€). On propose également un traitement spécial pour les sinistres peu coûteux (moins de 500€) qui nuisent à la régularité de la loi empirique comme on peut le voir sur l'histogramme en figure 25. La tranche d'âge que nous recommandons est ici 500€-20 000€. Le seuil 20 000€ correspond à peu près au quantile d'ordre 99% de la distribution des coûts moyens de sinistres en tort (100% responsable).

La tranche moyenne des sinistres en tort : 500€ à 20 000€ On procède comme dans la partie précédente pour sélectionner les variables de contrôle. Le modèle final est très simple, il est présenté dans la table 29. Afin de modéliser le coût des sinistres RC en tort ie dégâts aux tiers, on se doute que les dommages ne dépendront pas de la valeur ou de l'âge du véhicule de l'assuré. En revanche, la puissance du véhicule (influence sur les accidents à haute vitesse) devrait avoir un impact. On s'attend encore une fois à ce que la sinistralité passée ait un impact sur le coût des sinistres. Ceci est une hypothèse forte qui est pourtant vérifiée, elle suppose que les "mauvais risques" ont également des sinistres plus coûteux. Intuitivement on peut interpréter ceci comme un excès de prise de risque de la part de ces conducteurs (conduite trop rapide, refus de priorité, ou autres infractions graves) qui impacte aussi bien le risque d'accident que le coût de ces accidents. Par opposition, les sinistres des assurés "bons risques" sont associés à des petites erreurs de conduite, davantage imputables à une légère inattention qu'à un risque aggravé, une prise de risque excessive. Enfin, on remarque également que le coût des sinistres ne dépend pas du genre de l'assuré. Le croisement de catégorie d'âge et sinistralité passée n'est pas significatif. L'effet de l'âge sur le coût des sinistres en tort, est assez faible, on le distingue seulement grossièrement grâce à la variable dichotomique qui sépare les plus de 80 ans des moins de 80 ans, le coefficient montre que les coûts de sinistre des plus de 80 ans sont en moyenne 4% supérieurs à ceux des moins de 80 ans. Ce résultat est confirmé par le modèle d'explication de la moyenne ou de la médiane des coûts de sinistres en tort par âge (année par année) de l'assuré sur les figures 26. Sur ces graphes, on observe une

92. Parce qu'il peut y avoir plusieurs sinistres sur une image, on est parfois amené à calculer le coût total saisi rapporté au nombre de sinistres observé dans l'image.

dispersion importante de la quantité estimée en fonction de l'âge de l'assuré pour des tranches d'âge très fines. Par exemple, sur le modèle "Gamma, lien logarithmique, coût moyen, âge à l'année près", on identifie un fort écart au nuage de point des coûts estimés pour les âges 66 ans et 90 ans, situés bien en dessous du nuage de points, et pour les âges 84, 87 et 89 ans, bien au dessus du nuage de points. Dans ce modèle où le coût est estimé pour chaque âge de l'assuré à l'année près, 14 points sur 31 sont hors de l'intervalle de confiance à 95%. Avec le choix d'une tranche d'âge de 3 ans les résultats sont plus fiables, dans les modèles coûts moyens ou médians associés on compte 4 points sur 11 en dehors de l'intervalle de confiance. Dans le découpage plus grossier en tranches d'âge de 5 ans 1 point sur 7 seulement est en dehors de l'intervalle de confiance. Pour le coût moyen la tendance est très claire. Le coût augmente fortement avec l'âge. On remarque cependant que les valeurs de coûts moyens RC en tort des 60-64 ans sont bien plus élevées que pour les tranches suivantes jusqu'à 80 ans. Ceci est une remarque très intéressante qui montre la sensibilité de la sinistralité au passage à la retraite. Avant 65 ans le coût moyen est plutôt élevé, puis il baisse fortement à cause d'un "effet retraite" avant de croître progressivement, la pente est quasi-linéaire, c'est un "effet âge". Cette tendance subtile gêne notre étude économétrique des coûts.

La distribution des coûts de sinistre en responsabilité civile en tort est sensible à l'âge, mais les modèles économétriques proposés sur la population totale des 60-90 ans captent difficilement cette sensibilité.

Dans chaque modèle présenté sur les figures 26, la courbe de régression est croissante (augmentation du coût moyen des sinistres en tort en fonction de l'âge) et les intervalles de confiance à 95% montrent que le modèle avec tranches d'âges de 5 ans est fiable. Ceci traduit, en moyenne, une augmentation significative du coût moyen de sinistre en tort pour une augmentation de l'âge de 5 ans pour les conducteurs âgés.

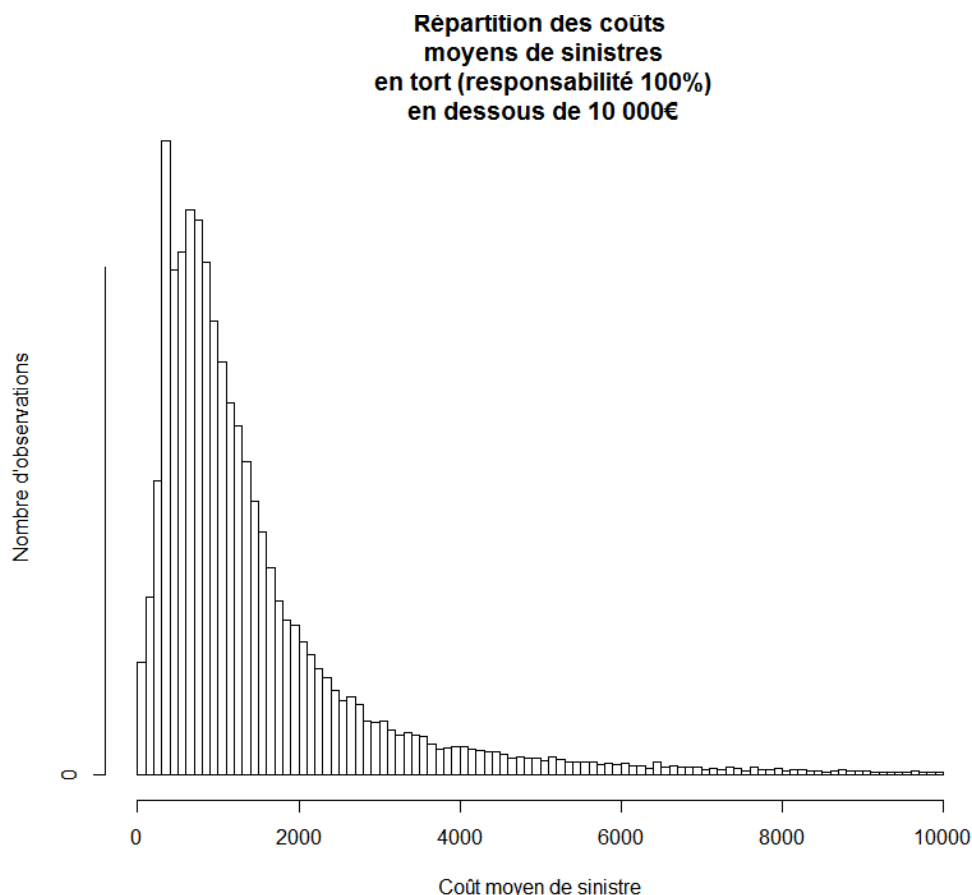


FIGURE 25 – Répartition du coût moyen des sinistres en tort (responsabilité 100%) en dessous de 10 000€

Elément important : On remarque l'irrégularité de répartition en dessous de 500€, d'où le traitement spécifique.

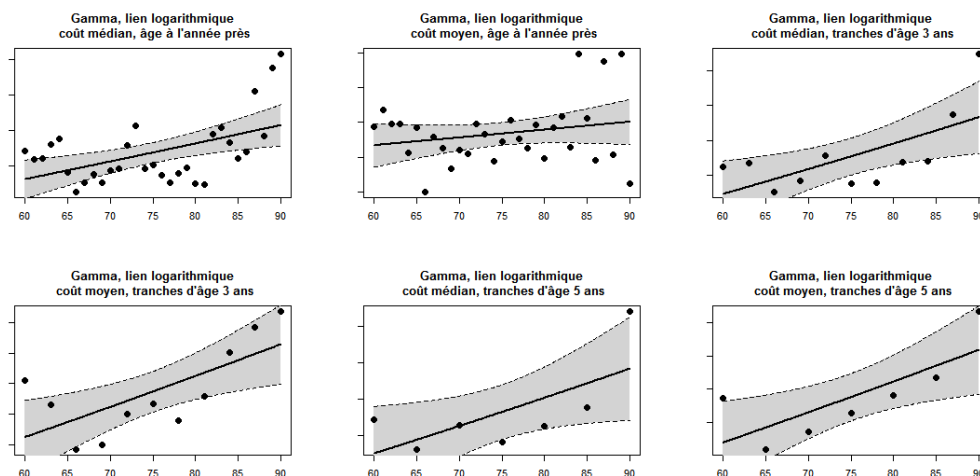


FIGURE 26 – Coût moyen/médian des sinistres en tort sur la tranche 500€-20 000€, par tranche d'âge, avec courbe de prédiction et intervalle de confiance 95%

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Plus de 80 ans	0,040	4,1%	0,014	0,0042**
Nombre sinistres x ans	0,026	2,6% ⁹³	0,0067	8,3e-05 ***

Codes de significativité des coefficients : 0 ‘***’ 0,001 ‘**’ 0,01 ‘*’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘.’ 1

TABLE 29 – Modèle GLM de loi Gamma avec la fonction de lien logarithmique pour la variable expliquée coût moyen de sinistres en tort (responsabilité 100%) dans la tranche 500€-20 000€.

La tranche basse des sinistres en tort : 50€ à 500€ La tranche de sinistres entre 50€ et 500€⁹⁴ représente environ 20% des observations de sinistres en tort. Malheureusement dans un modèle GLM de loi Gamma (lien inverse, log ou identité), aucune des variables envisagées n'est significative : tranches d'âge, niveau d'urbanisation, sinistralité passée, puissance du véhicule, âge du véhicule. On propose donc pour cette tranche basse de réaliser un modèle de propension ie expliquer “l'échelle de coût” par les variables proposées précédemment. Pour cela, on construit une variable dichotomique qui indique si le coût du sinistre appartient ou non à cette tranche. Nous souhaitons comme pour l'étude de la tranche centrale, mesurer un effet âge et éventuellement d'ajouter des variables de contrôle.

De façon très standard, on utilise un modèle GLM de loi binomiale avec un lien canonique (logit) sur la base de données des sinistres en tort (reponsabilité 100%) pour l'ensemble des sinistres d'un coût moyen supérieur à 50€.

Les tranches d'âge construites précédemment ne constituent pas des variables significatives dans l'explication de la tranche de coûts moyens par sinistre que le modèle choisi soit un modèle de coût (GLM Gamma lien log) ou un modèle de propension (GLM binomial lien logistique).

Par conséquent, nous tentons d'utiliser directement la variable de l'âge de l'assuré. Comme l'indique la table 30 la variable d'âge est significative au niveau 5%. On décide donc d'ajouter des variables de contrôle afin d'affiner nos résultats et de pouvoir établir des mesures d'effets marginaux autant que possible “toutes choses égales par ailleurs”.

94. Remarquons que le renseignement de cette tranche de coût ne risquent pas d'être biaisé par les arbitrages de l'assuré entre perte de bonus/joker et coût de sinistre (hunger for bonuses) parce que nous étudions des sinistres de responsabilité civile qui impliquent nécessairement un tiers.

Variable/Modalité	Coefficients	Odd-ratio	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Constante	-1,68	0,19 ⁹⁵	0,10	<2e-16 ***
Age de l'assuré	0,0030	1,00 ⁹⁶	0,0014	0,035 *

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 30 – Modèle GLM de loi binomiale avec la fonction de lien logistique pour la variable expliquée d'appartenance à la tranche des coûts de sinistres en tort (responsabilité 100%) entre 50€ et 500€. La variable explicative est la variable d'âge de l'assuré.

L'ajout de variables de contrôle telles que la puissance du véhicule, l'âge du véhicule, la sinistralité passée de l'assuré est cohérent⁹⁷ et ces variables sont toutes significatives⁹⁸ au seuil 5% (plus proche de 1%). La table 31 indique des effets opposés entre les variables de contrôle et la variable d'âge. Plus le véhicule est vieux, puissant ou la sinistralité passée importante (facteur de risques supérieurs), plus la probabilité de dépasser la tranche de sinistres de 500€ est élevée. Ceci est cohérent avec l'interprétation que nous proposons *a priori* de ces variables. En revanche, nous constatons que les conducteurs âgés sont davantage susceptibles d'avoir des coûts de sinistres faibles (moins de 500€).

La probabilité d'avoir un sinistre moindre plutôt qu'aggravé (odd-ratio) associée à une augmentation de l'âge de 10 ans⁹⁹ est d'environ 2%. Pour l'individu de 70 ans, qui n'a eu aucun sinistre en 10 ans, qui possède un véhicule de puissance 70, vieux de 7 ans, la fréquence de sinistre RC en tort moindre plutôt qu'aggravé est 29%¹⁰⁰ environ.

Nous souhaiterions affiner autant que possible notre segmentation des assurés, pour cela, nous ajoutons la variable relative au niveau d'urbanisation du lieu de vie des assurés.

Variable/Modalité	Coefficients	Odd-ratio	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Constante	-0,96	0,38 ¹⁰¹	0,063	< 2e-16 ***
Age de l'assuré	0,0021	1,00	0,00084	0,011 *
Sinistralité RC passée	-0,027	0,97	0,0081	0,00086 ***
Age du véhicule	-0,0035	1,00	0,0012	0,0047 **
Puissance du véhicule	-0,00053	1,00	0,00023	0,024 *

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 31 – Modèle GLM de loi binomiale avec la fonction de lien logistique pour la variable expliquée d'appartenance à la tranche des coûts de sinistres en tort (responsabilité 100%) entre 50€ et 500€. A l'âge, on ajoute des variables de contrôle afin d'améliorer notre connaissance des individus.

On ajoute la variable d'urbanisation à 3 classes :

- 1 Zone rurale
- 2 Zone urbanisée ou ville régionale
- 3 Grande agglomération

97.

Puissance La puissance du véhicule exprime un "potentiel de dommages" associé à la vitesse du véhicule, sans compter que cette variable traduit également le niveau de gamme du véhicule et donc, souvent, sa solidité (possibilité d'infliger des dommages supérieurs au véhicule tiers).

Age du véhicule Cette variable impacte la prise de risque par l'assuré associée à sa crainte d'endommager son véhicule (auquel il accorde plus ou moins de valeur).

Sinistralité passée Une fréquence de sinistres (significativement) élevée indique une prise de risques supérieure qui se traduit par un potentiel de dommage plus important.

98. En revanche, l'ancienneté du précédent sinistre, qui devrait indiquer la distance entre le sinistre ici étudié et le précédent, est une variable non significative.

99. Ceci ne dépend pas de l'âge "absolu" parce qu'on interprète l'effet marginal associé au coefficient d'âge de l'assuré en années, on ne considère pas des classes mais une variable quantitative.

100. $\frac{1}{1+e^{-[-0.96+0,0021 \times 70-0,0035 \times 7-0,00053 \times 70]}}$

Cela permet d'affiner l'explication du coût des sinistres. La table 32 montre une sensibilité importante au lieu de résidence de l'assuré qui rend non-significatives les autres variables (à l'exception de la variable relative à l'ancienneté du véhicule). Plus le lieu de vie de l'assuré est urbanisé plus le risque d'avoir un accident coûteux en tort est réduit, en termes de taille l'effet est assez faible.

La qualité explicative du coût via l'âge de l'assuré s'estompe (non significatif à 5%) avec l'ajout de cette variable de contrôle. Outre cet effet de contrôle, l'effet de l'âge est négligeable puisque selon les coefficients estimés : un assuré de 80 ans a en moyenne 5% plus de chance d'avoir un sinistre moins onéreux qu'un assuré de 60 ans. Ceci est en contradiction avec le résultat de la sous-partie précédente qui montrait une augmentation légère du coût avec l'âge. Ceci est imputable à la non-significativité du modèle estimé ici, ceci confirme une absence de lien fort entre le coût des sinistres RC en tort et l'âge de l'assuré.

Variable/Modalité	Coefficients	Odd-ratio	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
Constante	-0,98	0,38 ¹⁰²	0,10	< 2e-16 ***
Age de l'assuré	0,0025	1,00	0,0014	0,062 ,
Sinistralité RC passée	-0,011	0,99	0,013	0,38
Age du véhicule	-0,0059	0,99	0,0020	0,0037 **
Puissance du véhicule	-0,00056	1,00	0,00037	0,13
Niveau d'urbanisation 2 vs 1	0,057	1,59	0,024	0,016 *
Niveau d'urbanisation 3 vs 1	0,10	1,11	0,029	0,00028 ***

Codes de significativité des coefficients : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05 '.' 0,1 ' ' 1

TABLE 32 – Modèle GLM de loi binomiale avec la fonction de lien logistique pour la variable expliquée d'appartenance à la tranche des coûts de sinistres en tort (responsabilité 100%) entre 50€ et 500€. Aux variables utilisées dans le modèle précédent on ajoute le niveau d'urbanisation du lieu de vie de l'assuré.

Tranche haute des sinistres en tort : plus de 20 000€ On procède comme pour l'étude de la tranche basse de coûts de sinistres en tort. La différence est qu'ici le nombre d'observations représente non plus 20% mais 0,8% des sinistres en tort. De là nous n'espérons pas obtenir des résultats aussi fin que dans le paragraphe précédent.

On commence par envisager un modèle de GLM Binomial (lien logit) pour la variable indicatrice d'un coût supérieur à 20 000€ expliquée seulement par une variable d'âge. La variable d'âge précise à l'année près n'est pas significative : p-value = 52%. La variable de tranches d'âge de 10 ans n'est pas significative :

Coefficient de 70-80 ans vs 60-70 ans p-value=50%

Coefficient de 80-90 ans vs 60-70 ans p-value=14%

Coefficient des plus de 90 ans vs 60-70 ans p-value=99%

La variable de séparation en deux groupes de plus ou moins de 80 ans n'est pas non plus significative : p-value=6%. Notons que les variables de contrôle envisagées précédemment sont non significatives et ne permettent donc pas d'obtenir un modèle où les variables de contrôle et l'âge sont significatifs. Voici les p-values pour l'ajout d'une seule variable de contrôle en plus de la variable d'âge en 2 groupes.

Age du véhicule p-value = 75%

Puissance du véhicule p-value = 36%

Sinistralité passée p-value = 62%

Genre de l'assuré p-value = 1,0% mais pour la variable d'âge, la p-value passe à 8,5% (dégradation)

Niveau d'urbanisation : rural vs urbain p-value = 32%

Ce résultat confirme l'idée selon laquelle l'étude des sinistres très coûteux est délicate parce qu'ils sont rares et difficiles à expliquer de façon économétrique.

Bilan La proportion d'assurés ayant des sinistres très coûteux n'est pas sensible à l'âge. La sensibilité à l'âge au fait d'avoir un sinistre moindre plutôt qu'aggravé est très faible. Par conséquent on considère superflu l'emploi d'une modélisation polytomique visant à pondérer précisément chaque tranche de coût en termes de fréquence en fonction de l'âge.

Grossièrement on propose un modèle de coût par tranche d'âge égal à la somme de [fréquence de sinistres de coût moindre] \times [Coût moyen des sinistres moindres], indépendamment de l'âge, [fréquence de sinistres de coût extrême] \times [Coût moyen des sinistres extrêmes], indépendamment de l'âge et pour finir [fréquence de sinistres de coût intermédiaire]¹⁰³ pour la tranche d'âge] \times [Coût moyen de sinistres de coût intermédiaire pour la tranche d'âge]. La dépendance à l'âge, même pour la tranche moyenne, est faible bien qu'elle soit significative en apparence.

$$\mathbb{E}(\text{Coût total, population d'âge } A) = N_{\text{moindre}} CM_{\text{moindre}} + N_{\text{extrême}} CM_{\text{extrême}} + N_{\text{moyenne}}(A) CM_{\text{moyenne}}(A)$$

où N_x indique le nombre moyen de sinistres de la tranche x , soit le produit du nombre d'assuré dans la population et de la fréquence de sinistre de la population d'âge A pour la tranche x . CM_x est le coût moyen des sinistres de la tranche x . Ces quantités dépendent de l'âge pour la tranche moyenne uniquement, mais la sensibilité est faible.

En conclusion de cette sous-partie on retient qu'avec une connaissance assez fine des assurés, lorsque, par précaution, les sinistres sont considérés par tranches de coûts, il semble que l'âge ait peu d'effet sur le coût des sinistres en tort (responsabilité 100%). On observe la même absence de lien entre âge et coût moyen de sinistres en tort si on considère un modèle incluant l'intégralité des coûts observés.

Coût des sinistres en droit

On suspecte un biais important associé à l'étude des sinistres "en droit" parce que les charges liées aux sinistres peuvent "arbitrairement"¹⁰⁴ être avancées par AXA qui les récupère ensuite auprès de l'assurance du tiers (RDR), ou payées directement par l'assurance du tiers auquel cas l'opération est visible pour AXA Belgium mais le coût n'est pas connu. Nous ne savons pas ici si les sinistres remboursés directement par l'assurance tiers présentent des spécificités¹⁰⁵ qui entraîneraient un biais trop important pour interpréter l'estimation du coût des sinistres à l'assuré en droit et autres éléments connexes. D'où la décision prudente de ne pas pousser trop loin notre étude des coûts. En revanche, nous savons qu'en général les remboursements RDR sont associés à des dommages matériels (coût modéré). Nous proposons donc de limiter notre étude à une tranche de coûts modérés en restant conscients de ce biais de sélection. Un autre argument en faveur de ce choix est que les modèles gamma ne convergent pas si on s'intéresse à l'ensemble des observations de charges de sinistre RC en droit. On décide donc de découper les coûts de sinistres en tranches. Les sinistres peu onéreux entre 50€ à 200€ représentent 2% des observations c'est la tranche basse. Les sinistres très coûteux, ceux qui dépassent 20 000€ représentent seulement 0,1% des observations. Ceci permet d'écarter les sinistres ie supprimer les coûts extrêmes, et plus généralement de constituer des groupes homogènes en termes de coûts. Ce découpage n'empêche pas de diagnostiquer un effet âge et d'introduire des variables de contrôle. Le choix de ces seuils est encouragé par des questions de distribution (nombre d'observations en dehors de la tranche principale), de cohérence avec le modèle relatif à l'étude des coûts des sinistres en tort (seuil haut 20 000€) mais également de qualité d'estimation du modèle. Si cela est possible nous préférons modéliser simultanément tous les coûts. Les coûts extrêmes sont trop rares pour être étudiés via ces données. Les coûts faibles en dessous de 200€ ne nous intéressent pas (négligeables). Le fait que nous puissions considérer directement 98% de la population dans une seule tranche (pour laquelle les modèles GLM Gamme lien log sont convergents) est idéal puisque nous pourrions chercher des critères prédictifs/explicatifs pour comprendre la sinistralité de l'ensemble des assurés. Notons en outre un fait intéressant : comme nous l'expliquions dans le paragraphe précédent avec le fonctionnement des RDR, les coûts en droit des conducteurs âgés sont plus centrés que les coûts de leurs sinistres en tort. Autrement dit, les coûts observés ici semblent indiquer exclusivement des dommages matériels.

103. Relatif à la classe intermédiaire.

104. De notre point de vue lorsqu'on considère les données à une échelle macroscopique.

105. Par exemple, un coût particulièrement important, la présence d'un dommage corporel ou autre élément que nous souhaiterions *a priori* étudier.

Si la regression GLM de loi Gamma ne converge pas pour la fonction de lien canonique (fonction inverse), on obtient, en revanche, des résultats satisfaisants pour la fonction de lien logarithmique.

Prise seule, aucune des variables descriptives de l'âge de l'assuré proposées précédemment n'est significative :

Age année par année p-value = 42%

Age par tranches de 10 ans 4 tranches :

70-80 ans vs 60-70 ans p-value = 61%

80-90 ans vs 60-70 ans p-value = 50%

Plus de 90 ans vs 60-70 ans p-value = 12%

Plus ou moins de 80 ans p-value = 62%

La table 33 montre en revanche que l'ajout à la variable d'âge en 4 tranches de 10 ans des variables de contrôle d'âge et de puissance du véhicule donne un modèle significatif (tous les coefficients le sont). Ce modèle montre que les coûts de sinistres en responsabilité civile en droit type RDR sont en moyenne 4% (resp. 9%, 34%) supérieurs pour les 70-80 ans (resp. 80-90 ans, plus de 90 ans) que pour les 60-70 ans, ceci contre-balance partiellement la baisse de fréquence de sinistres en droit des conducteurs âgés. On vérifie, par ailleurs, que l'ajout d'autres variables à ce modèle n'est pas satisfaisant.

Ajout de la sinistralité passée p-value = 13%

Temps écoulé depuis le précédent sinistre p-value = 42%

Genre p-value = 0,06% et coefficient 0,4. Ceci confirme le surcoût associé aux hommes mais nous décidons pour des raisons de cohérence avec la tarification de retirer cette variable (les coefficients estimés pour les autres variables sont quasiment inchangés et les p-values restent très basses.)

Zonier Cette variable a trop de modalités pour être traitée comme une variable qualitative. Ses modalités sont classées, on suppose qu'une dépendance linéaire à cette variable est cohérente et on l'ajoute au modèle comme une variable quantitative. Alors la p-value est $5e-6$ et le coefficient est 0,012. Toutes choses égales par ailleurs, un individu appartenant à la zone 4, a en moyenne des sinistres en droit 5%¹⁰⁶ plus coûteux qu'un individu de la zone 0. Par linéarité l'écart est le même entre les catégories 5 vs 1, 6 vs 2, 7 vs 3. La contribution de l'appartenance à la zone 4 est à peu près la même que la contribution de l'appartenance à la catégorie d'âge 70-80 ans plutôt que 60-70 ans. Cette variable de contrôle semble fiable, mais dans la mesure où elle ne change presque pas les coefficients estimés concernant la sensibilité à l'âge de l'assuré, pour des raisons de prudence dans la possibilité d'interprétation, nous ne retenons pas cette variable dans notre modèle.

Niveau d'urbanisation Insérée dans le modèle sous forme de variable polytomique à 6 modalités (qualitative) on obtient des p-value très élevées pour le test de significativité. On cherche donc à réduire le nombre de modalités en les regroupant. On constitue les groupes 1-2-3, 4-5 et 6 seul. Ces trois modalités n'apportent encore une fois aucune information dans le modèle explicatif du coût moyen. On propose finalement de distinguer un groupe plutôt rural 1-2-3 d'un groupe plus urbain 4-5-6. Cette variable n'est pas non plus significative. En particulier la p-value pour la variable de découpage rural vs urbain est 34%.

Classe sociale (inférieure, moyenne ou supérieure) Les coefficients estimés ne sont pas significatifs :

Classe moyenne vs classe inférieure p-value=35%

Classe supérieure vs classe inférieure p-value= 53%

106. $e^{4 \times 0,012} - 1$

Variable/Modalité	Coefficients	Ecart relatif	Ecart type estimé	$\mathbb{P}(> z)$
70-80 ans vs 60-70 ans	0,041	4,2%	0,012	0,00046 ***
80-90 ans vs 60-70 ans	0,083	8,7%	0,019	9,5e-06 ***
Plus de 90 ans vs 60-70 ans	0,29	34%	0,086	0,00074 ***
Puissance du véhicule	0,0041	0,4%	0,00020	< 2e-16 ***
Age du véhicule	-0,024	-2,4%	0,0011	< 2e-16 ***

Codes de significativité des coefficients : 0 ‘***’ 0,001 ‘**’ 0,01 ‘*’ 0,05 ‘.’ 0,1 ‘.’ 1

TABLE 33 – Modèle GLM de loi Gamma avec la fonction de lien logarithmique pour la variable expliquée coût moyen de sinistres en droit (responsabilité 0%) dans la tranche 200€-20 000€. Variable de catégorie d’âge et variables de contrôle

On observe une augmentation sensible du coût moyen des sinistres en droit avec l’âge du conducteur. De plus, on note une convexité des coûts en fonction de l’âge. Lors du passage de 80-90 ans à plus de 90 ans le coût moyen de sinistres en droit augmente de 23%. Cet effet est très important. Notons que ces effets marginaux moyens sont estimés “toutes choses égales par ailleurs”, or la puissance du véhicule et l’âge du véhicule conduit ne sont en moyenne, pas les mêmes d’une tranche d’âge à l’autre. On observe même des modifications régulières en termes de direction mais non linéaires d’une tranche à l’autre. Par exemple, l’âge moyen du véhicule augmente avec la tranche d’âge. On observe une accélération du vieillissement du véhicule en ce sens que de 60-70 ans à 70-80 ans l’écart d’âge moyen des véhicules est de 0,9 année contre 1,3 années pour la paire suivante et 1,5 années pour la dernière. On se propose donc de calculer le coût moyen pour chaque “individu moyen” des diverses tranches d’âge¹⁰⁷. On remarque que les coûts moyens sont en fait à peu près identiques pour les 60-70, 70-80 et 80-90 ans. En revanche, ils sont bien supérieurs pour les plus de 90 ans. La sensibilité du coût de sinistres en droit à l’âge est donc visible uniquement pour des âges extrêmes.

Afin de rendre plus “visuels” les modèles considérés nous proposons, comme dans la sous partie relative aux coûts de sinistres en tort, de représenter des modèles de régression GLM des coûts moyens ou médians par âge de l’assuré (année par année) en fonction de l’âge dans la figure 27. *A priori* la médiane est un indicateur plus robuste, mais puisque les coûts extrêmes ont été écrêtés, la moyenne devrait l’être également. On observe pour les premières années (60-65 ans) une certaine régularité, les points sont proches. Au delà on observe un éparpillement de plus en plus important avec l’âge autour de la droite de régression. Au delà de 65 ans, d’une année sur l’autre la quantité estimée peut être très en dessous ou très au dessus de la droite estimée. Cette variabilité demeure fortement sensible à l’âge pour les tranches grossières de 3 voire 5 ans. Une telle variabilité croissante avec l’âge amène à penser qu’on ne peut rien conclure sur le coût des sinistres en droit pour des âges élevés, en particulier au delà de 85 ans. En deçà de 85 ans, les coûts moyens semblent stables quel que soit l’âge de l’assuré parce que la pente est très faible et que les points sont tous proches de la droite, dans l’intervalle de confiance 95%. En revanche, pour les coûts médians, on ne peut pas négliger la pente croissante avec l’âge, pour les moins de 85 ans seul 1 point sur 9 est “légèrement” en dehors de l’intervalle de confiance.

107. Les résultats ne sont pas présentés dans cette version non confidentielle.

Nos modèles économétriques de modélisation des coûts de sinistres en droit type RDR ont permis de montrer une dépendance importante des coûts de sinistre en droit à l'âge de l'assuré. Ces sinistres sont généralement associés à des coûts matériels uniquement, nous ne pouvons donc expliquer cela par une sur-fragilité des conducteurs âgés. En revanche, cet effet nous permet de rejeter l'hypothèse d'une conduite plus prudente associée à des dommages moindres des conducteurs plus âgés.

D'après les graphes proposés, l'hétérogénéité (et donc le risque) des coûts dépend fortement de l'âge, mais également le coût médian, auquel on peut accorder un crédit important grâce à sa robustesse supérieure à la moyenne. Ceci confirme les résultats des modèles économétriques.

Dans la partie suivante, nous nous intéressons à l'étude de l'hétérogénéité de la population en termes de sinistralité. Nous choisissons de nous focaliser sur la fréquence des sinistres pour laquelle les résultats sont plus significatifs que pour les coûts et plus faciles à modéliser et interpréter.

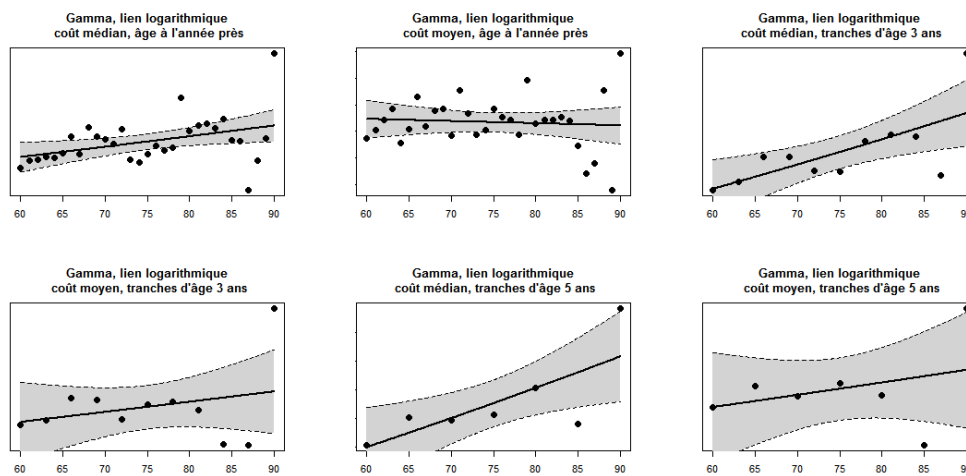


FIGURE 27 – Coût moyen/médian des sinistres en droit sur la tranche 200€-20 000€ avec courbe de prédiction et intervalle de confiance 95% pour des tranches d'âge 1, 3 ou 5 ans.

4.6 Bilan

Nos études sur le coût, la fréquence, la responsabilité, la distance parcourue par les conducteurs âgés vont toutes dans le même sens. Les conducteurs de plus de 60 ans conduisent de moins en moins loin de leur domicile lorsqu'ils vieillissent. En même temps la fréquence de sinistre absolue augmente. La fréquence de sinistre par unité de distance parcourue doit donc augmenter plus vite encore avec l'âge à cause de ces deux effets qui vont dans la même direction. La fréquence de sinistres coûteux en tort est la plus sensible à l'âge. L'exposition aux dangers de la route se réduisant, la fréquence de sinistres en droit diminue également. Cependant, les coûts matériels de sinistres en droit augmentent avec l'âge ce qui contre-dit l'hypothèse d'une augmentation de la prudence des conducteurs âgés sur la route et contre-balance la baisse de fréquence de sinistres en droit.

Si la sinistralité des conducteurs âgés se dégrade avec l'âge on aimerait maintenant savoir si cette sinistralité est expliquée par quelques individus plus à risque ou par un accroissement global du risque de sinistre homogène sur la population.

5 Approche temporelle : hétérogénéité des conducteurs âgés en termes de sinistralité

Dans ce paragraphe nous envisageons de déterminer s'il existe un paramètre lié à l'âge qui toucherait certains assurés en particulier et justifierait l'apparition d'une sursinistralité de ces conducteurs. Nous n'espérons pas identifier la cause de ce phénomène, pour cela nous renvoyons aux études citées en premières parties, mais distinguer une hétérogénéité dans la population. Après avoir scindé la population en deux groupes : l'un manifestement spécifique de par une augmentation rapide de sa sinistralité, et l'autre apparemment affichant une sinistralité stable dans le temps, nous nous focaliserons sur le second groupe afin de déterminer si un effet âge significatif demeure.

5.1 Méthode élémentaire

On propose dans cette partie de réaliser une première étude temporelle simple de la sinistralité d'un échantillon d'assurés de plus de 60 ans d'AXA Belgium déjà clients au 1er janvier de l'année 1¹⁰⁸. Certains assurés résilient leur contrat ie sortent de la base de données mais l'échantillon ne contient aucune entrée entre les années 1 et 4¹⁰⁹.

La table 34 doit être lue sous plusieurs angles. La lecture verticale permet de comparer pour une année donnée, la sinistralité des assurés par tranche d'âge. On dispose d'une information sur la moyenne (moment d'ordre 1) et la dispersion (moment d'ordre 2). On retrouve une fréquence de sinistre croissante avec l'âge. La différence d'âge moyen entre les tranches proposées permet de connaître la distance entre les tranches en termes d'âge. La valeur moyenne de l'âge dans une tranche permet d'estimer l'importance du taux de sortie en fonction de l'âge qui empêche une répartition uniforme des âges. Une lecture horizontale permet d'observer l'évolution des 3 classes proposées¹¹⁰ en 4 ans. La sinistralité semble assez stable dans le temps pour chaque tranche d'âge. Sauf pour les 70-80 ans dont on voit la sinistralité moyenne passer de 116 à 130¹¹¹ en 4 ans. Ceci semble indiquer une période de modification de la sinistralité assez localisée. La variation de l'âge moyen dans le temps devrait être égale à 1 d'une année à l'autre, puisqu'il n'y a pas de nouvelle entrée mais seulement des sorties possibles dans les sous-populations considérées, ceci traduit la répartition du taux de sortie en fonction de l'âge. Si l'âge moyen augmente de plus de 1 d'une année sur l'autre c'est que les plus jeunes de la tranche sortent davantage que les plus vieux. Dans le cas inverse, et c'est ce qui est observé ici, on interprète une variation d'âge moyen dans une tranche, d'une année sur l'autre, inférieure à 1, comme une sortie plus importante des clients les plus âgés. Pour la tranche des plus de 80 ans l'âge moyen augmente régulièrement de 0,85 an d'une année à l'autre, le taux de sortie des plus âgés est important. Pour la tranche médiane, le taux de sortie est presque homogène et l'âge moyen augmente de 0,97 an d'une année sur l'autre. Le taux de sortie est légèrement supérieur pour les plus âgés de la tranche. En revanche, on observe pour les plus jeunes un accroissement de l'âge moyen légèrement supérieur à 1, de l'ordre de 1,01 an d'une année sur l'autre. Ceci traduit un taux de sortie à peu près uniforme.

La dispersion de la population en termes de sinistralité est plus volatile. On propose une lecture à la fois horizontale et verticale de cette information afin de comparer l'évolution du paramètre de dispersion d'une année sur l'autre et d'une population à l'autre. Entre les années 1 et 2 la dispersion des plus jeunes diminue alors que celle de la tranche médiane augmente et celle des plus âgés stagne. *A contrario*, entre les années 2 et 3 la dispersion des plus jeunes augmente alors que celle des autres tranches diminue. Finalement entre les années 3 et 4, on observe une augmentation de la dispersion de chaque tranche d'âge, augmentation très marquée pour les plus jeunes, un peu moins pour la tranche médiane et très peu pour les plus vieux.

Ces données montrent une fluctuation importante et plutôt irrégulière de la sur-dispersion de la sinistralité. On notera que la dispersion des assurés les plus jeunes semble avoir beaucoup augmenté en 4 ans, celle de la tranche médiane a également augmenté, mais dans une moindre mesure. En revanche, la tranche des assurés les plus âgés, peut-être parce que la population vieillit et les hauts risques sortent^a, semble s'être resserrée en termes de sinistralité. Globalement on retrouve une fréquence de sinistre qui augmente sensiblement avec l'âge.

^a. La tranche des plus de 83 ans à l'année 4 a pour âge moyen 85,9 ans, c'est-à-dire que la plupart des assurés sont proches de la limite inférieure et plutôt entre 80 et 86 ans.

108. Et qui avaient déjà plus de 60 ans.

109. Limites temporelles de l'échantillon.

110. 60-70 ans en à l'année 1, 70-80 ans à l'année 1 et plus de 80 ans à l'année 1.

111. A comparer à l'indice de référence pour la fréquence de sinistre des 60-70 à l'année 1.

Peut-on vraiment espérer capter intégralement un tel écart en isolant une fraction de la population des plus âgés fortement à risque et telle que la population résiduelle ait la même sinistralité qu'à 60-70 ans? Prenons l'exemple des plus de 80 ans. Disons qu'on s'attend à observer 50% de la population qui soit semblable à celle de 60-70 ans ie une fréquence de sinistre à 100 environ, ce sont les "bons risques". La population des plus de 80 ans a une fréquence de sinistre moyenne de 137. On s'attend donc à isoler une population de plus de 80 ans affichant une fréquence de sinistres de 170, ce sont les "mauvais risques". Pire encore, si on s'attend à observer 80% de bons risques et 20% de mauvais risques expliqués par des pathologies physiques ou mentales non détectées. Alors, si 80% de la population a une sinistralité de 100 et la population globale, une sinistralité de 137, ceci signifie que la population des mauvais risques a une fréquence de sinistre de 273. Ces écarts de fréquence sont frappants et pointent la nécessité d'isoler ces mauvais risques s'ils existent.

Année	1			2			3			4		
Indicateur estimé	M	D	A	M	D	A	M	D	A	M	D	A
60-70 ans ^a	100	3,9%	64,1	100	3,4%	65,1	98	4,0%	66,1	100	6,4%	67,1
70-80 ans ^b	116	5,0%	74,2	120	5,4%	75,2	118	4,2%	76,1	130	5,5%	77,1
Plus de 80 ans ^{c d}	141	5,4%	83,3	134	5,5%	84,2	139	4,4%	85,0	139	4,8%	85,9

M : Fréquence de sinistres

D : Dispersion de la fréquence de sinistres où $Variance = M(1 + D)$. D permet de définir la sur-dispersion de l'échantillon. Pour une loi de Poisson D=0.

A : Age moyen des assurés

TABLE 34 – Elements d'évaluation de la sur-dispersion de la population par tranche d'âge année après année.

a. Tranche d'âge à laquelle l'assuré appartient à l'année 1.

b. Tranche d'âge à laquelle l'assuré appartient à l'année 1.

c. Tranche d'âge à laquelle l'assuré appartient à l'année 1.

d. On propose ici de regrouper les 80-90 ans et plus de 90 ans parce que le nombre d'observations pour les assurés de plus de 90 ans est trop faible pour estimer une fréquence de sinistre et une sur-dispersion. Par exemple, le nombre d'assurés suivis sur cette base de données qui ont plus de 93 ans à l'année 4 est 151.

5.2 Mélange de deux lois de poisson

5.2.1 Théorie

Une paramétrisation plus aisée à interpréter mais moins aisée à implémenter serait un découpage *a priori* de la population en deux groupes dont le remplissage dépend du temps. On suppose que δ_t est la part de la population dans le premier groupe, dit des bons conducteurs, et $1 - \delta_t$ celle dans le second groupe, dit des mauvais conducteurs. Alors la loi de comptage des sinistres annuels pour un assuré est $\mathcal{P}(\lambda_{1,t})$ avec une probabilité δ et $\mathcal{P}(\lambda_{2,t})$ avec une probabilité $1 - \delta$ où $\lambda_{1,t} < \lambda_{2,t}$.

Afin de rendre le modèle identifiable le plus aisément estimable, on propose de considérer que les paramètres des lois de Poisson sont invariants dans le temps ($\lambda_{1,t} = \lambda_1$ et $\lambda_{2,t} = \lambda_2$). On s'intéresse alors à la variation de δ_t . En suivant un groupe d'assurés sur une période de temps T (découpées en T années) on s'attend à ce que le nombre de "hauts risques" augmente, ce qui se traduit par une diminution de δ_t lorsque t augmente.

On note $\Delta_{i,t}$ la variable aléatoire dichotomique qui indique si l'assuré appartient au groupe 1 ($\Delta_{i,t} = 1$) ou 2 ($\Delta_{i,t} = 0$). Afin de rendre le modèle identifiable aisément, on définit une variable latente $Z_{i,t}$ qui permet de déterminer la valeur de $\Delta_{i,t}$. En première approximation on choisit $Z_{i,t} := X_{i,t}$ et on définit la règle suivante :

$$\begin{cases} \Delta_{i,t} = 0 & \text{si } X_{i,t} \geq S \\ \Delta_{i,t} = 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

Où S est le seuil de fréquence de sinistres à partir duquel on considère que l'assuré est un "mauvais risque". Cette modélisation que nous proposons librement (sans référence parce que nous n'avons trouvé aucune inspiration dans les modèles "two-poisson"[61]¹¹² utilisés pour la construction de

112. Dans ce modèle on définit la probabilité que l'individu i à la date t soit un mauvais risque sachant l'information $X_{i,t}$ sur sa sinistralité.

dictionnaires électroniques) suscite quelques remarques.

- (i) Le seuil ne dépend pas du temps. Un mauvais risque est défini indépendamment du temps par sa fréquence de sinistre.
- (ii) Un individu peut passer d'un groupe à l'autre d'une année sur l'autre, on peut donc seulement détecter une tendance moyenne. On espère néanmoins identifier une certaine persistance dans la sinistralité des "mauvais conducteurs".

En réponse à la dernière remarque, on propose une modélisation plus générale.

On crée une friction sur la sortie du groupe 2, ainsi on renforce l'opinion acquise sur le "mauvais" risque de l'assuré observé par le passé (si $S_2 = S_1$, alors on retrouve le cas précédent).

S_2 et S_1 sont choisis selon ce qui nous semble être une fréquence de sinistre "trop haute" (S_1) ou "très basse" (S_2).

$$\begin{cases} \Delta_{i,t=0} = 0 \text{ si } X_{i,t} \geq S_1 \\ \Delta_{i,t=0} = 1 \text{ sinon} \end{cases}$$

Puis

$$\begin{cases} \text{Si } \Delta_{i,t} = 0 \begin{cases} \Delta_{i,t+1} = 1 \text{ si } X_{i,t+1} \leq S_2 \\ \Delta_{i,t+1} = 0 \text{ sinon} \end{cases} \\ \text{Si } \Delta_{i,t} = 1 \begin{cases} \Delta_{i,t+1} = 0 \text{ si } X_{i,t} \geq S_1 \\ \Delta_{i,t+1} = 1 \text{ sinon} \end{cases} \end{cases}$$

Avec $S_2 < S_1$.

On propose d'estimer les paramètres par maximum de vraisemblance dans le cas $S_1 = S_2 = S$.

La vraisemblance d'une observation $X_{i,t}$ est :

$$L(X_{i,t}; S, \lambda_1, \lambda_2) = (e^{-\lambda_1} \frac{\lambda_1^{X_{i,t}}}{X_{i,t}!})^{1_{X_{i,t} < S}} (e^{-\lambda_2} \frac{\lambda_2^{X_{i,t}}}{X_{i,t}!})^{1_{X_{i,t} \geq S}}$$

Or $1_{X_{i,t} \geq S} = 1 - 1_{X_{i,t} < S}$

$$\text{D'où } L(X_{i,t}; S, \lambda_1, \lambda_2) = (e^{\lambda_2 - \lambda_1} (\frac{\lambda_1}{\lambda_2})^{X_{i,t}})^{1_{X_{i,t} < S}} (e^{-\lambda_2} \frac{\lambda_2^{X_{i,t}}}{X_{i,t}!}) \quad (1)$$

La log-vraisemblance du NT échantillon des $(X_{i,t})_{i \in [1;N]; t \in [1;T]}$ est :

$$\mathcal{L}(X; S, \lambda_1, \lambda_2) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T 1_{X_{i,t} < S} [(\lambda_2 - \lambda_1) + X_{i,t} (\log(\lambda_1) - \log(\lambda_2))] - \lambda_2 + X_{i,t} \log(\lambda_2) - \log(X_{i,t})$$

Ainsi les conditions du premier ordre du programme de maximisation de la vraisemblance avec les paramètres λ_1 et λ_2 sont :

$$\begin{cases} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_1} = 0 \\ \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \lambda_2} = 0 \end{cases}$$

d'où

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T 1_{X_{i,t} < S} (1 - \frac{X_{i,t}}{\lambda_2}) - 1 + \frac{X_{i,t}}{\lambda_2} = 0 \\ \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T 1_{X_{i,t} < S} (-1 + \frac{X_{i,t}}{\lambda_1}) = 0 \end{cases}$$

ie

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T 1_{X_{i,t} > S} (-1 + \frac{X_{i,t}}{\lambda_2}) = 0 \\ \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T 1_{X_{i,t} < S} (-1 + \frac{X_{i,t}}{\lambda_1}) = 0 \end{cases}$$

En supposant connue la valeur de S on obtient donc des estimateurs des paramètres des lois de

$$\text{Poisson sous-jacentes.} \quad \begin{cases} \hat{\lambda}_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T X_{i,t} 1_{X_{i,t} < S}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T 1_{X_{i,t} < S}} \\ \hat{\lambda}_2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T X_{i,t} 1_{X_{i,t} \geq S}}{\sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T 1_{X_{i,t} \geq S}} \end{cases}$$

On souhaite également obtenir le seuil S qui maximise la vraisemblance de l'échantillon. On ne peut pas dériver, par rapport à une variable, une indicatrice qui dépend de la variable. Mais ici la variable de sinistralité est discrète donc le seuil l'est également, ainsi l'idée de construire une dérivée n'a pas de sens. Sachant que le nombre de sinistres observés sur une année est limité on imagine que l'optimisation ne sera pas très compliquée, il s'agira d'évaluer les paramètres λ_1 et λ_2 pour, disons, une dizaine de valeur de S ($[0; 9]$) et de retenir la valeur optimale. On propose deux méthodes pour choisir S :

$$\mathbb{P}(\Delta_{i,t} = 1 | X_{i,t}) = \frac{q_t \mathbb{P}(X_{i,t} | \Delta_{i,t} = 1)}{q_t \mathbb{P}(X_{i,t} | \Delta_{i,t} = 1) + (1 - q_t) \mathbb{P}(X_{i,t} | \Delta_{i,t} = 0)}$$

$$\text{On utilise maintenant notre hypothèse } \mathbb{P}(X_{i,t} | \Delta_{i,t} = j) = e^{-\lambda_j} \frac{\lambda_j^{X_{i,t}}}{X_{i,t}!}$$

$$\mathbb{P}(\Delta_{i,t} = 1 | X_{i,t}) = \frac{q_t}{q_t + e^{\lambda_2 - \lambda_1} (\frac{\lambda_1}{\lambda_2})^{X_{i,t}} (1 - q_t)}$$

Après l'introduction de ces éléments on propose une définition des paramètres des lois de Poisson à partir des fréquences d'observation des mots recherchés afin de pouvoir identifier le modèle. Ici une telle spécification des paramètres n'est pas aussi aisée on abandonne donc cette piste.

- Soit on coupe l'échantillon en N individus permettant de calibrer S , puis on réalise notre étude temporelle sur les individus restants.
- Soit on utilise les observations à la date initiale pour calibrer le modèle. Cette méthode est plus naturelle puisqu'elle étalonne le modèle sur la situation de référence.

Une fois fixé S , on peut estimer par maximum de vraisemblance les quantités λ_1 et λ_2 et on peut mesurer et comparer la quantité de “bons conducteurs” et de “mauvais conducteurs”. Ceci nous permettra de vérifier si la fréquence de sinistres des mauvais conducteurs reste homogène dans le temps, c'est l'effet taille. En outre, si le nombre d'assurés présentant un “mauvais risque” varie, puisque les assurés restent les mêmes¹¹³ sur toute l'étude, on captera l'effet âge.

Puisque la population vieillit mécaniquement, mais qu'on veut évaluer la sensibilité à l'effet âge (on pense que le développement de pathologies ou autres causes de sursinistralité ici observées est lié à l'âge) on propose un découpage en plusieurs tranches.

En $t=1$ 60-70 ; 70-80 ; 80-90 et plus de 90 ans.

En $t=2$ 61-71 ; 71-81 ; 81-91 et plus de 91 ans.

En $t=3$ 62-72 ; 72-82-82-92 et plus de 92 ans.

En $t=4$ 63-73 ; 73-83 ; 83-93 et plus de 93 ans.

On s'attend à observer un accroissement temporel de l'hétérogénéité plus important pour les tranches d'âges supérieures.

5.3 Mise en pratique

On propose toujours d'utiliser une base de données fermée de contrats suivis sur 4 années (sortie possible mais pas d'entrée.).

Séparation par la fréquence de sinistre dans l'année

Seuil	2	3	4
LL_1	-13216	-12396	-14546
λ_1	100	109	109
λ_2	4700	6900	8900

LL_1 est la log-vraisemblance à une constante additive près, le terme $\log(X_i!)$ n'est pas calculé.

TABLE 35 – Calcul des pseudo log-vraisemblance pour quelques valeurs du seuil

La variable de discrimination utilisée ici est le nombre de sinistres que l'assuré a eu dans l'année. La visée est donc purement explicative mais pas prédictive.

Dans la table 35 on calcule la pseudo-log-vraisemblance associée au modèle deux-Poisson en année initiale pour quelques valeurs du seuil (nombre de sinistres dans l'année à partir duquel le conducteur est considéré comme un “mauvais risque”). La valeur utilisée des paramètres λ_1 et λ_2 pour calculer cette vraisemblance est l'estimateur proposé dans la partie théorique associée à cette modélisation. Notons que la fréquence est estimée à partir du nombre de sinistres dans l'année, c'est également le paramètre de discrimination. Si le seuil est choisi égal à 1 alors le premier groupe (bas risques) est composé des individus qui n'ont pas eu de sinistres cette année, une modélisation poissonnienne est alors inadaptée parce que la moyenne empirique vaut 0¹¹⁴. Nous proposons donc le calcul pour des valeurs du seuil entre 2 et 4 où 4 est le nombre maximum de sinistres observés dans l'année 1 sur cette base de données. Le seuil qui maximise la vraisemblance est donc 2. Notons que ceci est en accord avec le facteur de déclenchement d'envoi d'une lettre à l'assuré pour lui signaler une sinistralité inquiétante.

113. Hors bien sûr les individus qui décèdent, cessent de conduire ou changent d'assureur.

114. Loi dégénérée. La modélisation deviendrait alors davantage un “zero-inflated Poisson Model” qu'un modèle 2-Poisson.

Année	1	2	3	4
Taux de sortie ¹¹⁵	-	5%	9%	9%
Taux de bons risques	100	100	100	100
λ_1	100	100	100	102
λ_2	4560	4580	4620	4620

TABLE 36 – Estimation du modèle 2 Poisson année par année pour un seuil de nombre de sinistres dans l’année égal à 2

La table 36 montre que la population est assez stable dans le table à un horizon 4 ans. La fréquence de sinistre et la part de “bons risques” reste quasiment identique. On ne capte, ici, aucune augmentation de l’hétérogénéité de la population en termes de sinistralité. On remarque cependant un taux de sortie important, proche de 10% par an qui traduit la tendance à l’auto-régulation des conducteurs âgés puisque ce chiffre dépasse largement le taux de mortalité. Cette quantité cache peut-être des conducteurs dont la qualité de la conduite s’est dégradée et qui ont été amenés, par eux-mêmes ou par l’avis d’un proche, à renoncer à la conduite.

Séparation par le nombre d’années sans sinistre On propose maintenant d’étudier le même modèle 2-Poisson en utilisant comme variable de discrimination le nombre d’années passées depuis que l’assuré a eu un sinistre pour la dernière fois. On remonte jusqu’à x années pour compter le dernier sinistre.

La table 37 montre que la log-vraisemblance estimée sur la population des assurés à l’année 1 atteint un maximum lorsqu’on fixe le seuil à x-1 ans sans sinistre ie on distingue ceux qui ont eu un sinistre il y a x-1 ans ou moins (mauvais risques), des autres (bons risques).

Seuil, nombre d’années	1	3	5	8	9	10
LL_1	-8247	-8225	-8209	-8193	-8184	-8190
λ_1	100	96	91	89	87	87
λ_2	202	170	162	155	155	151

LL_1 est la log-vraisemblance à une constante additive près, le terme $\log(X_i!)$ n’est pas calculé.

TABLE 37 – Calcul des pseudo log-vraisemblance pour quelques valeurs du seuil, discrimination par rapport au nombre d’années passées depuis l’occurrence du dernier sinistre RC en tort de l’assuré

On propose dans la table 38 une estimation des paramètres du modèle 2-Poisson. On observe une diminution sensible du nombre de bons risques, environ 1% par an. Les fréquences de sinistre des bons ou mauvais risques restent à peu près stables ou du moins on n’observe aucune tendance régulière.

Année	1	2	3	4
Taux de bons risques	100	99	97	96
λ_1	100	98	95	102
λ_2	178	173	180	173

TABLE 38 – Estimation du modèle 2 Poisson année par année pour un seuil de sinistralité passée sur x ans égal à 1

Séparation par le nombre de sinistres passés En alternative à la méthode précédente, on propose maintenant d’utiliser la variable de sinistralité passée sur x ans pour séparer les bons risques des mauvais risques. Sur le plan méthodologique, on procède comme dans le paragraphe précédent. La table 39 montre que le seuil qui maximise la vraisemblance est 1. Ceci signifie que les “bons risques” sont ceux qui n’ont jamais eu de sinistre et les mauvais risques ceux qui en ont déjà eu. Ce découpage semble assez caricatural.

Seuil - nombre de sinistre	1	2	3	4	5	6
LL_1	-8190	-8224	-8262	-8284	-8292	-8321
λ_1	100	112	127	120	120	120
λ_2	173	229	293	415	317	1220

LL_1 est la log-vraisemblance à une constante additive près, le terme $\log(X_i!)$ n'est pas calculé.

TABLE 39 – Calcul des pseudo log-vraisemblance pour quelques valeurs du seuil, discrimination par rapport au nombre de sinistres RC en tort depuis x ans

On note que la variable est cyclique ie elle couvre année après année la même durée. En passant de l'année N à N+1 la variable remplace l'information sur la sinistralité de l'assuré en l'année N-10 par l'information sur la sinistralité de l'assuré en l'année N. Ceci permet de diagnostiquer une modification de la qualité de la conduite de l'assuré en x ans. Afin de s'assurer que cette variable soit bien cyclique on réalise notre étude sur le sous-échantillon des assurés qui étaient déjà clients d'AXA Belgium depuis x ans à l'année de début de l'étude. L'échantillon est presque divisé par 2. La table 40 présente l'estimation du modèle proposé pour un seuil égal à 1. Notons que le passage de bon à mauvais risque est immédiat si l'assuré a un sinistre dans l'année. Le passage de mauvais à bon risque a lieu uniquement si le dernier sinistre en tort de l'assuré remonte à x ans précisément. On observe sur la table 40 une diminution sensible et régulière du nombre de bons risques, celle-ci s'explique par l'inertie imposée par le découpage choisi selon la sinistralité passée depuis x ans. La diminution de la part des "bons risques" nous permet seulement de dire que le risque des conducteurs âgés se dégrade de façon sensible en x ans. Le paramètre λ_1 varie assez peu en 4 ans ceci montre une stabilité de la sinistralité des assurés qui n'ont pas eu de sinistres depuis plus de x ans. Le second paramètre λ_2 est également stable. L'âge de moyen des assurés n'augmente pas d'un an mais de 0,8 an d'année en année. Ceci indique un taux de sortie variable en fonction de l'âge, il semble que les assurés les plus âgés sortent davantage que les plus jeunes ce qui implique une diminution du vieillissement observé de la population.

La table 41 présente l'estimation du modèle proposé pour un seuil égal à 2. Ce modèle est plus "conservateur" pour les bons risques. Qualitativement, la caractérisation de "mauvais risque" est nettement plus consistante ici.

On note toujours une diminution de la part des bons risques qui souligne encore une augmentation importante de la fréquence de sinistres des conducteurs âgés en x ans. Les paramètres sont stables sur l'horizon 4 ans.

Année	1	2	3	4
Indice relatif de bons risques	100	99	97	96
λ_1	100	95	95	102
λ_2	173	171	180	171
Age moyen de l'assuré	71,8	72,6	73,4	74,2

TABLE 40 – Estimation du modèle 2 Poisson année par année pour un seuil de sinistralité passée sur x ans égal à 1

Année	1	2	3	4
Indice relatif de part des bons risques	100	100	99	99
λ_1	100	98	100	102
λ_2	211	211	217	209
Age moyen de l'assuré	71,8	72,6	73,4	74,2

TABLE 41 – Estimation du modèle 2 Poisson année par année pour un seuil de sinistralité passée sur x ans égal à 2

Ces premiers modèles simples ne permettent pas de mettre en exergue l'augmentation d'une hétérogénéité dans la population. L'augmentation de la part de mauvais risques est claire, mais nous ne distinguons pas d'aggravation de la sinistralité des mauvais risques. Le découpage de la population en catégories d'âge telles que nous l'avions proposé dans la partie théorique n'apporte pas davantage de réponse, les fréquences de sinistre sont stables dans le temps et la baisse de la part des bons risques est à peu près homogène, égale à 1%, pour les différentes tranches d'âge. Il semble que l'augmentation de la sinistralité avec l'âge des conducteurs âgés soit un effet global plutôt que spécifique à quelques assurés. Du moins, cette méthode n'a pas permis de capter une telle spécificité.

5.4 Loi binomiale négative

5.4.1 Théorie

Nous introduisons ici la loi binomiale négative afin de prendre en compte un facteur d'hétérogénéité. Les paragraphes suivants sont une sélection d'informations issues de l'article *wikipédia* sur la loi binomiale négative. Conformément à la théorie de la crédibilité bayésienne, on suppose que la fréquence de sinistre de l'assuré X_i suit une loi de Poisson de paramètre θ_i , ce paramètre est un indicateur du profil de risque de l'individu. On fait une hypothèse sur la répartition des risques en supposant que θ_i suit une loi Γ de paramètre r (dépend de l'échantillon dans son ensemble). Afin de capter une éventuelle augmentation de l'hétérogénéité de la sinistralité de l'échantillon on estime les paramètres indépendamment pour chaque date t : $X_{i,t}$ suit $\mathcal{P}(\theta_{i,t})$ où $\theta_{i,t}$ suit une loi $\Gamma(u_t, \lambda_t)$, les paramètres r_t et λ_t dépendent du temps uniquement.

On modélise pour chaque date la sinistralité de l'échantillon par cette loi mélange ie par une binomiale négative et on déduit r_t et λ_t des paramètres estimés. On étudie alors l'évolution de r_t et λ_t (en fait c'est celle de $\frac{r_t}{\lambda_t}$ qui nous intéresse puisque c'est la différence entre variance et espérance ie le terme de surdispersion) pour évaluer la modification temporelle de l'hétérogénéité de l'échantillon (augmentation du nombre de hauts risques).

On réalise en fait une étude de la distorsion de l'information sur les assurés avec l'âge, c'est une étude complémentaire de celle de la crédibilité puisqu'on évalue ici l'évolution, en termes d'hétérogénéité, de l'information à disposition sur les individus en fonction de l'âge.

5.5 Mise en pratique

Nous proposons dans cette partie pratique de mettre en place un modèle de régression GLM de loi Binomiale négative année par année. Dans ce modèle, on contrôle la fréquence de sinistre par l'âge ¹¹⁶ et la sinistralité passée de l'assuré ¹¹⁷. Nous souhaitons étudier le paramètre d'hétérogénéité θ de la loi binomiale négative année après année sur la base de données de panel utilisée dans toute cette partie.

Afin d'améliorer la lisibilité des coefficients, nous proposons d'utiliser la fonction de lien identité pour estimer le modèle de fréquence de sinistres RC en tort.

Les coefficients estimés des modèles GLM binomiales négatives sont tous significatifs au niveau 0,1%.

La table 42 permet de comparer les modèles de fréquence année par année. On remarque que la constante est à peu près stable ie la fréquence de sinistre des individus de 60-70 ans qui n'ont pas eu de sinistre depuis x ans est à peu près invariante. Le coefficient de sensibilité au passage

¹¹⁶. Ici le découpage choisi sera en 3 tranches : 60-70 ans, 70-80 ans et plus de 90 ans.

¹¹⁷. Nombre de sinistres RC en tort depuis x ans.

de 60-70 ans à 70-80 ans (noté $\text{coeff}_{1,t}$) augmente fortement, il double en l'espace de 4 ans, ie l'hétérogénéité entre les 60-70 ans et les 70-80 ans augmente. Le coefficient de sur sinistralité des plus de 80 ans vs les 60-70 (noté $\text{coeff}_{2,t}$) est à peu près stable. Le rapport $r_t = \frac{\text{coeff}_{2,t}}{\text{coeff}_{1,t}}$ des deux coefficients précédemment cité est intéressant. A la date début le ratio r_t vaut environ 2,5. Ceci ratio diminue fortement dans le temps et se rapproche de 1 à l'année 4. Ceci s'interprète comme un rapprochement de la sinistralité des 70-80 ans avec les plus de 80 ans, ces deux tranches restent sensiblement plus risquées (en fréquence) que la tranche, plus jeune, des assurés qui avaient 60-70 ans à l'année 1. Le coefficient de la variable qui indique le nombre de sinistres en responsabilité en tort de l'assuré depuis x ans est quasi invariant dans le temps ie la sensibilité de la fréquence de sinistres au profil de risque passé est invariante.

Le paramètre de sur-dispersion estimé est significatif (écart type estimé faible), cependant on observe une évolution temporelle surprenante.

Rappelons que θ est le paramètre qui se déduit, qui permet de calculer la surdispersion.

Si on note N la variable aléatoire du nombre de sinistres par an et $\mu = \mathbb{E}(N)$, alors $\mathbb{V} = \mu + \frac{\mu^2}{\theta}$.

Ici, on remarque qu'entre les années 1 et 2 θ augmente de 5,3% puis de 16,5% entre les années 2 et 3 avant de chuter de 31% entre les années 3 et 4 pour repasser 16% en dessous de la valeur en l'année 1.

Une valeur élevée de θ indique une faible sur-dispersion de la variable expliquée. Si θ est très grand (devant μ) alors la loi binomiale négative est équivalente à une loi de poisson ie la variance est proche de μ . Réciproquement si θ est très petit devant μ alors le modèle est équivalent à une loi Gamma ($\mathbb{V} = \frac{\mu^2}{\theta}$).

Ici θ_t varie sensiblement mais "saute" brutalement en l'espace d'un an, entre les années 3 et 4, ce qui est très surprenant et nuit fortement à la crédibilité de l'interprétation des résultats. Tout se passe comme si la population se resserrait entre les années 1 et 3 avant de se sur-disperser brutalement à l'année 4. On remarque le lien entre l'évolution du ratio r_t introduit précédemment et la valeur de θ_t . Entre les années 3 et 4 r_t baisse de 43%. On a vu précédemment que ceci s'interprète comme un rapprochement des tranches de population 70-80 ans et plus de 80 ans, puisque $\text{coeff}_{2,t}$ reste à peu près identique entre les années 3 et 4, on interprète ce changement par l'évolution de $\text{coeff}_{1,t}$ qui a augmenté de moitié. Ceci signifie un accroissement de l'hétérogénéité des tranches 60-70 ans et 70-80 ans en termes de sinistralité. Or ces deux tranches de population représentent la majorité des observations : 49% de 60-70 ans et 38% de 70-80 ans. Une augmentation brutale de l'hétérogénéité entre ces populations se traduit donc naturellement par une augmentation importante de la sur-dispersion de la variable de sinistralité dans l'échantillon total et donc une diminution du paramètre θ .

Le résultat observé ici, d'augmentation brutale de l'hétérogénéité de la population, reste local et observé sur une seule année alors que les années précédentes la population semblait se resserrer en termes de sinistralité. Cette méthodologie ne nous permet pas de savoir si quelques individus spécifiques s'écartent de la moyenne fortement ou si on observe une tendance à la sursinistralité pour l'ensemble des conducteurs d'un certain âge. Faute de capacité à discriminer les individus, on suppose que l'ensemble des conducteurs voient leur sinistralité augmenter avec l'âge.

Année	1	2	3	4
Coefficient 70-80 ans vs 60-70 ans*	0,0055	0,0064	0,0073	0,011
Coefficient plus de 80 ans vs 60-70 ans*	0,014	0,011	0,014	0,012
r_t	2,5	1,7	1,8	1,1
Nombre de sinistres en x ans	0,024	0,025	0,027	0,024
Paramètre de dispersion θ	1,32	1,39	1,62	1,11
Ecart type du paramètre de dispersion estimé	0,21	0,24	0,32	0,17

*La tranche d'âge est fixée à l'année 1 de sorte que la tranche 60-70 ans devient 61-71 ans à l'année 2, 62-72 ans à l'année 3 et 63-73 ans à l'année 4.

TABLE 42 – Coefficient des modèles de régression de loi binomiale négative, lien identité, année par année

5.6 Ajustement de la population “à risque”

La table 43 montre le taux de sortie année après année des assurés recoupés par tranche d'âge et distingué en termes de risque récent : 0, 1 ou plus de 2 sinistres en RC en tort dans l'année passée. Comme dans le tableau 34, on remarque ici que le tableau peut être lu verticalement pour comparer les populations à une date donnée, horizontalement pour observer l'évolution d'une population dans le temps et comparer les populations en termes de risque à une date donnée. Enfin, on lit dans les deux directions pour comparer les accroissements des populations année par année.

Nous proposons une lecture selon ces quatre modalités :

Verticale On observe des taux de sortie décroissant avec l'âge.

Horizontale temporelle Les taux de sortie des assurés non sinistrés l'année précédente sont stables. En revanche pour les assurés qui ont eu des sinistres le taux de sortie fluctue sensiblement. Diminution pour les plus jeunes mauvais risques. Augmentation pour les plus de 70 ans. Cette imprécision peut être attribuée à un manque de données sur ces sous-classes pour estimer le taux de sortie : par exemple à l'année 3 il y a 43 assurés de plus de 80 ans qui ont eu 2 sinistres dans l'année, à l'année 1 il y a 77 assurés de 60-70 ans qui ont eu 2 sinistres dans l'année. Le nombre d'assurés qui ont eu 1 sinistre dans l'année est de l'ordre du millier, ce qui est plus cohérent pour estimer un taux de sortie de l'ordre de 20%.

Horizontale entre risques En raison de la précision des estimations, on compare seulement le taux de sortie des assurés n'ayant pas eu de sinistre l'année passée à ceux qui en ont eu un seul. Pour 7 des neuf recoupements par tranche d'âge et année, on observe un taux de sortie inférieur d'au moins 1% pour la population sinistrée l'année passée. Les assurés qui font recours à leur assurance dans l'année (mauvais risque) sont moins susceptibles de sortie du portefeuille.

Croisée Le taux de sortie des assurés qui n'ont pas eu de sinistre dans l'année passée reste stable pour chaque tranche d'âge. En revanche le taux de sortie des assurés qui ont eu un sinistre dans l'année passée semble augmenter année après année. Pour les 70-80 ans on observe un passage de 14% à 16% puis 17%. Pour les plus de 80 ans le taux de sortie est successivement 11% puis 13% les deux années suivantes. Cette tendance croissante du taux de sortie des mauvais risques tend à ré-équilibrer le taux de sortie des bons et des mauvais risques. Une explication possible est que la confrontation du désir des gestionnaires de sinistres et courtiers de supprimer ces “mauvais conducteurs” s'oppose à la préférence du client de continuer d'être couvert lorsqu'il profite de son assurance à cause de son risque élevé.

Année	Sortie entre les années 1 et 2			Sortie entre les années 2 et 3			Sortie entre les années 3 et 4		
Indicateur estimé	B	R	M	B	R	M	B	R	M
60-70 ans ^a	18%	17%	18%	18%	17%	15%	19%	17%	15%
70-80 ans ^b	15%	14%	15%	16%	16%	20%	16%	17%	21%
Plus de 80 ans ^{c d}	15%	11%	17%	14%	13%	11%	14%	13%	23%

B "Bon risque" : pas de sinistre l'année passée

R "Risque faible et récent" : 1 sinistre l'année passée

M "Mauvais risque" : 2 sinistres ou plus l'année passée

TABLE 43 – Elements d'évaluation du taux de sortie par risque et par tranche d'âge des assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans.

a. Tranche d'âge à laquelle l'assuré appartient à l'année 1.

b. Tranche d'âge à laquelle l'assuré appartient à l'année 1.

c. Tranche d'âge à laquelle l'assuré appartient à l'année 1.

d. On propose ici de regrouper les 80-90 ans et plus de 90 ans parce que le nombre d'observations pour les assurés de plus de 90 ans est trop faible pour estimer une fréquence de sinistre et une sur-dispersion. Par exemple, le nombre d'assurés suivis sur cette base de données qui ont plus de 93 ans à l'année 4 est 151.

5.7 Bilan sur la mesure de l'hétérogénéité

Dans cette sous-partie nous avons mis en place des méthodes visant à détecter une scission de la population en un groupe de sinistralité élevée et un groupe stable dans le temps, dont la sinistralité semble ne pas se dégrader dans le temps. Nous ne sommes pas parvenus à isoler clairement une telle tendance. Notons en particulier qu'on peut imputer cela à une limitation dans la profondeur des données disponibles, 4 années seulement. Cependant, nous pensons qu'elle existe, nous proposons d'approfondir cette piste en étudiant l'effet de l'envoi d'un signal à des assurés qui semblent avoir révélé une sur-sinistralité importante. A travers ce travail nous supposons l'existence d'une sous-population "à risque" et nous souhaitons savoir si les dispositifs mis en place jusqu'à présent par AXA Belgium permettent de réduire ce risque.

5.8 Etude temporelle avec "choc" : impact de l'envoi d'un signal aux assurés "mauvais risques"

On compte dans la base de données à disposition 200 envois de "signaux" aux assurés. Il s'agit de "signaux" assez complexes parce qu'ils ne consistent pas en un simple envoi d'information à l'assuré. Il s'agit du passage, d'un examen médical ou test psychotechnique. Le résultat amènera aussi l'assureur à prendre une décision concernant l'assuré. On peut même penser que l'assuré s'attend à être évalué par l'assureur aux vues des résultats à cet examen, ainsi une absence de sanction de la part de l'assureur pourrait être perçue, à tort, comme une validation de l'aptitude de l'assuré à la conduite alors que la situation est tangente et que la décision revient à l'assuré de réguler sa conduite dans ces circonstances. Les raisons amenant à cet examen sont diverses. Parfois elles sont encouragées par une sinistralité récente de l'assuré "alarmante". Un élément quantitatif objectif est souvent préférable parce qu'il permet de construire une population de référence afin de mesurer l'effet du signal sur les assurés. Néanmoins, les signaux sont parfois envoyés sans raison explicite. Par exemple, on compte environ 80 cas d'envoi de lettre où l'assuré n'a pas eu de sinistre RC en tort depuis plus de 2 ans. L'envoi d'un signal peut se faire à la demande du courtier, parce que l'assuré a plus de 75 ans, parce que l'assuré change de véhicule, parce que l'assuré a déclaré un changement de situation médical : diabète, perte d'usage d'une main, d'un pied, éléments de perte de capacités visuelles (glaucome), etc. Dans certains cas, aucune raison n'est renseignée. Etant donné le nombre réduit d'observations, nous proposons de considérer que la décision des courtiers/gestionnaires de sinistres, de faire passer un examen médical à l'assuré est toujours cohérent. Nous proposons donc d'étudier l'évolution de la sinistralité des assurés après réception du "signal". Notons que le recul n'est pas le même pour tous les assurés. On compte 90 signaux à l'année 1, 60 à l'année 2, 67 à l'année 3 et 8 à l'année 4. Pour la plupart des assurés, le recul après émission du signal est d'au moins un an. Nous ne pourrions cependant pas distinguer l'effet de l'envoi du signal 1, 3 ou 5 années plus tard, faute d'un nombre suffisant d'observations.

Le processus d'occurrence de sinistre étant supposé poissonien ie sans mémoire, l'occurrence d'un sinistre n'influence pas (ou peu) la probabilité d'occurrence un sinistre à l'avenir. Bien sûr

notre étude est motivée par l'idée que ceci est “un peu” faux et que l'identification d'assurés “à risque” nous permettra de deviner un risque de sinistre à venir plus élevé. Néanmoins, on s'attend à observer une “baisse mécanique” de la sinistralité observée des assurés après l'envoi d'un signal parce que l'envoi d'un signal est souvent justifié par une fréquence de sinistres récents élevée. La population de référence doit avoir la même sinistralité *a priori* que la population à qui un signal a été envoyé, dite population cible. Si possible nous aimerions que la population de référence et la population cible soient sélectionnées sur une base semblable afin que l'ajustement de la population de référence après vérification du critère de sélection traduise directement la “baisse mécanique” mentionnée plus haut.

Afin de construire une population de référence on calibre les éléments de mesure de la sinistralité de sorte à obtenir une sinistralité *a priori* égale à celle de la population cible. Pour être cohérent avec la population cible on retient uniquement des assurés de plus de 75 ans. Afin de s'assurer un recul suffisant on sélectionne des individus vérifiant le “critère quantitatif” en l'année 1 ou 2. La fréquence de sinistre de la population cible avant envoi de la lettre est 261¹¹⁸ sinistre par an et par assuré. La table 44 indique des éléments de calibration de la sinistralité des assurés. En particulier on remarque nous ne parvenons pas à atteindre une sinistralité *a priori* suffisante si nous ne considérons pas des individus ayant eu un sinistre l'année précédente et un sinistre au cours de l'année d'observation. Nous retenons les critères les plus exigeants ie les individus qui ont eu plus de 3 sinistres RC en tort en 10 ans dont un il y a moins d'un an et qui viennent d'avoir un sinistre.

Date de dernier sinistre RC en tort (vertical) et nombre de sinistres RC tort en 10 ans (horizontal)	Plus d'un sinistre en 10 ans		Plus de 2 sinistres en 10 ans		Plus de 3 sinistres en 10 ans	
Sinistre observé récemment ^a	0	1	0	1	0	1
Précédent sinistre il y a moins de 3 ans	100	178	96	191	113	213
Précédent sinistre il y a moins de 2 ans	102	191	98	204	113	224
Précédent sinistre il y a moins d'un an	122	224	115	237	135	257

TABLE 44 – Calibrage des critères objectifs de sélection de la population de référence en fonction de sa fréquence de sinistre *a priori*

^a. Sous-entendu dans l'image. Si la valeur est 1, ceci équivaut à considérer un individu semblable à ceux qui ont dû passer un examen médical à la suite d'un sinistre.

La table 45 montre une fréquence de sinistres pour la population de référence inférieure à celle de la population cible avant “signal”, ou précisément absence de signal alors qu'on aurait pu en attendre un. A l'inverse la fréquence de sinistre de la population de référence est supérieure à celle de la population cible après “signal”. Ceci semble indiquer un ajustement sensible des individus ciblés suite à la réception du signal comparativement à la population de référence dont la baisse de fréquence de sinistre est uniquement imputable à une “baisse mécanique” de la fréquence de sinistre associée au caractère pseudo-poissonien de la fréquence de sinistre ie avec une presque-absence de mémoire.

La population de référence proposée n'est pas parfaitement correcte parce que la population cible n'est pas construite de façon suffisamment rigoureuse pour être “répliquée”. Ceci dit, on observe un ajustement important de la population cible après réception d'un signal, leur sinistralité baisse de 5% plus que la “baisse mécanique” attendue. Notons que ceci n'est pas simplement dû à l'autorégulation des assurés mais également à des suspensions ou à des résiliations de certains contrats.

¹¹⁸. Cet indice renvoi au tableau 44.

Population	Cible		Référence	
Nombre de sinistres/d’années-risque avant signal	100 S	100AR	133 S	136 AR
Fréquence de sinistre avant signal	100		98	
Nombre de sinistre/d’années-risque après signal	35 S	161 AR	22 S	88 AR
Fréquence de sinistre après signal	21		26	
Baisse de fréquence relative avant/après	78%		74%*	

S : sinistres
AR : années-risque
* : “baisse mécanique”

TABLE 45 – Comparaison de l’ajustement de la fréquence de sinistre de la population cible et de la population de référence

Nous souhaitons tester l’hypothèse selon laquelle les femmes reconnaissent mieux leurs torts que les hommes et devraient donc mieux s’ajuster suite à un signal sur le sinistralité. On conserve les mêmes critères pour isoler une population de référence. On propose simplement de scinder la population cible et la population de référence en deux pour distinguer les hommes et les femmes. La table 46 montre les résultats de cette analyse. L’interprétation est délicate. *A priori* les femmes de la population de référence ont une sinistralité plus faible que la population cible des femmes. A l’inverse, les hommes de la population de référence semblent plus “à risque” que les hommes de la population cible. Les femmes des deux groupes ont une fréquence de sinistre plus élevée que celle des hommes. Les femmes de la population de référence affichent une “baisse mécanique” de la fréquence de sinistre après vérification du critère de sélection qui est assez faible relativement à celui des hommes. Sans apport d’information objective, les femmes “à risque” ont un risque de sinistre supérieur à celui des hommes “à risque” c’est-à-dire que le comportement est apparemment plus risqué. Suite à l’envoi du signal, les femmes de la population cible ajustent leur sinistralité 11% au delà de la “baisse mécanique”. Cet ajustement est très important comparé à celui des hommes qui vaut 3%. Cependant cet ajustement n’est pas suffisant pour atteindre la fréquence des hommes après signal.

Testons la significativité de l’effet d’un signal sur les femmes. Pour cela on propose de comparer des modèles poissonniens. On suppose que la population de référence et cible ont le même risque supplémentaire et que la population de référence n’évolue pas. Donc, la population de référence donne le bon estimateur l’année suivante. Donc pratiquement p (en considérant la vraie fréquence pour la population cible des femmes). On regarde ensuite la probabilité d’avoir avec une Poisson de paramètre p , une réalisation de fréquence moyenne p' avec k années risque. Soit $(X_i)_{i \in 1 \dots k}$ variables aléatoires iid de loi de Poisson de paramètre p et de moyenne empirique p' . Par stabilité de la loi de Poisson par la somme, $Y = \sum_{i=1}^k X_i$ suit une loi de Poisson de paramètre $\lambda = p * k$. La probabilité que Y vaille $n = [p' * k]$ ¹¹⁹ est $\mathbb{P}(Y = n) = e^{-\lambda} \frac{\lambda^n}{n!} = 0,009$. A titre indicatif, $\mathbb{P}(Y = [\lambda]) = 0,052$. Ce second événement est donc 5,7 fois plus vraisemblable. Autre approche plus classique, calculons $\mathcal{I} = [\lambda - f; \lambda + f]$ l’intervalle de confiance associé à un test d’égalité avec alternative unilatérale de niveau 95%.

Hypothèse nulle : égalité

Hypothèse alternative : Y suit une loi de poisson de paramètre inférieur à p .

$\mathbb{P}(Y \in \mathcal{I}) = 0,95$, $\mathcal{I} = [s; +\infty]$

On obtient $s=46$.

On rejette donc l’hypothèse d’égalité au niveau 95%. La p -value associé à n est en fait 3%.

Ceci nous amène à valider au seuil 95%, pour une centaine d’observations on ne peut pas être trop exigeant, l’hypothèse d’un effet positif des mesures de diminution des risques des mauvais

¹¹⁹. [...] signifie partie entière inférieure.

conducteurs.

Sur cet échantillon limité de données, on constate que les femmes s'ajustent, en apparence, bien mieux suite à un signal de sinistralité, que les hommes. Ceci est imputable à la relative rigidité de la sinistralité des femmes en absence de signal. La "baisse mécanique" de sinistralité est bien moindre que celle des hommes (69% contre 77%). Finalement on retiendra que l'envoi d'un signal est bien plus rentable auprès des femmes que des hommes.

Population	Cible femme		Référence femme		Cible homme		Référence homme	
Nombre de sinistres/d'années-risque avant signal	100 S	100 AR	108 S	114 AR	169 S	190 AR	251 S	277 AR
Fréquence de sinistre avant signal	100		95		88		91	
Nombre de sinistre/d'années-risque après signal	38 S	166 AR	23 S	78 AR	57 S	301 AR	34 S	164 AR
Fréquence de sinistre après signal	22		29		18		21	
Baisse de fréquence relative avant/après	77%		69%*		79%		77%*	

S : sinistres

AR : années-risque

* : "baisse mécanique"

TABLE 46 – Comparaison par genre de l'ajustement de la fréquence de sinistre de la population cible et de la population de référence

5.9 Extrapolation aux nombres de blessés imputables aux conducteurs âgés

Dans cette partie, nous proposons de traduire les fréquences de sinistre des conducteurs en nombre de blessés ou en nombre de morts. Ceci nous permettra d'évaluer grossièrement l'impact prévu d'une correction de la sinistralité des conducteurs âgés sur le nombre d'accidents graves en Belgique.

Nous disposons, grâce aux données du site statbel.fgov.be, site des statistiques économiques belges, d'informations¹²⁰ sur le nombre d'accidents légers¹²¹, graves¹²² ou mortels à horizon 30 jours en Belgique sur la voie publique. Sur 4 années, la période d'intérêt de notre étude, en Belgique, la police a comptabilisé 3186 accidents mortels à 30 jours, 21151 accidents associés à une hospitalisation, 161517 accidents associés à des dommages corporels sans hospitalisation. Soit un total de 185854 accidents impliquant un dommage corporel. Ces données présentent des biais. Les

120. Qualité des chiffres : "Les données des tués sont les données les plus fiables et les plus stables. La probabilité qu'un accident fasse l'objet de l'intervention de la police ou des parquets y est en effet la plus grande. Les données des blessés légers sont très probablement sous-estimées, notamment pour les usagers faibles (piétons, cyclistes). Sur base d'études belges et internationales, le taux d'enregistrement par la police est en effet évalué à 90% pour les accidents mortels (les données des parquets nous permettent cependant d'améliorer les résultats). Il se situe aux alentours de 50% pour les victimes hospitalisées et est de moins de 20% pour les personnes très légèrement blessées (non hospitalisées). Depuis 2002, la DGSIE effectue une calibration (estimation statistique de données manquantes au niveau de chaque zone de police) à chaque mise à jour pour les accidents non mortels, ce qui explique une moindre stabilité des statistiques des blessés entre deux mises à jour successives et des problèmes d'arrondis. La publication la plus récente fait toujours foi." (site statbel.fgov.be)

121. Avec dommage corporel, sans hospitalisation.

122. Avec dommage corporel associé à une hospitalisation.

accidents sur terrain privé ne sont pas inclus. De plus, le site duquel nous tirons ces données considère que les chiffres sont sous-estimés, en effet, seulement 90% des accidents mortels (resp. 50% des accidents avec hospitalisation, 20% des accidents avec dommage corporel sans hospitalisation) seraient déclarés. Notons également que nous disposons d'un "nombre d'accidents" et non d'un "nombre d'individus" blessés, ceci est également une source de sous-estimation.

Nous disposons également d'informations sur le parc automobile belge. En 4 ans le parc automobile a augmenté d'environ 4,8%. En moyenne le nombre de voitures particulières sur ces 4 années est environ 5,3 millions. Nous proposons d'utiliser cette donnée pour estimer le nombre moyen d'accidents mortels, graves ou légers pour 10 000 conducteurs. On obtient en moyenne pour 10 000 conducteurs, 6 accidents mortels, 40 accidents graves et 305 accidents légers. Il nous est impossible de connaître l'âge de l'individu responsable de l'accident comptabilisé. Nous ferons ici l'hypothèse, un peu abusive puisque l'enjeu de ce papier a été de la démentir, que le nombre d'accidents ne dépend pas de l'âge du conducteur responsable.

En utilisant les informations dont nous disposons sur le portefeuille d'Axa Belgium (proportion d'années risque par tranche d'âge et répartition des sinistres matériels vs. corporels)¹²³, nous avons obtenu une estimation de l'impact d'une politique "conducteurs âgés".

Si on parvenait à baisser la sinistralité des 70-90 ans au niveau de celle des 60-70 ans ie une fréquence de sinistres de 5%, ceci reviendrait à supprimer, en moyenne, 24 morts, 160 hospitalisations et 4868 dommages corporels légers imputables aux conducteurs de 70 à 90 ans, chaque année en Belgique.

123. Information que nous ne pouvons pas publier par soucis de confidentialité.

6 Conclusion et ouverture

Nous proposons de conclure ce travail par un résumé des principaux faits démontrés grâce à notre étude concernant la sinistralité des conducteurs âgés.

Une sinistralité en forte hausse. *On constate une augmentation importante de la fréquence de sinistre pour les conducteurs de plus de 70 ans et qui s'accélère à 80 ans et ceci même si les personnes âgées conduisent moins. Pour les octogénaires, la fréquence annuelle de sinistre est ainsi supérieure de 41% à celle de la population de référence (60-70 ans) en tenant compte des variables de contrôle.*

Cette première conclusion ne s'impose pas dans la littérature, partagée sur le sujet (en faveur de la conclusion [46], contre [15]). En particulier, on remarque que la littérature s'intéresse essentiellement aux risques de dommages graves voire mortels mais ne mesure pas l'impact du vieillissement sur la grande majorité des accidents de la route qui impliquent seulement des dommages matériels. En revanche, les résultats présentés dans la table 47 permettent de trancher sur ce sujet.

Classe d'âge	Ecart de fréquence de sinistres en tort ^a	Ecart de fréquence de sinistres en droit RDR ^b	Taux de responsabilité ^c	Accident à courte vs longue distance du domicile ^d
Référence (60-70 ans)	1	1	48%	1
70-80 ans	+18%	-23%	56%	+24%
80-90 ans	+41%	-34%	65%	+48% ^e
Plus de 90 ans	+63%	-72%	73%	/

TABLE 47 – Tableau de synthèse

a. Table 15, page 63.

b. Table 19, page 66.

c. Table 27, page 73, calculs pour un conducteur "standard".

d. Table 28, page 74

e. Pour l'ensemble des plus de 80 ans

Une exposition de plus en plus limitée *On constate une forte diminution de la fréquence de sinistres en droit avec l'âge qui s'explique, en partie, par une diminution concomitante de la conduite. La fréquence de sinistres en droit des 80-90 ans est 34% inférieure à celle de la population de référence. Cet élément est renforcé par une diminution de l'éloignement au domicile : les plus de 80 ans ont 48% plus de chance d'avoir un sinistre à courte distance de leur domicile qu'à longue distance, que les 60-70 ans. (La table 47 synthétise ces chiffres.)*

Ceci est en accord avec les éléments rencontrés dans la littérature :

- une conduite plus rare et défensive explique la baisse de fréquence de sinistres en droit [45] [71],
- les personnes âgées conduisent moins [18].

Des sinistres de plus en plus responsables. *Les personnes âgées ont de plus en plus de sinistres en tort, jusqu'à représenter les $\frac{3}{4}$ des sinistres des plus de 90 ans au lieu de 50% pour la catégorie de référence (chiffres précis dans la table 47). Ceci est probablement dû à l'augmentation de la proportion des sinistres sur le flanc droit, qui passe de 28% pour les 60-70 ans à 36% pour les plus de 80 ans, (table 19, page 59) la cause est vraisemblablement un refus de priorité [11].*

Ces éléments s'imposent dans la littérature ([10], [15], [25], [12]) pour divers motifs : pertes d'acuité sensorielle et motrice, consommations de psychotrope, diminution des réflexes. En outre, une méconnaissance du Code de la route peut être soupçonnée : ainsi, il pourrait être intéressant de tester la connaissance du Code de la route par les assurés. Cette idée est encouragée par les résultats très positifs d'une étude réalisée en Angleterre qui compare différents tests de détection de la sinistralité [30].

Une augmentation de la gravité des sinistres mais moins nette que pour la fréquence. *Malgré l'inefficacité des modèles économétriques employés, pour les 65-85 ans, on observe*

graphiquement une augmentation sensible du coût moyen des sinistres en tort. Cependant, le coût pour les 60-65 est bien supérieur à celui des conducteurs de 65-70 ans. On devine un effet associé au passage à la retraite.

La littérature indique une sensibilité importante à l'âge de l'occurrence de sinistres graves, particulièrement coûteux [15] [26].

Dégradation générale de la sinistralité et non une concentration sur quelques individus.

Diverses méthodes ont permis de montrer que l'effet individuel d'augmentation du risque ne prédomine pas sur une tendance collective à l'augmentation de la fréquence d'accidents avec l'âge.

Dans la littérature, on rencontre souvent des propositions de diagnostics coûteux et ciblés pour les déficits sensoriels, moteurs ou cognitifs ([5], [4], [65], etc.). Les résultats que nous avons obtenus incitent davantage à mettre en place des tests peu coûteux et généralisés à l'ensemble des conducteurs âgés visant à anticiper la possible dégradation de leur conduite. Pour cela, des articles proposent des tests simples, peu coûteux et efficaces : de simples labyrinthes pour tester les capacités de réflexion [67] ou encore une évaluation de la connaissance du Code de la route [30].

Les mesures de prévention sont particulièrement efficaces chez les femmes. Malgré le résultat précédent, un traitement spécifique des “mauvais” conducteurs, dont la proportion augmente avec l'âge, est nécessaire. En effet, on a montré (table 6, page 52 et table 7, page 53) que le coût moyen de sinistres des conducteurs à risque¹²⁴ augmente sensiblement. Les résultats des dispositifs actuellement mis en place par AXA Belgium sont très encourageants, l'effet est plus notable chez les femmes que chez les hommes.

La littérature est en accord avec ce dernier résultat : les conducteurs ayant pris conscience de leurs risques régulent leur conduite [6]. De plus, les femmes ont tendance à réguler davantage que les hommes leur prise de risque lorsqu'elles prennent conscience de leurs limites [17].

Afin d'approfondir les recherches que nous avons présentées dans ce rapport, en particulier le dernier résultat cité, nous recommandons la mise en place de nouvelles mesures d'anticipation et de correction de la sinistralité des conducteurs. Une amélioration de l'objectivation des critères de sélection des individus à risque est souhaitable, on pourrait par exemple s'intéresser aux assurés qui ont eu 2-3 sinistres en tort en peu de temps ou des sinistres particulièrement graves ou coûteux. On pourrait également se pencher sur les assurés qui ont des sinistres spécifiques : refus de priorité à droite par exemple.

Une fois les critères de discrimination bien établis, nous proposons plusieurs traitements qui seront ensuite à comparer. Sur une petite part de la population, ne rien envoyer, ces individus constitueront la population de référence “sans traitement” qui permettra de capter la régulation intrinsèque et autonome de la sinistralité. Construire ensuite plusieurs traitements. Actuellement le seul traitement proposé passe par l'envoi d'une lettre d'information et le financement d'une visite médicale. On peut envisager des traitements moins coûteux sous forme de questionnaires à choix multiples envoyés par mail ou courrier qui pourraient reprendre les points suivants.

Auto-analyse L'assuré fait le point sur les causes de ses derniers sinistres en tort, comment les éviter ? Que s'est-il passé ? Quel est son tort ? Etait-il vraiment en tort ? Il s'agit d'un point important que nous avons mentionné dans notre travail et que nous pourrions ainsi contrôler : les conducteurs âgés sont susceptibles de réaliser des constats à l'amiable et de se déclarer “en tort” de façon injustifiée.

Evaluation des éléments rencontrés dans la bibliographie Consommation de psychotropes, fréquence de conduite, distance parcourue, nombre de sortie de la ville, de la région, du pays par mois, prêt du véhicule, difficulté de conduite : vue, ouïe, insertion, gestion des dangers...

Connaissance du Code de la route L'objectif est d'évaluer la bonne connaissance du Code de la route : insertion sur un rond point, priorité à droite, cédez-le-passage... Avec un questionnaire par mail on peut proposer des images, des vidéos de mise en situation.

Ces éléments de sondage permettront de choisir de nouveaux éléments de segmentation des risques plus efficaces et moins coûteux avec une vraie possibilité de comparaison grâce à des critères de choix bien définis et une population de référence. L'intérêt sera également d'aller plus loin dans l'évaluation des thèses rencontrées dans la littérature.

124. Plus de 2 sinistres RC en tort en 10 ans ou précédent sinistre datant de moins de 2 ans.

Table des figures

1	Pyramides des âges indicatrices du “papy boom” à venir	16
2	Evolution de la mortalité liée aux accidents de voiture par tranche d’âge, USA 1994-2011 (Source de données NHTSA)	17
3	Evolution de l’espérance de vie résiduelle à 65 ou 80 ans entre 1970 et 2008//Source : OCDE France 2009	18
4	Valeurs des <i>Impact Factors</i> de Thomson Reuters de 2013 pour les principaux journaux de sciences sociales recensés	20
5	Evolution du nombre de blessés par accident de la route en France entre 1960 et 2011 Source : www.ecosante.fr , Données : Observatoire national interministériel de sécurité routière (Onisr)	22
6	Répartition des déficits physiques ou sensoriels parmi les catégories d’âge aux USA dans les années 80, les catégories sont cumulables. Source des données : <i>National Health Interview Surveys</i> , 1983-1985.	26
7	Source : INSERM article sur le glaucome	27
8	Source : AAFP (association des médecins généralistes de famille américains) article sur la détection et le traitement des pertes de capacités auditives (Differential Diagnosis and Treatment of Hearing Loss).	27
9	Source : PCSD (partenariat pour un Canada sans drogue) article sur la drogue au volant	28
10	Nombre de déplacements par jour et par individu en fonction de leur catégorie d’âge Sources : Inrets, enquêtes ménages-déplacements 1976, 1987 et 1998.	29
11	Illustration simple du processus de réaction à un signal	31
12	Illustration de l’alternative entre prévention et régulation.	32
13	Tests ophtalmologiques standards, illustration de la perte d’acuité visuelle avec l’âge	34
14	Illustration simple d’un processus de test des capacités cognitives	35
15	Exemple de simulateur de conduite pouvant aider à évaluer la qualité de la conduite : Dacota3D	37
16	Augmentation des troubles musculo-squelettique en France dans les dernières années Source : CNAM-TS, DARES 2012.	40
17	Répartition de l’âge des véhicules des assurés par tranche d’âge	49
18	Situation de risque de collision lors d’un virage à gauche après un stop	58
19	Répartition des dommages par âge de l’assuré en cas de sinistre RC en tort, variable d’intérêt partiellement renseignée.	59
20	Répartition des fréquences de sinistre en tort par tranche d’âge de l’assuré. A gauche, les contributions par tranche de coût. A droite, les fréquences absolues.	64
21	Répartition des fréquences de sinistre en droit par tranche d’âge de l’assuré. A gauche, les contributions des sinistres RDR vs non RDR. A droite, les fréquences absolues.	67
22	Arbre de répartition des assurés par nombre de sinistres par jour, par genre et par tranche d’âge	69
23	Répartition des sinistres par distance au lieu de résidence de l’assuré pour différentes tranches d’âge	74
24	Répartition des log-coûts de sinistres RC en tort par tranches d’âges de l’assuré	75
25	Répartition du coût moyen des sinistres en tort (responsabilité 100%) en dessous de 10 000€	76
26	Coût moyen/médian des sinistres en tort sur la tranche 500€-20 000€, par tranche d’âge, avec courbe de prédiction et intervalle de confiance 95%	77
27	Coût moyen/médian des sinistres en droit sur la tranche 200€-20 000€ avec courbe de prédiction et intervalle de confiance 95% pour des tranches d’âge 1, 3 ou 5 ans.	83

Liste des tableaux

1	Tableau de synthèse	7
2	Tynthesis table	10
3	Eléments quantitatifs d’évaluation du lien entre l’âge de l’assuré et sa sinistralité : fréquence, coût, responsabilité	47
4	Elements quantitatifs d’évaluation du lien entre la variable d’âge du véhicule et la sinistralité des conducteurs ainsi que leur âge	48

5	Elements quantitatifs d'évaluation de la sensibilité de la sinistralité des conducteurs variables croisées d'âge du véhicule et d'âge de l'assuré	50
6	Eléments quantitatifs d'évaluation du lien entre la variable de temps depuis le dernier sinistre de l'assuré et sa sinistralité actuelle ainsi que son âge	52
7	Eléments quantitatifs d'évaluation du lien entre la variable de nombre de sinistres en x ans de l'assuré et sa sinistralité actuelle ainsi que son âge	53
8	Elements quantitatifs d'évaluation du lien entre la limitation de circulation et la sinistralité des conducteurs ainsi que leur âge	54
9	Eléments quantitatifs d'évaluation du lien entre la classe sociale estimée de l'assuré, sa sinistralité et son âge	55
10	Eléments quantitatifs d'évaluation du lien entre le niveau d'urbanisation (rural-urbain) du lieu de vie de l'assuré, sa sinistralité et son âge	55
11	Eléments quantitatifs d'évaluation du lien entre la variable de genre de l'assuré et la sinistralité des conducteurs ainsi que leur âge	56
12	Eléments quantitatifs de lien entre l'heure du sinistre, l'âge de l'assuré et sa sinistralité	57
13	Eléments quantitatifs de lien entre l'âge de l'assuré et la localisation des dommages à son véhicule ou à celui du tiers en cas de sinistre RC en tort.	58
14	Fréquence de sinistres en responsabilité civile en tort des assurés de plus de 60 ans d'AXA Belgium. Modèle de Poisson, lien logarithmique (base de données partielle de 50 000 contrats).	61
15	Modèle de Poisson final de fréquence de sinistres en tort	63
16	Modèle de Poisson lien logarithmique dit "modèle de contrôle"	64
17	Paramètres d'effet de l'âge sur la fréquence de sinistre en fonction du coût du sinistre, modèle de contrôle global	65
18	Fréquence de sinistres en responsabilité civile en droit type RDR des assurés de plus de 60 ans d'AXA Belgium (base de données partielle de 50 000 contrats)	65
19	Modèle final de fréquence de sinistres en droit type RDR (modèle de Poisson, lien logarithmique)	66
20	Fréquence de sinistres en responsabilité civile en droit type non RDR des assurés de plus de 60 ans d'AXA Belgium (base de données partielle de 50 000 contrats) . . .	67
21	Modèle final de fréquence de sinistres en droit type non RDR	67
22	Modèle de Poisson, lien logarithmique, d'explication de la fréquence de sinistre de la population mélangée par les variables de contrôle, données restreintes	70
23	Modèle de Poisson, lien logarithmique, d'explication de la fréquence de sinistre par âge et diverses variables de contrôle, données restreintes, pour les populations conducteurs de voitures vs autres conducteurs.	70
24	Modèle de Poisson, lien logarithmique, d'explication de la fréquence de sinistre de la population mélangée par les variables de contrôle, données non restreintes	71
25	Modèle de Poisson, lien logarithmique, d'explication de la fréquence de sinistre de la population mélangée, par l'âge et des variables de contrôle, données non restreintes	71
26	Responsabilité de l'assuré expliquée par l'âge dans un modèle GLM de loi binomiale et fonction de lien logistique.	72
27	Modèle final de taux de responsabilité sur les assurés où les informations socio-professionnelles et comportementales sont renseignées	73
28	Ecart entre les modalités de distance du lieu de l'accident au lieu de résidence par âge	74
29	Modèle GLM de loi Gamma avec la fonction de lien logarithmique pour la variable expliquée coût moyen de sinistres en tort (responsabilité 100%) dans la tranche 500€-20 000€.	77
30	Modèle GLM de loi binomiale avec la fonction de lien logistique pour la variable expliquée d'appartenance à la tranche des coûts de sinistres en tort (responsabilité 100%) entre 50€ et 500€. La variable explicative est la variable d'âge de l'assuré. .	78
31	Modèle GLM de loi binomiale avec la fonction de lien logistique pour la variable expliquée d'appartenance à la tranche des coûts de sinistres en tort (responsabilité 100%) entre 50€ et 500€. A l'âge, on ajoute des variables de contrôle afin d'améliorer notre connaissance des individus.	78
32	Modèle GLM de loi binomiale avec la fonction de lien logistique pour la variable expliquée d'appartenance à la tranche des coûts de sinistres en tort (responsabilité 100%) entre 50€ et 500€. Aux variables utilisées dans le modèle précédent on ajoute le niveau d'urbanisation du lieu de vie de l'assuré.	79

33	Modèle GLM de loi Gamma avec la fonction de lien logarithmique pour la variable expliquée coût moyen de sinistres en droit (responsabilité 0%) dans la tranche 200€-20 000€. Variable de catégorie d'âge et variables de contrôle	82
34	Elements d'évaluation de la sur-dispersion de la population par tranche d'âge année après année.	85
35	Calcul des pseudo log-vraisemblance pour quelques valeurs du seuil	87
36	Estimation du modèle 2 Poisson année par année pour un seuil de nombre de sinistres dans l'année égal à 2	88
37	Calcul des pseudo log-vraisemblance pour quelques valeurs du seuil, discrimination par rapport au nombre d'années passées depuis l'occurrence du dernier sinistre RC en tort de l'assuré	88
38	Estimation du modèle 2 Poisson année par année pour un seuil de sinistralité passée sur x ans égal à 1	88
39	Calcul des pseudo log-vraisemblance pour quelques valeurs du seuil, discrimination par rapport au nombre de sinistres RC en tort depuis x ans	89
40	Estimation du modèle 2 Poisson année par année pour un seuil de sinistralité passée sur x ans égal à 1	89
41	Estimation du modèle 2 Poisson année par année pour un seuil de sinistralité passée sur x ans égal à 2	90
42	Coefficient des modèles de régression de loi binomiale négative, lien identité, année par année	92
43	Elements d'évaluation du taux de sortie par risque et par tranche d'âge des assurés d'AXA Belgium de plus de 60 ans.	93
44	Calibrage des critères objectifs de sélection de la population de référence en fonction de sa fréquence de sinistre <i>a priori</i>	94
45	Comparaison de l'ajustement de la fréquence de sinistre de la population cible et de la population de référence	95
46	Comparaison par genre de l'ajustement de la fréquence de sinistre de la population cible et de la population de référence	96
47	Tableau de synthèse	98

Cette bibliographie est au format : Auteur (année) *article* Source. Numéro de page où la référence est citée.

Références

- [1] Andysz A, Merecz D. (2012) *Visual abilities of older drivers—review of driving simulator studies*. 73
- [2] Anstey KJ, Windsor TD, Luszcz MA, Andrews GR. (2006) *Predicting driving cessation over 5 years in older adults : psychological well-being and cognitive competence are stronger predictors than physical health*. 25
- [3] Balajir (2010) *Cours sur les GLM Gamma à l'université du Colorado*. 75
- [4] Ball KK, Roenker DL, Wadley VG, Edwards JD, Roth DL, McGwin G Jr, Raleigh R, Joyce JJ, Cissell GM, Dube T. (2006) *Can high-risk older drivers be identified through performance-based measures in a Department of Motor Vehicles setting ?* 8, 11, 34, 99
- [5] Bohensky M, Charlton J, Odell M, Keeffe J. (2008) *Implications of vision testing for older driver licensing*. 8, 11, 33, 99
- [6] Brayne C, Dufouil C, Ahmed A, Denning TR, Chi LY, McGee M, Huppert FA. (2000) *Very old drivers : findings from a population cohort of people aged 84 and over*. 8, 12, 24, 99
- [7] Centers for Disease Control and Prevention (CDC).(2010) *Occupational highway transportation deaths among workers aged more than 55 years—United States, 2003-2010*. 15
- [8] Charpentier Arthur (2007-2014) *Freakonometrics : An Academic Blogging Experiment* 61
- [9] Cheung I, McCartt AT. (2011) *Declines in fatal crashes of older drivers : changes in crash risk and survivability*. 41
- [10] David D. Clarke, Patrick Ward, Craig Bartle, Wendy Truman (2010) *Older drivers' road traffic crashes in the UK*. 6, 22, 36, 56, 98
- [11] Cook LJ, Knight S, Olson LM, Nechodom PJ, Dean JM. (2000) *Motor vehicle crash characteristics and medical outcomes among older drivers in Utah, 1992-1995*. 23, 98
- [12] Cooper, P. J. (1990) *Differences in Accidents Characteristics Among Elderly Drivers and Between Elderly and Middle-Aged Drivers*. Accident Analysis and Prevention, Vol. 22, 1990, pp. 499–508. 6, 23, 98
- [13] Desapriya E, Wijeratne H, Subzwari S, Babul-Wellar S, Turcotte K, Rajabali F, Kinney J, Pike I. (2011) *Vision screening of older drivers for preventing road traffic injuries and fatalities*. 33
- [14] Destination Santé, Nantes, mars 2010 5, 9, 27
- [15] Dulisse B (1997) *Older Drivers and Risk to Other Road Users*. Accident Analysis and Prevention, Vol. 29, 1997, pp. 573–582. 5, 6, 7, 9, 11, 22, 23, 98, 99
- [16] Dumas C (2012) *Antidépresseurs : un risque accru d'accident de la route en début de traitement*. Sciences et Avenir. 5, 9, 28
- [17] Economist, the (2013) *ladies who hunch*. Section behavioral finance. 8, 12, 25, 99
- [18] Fontaine H (2003) *Driver age and road traffic accidents : What is the risk for seniors ?* 6, 9, 29, 98
- [19] Friedman C, McGwin G Jr, Ball KK, Owsley C (2013) *Association between higher order visual processing abilities and a history of motor vehicle collision involvement by drivers ages 70 and over*. 34
- [20] Gallo JJ, Rebok GW, Lesikar SE (1999) *The driving habits of adults aged 60 years and older*. 24
- [21] Nasvadi GE, Vavrik J (2007) *Crash risk of older drivers after attending a mature driver education program*. 39
- [22] Grabowski DC, Campbell CM, Morrissey MA (2004) *Elderly licensure laws and motor vehicle fatalities*. 39
- [23] Green KA, McGwin G Jr, Owsley C (2013) *Associations between visual, hearing, and dual sensory impairments and history of motor vehicle collision involvement of older drivers*. 34
- [24] Hakamies-Blomqvist L (1993) *Fatal Accidents of Older Drivers*. Accident Analysis and Prevention, Vol. 25, 1993, pp. 19–27. 23

- [25] Hakamies-Blomqvist L (1994) *Aging and Fatal Accidents in Male and Female Drivers*. Journal of Gerontology : Social Sciences, Vol. 49, 1994, pp. S286–S290. 6, 23, 98
- [26] Hakamies-Blomqvist L (2004) *Transportation in an Aging Society : A Decade of Experience. Safety of Older Persons in Traffic*. page 26 du rapport (39/339 sur le .pdf) 30, 74, 99
- [27] Hakamies-Blomqvist L, Wiklund M, Henriksson P (2005) *Predicting older drivers' accident involvement – Smeed's law revisited*. 41
- [28] Hansen EA, Hansen BL (2007) *Cognitive functions and driving ability of older drivers*. 35
- [29] Hu PS, Trumble DA, Foley DJ, Eberhard JW, Wallace RB (2008) *Crash risks of older drivers : a panel data analysis* 26
- [30] Ingle S, Chinnaswamy S, Devakumar M, Bell D, Tranter R (2009) *A community based survey of cognitive functioning, highway-code performance and traffic accidents in a cohort of older drivers*. 5, 6, 8, 9, 10, 11, 35, 98, 99
- [31] Langford J, Fitzharris M, Newstead S, Koppel S (2004) *Some consequences of different older driver licensing procedures in Australia*. 40
- [32] Langford J, Koppel S, Andrea D, Fildes B (2006) *Determining older driver crash responsibility from police and insurance data*. 60
- [33] Langford J (2008) *Usefulness of off-road screening tests to licensing authorities when assessing older driver fitness to drive*. 37
- [34] L.E.C.M.A., *Un livret-Conseil* 5, 9, 24, 27
- [35] Lee HC, Lee AH, Cameron D, Li-Tsang C (2003) *Using a driving simulator to identify older drivers at inflated risk of motor vehicle crashes*. 37
- [36] Levy DT, Vernick JS, Howard KA (1995) *Relationship between driver's license renewal policies and fatal crashes involving drivers 70 years or older*. 33
- [37] Li G, Braver ER, Chen LH (2003) *Fragility versus excessive crash involvement as determinants of high death rates per vehicle-mile of travel among older drivers*. 25
- [38] Lord D, van Schalkwyk I, Staplin L, Chrysler S (2007) *Reducing Older Driver Injuries at Intersections Using More Accommodating Roundabout Design Practices*, 23, 41
- [39] Lyman JM, McGwin G Jr, Sims RV (2001) *Factors related to driving difficulty and habits in older drivers*. 26
- [40] Lyman S, Ferguson SA, Braver ER, Williams AF (2002) *Older driver involvements in police reported crashes and fatal crashes : trends and projections*. 22, 26
- [41] MacNamara A, Chen G, George S, Walker R, Ratcliffe J (2013) *What factors influence older people in the decision to relinquish their driver's licence ? A discrete choice experiment*. 24
- [42] Marottoli RA, de Leon CFM, Glass TA, Williams CS, Cooney LM, Berkman LF, Tinetti ME (1997) *Driving cessation and increased depressive symptoms : prospective evidence from the New Haven EPESE. Established Populations for Epidemiologic Studies of the Elderly*. 20, 47
- [43] Marottoli RA, de Leon CFM, Glass TA, Williams CS, Cooney LM, Berkman LF (2000) *Consequences of driving cessation : decreased out-of-home activity levels*. 21, 47
- [44] Marshall SC, Molnar F, Man-Son-Hing M, Blair R, Brosseau L, Finestone HM, Lamothe C, Korner-Bitensky N, Wilson KG (2007) *Predictors of driving ability following stroke : a systematic review*. 35
- [45] Massie DL (1993) *Accident Involvement Rates by Age and Gender*. UMTRI Research Review, Vol. 23, 1993, pp.1–13. 5, 9, 23, 98
- [46] Meuleners LB, Harding A, Lee AH, Legge M (2006) *Fragility and crash over-representation among older drivers in Western Australia*. 5, 9, 25, 98
- [47] Meuser TM, Carr DB, Ulfarsson GF (2009) *Motor-vehicle crash history and licensing outcomes for older drivers reported as medically impaired in Missouri*. 39
- [48] Mitchell CG (2008) *The licensing of older drivers in Europe—a case study*. 21
- [49] Molnar FJ, Marshall SC, Man-Son-Hing M, Wilson KG, Byszewski AM, Stiell I (2007) *Acceptability and concurrent validity of measures to predict older driver involvement in motor vehicle crashes : an Emergency Department pilot case-control study*. 36
- [50] OFDT (2013) *site officiel de l'observatoire français des drogues et toxicomanies, section médicaments psychotropes, thématique consommation : niveau et fréquence. Mise à jour : août 2013*. 5, 9, 28

- [51] Owsley C, McGwin G Jr (1999) *Vision impairment and driving*. 33
- [52] Owsley C, Gerald McGwin, Janice M. Phillips, Sandre F. McNeal, Beth T. Stalvey (2004) *Impact of an educational program on the safety of high-risk, visually impaired, older drivers*. 39
- [53] Parmentier F, Chastang JF, Nabi H, Chiron M, Lafont S, Lagarde E (2005) *Road mobility and the risk of road traffic accident as a driver : The impact of medical conditions and life events*. 42
- [54] Ragland DR, Satariano WA, MacLeod KE (2005) *Driving cessation and increased depressive symptoms*. 20, 47
- [55] Rakotonirainy A, Steinhardt D, Delhomme P, Darvell M, Schramm A (2012) *Older drivers' crashes in Queensland, Australia*. 23
- [56] Ross LA, Anstey KJ, Kiely KM, Windsor TD, Byles JE, Luszcz MA, Mitchell P (2009) *Older drivers in Australia : trends in driving status and cognitive and visual impairment*. 22
- [57] Ross LA, Browning C, Luszcz MA, Mitchell P, Anstey KJ (2011) *Age-based testing for driver's license renewal : potential implications for older Australians*. 24
- [58] Rubin GS, Ng ES, Bandeen-Roche K, Keyl PM, Freeman EE, West SK (2007) *A prospective, population-based study of the role of visual impairment in motor vehicle crashes among older drivers : the SEE study*. 33
- [59] Ryan GA, Legge M, Rosman D (1998) *Age related changes in drivers' crash risk and crash type*. 39
- [60] Schuster JP, Manetti A, Aeschimann M, Limosin F (2013), *Troubles psychiatriques du sujet âgé : données épidémiologiques et morbi-mortalité associée*, Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement. Volume 11, Numéro 2, 181-5, Juin 2013, Psychologie et neuropsychiatrie. Synthèse 5, 28, 47
- [61] Seung-Hoon Na & Hwee Tou Ng. (2009) *A 2-Poisson Model for Probabilistic Coreference of Named Entities for Improved Text Retrieval* 85
- [62] Shipp MD (1998) *Potential human and economic cost-savings attributable to vision testing policies for driver license renewal, 1989-1991*. 33
- [63] Siren A, Meng A (2012) *Cognitive screening of older drivers does not produce safety benefits*. 36
- [64] Sjösten NM, Nabi H, Westerlund H, Singh-Manoux A, Dartigues JF, Goldberg M, Zins M, Oksanen T, Salo P, Pentti J et al (2011) *Influence of retirement and work stress on headache prevalence : a longitudinal modelling study from the GAZEL Cohort Study*. Cephalalgia 31, 6 24
- [65] Soderstrom CA (2008) *Applying research to licensing agency screening of seniors for fitness to drive*. 8, 11, 35, 99
- [66] Soderstrom CA, Joyce JJ (2008) *Medical review of fitness to drive in older drivers : the Maryland experience*. 33
- [67] Staplina S, Gisha KW, Lococoa KH, Joycea JJ, Sifrit KJ (2013) *The Maze Test : A significant predictor of older driver crash risk*. 8, 11, 35, 99
- [68] Thomas RE (1998) *Benzodiazepine use and motor vehicle accidents. Systematic review of reported association*. 5, 9, 28
- [69] Unsworth CA, Wells Y, Browning C, Thomas SA, Kendig H (2007) *To continue, modify or relinquish driving : findings from a longitudinal study of healthy ageing*. 24
- [70] Vance DE, Roenker DL, Cissell GM, Edwards JD, Wadley VG, Ball KK. (2006) *Predictors of driving exposure and avoidance in a field study of older drivers from the state of Maryland*. 37
- [71] Viano DC, Culver CC, Evans L, Frick M (1990) *Involvement of Older Drivers in Multivehicle Side-Impact Crashes*. Accident Analysis and Prevention, Vol.22, 1990, pp. 177-188 5, 9, 23, 98
- [72] Wagner JT, Müri RM, Nef T, Mosimann UP (2011) *Cognition and driving in older persons*. 36
- [73] Westerlund H, Vahtera J, Ferrie JE, Singh-Manoux A, Pentti J, Melchior M, Leineweber C, Jokela M, Siegrist J, Goldberg M et al (2010) *Effect of retirement on major chronic conditions and fatigue : French GAZEL occupational cohort study*. 24

- [74] Woolnough A, Salim D, Marshall SC, Weegard K, Porter MM, Rapoport MJ, Man-Son-Hing M, Bédard M, Gélinas I, Korner-Bitensky N, Mazer B, Naglie G, Tuokko H, Vrkljan B (2013) *Determining the validity of the AMA guide : A historical cohort analysis of the Assessment of Driving Related Skills and crash rate among older drivers.* 36