

THÈSE

présentée

devant l'UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD - LYON 1

pour l'obtention

du DIPLÔME DE DOCTORAT

(arrêté du 7 août 2006)

présentée et soutenue publiquement le

06 février 2008

par

LENGUERRAND Erik

**L'exposition au risque routier et sa prise en compte dans les analyses
épidémiologiques des accidents de la route selon la disponibilité de
l'information**

Directeur de thèse : M. LAUMON Bernard

JURY :	M. ECOCHARD René	examineur
	Mme FABRIGOULE Colette	examinatrice
	M. HEMON Denis	rapporteur
	M. LASSARRE Sylvain	rapporteur
	M. MARTIN Jean-Louis	encadrant

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I

Président de l'Université

M. le Professeur L. COLLET

Vice-Président du Conseil Scientifique

M. le Professeur J.F. MORNEX

Vice-Président du Conseil d'Administration

M. le Professeur J. LIETO

Vice-Président du Conseil des Etudes et de la Vie Universitaire

M. le Professeur D. SIMON

Secrétaire Général

M. G. GAY

SECTEUR SANTE

Composantes

UFR de Médecine Lyon R.T.H. Laënnec

Directeur : M. le Professeur P. COCHAT

UFR de Médecine Lyon Grange-Blanche

Directeur : M. le Professeur X. MARTIN

UFR de Médecine Lyon-Nord

Directeur : M. le Professeur J. ETIENNE

UFR de Médecine Lyon-Sud

Directeur : M. le Professeur F.N. GILLY

UFR d'Odontologie

Directeur : M. O. ROBIN

Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

Directeur : M. le Professeur F. LOCHER

Institut Techniques de Réadaptation

Directeur : M. le Professeur MATILLON

Département de Formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine

Directeur : M. le Professeur P. FARGE

SECTEUR SCIENCES

Composantes

UFR de Physique

Directeur : Mme. le Professeur S. FLECK

UFR de Biologie

Directeur : M. le Professeur H. PINON

UFR de Mécanique

Directeur : M. le Professeur H. BEN HADID

UFR de Génie Electrique et des Procédés

Directeur : M. le Professeur G. CLERC

UFR Sciences de la Terre

Directeur : M. le Professeur P. HANTZPERGUE

UFR de Mathématiques

Directeur : M. le Professeur M. CHAMARIE

UFR d'Informatique

Directeur : M. le Professeur S. AKKOUCHE

UFR de Chimie Biochimie

Directeur : Mme. le Professeur H. PARROT

UFR STAPS

Directeur : M. C. COLLIGNON

Observatoire de Lyon

Directeur : M. le Professeur R. BACON

Institut des Sciences et des Techniques de l'Ingénieur de Lyon

Directeur : M. le Professeur J. LIETO

IUT A

Directeur : M. le Professeur M. C. COULET

IUT B

Directeur : M. le Professeur R. LAMARTINE

Institut de Science Financière et d'Assurances

Directeur : M. le Professeur J.C. AUGROS

Ce travail a reçu le soutien financier de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité par le biais d'une allocation de recherche.

Remerciements

Je tiens à remercier, en tout premier lieu, Jean-Louis Martin, chargé de recherche à l'INRETS. Après avoir dirigé mon stage de DEA, il m'a accordé toute sa confiance en acceptant d'encadrer cette thèse. Il m'a fourni, grâce à son expérience de la biostatistique, de l'épidémiologie et du monde des transports, mais aussi grâce à ses qualités humaines, un environnement de travail stimulant, propice à la réflexion scientifique.

Mes remerciements s'adressent également à Bernard Laumon, directeur de cette thèse et directeur de l'Unité Mixte de Recherche Épidémiologique et de Surveillance Transport Travail Environnement. Ses conseils et commentaires avisés m'ont grandement aidé à orienter mes travaux. Il m'a accueilli dans son unité pendant près de 6 ans et m'a toujours procuré le soutien financier nécessaire à la réalisation de mes travaux.

Je remercie aussi Mireille Chiron, directrice de recherche INRETS. Co-responsable de «l'étude épidémiologique sur les accidents de la circulation des 20 000 employés de la cohorte GAZEL», elle a mis à ma disposition les données sur l'exposition au risque routier et sur les accidents de la route de ces sujets. J'ai apprécié ses conseils lors de l'étude de ces informations. Je souhaite également remercier Marie Zins et Marcel Goldberg, responsables scientifiques de la cohorte GAZEL, qui m'ont autorisé à travailler sur cette cohorte.

Denis Hémon, directeur de recherche INSERM, et Sylvain Lassarre, directeur de recherche INRETS ont accepté d'être les rapporteurs de cette thèse, et je les en remercie. Ils ont également contribué par leurs remarques et suggestions à améliorer la qualité et l'homogénéité de ce mémoire. Je leur en suis reconnaissant.

Colette Fabrigoule, directrice de recherche CNRS, et René Écochard, PU PH CNRS, ont accepté de participer au jury de soutenance. Je les en remercie sincèrement.

Durant toutes ces années, j'ai eu plaisir à travailler au sein de l'UMRETTE puis de l'UMRESTTE, et j'en remercie ici tous ses membres. Je suis très reconnaissant envers Inca et Patricia qui ont été particulièrement disponibles pour m'assister dans mes démarches administratives. Genevieve et Yves m'ont également bien aidé en m'évitant de fastidieuses heures de codage et de correction de données. Mes plus chaleureux remerciements s'adressent aussi à Aurélie, Heikki et Lindsay qui m'ont énormément apporté en acceptant de relire mes travaux ou corriger leurs versions anglaises. Je tiens à remercier plus particulièrement mes collègues de bureau, passés et présents (Cyril, Emmanuel, Idlir et Nicolas) qui ont dû partager les joies et peines associées à la réalisation de cette thèse ! J'ai également apprécié l'efficacité

des membres du service informatique (Christophe et Véronique), du service documentation (Yamina et Maïté) et du service reprographie (Stéphane).

Ce travail de thèse n'aurait pu aboutir sans le soutien très fort de mes proches. Famille, amis, voyez en mon travail la reconnaissance à vos encouragements. Mathilde, tes relectures pointues avec, en main, le guide des « bonnes pratiques du français » m'ont été des plus précieuses. Ton aide et ton amour ont été essentiels dans l'accomplissement de ce travail. Je te suis reconnaissant d'avoir accepté toutes ces épreuves avec patience et compréhension. Armand, ta naissance, ton premier éclat de rire, tes premiers pas ont éclairé de bonheur mes longues heures de travail.

J'adresse enfin une pensée spéciale à toutes les victimes de la route et leur famille, en espérant que ce travail contribuera à réduire le drame humain que constitue l'insécurité routière.

A la mémoire de mon père.

Table des matières

1. INTRODUCTION	14
2. MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	18
3. RÉSULTATS	19
Chapitre 1 État de l'art et conceptualisation épidémiologique de l'exposition au risque routier	20
1.1. DEFINITION DE L'EXPOSITION AU RISQUE ROUTIER	21
1.2. UTILISATION DE L'EXPOSITION AU RISQUE ROUTIER.....	23
1.3. METRIQUE DE L'EXPOSITION AU RISQUE ROUTIER	24
1.4. COLLECTE DE L'EXPOSITION AU RISQUE ROUTIER	26
1.4.1. Techniques de collecte	26
1.4.2. Exemples de recueils.....	29
1.4.3. Limites des données recueillies.....	31
1.5. EXPOSITION AU RISQUE ROUTIER ET EPIDEMIOLOGIE	32
1.5.1. Exposition en épidémiologie (Ahrens and Pigeot 2005; Armstrong et al. 2003)	32
1.5.2. Exposition au risque routier, facteur de risque, population à risque et risque routier	35
1.5.3. Particularités de l'exposition au risque routier	39
1.5.4. Particularités de l'insécurité routière.....	42
1.6. CONCLUSION.....	44
Chapitre 2 Estimation de risques relatifs d'accident de la route lorsque l'exposition aux facteurs de risque d'accidents est connue dans la population à risque.....	47
2.1. INTRODUCTION	48
2.2. APPROCHE DE COHORTE.....	49
2.2.1. Matériel et méthode.....	49
2.2.2. Résultats	55
2.3. APPROCHE CAS-TEMOINS.....	66
2.3.1. Matériel et méthode.....	66
2.3.2. Résultats	67
2.4. APPROCHE ACCIDENTOLOGIQUE	69
2.4.1. Matériel et méthode.....	69
2.4.2. Résultats	71
2.5. DISCUSSION.....	74
2.5.1. Résumé des résultats	74
2.5.2. Forces et faiblesses.....	76
2.5.3. Comparaison des approches	79
Chapitre 3 Estimation de risques relatifs d'accident de la route lorsque l'exposition aux facteurs de risque d'accidents est inconnue dans la population à risque.....	85
3.1. INTRODUCTION	86
3.1.1. Contexte	86
3.1.2. Méthodes de substitution.....	87
3.1.3. Problématique et objectifs	89

3.2.	MATERIEL ET METHODES.....	90
3.2.1.	Matériel.....	90
3.2.2.	Méthodes.....	92
3.2.3.	Stratégie d'étude.....	102
3.3.	RESULTATS.....	103
3.3.1.	Approches sans détermination de la responsabilité.....	103
3.3.2.	Approches avec détermination de la responsabilité.....	108
3.4.	DISCUSSION.....	121
3.4.1.	Correspondance des méthodes de substitution avec le design d'étude cas témoins.....	121
3.4.2.	Spécificité des approches sans détermination de la responsabilité.....	122
3.4.3.	Modèles avec détermination de la responsabilité.....	125
3.4.4.	Avantages et limites de ces travaux.....	131
Chapitre 4	Considérations en sécurité routière primaire au sein d'une approche comparative basée exclusivement sur des données d'accidentés de la route.....	134
4.1.	INTRODUCTION.....	135
4.1.1.	Contexte.....	135
4.1.2.	Objectifs.....	136
4.2.	MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	137
4.2.1.	Matériel.....	137
4.2.2.	Méthode.....	138
4.3.	RÉSULTATS.....	143
4.3.1.	Analyse descriptive.....	143
4.3.2.	Collisions.....	145
4.3.3.	Accidents à un véhicule.....	152
4.4.	Discussion.....	155
4.4.1.	Résumé des résultats.....	155
4.4.2.	Portée des résultats.....	159
4.4.3.	Spécificités de la population d'étude.....	160
4.4.4.	Spécificités de la démarche d'analyse.....	161
4.	CONCLUSION.....	164
	BIBLIOGRAPHIE.....	171

Liste des tableaux

Tableau 1 : Exemple de la prise en compte des périodes à risque d'accident de la route avec le modèle conditionnel pour événements récurrents.....	53
Tableau 2 : Distribution des sujets selon le statut professionnel, les quantités de déplacement et le mode de déplacement (pourcentages colonne).....	56
Tableau 3 : Risque relatif brut d'être accidenté, cohorte GAZEL 2001- 2003	57
Tableau 4 : Risque relatif d'être accidenté selon la PCS, ajusté sur les caractéristiques de l'usager indirectement associées à l'activité de déplacement, cohorte GAZEL 2001- 2003	57
Tableau 5 : Risques relatifs d'être accidenté selon la PCS, ajustés sur le mode de déplacement, cohorte GAZEL 2001- 2003	58
Tableau 6 : Risques relatifs d'être accidenté selon la PCS, ajustés sur le mode de déplacement et les caractéristiques de l'usager indirectement associées à l'activité de déplacement, cohorte GAZEL 2001- 2003..	59
Tableau 7 Distribution des sujets utilisant des véhicules motorisés selon leur statut professionnel, leurs quantités et comportements de déplacement.	61
Tableau 8 : Risque relatif brut d'être accidenté selon la PCS pour les usagers de véhicules motorisés, cohorte GAZEL 2001-2003	62
Tableau 9 : Risques relatifs d'être accidenté des usagers de véhicules motorisés selon la PCS, ajustés sur les quantités de kilomètres parcourus avec un engin motorisé, cohorte GAZEL 2001-2003	63
Tableau 10 : Risques relatifs d'être accidenté des usagers de véhicules motorisés selon la PCS, ajustés sur les comportements de déplacement, cohorte GAZEL 2001-2003	64
Tableau 11 : Risques relatifs d'être accidenté des usagers de véhicules motorisés selon la PCS, ajustés sur les comportements de déplacement, cohorte GAZEL 2001-2003	65
Tableau 12 : Odds ratios selon la PCS, bruts et ajustés sur les facteurs individuels indirectement associés à l'activité de déplacement, appariés sur le sexe et l'âge, cohorte GAZEL 2001	67
Tableau 13 : Odds ratios selon la PCS, ajustés sur les facteurs individuels indirectement associés à l'activité de déplacement et le mode de déplacement des usagers, appariés sur le sexe et l'âge, cohorte GAZEL 2001	68
Tableau 14 : Odds ratios selon la PCS, ajustés sur les facteurs individuels indirectement associés à l'activité de déplacement, le kilométrage annuel des usagers et le type d'usager, appariés sur le sexe et l'âge, cohorte GAZEL 2001	69
Tableau 15 : Distribution des personnes-kilomètres et des accidents selon le statut social des sujets, cohorte GAZEL, 2001	72
Tableau 16 : Risques relatifs bruts d'être accidenté selon la PCS, cohorte GAZEL, 2001	72
Tableau 17 : Risques relatifs d'être accidenté selon la PCS, ajustés sur le type d'usager, cohorte GAZEL, 2001	73
Tableau 18 : Distribution des personnes-kilomètres et des accidents selon le type d'usager, cohorte GAZEL 2001	73
Tableau 19 Distribution des clean-crashes étudiés dans l'analyse de quasi exposition induite	99
Tableau 20 Distribution des sujets étudiés dans l'analyse de quasi exposition-induite portant sur les accidents à un véhicule	100
Tableau 21 Distribution des sujets et taux d'incidence d'être accidenté selon la consommation d'alcool-cannabis et le type d'accident-Approche de Thorpe	103
Tableau 22 : Population d'étude selon la consommation d'alcool-cannabis des usagers et le type d'accident-Approche d'exposition induite d'Haight.....	104
Tableau 23 : Taux d'incidence et risques relatifs d'implication dans un accident selon la consommation d'alcool-cannabis des usager et le type d'accident de la route	104
Tableau 24 Effectifs et odds ratios par profil alcool-cannabis, Approche de Cuthbert 1	105
Tableau 25 : Effets des facteurs externes à l'usager-Approche de Cuthbert 1	105
Tableau 26 : Odds ratios par profil alcool-cannabis, Approche de Cuthbert 2	105
Tableau 27 : Effets des facteurs externes- Approche de Cuthbert 2.....	106
Tableau 28 : Effectifs et odds ratios par profil alcool-cannabis, Approche de Cuthbert 3.....	106
Tableau 29 : Effets des facteurs externes, Approche de Cuthbert 3	107
Tableau 30 : Risques bruts de causer un accident de la route mortel, France 2001-2003. Modèles d'exposition induite et approche cas-témoins standard.....	110
Tableau 31 : Risques ajustés de causer un accident de la route mortel, France 2001-2003	112
Tableau 32 : Risques de causer un accident mortel de la circulation estimés dans l'approche cas témoins standard en utilisant l'interaction entre le type d'accident et la consommation de cannabis.....	116
Tableau 33 : Analyse logistique hiérarchique et non hiérarchique dans l'approche cas-témoins standard.....	118
Tableau 34 : Comparaison des analyses cas témoins standard et de l'analyse clean crash avec et sans les responsables partiels	120
Tableau 35 : Pourcentages des différentes caractéristiques relatives au conducteur et au véhicule selon le type d'accident et la disponibilité du code VIN- données nationales police, France 1996-2005	144

Tableau 36 : Collisions entre deux voitures particulières - Risque Relatif d'être tué pour un conducteur. Prise en compte de l'appariement par régression de Poisson conditionnelle	146
Tableau 37 Collisions entre deux voitures particulières - Risque Relatif d'être tué pour un conducteur. Modèle de Poisson avec structure hiérarchique accident-conducteur	148
Tableau 38 : Collisions entre deux voitures particulières - Risque Relatif qu'un conducteur soit tué dans l'accident. Modèle de Poisson avec estimation robuste de la variance.....	151
Tableau 39 : Accidents avec un seul véhicule particulier impliqué. Risque Relatif d'être tué pour le.....	154
Tableau 40 Effets fixes, effets aléatoires, odds-ratios et distributions observées associés aux facteurs de risque des usagers impliqués dans des accidents corporels, France 1996-2000.....	187
Tableau 41 : Paramètres aléatoires du modèle logistique hiérarchique accident-véhicule-usager	188
Tableau 42 Biais des estimations de Monte-Carlo des effets fixes, des variances des effets aléatoires) et de leur écart-type [†]	189
Tableau 43 Odds-ratios et intervalles de confiance théoriques et estimés par les MLM, GEE et ML	190
Tableau 44 : Description d'une étude d'évaluation de dispositif de sécurité	193
Tableau 45 : Répartition des usagers impliqués dans une collision selon leur statut vital	195

Liste des figures

Figure 1 : Lien entre les caractéristiques individuelles des usagers indépendantes ou non de l'activité de déplacement et la survenue d'un accident.....	36
Figure 2 : Processus d'exposition au risque d'un usager au cours d'une période d'observation	41
Figure 3 : Description du cadre d'étude et des différentes populations d'étude utilisées.....	91
Figure 4 : Processus de survenue d'un accident corporel- détail des données implicitement contenues dans un recueil de données de sécurité secondaire.....	136
Figure 5 : Rôle des facteurs d'intensité d'exposition au risque routier dans le processus conduisant à la survenue d'un accident corporel.....	137

Liste des annexes

Annexe 1 : Intervalle de confiance dans l'analyse d'exposition induite.....	181
Annexe 2 : Structure hiérarchique des données d'accidents de la route.....	182
Annexe 3 : Évaluation de l'efficacité des dispositifs de protection embarqués dans les véhicules.....	193
Annexe 4 : Risque relatif apparié.....	195
Annexe 5 : Production scientifique.....	197

Lexique et liste des abréviations

Lexique

- Collision : Accident de la route impliquant deux véhicules.
- Risque routier d'insécurité primaire : Risque d'être impliqué dans un accident alors que l'utilisateur se déplace sur le réseau routier.
- Risque routier d'insécurité secondaire : Risque d'être victime d'une atteinte corporelle suite à l'implication de l'utilisateur dans un accident de la route. L'atteinte corporelle peut présenter différents niveaux de gravité de sorte qu'il est possible d'étudier le risque d'être tué, de présenter une atteinte corporelle grave ou légère suite à l'implication dans un accident de la circulation. L'implication dans un accident sans atteinte corporelle s'assimile au niveau 0 de la gravité.
- Véhicule à deux-roues motorisés : Nous regroupons sous cette catégorie les véhicules motorisés à deux-roues quelle que soit leur cylindrée (mobylette, scooter ou motocyclette).
- Véhicule particulier ou léger : Véhicule motorisé à quatre-roues, de moins de 3500 kg, comportant au maximum 9 places assises, et nécessitant un permis de type B pour être conduit.

Liste des abréviations

BAAC	Bulletin d'Analyse d'Accident Corporel de la circulation routière.
EDF – GDF	Électricité de France –Gaz de France
GAZEL	Cohorte des gaziers et électriciens de France
IC	Intervalle de confiance
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
InVS	Institut de Veille Sanitaire
INSERM	Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OR	Odds ratio
ONISR	Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière
PCS	Professions et Catégories Socioprofessionnelles
RAIR	Taux relatif d'implication dans les accidents (relative accident involvement rate)
RAL	Probabilité relative d'être accidenté (relative accident likelihood)
RR	Risque relatif
SAM	Enquête sur les Stupéfiants et Accidents Mortels
UCBL	Université Claude Bernard Lyon 1
UMRESTTE	Unité Mixte de Recherche Épidémiologique et de Surveillance, Transport, Travail, Environnement

1. INTRODUCTION

Is it safer to keep a pet crocodile or a pet dog?

If one knew little about crocodiles or dogs, the first thing to do would be to consult data, where one would find that far more people are killed per year by dogs than by crocodiles. It would be unwise to conclude that such a clear difference justified favouring a pet crocodile over a pet dog on grounds of safety. Even after recognizing that fatalities per year is not an appropriate measure, the way to proceed is far from obvious. Human fatalities per animal appears a better, yet still flawed, measure. People approach close to dogs, but keep far from crocodiles. Even if one normalized for proximity, the problem remains that even without the benefit of data-based studies, people exercise more care near crocodiles than near dogs. So, all in all, it would be very difficult to answer the question "Is it safer to keep a pet crocodile or a pet dog?" based on comparing fatalities from dog and crocodile attacks.

Leonard Evans, Traffic Safety 2004 (Chapitre 1 p10)

Entre 1996 et 2004, plus de 5 000 personnes se tuaient sur les routes françaises et près de 8 000 présentaient des séquelles graves après avoir été blessées dans un accident de la route ¹. Si la France est passée depuis sous la barre des 5 000 morts, l'insécurité routière reste un problème de santé publique majeur, avec encore, en 2006, plus de 100 000 sujets blessés par accidents de la route dont près de 40% ont été hospitalisés ².

Pour lutter contre l'insécurité routière, il existe deux voies d'actions. La première consiste à réduire la gravité des accidents de la circulation, par exemple en concevant les voitures et leurs équipements de façon à réduire les effets d'un choc (structure partiellement déformable, airbag, prétensionneur de ceinture de sécurité, ...). On parle de recherche en sécurité routière secondaire ³. Pour évaluer les besoins de protection et l'efficacité des mesures existantes, on dispose de différentes sources sur les accidents de la route et leur gravité, comme le registre national d'accidents de la route corporels renseignés par les forces de l'ordre ² ou le registre des victimes de la circulation routière dans le Rhône ⁴.

La seconde voie d'action consiste à réduire le nombre d'accidents (corporels) de la circulation. On parle de recherche en sécurité routière primaire ³. Pour être évaluée, une telle démarche nécessite de disposer, en plus des données sur les sujets accidentés, des informations sur l'exposition au risque routier ⁵ : la population à risque d'accidents. La simple comparaison du nombre brut d'accidentés ne suffit pas à comparer le niveau de risque d'accident de différents groupes d'utilisateurs. Le nombre de sujets présents dans chaque groupe et susceptibles d'être accidentés doit être pris en compte. Le nombre d'accidentés per capita ne permet toutefois pas de déterminer si le risque d'être impliqué dans un accident pour une même distance parcourue dépend du profil des utilisateurs. Il est nécessaire de normaliser cette mesure d'insécurité routière sur les quantités de déplacement effectuées par chaque groupe d'utilisateur au cours de la période

étudiée. Encore une fois, cette mesure ne tient pas compte des conditions dans lesquelles les différents déplacements s'effectuent. Par exemple, les sujets âgés se déplacent plutôt de jour, à proximité de leur domicile, en cherchant à éviter les situations de déplacement nécessitant de grandes capacités cognitives (carrefours complexes, conduite en milieu urbain....) ⁶. L'évaluation de l'insécurité routière selon l'âge des usagers nécessite ainsi une mesure de l'exposition qui intègre les caractéristiques relatives à l'usager, à son mode de transport et à son environnement de déplacement.

Cet exposé montre l'aspect multidimensionnel de l'exposition au risque routier. Elle est tout d'abord synonyme de déplacement : se déplacer ou non (exposition de base) et se déplacer plus ou moins (quantité d'exposition). Elle comprend également une dimension qualitative (l'intensité d'exposition) définie par les comportements des usagers sur la route selon les caractéristiques du mode de déplacement et de son environnement, c'est-à-dire où, quand et comment s'effectue le déplacement. L'étude des enjeux de sécurité routière primaire nécessite d'utiliser une mesure de l'exposition au risque routier très détaillée afin d'appréhender ces différentes dimensions quantitatives et qualitatives.

La plupart des pays de l'OCDE disposent de mesures d'exposition au risque routier, connues au niveau national, comme le nombre total de kilomètres parcourus, de véhicules circulant et de sujets détenteurs d'un permis de conduire ⁷. Ces informations écologiques/agrégées sont utiles dans le cadre de modèles macroscopiques pour décrire et prédire l'insécurité routière nationale et évaluer l'efficacité globale des politiques de sécurité routière ^{8,9}. Des informations d'exposition au risque routier plus individuelles sont toutefois nécessaires pour évaluer des problèmes d'insécurité routière particuliers. Ainsi, l'étude de l'efficacité des dispositifs de contrôle de trajectoire électronique (ESP) nécessite d'une part de connaître le parc automobile équipé d'un tel dispositif, mais aussi la quantité d'exposition au risque routier accumulée au volant de ces véhicules et le nombre de kilomètres parcourus au cours desquels le dispositif a réellement un intérêt (courbe, conduite sur voie humide...). Il est également nécessaire de connaître les caractéristiques des usagers qui ont parcouru ces kilomètres au volant de tels véhicules. De même, il est nécessaire de connaître les quantités d'exposition réellement parcourues sous l'influence de l'alcool, en fonction des différentes caractéristiques d'intensité d'exposition, pour évaluer le rôle propre de la conduite sous l'emprise de l'alcool et non le risque d'accident associé aux usagers consommateurs d'alcool. Disposer de telles informations n'est pas chose aisée ¹⁰. La population circulante et les combinaisons de caractéristiques usager-véhicule-environnement formant l'intensité de l'exposition sont difficiles à appréhender de façon exhaustive et nécessitent le recours aux techniques

d'échantillonnage. Ainsi, en France, la plus grande enquête qui évalue les déplacements de façon très détaillée n'est effectuée que tous les dix ans ¹¹.

Les données relatives aux accidentés de la route contiennent cependant des informations très utiles pour évaluer les enjeux de sécurité routière primaire sans pour autant disposer d'information d'exposition au risque routier. L'accident de la route est en effet un événement particulier. Il peut être considéré au niveau de l'utilisateur, de son véhicule ou de l'accident lui-même. De plus, certains sujets, à cause de leur comportement, sont à l'origine de leur accident alors que d'autres semblent être impliqués par hasard alors qu'ils se trouvaient au mauvais endroit, au mauvais moment. Il est ainsi possible de définir des groupes d'accidentés proches de la population circulante pour obtenir un substitut à l'information d'exposition au risque routier : les sujets non responsables de leur accident. Il est également possible d'utiliser l'appariement naturel des sujets impliqués dans le même accident pour obtenir des considérations de sécurité routière primaire.

L'objectif de notre recherche est d'une part de préciser les spécificités de l'exposition au risque routier et de sa prise en compte dans les études observationnelles des accidents de la route, et d'autre part d'étudier la pertinence et les limites des risques d'insécurité primaire estimés sans données d'exposition, en utilisant les particularités de l'évènement étudié : l'accident de la route.

Ce travail de thèse est composé de quatre axes de recherche. Le **premier chapitre** est un état de l'art sur le concept d'exposition au risque routier tel qu'il est utilisé dans les analyses de sécurité routière. Ses définitions, métriques, utilisations, méthodes de recueil sont ainsi présentées. L'exposition au risque routier est également comparée et discutée vis-à-vis des notions épidémiologiques de population à risque et d'exposition à un facteur de risque.

Le **deuxième chapitre** met en pratique les concepts précédemment présentés. Une première analyse présente le rôle de l'exposition au risque routier, dans ses dimensions quantitatives et qualitatives, sur les inégalités sociales de sécurité routière primaire sur la base des données de la cohorte GAZEL. Cette problématique est également étudiée sur la base d'une étude de type cas-témoins et d'une approche classique en accidentologie routière visant à estimer les risques d'insécurité primaire sur la base de taux d'accidents. La modélisation de l'exposition au risque routier et ses spécificités sont visitées à travers les principaux designs d'étude disponibles pour modéliser des données observationnelles de sécurité routière primaire.

Le **troisième chapitre** permet d'évaluer les mesures d'association estimées en l'absence d'information sur l'exposition au risque routier, sur la base du critère de responsabilité ou du type d'accident (à 1, 2, n véhicules). Les méthodes dites « d'exposition induite » et de « quasi

exposition induite » sont évaluées par comparaison avec le design d'étude cas-témoins standard. Cette étude est réalisée sur la base des données de l'enquête nationale "Stupéfiants et Accidents Mortels".

Le **dernier chapitre** s'inscrit également dans un contexte d'absence d'information d'exposition où seules les données sur des sujets accidentés sont disponibles. La typologie des accidents (collision ou accident à un véhicule), mais également les méthodes d'analyse de données de cohorte appariée, sont utilisées pour évaluer la portée, en termes de sécurité routière primaire, des résultats ainsi obtenus sur données de sécurité routière secondaire. Cette approche est appliquée aux données d'accidents de la route corporels recueillies par les forces de l'ordre françaises, dans les bordereaux d'analyses des accidents de la circulation (BAAC).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

La première partie de ce travail est réalisée en utilisant la littérature internationale relative au concept d'exposition au risque routier.

Dans la deuxième partie de ce travail, l'étude des inégalités sociales d'insécurité routière sert de support pour présenter l'estimation des risques d'insécurité primaire lorsque les données d'exposition sont disponibles. Cette recherche s'appuie sur les données de la cohorte « GAZEL ». Il s'agit d'une cohorte de travailleurs et retraités d'EDF-GDF créée en 1989 par l'unité INSERM U88 puis U687^{12 13}. Ce recueil longitudinal de données sociodémographiques et de santé collecte chaque année, depuis 2002, des données individuelles d'insécurité routière et d'exposition au risque routier.

Dans la partie suivante, l'analyse des méthodes utilisées pour estimer les risques d'insécurité primaire sans données d'exposition au risque routier est réalisée à travers l'étude du rôle du cannabis et de l'alcool dans la survenue d'accidents mortels. Cette analyse repose sur les données de l'enquête « Stupéfiants et Accidents Mortels »¹⁴. Ces informations décrivent les consommations d'alcool et de stupéfiants de chaque conducteur impliqué dans un accident mortel. Elles ont été collectées entre octobre 2001 et septembre 2003.

La dernière partie de ce travail présente la façon dont il est possible d'obtenir des éléments de sécurité primaire sur données de sécurité secondaire en étudiant le rôle de l'âge, du genre des conducteurs mais aussi des caractéristiques d'âge, de poids et de puissance de leurs véhicules particuliers dans des accidents corporels et mortels. Pour cela, les données du recueil systématique des accidents corporels de la circulation survenus sur tout le territoire français métropolitain, entre 1996 et 2005 sont utilisées². Pour chaque événement d'insécurité routière, un bulletin d'analyse d'accident corporel est rempli par les forces de l'ordre afin de recueillir des informations relatives à l'environnement de l'accident, aux véhicules et usagers impliqués.

Les analyses « macroscopiques » dans lesquelles les accidents de la route et l'information d'exposition sont utilisés sous une forme agrégée au niveau d'un groupe ou d'une zone géographique (données écologiques) sortent du cadre de ce travail.

La stratégie d'analyse est décrite dans chacun des chapitres relatifs à ces axes de recherche.

3. RÉSULTATS

Chapitre 1

État de l'art et conceptualisation épidémiologique de l'exposition au risque routier

Les principales caractéristiques de l'exposition au risque routier et ses liens avec le concept épidémiologique d'exposition à un facteur de risque sont présentées dans ce chapitre.

1.1. DEFINITION DE L'EXPOSITION AU RISQUE ROUTIER

La définition de l'exposition au risque routier est souvent confondue avec la définition de sa mesure usuelle : le nombre de kilomètres parcourus par un usager. Ses définitions sont pourtant abondantes¹⁵⁻¹⁸. Certaines sont vagues « unité de risque dans les taux d'accidents de véhicules motorisés »¹⁹, « mesure de l'utilisation de la route. »²⁰. La plupart font cependant référence à la notion de « quantité d'opportunités d'accident de la circulation » rencontrées par un conducteur sur le système routier^{18 21}, c'est-à-dire au « nombre de fois où le conducteur devient vulnérable »^{22 23} ou au « nombre de fois où un danger peut survenir. »²⁴. L'exposition au risque routier est ainsi assimilée à un cumul de situations de déplacement dangereuses et ces dangers augmentent continuellement avec l'accroissement de l'activité de conduite.

Ces définitions se focalisent essentiellement sur les conducteurs de véhicules motorisés et sur les éléments actifs du système routier, c'est-à-dire les usagers se déplaçant. Une définition plus large est cependant nécessaire pour appréhender les situations dangereuses des piétons, des cyclistes ou des usagers susceptibles d'être accidentés mais immobiles sur le réseau. La définition de¹⁷ est à ce titre plus globale : « se trouver dans une situation à risque d'être impliqué dans un accident de la route, risque mesurable ... pour les éléments actifs et passifs du système de trafic ».

D'autres définitions donnent un sens encore plus large au concept d'exposition au risque routier :^{15 16 18}

-« Quantité d'événements extérieurs (à l'usager) rencontrés lorsqu'il se déplace et dangerosité relative à chacun de ces événements évaluée en terme d'où, quand et comment une personne conduit ».

- « Fréquence des occurrences de situations à risque et des circonstances associées à ces situations à risque ».

-« Nombre de fois où le conducteur devient vulnérable à une collision. Le nombre de situations de vulnérabilité dépend « d'où, quand et comment » le déplacement s'effectue.

- « Fonction du risque relatif qui caractérise le conducteur/véhicule dans toutes les combinaisons d'environnement, spécialement selon le lieu sur le système routier ».

- « Processus systématique affectant le système routier qui dépend de l'interaction continue entre le comportement du conducteur et l'environnement en continuel changement. On doit

aller au-delà de la mesure brute de kilométrage en intégrant les caractéristiques des véhicules et conducteurs, celles du système routier et de l'intensité de son usage et les conditions environnementales ».

- « L'exposition ne peut être dissociée de la responsabilité. La première mesure évoque le nombre de situations qui peuvent conduire à un accident de la route pour un groupe donné en situation de déplacement. La seconde évoque les caractéristiques de l'utilisateur ou du véhicule qui concourent à l'apparition d'une occurrence d'accident. »²⁵

-« L'exposition au risque d'accident évoque le nombre d'opportunités d'accident. Ce nombre peut varier selon le déplacement effectué et les risques auxquels sont exposés les usagers varient selon le comportement et les circonstances rencontrées lors de ce déplacement. »²⁶

- « De nombreux paramètres interviennent dans l'exposition au risque d'accident de la route et il serait nécessaire, à l'avenir, d'analyser ce problème dans son ensemble, en considérant le risque relatif du conducteur et l'amplitude de l'exposition. Le premier paramètre tient compte des caractéristiques personnelles de l'individu, du type d'affection et de sa permanence, et du type d'utilisation de la route, tandis que le deuxième peut-être mesuré en kilomètre, heure de conduite, ou selon la consommation de carburant »¹⁵.

L'exposition au risque routier ne peut donc se limiter à un simple décompte quantitatif des opportunités d'accidents de la route. Elle englobe également une dimension qualitative, l'intensité d'exposition, découlant des caractéristiques de l'utilisateur, du mode de déplacement utilisé et de l'environnement de déplacement. L'environnement de déplacement regroupe les facteurs externes à l'utilisateur et à son mode de déplacement susceptibles de l'influencer dans sa façon de se déplacer : caractéristiques de l'infrastructure utilisée, caractéristiques météorologiques, ou plus largement les conditions de circulation, résultant entre autres des politiques de prévention, de répression routières...^{9 27 28} La combinaison des caractéristiques « usager-véhicule-environnement » définit donc le niveau de dangerosité de chaque opportunité d'accident¹⁶.

La dangerosité de l'activité de déplacement est conditionnée par les comportements de l'utilisateur et sa capacité à conduire, eux-mêmes conditionnés par l'environnement de déplacement²⁹. La conceptualisation de l'exposition présentée par Hauer³⁰ est la plus conforme à ces définitions. Elle permet d'appréhender la dimension quantitative et qualitative (intensité d'exposition) de l'exposition au risque routier. Dans le cadre probabiliste ainsi proposé, chaque opportunité d'accident, c'est-à-dire chaque unité d'exposition, est assimilée à un essai. Le domaine de définition des essais, le « chance set up », est le système routier. Chaque nouvelle unité d'exposition correspond à un nouvel essai. Une probabilité d'accident

est associée à chaque unité et est définie par la combinaison de caractéristiques usager-véhicule-environnement présentes dans l'unité considérée. Chacune des unités a alors une probabilité singulière « de réussite », c'est-à-dire de se transformer en accident. Ces probabilités permettent de décrire les « propriétés de sécurité » du système routier examiné. ³⁰

31

L'exposition au risque routier, « l'exposition », est considérée selon une triple dimension : l'implication ou non des sujets sur le réseau routier (exposition de base), la quantité d'utilisation de ce réseau (exposition quantitative) et la qualité de l'exposition au risque routier définie en fonction des combinaisons de caractéristiques usager-véhicule-environnement présentes (intensité de l'exposition).

Il existe d'autres définitions de l'exposition au risque routier lorsqu'il s'agit d'étudier l'insécurité routière propre à un site ou une portion du réseau routier. Ces définitions ne sont pas présentées car l'entité d'intérêt dans ce travail est l'usager. Cette remarque est également valable pour la suite, notamment pour le paragraphe sur les unités de mesure de l'exposition.

1.2. UTILISATION DE L'EXPOSITION AU RISQUE ROUTIER

L'exposition au risque routier est avant tout une mesure des déplacements des usagers. Elle permet de connaître les comportements de déplacement et leurs évolutions temporelles selon les différentes caractéristiques usager-véhicule-environnement ³².

L'exposition est également collectée pour évaluer le niveau de sécurité routière des usagers. En effet la simple connaissance du nombre d'accidents n'est pas suffisante ^{33 34}. L'exposition est alors utilisée pour calculer des indicateurs relatifs de sécurité routière. Il s'agit d'identifier si une augmentation de l'insécurité routière d'un groupe est la simple conséquence d'une hausse des quantités de déplacement des usagers ou au contraire reflète une dégradation des comportements et conditions de déplacement, c'est-à-dire que la modification du nombre d'accidents d'un groupe d'usagers est disproportionnée par rapport à ses quantités de déplacement.

Dans ce cadre, l'exposition est généralement utilisée pour calculer les taux d'implication dans un accident de la circulation, c'est-à-dire les risques d'insécurité primaire. On peut ainsi définir :

Taux d'accident=Nombre d'accidents de la circulation/Exposition au risque routier

L'exposition a deux rôles dans ces taux. Soit elle est utilisée à des fins descriptives pour « normaliser (l'insécurité routière) sur les différences de quantité d'utilisation du système

routier, de sorte que les comparaisons entre entités ou périodes de temps deviennent interprétables »^{17 35}. Soit elle est utilisée à des fins analytiques pour « identifier la surreprésentation de certains groupes d'usagers dans les accidents, c'est-à-dire pour permettre l'identification des différences entre les taux d'accidents des groupes afin de trouver les causes et éventuellement des remèdes (de l'insécurité routière) »³⁵. Dans cette approche, l'intensité de l'exposition est utilisée pour définir les groupes d'usagers à étudier : les différentes caractéristiques usagers-véhicule-environnement sont utilisées pour dénombrer les unités d'exposition, les accidents et calculer les taux d'accident pour les groupes ainsi définis. L'exposition au risque routier n'est pas toujours utilisée pour déterminer des taux d'accident de la route, mais parfois comme un facteur d'ajustement dans les analyses comparatives de type cas-témoins. L'objectif est identique : il s'agit d'ajuster sur les quantités de déplacement des usagers afin de mieux appréhender les effets propres sur la sécurité routière primaire, associés aux facteurs de risque d'intérêt^{15 29 36 37}. Ces facteurs d'intérêt sont les caractéristiques usager-véhicule-environnement qui définissent l'intensité de l'exposition. L'utilisation de l'exposition au risque routier sous forme de taux ou sous forme de facteurs de risque est illustrée dans le chapitre deux.

1.3. METRIQUE DE L'EXPOSITION AU RISQUE ROUTIER

La deuxième difficulté associée au concept d'exposition au risque routier réside dans sa mesure. Si l'on choisit la définition proposée par Hauer, l'exposition au risque routier se quantifie en théorie en nombre d'essais, c'est-à-dire en « opportunités d'accident »³⁰. Ces concepts sont cependant abstraits. Face à la difficulté pour transcrire sur le plan pratique la définition de l'exposition au risque routier, de nombreuses mesures ont été proposées^{7 33 34}.

La mesure la plus fonctionnelle est celle qui permet de dénombrer les opportunités d'accidents et de les détailler selon les caractéristiques usager-véhicule-environnement^{29 38 39}.

A ce titre, le kilomètre parcouru est la mesure la plus répandue de l'exposition au risque routier^{15 40}. Le kilomètre-usager est assimilé à « un essai » et peut être cumulé selon les différentes combinaisons de caractéristiques formant l'intensité de l'exposition. Le kilomètre parcouru présente cependant l'inconvénient de ne pas tenir compte de la vitesse pratiquée par les usagers^{41 42}. Le temps passé à se déplacer est préféré par certains^{15 17 29 43}. Il permet de prendre en compte l'exposition des usagers ne se déplaçant pas mais présent sur le réseau routier (cas des sujets présents au bord d'une route nationale, attendant leur bus,...). Il permet aussi de mieux comparer les usagers de véhicule motorisés à ceux se déplaçant à pieds ou à vélo : ces derniers passent un temps important sur la route mais cumulent peu de kilomètres.

Le kilométrage des usagers reste la mesure la plus utilisée car il s'avère plus facile à collecter⁴⁴.

Le kilomètre parcouru n'est pas la mesure d'exposition la plus adaptée pour les usagers non motorisés et des unités d'exposition plus spécifiques au mode de déplacement considéré sont nécessaires^{33 45 46}. Nous l'avons vu, le temps passé à se déplacer est une des mesures utilisables¹⁵. D'autres mesures sont aussi utilisées. Les piétons et les vélos circulent parfois sur des voies protégées, trottoirs ou pistes cyclables. Les opportunités d'accident surviennent le plus souvent lorsque les sujets non motorisés sont confrontés aux usagers d'autres modes de déplacement. Le nombre de voies traversées peut s'avérer dans ce cas une meilleure mesure de l'exposition. Elle peut être aussi déterminée en associant à chaque sujet une mesure écologique comme le trafic automobile traversant les voies, carrefours empruntées par les piétons⁴⁷⁻⁵³.

Ces différentes unités de mesure de l'exposition permettent d'appréhender à la fois la dimension quantitative de l'exposition et l'intensité d'exposition définie par les caractéristiques usager-véhicule-environnement. Toutefois le choix final de l'unité à utiliser dépend de l'information disponible ou possible à recueillir.

Le nombre de trajets par usager est parfois utilisé comme mesure de l'exposition au risque routier^{15 17}. Néanmoins, cette mesure de l'exposition mesure moins précisément la quantité d'exposition puisque le nombre d'opportunités d'accident varie d'un trajet à l'autre.

Lorsque l'exposition au risque routier ne peut être mesurée dans la population pour laquelle on dispose de l'information sur les accidents, d'autres mesures sont utilisées. Il s'agit ainsi d'utiliser comme dénominateur des taux d'accidents le nombre d'habitants vivant dans la même zone géographique que la population pour laquelle on dispose de l'information sur les accidents.^{33 34 54-56}. Les risques ainsi calculés permettent de comparer l'insécurité routière et ses conséquences sanitaires aux autres problèmes de santé publique^{40 54}. Cette mesure présente cependant l'inconvénient de ne pas tenir compte des disparités dans l'activité routière des sujets.

Le parc de véhicules immatriculés^{34 57} et le nombre de détenteurs du permis de conduire sont également utilisés pour mesurer l'exposition au risque routier^{58 59}. L'utilisation du parc de véhicules conduit à considérer des échelles de mesure différentes puisque l'insécurité routière est évaluée au niveau des usagers alors que l'exposition est mesurée au niveau du mode de déplacement. Si ces mesures permettent une meilleure prise en compte de la population susceptible de se déplacer, ces indicateurs ne tiennent pas compte des disparités (variabilité

inter-individuelle) dans les quantités de déplacement des sujets composant cette population ⁵
⁶⁰.

La consommation totale de carburant de la population étudiée peut être employée pour estimer le nombre de kilomètres qu'elle a parcouru. Cette mesure agrégée de la quantité d'exposition des sujets est utilisée dans les études macroscopiques visant à évaluer l'insécurité routière au niveau national ^{33 45 46}. Elle présente cependant tous les inconvénients d'une mesure écologique (données mesurées au niveau d'unités géographiques et non sur les individus) lorsqu'il s'agit de traiter une problématique nécessitant des données plus individuelles : cette exposition quantitative ne peut être détaillée selon les caractéristiques usager-véhicule-environnement et introduit de la confusion dans l'interprétation des résultats ^{16 18 33 34}.

1.4. COLLECTE DE L'EXPOSITION AU RISQUE ROUTIER

1.4.1. Techniques de collecte

L'information d'exposition au risque routier se recueille de deux façons : en observant prospectivement la population circulante ou en interrogeant, soit rétrospectivement soit prospectivement, les sujets de la population générale sur leurs activités de déplacement ^{17 33 34}
⁶¹.

Le recueil de l'information peut s'effectuer lorsque le déplacement est en train de s'effectuer, par observation du trafic sur une ou plusieurs portions du réseau routier ^{17 36 62}. La méthode de recueil la plus grossière consiste à enregistrer l'information grâce à des systèmes de décompte automatique des véhicules, voire des piétons installés sur la chaussée. Seul le nombre de véhicules-conducteurs circulant est enregistré sans détail sur les caractéristiques usager-véhicule-environnement ^{34 36 62}. Les données peuvent également être recueillies par des observateurs. Les caractéristiques des sites étudiés, des véhicules, des conducteurs, et éventuellement le taux d'occupation des véhicules peuvent être renseignés ^{34 36 62}. L'information d'exposition ainsi obtenue est néanmoins plus adaptée pour étudier l'insécurité routière présente sur un site routier que celle des usagers d'une zone géographique donnée. D'une part, cette information manque de détails pour être utilisée au niveau individuel puisque seules les caractéristiques des usagers, facilement visualisables, sont exploitables. D'autre part, l'information recueillie sur un ou plusieurs sites n'est représentative que de la population circulant sur ces sites. Il est nécessaire de multiplier les sites et périodes de recueil

pour obtenir une information d'exposition représentative de la population circulante sur la zone géographique d'intérêt. Ceci peut s'avérer cher et long.

Une autre méthode consiste à interroger les usagers sur leurs déplacements lorsqu'ils se ravitaillent dans une station-service^{17 63 64}. Cette technique de recueil n'est cependant valable que pour les usagers d'engins motorisés. Les informations collectées sur les caractéristiques individuelles des conducteurs peuvent être plus détaillées que celles obtenues dans les techniques de recueil précédentes, en particulier pour celles non visualisables. Au lieu d'interroger les sujets dans les stations services, il est aussi possible de les arrêter au bord des routes. Le choix des sites d'interview et des sujets à interroger est réalisée, en règle générale, en fonction des caractéristiques de sujets accidentés et des lieux de survenues des accidents⁶⁵. Dans ce cas, les usagers non motorisés et leur exposition peuvent également être étudiés.

Ces différentes techniques consistent à recueillir l'information à partir de points d'observation fixes. Il est également possible de collecter l'information en suivant un usager à travers les différents sites qu'il traverse lors de ses déplacements^{48 53 66-68}. Les détails sur l'environnement de déplacement, mais également sur ses comportements au cours des déplacements peuvent être collectés. Cette technique est souvent utilisée pour obtenir des informations d'exposition chez des sujets utilisant des modes non motorisés.^{36 53}. Le recueil est réalisé manuellement et est quelquefois complété en utilisant un système d'informations géographique (SIG) et un GPS^{50 52 69-71}. Ces techniques permettent de reconstituer avec exactitude la longueur des parcours et les différentes caractéristiques des voiries empruntées⁷². Elles sont cependant difficiles à appliquer sur de vastes zones géographiques.

Si ces différentes techniques de recueil ont l'avantage de fournir des informations détaillées quant aux environnements de déplacement, les résultats obtenus sur de telles données sont difficilement généralisables à d'autres populations que celles circulant sur les sites observés. Les techniques d'enquête classiques sont alors employées en population générale^{33 34}. Un questionnaire est administré aux sujets grâce aux techniques usuelles d'enquête : par entretien en face-à-face, par entretien téléphonique ou par voie postale^{37 52 53 61}. Des informations sur les caractéristiques des usagers, en situation de déplacement ou en dehors de ces situations, sur les caractéristiques de leurs modes de déplacement et sur leurs trajets peuvent ainsi être recueillies^{73 74}. Les données collectées sont généralement très fines, surtout lorsque l'utilisateur est invité à remplir un carnet-voyage⁷³. Ce carnet permet de recenser tous les trajets effectués et les détails relatifs à ces trajets¹¹. Dans la mesure où les sujets remplissent ce carnet à l'issue du trajet voire plusieurs jours après, le recueil est sujet au biais de mémorisation⁵⁰.

Lorsqu'aucune donnée relative aux déplacements des sujets ne peut être recueillie, d'autres techniques doivent être utilisées pour obtenir une information d'exposition.

La première méthode consiste à utiliser des données d'exposition au risque routier préalablement recueillies sur une population proche de celle dont sont extraits les sujets accidentés étudiés. Il s'agit par exemple d'utiliser les données d'exposition au risque routier initialement recueillies pour étudier les comportements de déplacement des sujets d'un pays. Ces données servent de référence nationale et sont recueillies chez des sujets ou des ménages échantillonnés au niveau national afin d'être représentatifs de la population du territoire étudié^{75 76}. Cette démarche suppose cependant que les usagers de la population étudiée et ceux de la population servant à estimer l'exposition de référence soient exposés de la même façon notamment en termes de lieux et modes de déplacement. De plus, il convient de disposer d'informations sur la même période d'observation et les mêmes lieux que les données d'accidents disponibles⁵⁰. Même s'il est possible d'éviter ces écueils, une limite majeure demeure. Cette démarche conduit en effet à appliquer la distance moyenne parcourue par des usagers d'un certain profil, distance estimée dans le recueil de référence, à ceux du même profil présents dans la population étudiée. Comme évoqué dans le paragraphe précédent, cette mesure écologique ne tient pas compte des disparités dans les quantités de kilomètres parcourus par les usagers d'un même profil.

Lorsque l'information d'exposition au risque routier est mesurée sur une population externe à celle étudiée, elle n'est pas toujours détaillée selon les caractéristiques usager-véhicule-environnement qu'il est nécessaire d'appréhender pour tenir compte des différentes sources de confusion³³ : ces données de référence sont mal adaptées à l'étude de problématiques spécifiques comme celles relatives aux enfants ou aux usagers non motorisés^{39 48 50 73}. Pour que cette approche soit pertinente, il est également nécessaire de pouvoir contrôler les éventuels facteurs susceptibles de différer entre la population des accidentés et celle sur laquelle l'exposition de référence est recueillie³⁴, mais ceci suppose de connaître au préalable ces facteurs. Cette approche ressemble à celle réalisée en épidémiologie des maladies professionnelles. Dans la mesure où il est difficile d'estimer rétrospectivement l'exposition des travailleurs à des substances chimiques et d'évaluer la toxicité de ces substances selon la tâche effectuée, des matrices « emploi-exposition » sont créées⁷⁷. Selon le poste occupé, une exposition de référence est affectée aux usagers. Il est alors impossible de prendre en compte la variabilité individuelle et environnementale des sujets, par exemple l'éventuelle présence d'un dispositif de ventilation dans l'atelier ou le port d'une protection individuelle. Les risques sont confondus sur ces facteurs.

Face à ces difficultés dans le recueil d'une information adéquate, des méthodes d'analyses ont été développées pour se passer des données d'exposition au risque routier. Parmi les différentes méthodes existantes, celle dite de quasi exposition-induite est la plus utilisée pour estimer des risques routiers d'insécurité primaire. Elle nécessite uniquement des données sur les sujets accidentés, données qui présentent l'avantage d'être détaillées sur les caractéristiques usager-véhicule-environnement. Il s'agit d'utiliser un sous-groupe d'accidentés capable de fournir les estimations des prévalences de ces caractéristiques présentes dans la population circulante. Ces différentes méthodes sont étudiées très largement dans le chapitre 3.

1.4.2. Exemples de recueils

Il existe en France différents recueils de données d'exposition au risque routier. La source la plus importante est « l'enquête nationale Transport » pilotée conjointement par l'INSEE et l'INRETS^{32 78}. La première enquête a été réalisée en 1966-1967 puis reconduite une fois par décennie. Une enquête transversale est actuellement en train de se dérouler et la dernière disponible a été réalisée en 1993-1994. Elle portait sur environ 14 213 ménages soit près de 200 000 trajets décrits. Ce recueil visait à connaître les habitudes de déplacement des ménages, leurs comportements de déplacement et à collecter un maximum de trajets afin de constituer une matrice origine-destination. Les informations ont été recueillies par interview en face à face puis par un carnet-voyage. Des données sur les caractéristiques socio-économiques des sujets ainsi que sur leurs moyens de locomotion ont ainsi été collectées. Des informations sur les trajets, distances et temps de parcours ont ensuite été recueillies sur une période de sept jours grâce au carnet-voyage. Bien que l'objectif principal de ce recueil ne soit pas d'estimer des mesures d'exposition pour déterminer des risques d'insécurité primaire, il apporte toutefois des informations majeures pour déterminer l'insécurité routière de certains usagers de la route français. Il ne permet toutefois pas d'étudier des problématiques particulières comme les risques associés à la drogue ou à l'alcool sur les routes françaises. L'enquête 2007 est plus détaillée que les précédentes et recueillera une partie des informations sur les déplacements en utilisant un récepteur GPS.

Depuis 1973, le Centre d'Etude sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques a développé un outil standardisé pour recueillir des informations sur les pratiques de déplacement des populations habitant dans et à proximité d'une zone urbaine⁷⁹. Ces données permettent d'élaborer ou d'évaluer les politiques de transport de ces agglomérations, notamment d'améliorer leur plan de déplacement urbain. Dans ces études, un

échantillon représentatif des ménages vivant dans l'aire d'étude est sélectionné. Les caractéristiques sociodémographiques des sujets formant ces ménages et celles de l'ensemble de leurs déplacements s'étant effectués la veille de l'enquête sont ainsi renseignées. Plus de 80 enquêtes « ménages déplacements » ont ainsi été réalisées dans les différentes villes françaises. A Lyon, par exemple, l'enquête s'est déroulée en 1976 puis a été reconduite en 1985, 1995 et 2007. Les données d'exposition ainsi sélectionnées ne sont généralisables qu'aux usagers vivant et se déplaçant dans l'aire géographique d'étude.

Il existe d'autres sources françaises de données d'exposition. Le panel « Parcauto » de la SOFRES ⁷ portant sur 10 000 ménages français fournit également des informations d'exposition. Un questionnaire postal permet d'obtenir des informations sur le parc automobile des ménages et sur les kilomètres parcourus par l'utilisateur principal des véhicules. Des enquêtes sont également réalisées sur des groupes particuliers d'utilisateurs de la route comme les piétons ^{10 66 67}. L'enquête « MARC » (Mobilité, Attitudes, Risque et Comportement) permet d'analyser le risque routier des jeunes automobilistes et son évolution en fonction de leur mobilité et de leur style de vie ⁸⁰. « L'Enquête Globale de Transport » permet de connaître les déplacements des Franciliens ⁷. Elle est réalisée à chaque recensement général de la population et recueille des informations sur les caractéristiques générales des ménages, des individus les composant et des déplacements effectués.

L'exposition au risque routier est recueillie dans la plupart des pays développés ^{7 81}. Aux Etats-Unis, l'enquête transversale « National Household Survey » conduite en 2001, sur un échantillon représentatif de ménages, permet un inventaire des trajets journaliers mais également des trajets de longues distances des américains. C'est la sixième enquête de ce genre depuis 1969. L'enquête collecte, via une interview et un carnet-trajet, des informations sur les trajets (but, moyen de transport, durée, longueur), les véhicules (marque, ...) et les usagers (sexe, âge, statut professionnel...) ⁸². Près de 66 000 ménages sont interrogés : 26 000 sont échantillonnés au niveau national et 40 000 selon neuf zones géographiques plus spécifiques afin de pouvoir étudier des problématiques plus locales. Tous les modes de déplacements routier ou non sont étudiés. Les trajets courts sont recueillis pendant 24 heures, ceux longs (supérieurs à 50 miles) pendant 28 jours. Ces données permettent de quantifier les comportements de déplacements, les changements dans le temps, les caractéristiques des déplacements et les risques d'insécurité primaire ⁸²⁻⁸⁴. Le Royaume-Uni possède une enquête transversale similaire, la « National Travel Survey » (⁸⁵). Elle est réalisée tous les deux ans. En 2005, 8 400 foyers ont été contactés afin de recueillir des informations sur les raisons des trajets, les modes de déplacement motorisés ou non, les temps et distances de trajet et ce,

selon les caractéristiques des sujets, de leur véhicule et des foyers. Le mode de recueil est identique à celui employé par les français ou les américains avec un recueil des trajets pendant 7 jours. Un autre exemple de recueil est l'enquête australienne « Survey of Motor Vehicle Use ». Elle fournit des informations sur les trajets et propriétaires des véhicules motorisés ⁸⁶.

Au niveau européen, l'International Road Traffic and Accident Database ^{10 87 88} centralise des données d'insécurité routière mais également d'exposition depuis 1989 pour 29 pays membres de l'OCDE. Ces informations sont cependant agrégées au niveau des pays et seulement stratifiables sur quelques caractéristiques usager-véhicule.

Enfin, la plupart des pays développés maintiennent des registres nationaux sur les sujets potentiellement autorisés à conduire des véhicules motorisés (autres que les cyclomoteurs de moins de 50cm³ ou les voitures sans permis ⁷).

1.4.3. Limites des données recueillies

Les processus systématiques de collecte de l'information, comme ceux conduits par les forces de l'ordre pour les accidents corporels (BAAC) ou ceux mis en place dans les structures hospitalières (registre), n'existent pas pour l'information d'exposition. Les recueils sont le plus souvent ponctuels. La qualité des analyses de sécurité routière qu'il est possible de conduire dépend de la possibilité de détailler chaque unité d'exposition selon les caractéristiques des usagers, de leur véhicule et de l'environnement de déplacement.

Dans les enquêtes en population générale, l'interview en face à face puis l'utilisation d'un carnet-trajet permet de disposer d'une information détaillée sur les usagers, leur mode de déplacement et dans une certaine mesure sur les environnements de déplacement traversés lors de leur trajet. Afin d'obtenir des résultats représentatifs de la population cible, les sujets interviewés sont sélectionnés par des procédures d'échantillonnage plus ou moins complexes ^{17 75}. Si la représentativité des sujets vis-à-vis de la population source est recherchée, c'est-à-dire la population générale, rien ne permet d'affirmer que ces sujets sont représentatifs des sujets qui circulent réellement et que leurs trajets sont représentatifs des déplacements effectués par la population circulante.

De plus l'exposition collectée est celle associée à une certaine période d'observation et il n'est pas certain que les mesures collectées à un autre moment fournissent les mêmes estimations. Un recueil récurrent, de type cohorte, permet de se prémunir contre la collecte de données trop spécifiques du fait d'événements particuliers survenant à un instant t (augmentation du prix du carburant, effet de saisonnalité,...) ³⁴.

Les informations ainsi recueillies sont sujettes aux biais et erreurs inhérents à tout recueil de données. Par exemple, le remplissage des carnets-voyage dépend de l'âge des usagers et de leur niveau de compréhension. Il est difficile et parfois imprécis pour les sujets âgés et les enfants, surtout lorsque le questionnaire ou le carnet-journal journal est rempli par un proche^{33 50 61 73}. Le recours au SIG et au GPS devrait permettre d'obtenir une information plus détaillée notamment pour ce qui concerne les caractéristiques des infrastructures empruntées lors des trajets. Le risque de biais différentiels associés à l'âge des sujets doit être pris en compte au regard de la complexité de mise en œuvre de ces technologies. Ces techniques sont en outre onéreuses et difficilement applicables à la collecte d'informations sur de vastes étendues géographiques. Les biais de mémorisation sont également importants lorsque les sujets ne remplissent pas le journal immédiatement après le trajet ou pour les questionnaires recueillant l'information de façon rétrospective, notamment les distances parcourues dans l'année³³.

La question du coût du recueil est centrale. En effet un grand nombre d'informations est nécessaire pour pouvoir stratifier l'information d'exposition sur différentes combinaisons de caractéristiques tout en conservant une puissance statistique acceptable. Lorsque les échantillons étudiés sont de taille réduite, il n'est pas possible d'appréhender toutes les caractéristiques et les risques ainsi calculés peuvent être biaisés par des facteurs impossibles à prendre en compte.

L'échantillon de données le plus indiqué serait celui qui fournirait des informations sur chaque unité d'exposition parcourue (ou un échantillon représentatif de ces unités) sur le réseau du territoire d'étude. Ces unités devraient être détaillées selon l'ensemble des caractéristiques usager-véhicule-environnement rencontrées par un usager, que ses déplacements s'effectuent avec ou sans un engin motorisé. Un tel recueil est difficilement envisageable puisque il est impossible de suivre tous les usagers. De plus, cela nécessiterait des moyens logistiques et financiers mais également des capacités de stockage et d'analyse de l'information impossibles à réunir actuellement.

1.5. EXPOSITION AU RISQUE ROUTIER ET EPIDEMIOLOGIE

1.5.1. Exposition en épidémiologie^{89 90}

1.5.1.1. Définition

En épidémiologie, « l'exposition » se définit comme :

- « le contact d'un sujet avec toute caractéristique individuelle ou tout agent extérieur susceptible de modifier sa santé »,
- «le contact d'un sujet avec un agent présent dans une substance ou dans l'environnement »,
- « la confrontation à des événements ou facteurs susceptibles de modifier la probabilité de survenue de la maladie ».

La détermination de « l'exposition » des sujets permet d'identifier ceux confrontés ou non à certains facteurs de risque et de les classer en fonction de leur intensité ou fréquence d'exposition.

Ces facteurs sont internes ou externes aux sujets. Il peut s'agir d'agents chimiques, biologiques ou sociaux externes à l'individu et présents dans son environnement. Ce peut être également un agent physique ou sa manifestation, externe au sujet, mais présent dans son corps : par exemple un agent biologique (virus) ou le métabolite d'un agent externe. Il peut enfin s'agir d'une caractéristique ou d'une perception individuelle.

Si certains de ces facteurs sont susceptibles de favoriser l'apparition de l'évènement étudié, d'autres peuvent, au contraire, prévenir cette apparition: la pratique d'exercice physique ou la consommation d'aliments à fibres sont par exemple des facteurs protecteurs d'un certain nombre de pathologies.

1.5.1.2. Mesure

L'exposition se collecte soit globalement au niveau de l'environnement de vie ou de travail des sujets, soit au niveau individuel.

Les mesures globales d'exposition (mesures écologiques) correspondent à des prélèvements (eau, air, ...) ou des enregistrements (sonores,...) dans l'environnement des sujets. Dans le cas de maladies professionnelles, ces mesures directes de l'exposition sont difficiles à établir. Il est nécessaire d'établir une mesure moyenne d'exposition par métier ou poste de travail (matrice emploi-exposition). Cette reconstitution des expositions passe par l'analyse des documents de production de l'entreprise, de ceux des services de médecine du travail, des fiches de poste ou encore par interview d'un sous-groupe de sujets en fonction des emplois et des postes de travail qu'ils ont occupés. L'exposition globale ainsi déterminée est supposée valide et généralisable pour tous les sujets du territoire géographique étudié ou tous les sujets ayant occupé la même fonction ou le même poste de travail. On parle de mesures écologiques. Il existe cependant un risque de confusion dans ces mesures globales dû à la variabilité intra et inter individuelle de l'exposition : d'une entreprise à l'autre, il n'est pas certain qu'un

même métier conduise les sujets à être exposés aux mêmes facteurs, dans les mêmes concentrations et durées.

La détermination de l'exposition est plus précise lorsqu'elle est réalisée directement sur l'individu. Elle peut s'effectuer par mesure biologique notamment par recherche des biomarqueurs (prise de sang, prélèvement de tissus,...), par examen clinique ou par observation directe du sujet. Elle peut également s'effectuer par auto-questionnaire ou interview du sujet ou d'un proche.

1.5.1.3. Difficultés associées à l'exposition

La mesure de l'exposition à un facteur de risque n'est pas toujours disponible et il convient d'utiliser un substitut à la vraie exposition. Lorsque le mécanisme d'action d'un facteur de risque sur la santé d'un usager n'est pas connu, il est difficile de connaître l'exposition à mesurer : certaines activités professionnelles sont ainsi classées comme potentiellement dangereuses sans pour autant connaître le véritable agent responsable de cette dangerosité. C'est également le cas lorsque le vrai facteur est connu mais ne peut être mesuré : le rôle causal du benzopyrène inhalé dans l'association entre cancer de la langue et consommation de tabac n'est pas évaluable avec exactitude puisqu'il est impossible de mesurer les quantités de cette substance inhalées sur de longues périodes de temps. Dans les deux cas, il est nécessaire d'utiliser une autre information, la profession exercée ou la quantité de cigarettes consommées, pour obtenir une information d'exposition.

L'exposition est recueillie de façon prospective ou rétrospective. Dans ce dernier cas, le recueil est sujet aux biais de mémorisation. La qualité de l'information dépend en plus de l'adaptation du mode de recueil à la compréhension des usagers, de la capacité des échelles et outils de recueil à refléter la réalité de l'exposition aux facteurs de risque considérés. Des erreurs de mesure peuvent entraîner une mauvaise classification des sujets vis-à-vis des niveaux d'exposition et altérer la validité des associations et des effets-doses entre les facteurs et la maladie étudiés. L'exposition à un facteur est d'autant plus délicate à évaluer que la survenue d'une maladie n'est généralement pas conditionnée par l'exposition à un unique facteur de risque : plusieurs facteurs internes aux sujets mais également ceux externes peuvent agir conjointement et parfois en interaction entre eux. De mêmes les sources d'exposition peuvent être multiples (lieu de travail, domicile,...). Enfin, il est nécessaire d'évaluer le temps d'exposition passé dans chacune de ces sources et leur intensité.

La mesure de l'exposition doit refléter le mécanisme d'action des facteurs de risque sur la survenue de la maladie considérée. Le choix de la mesure dépend de la connaissance de ce

mécanisme. Il est parfois préférable de collecter le cumul d'exposition sur une période donnée, cas des maladies chroniques. Dans ce cas, l'exposition peut être cumulée de différentes façons : la même quantité d'exposition peut correspondre à une multitude d'expositions brèves ou au contraire à de plus rares mais sur de plus longues périodes d'exposition. Il est important d'appréhender la durée de l'exposition mais également son intensité. La mesure maximale d'exposition est quelquefois plus indiquée, comme pour l'asthme. Enfin, il est important de considérer l'effet de latence : le délai s'étant écoulé entre l'apparition de la maladie et la période lors de laquelle l'exposition d'intérêt est survenue. Les expositions les plus récentes n'ont pas toujours un rôle immédiat. Il est préférable de mesurer l'exposition intervenue lors de périodes antérieures.

La possibilité de mettre en évidence une association entre un facteur de risque et une maladie dépend donc à la fois d'une définition précise de l'exposition à ce facteur et d'une bonne quantification.

1.5.2. Exposition au risque routier, facteur de risque, population à risque et risque routier

1.5.2.1. Exposition au risque routier et exposition à un facteur de risque

« Etre exposé » aux dangers de la route renvoie à la notion d'exposition aux facteurs de risque présents lors des déplacements des sujets. Ces facteurs génèrent une certaine insécurité, c'est-à-dire le « risque ambiant », à un instant t, auquel le sujet est exposé lorsqu'il se trouve sur le réseau. Le rapprochement du concept d'exposition au risque routier à celui d'exposition à un facteur de risque permet d'établir que :

- la notion de confrontation à des agents correspond à « l'exposition de base », se déplacer ou non sur le réseau routier. Le nombre d'unités de kilomètres parcourus, « l'exposition quantitative », correspond à la durée ou à la fréquence de ces confrontations aux agents ⁹¹.

- les facteurs auxquels les usagers sont exposés sont de deux ordres :

- Les facteurs internes : les caractéristiques individuelles des usagers.
- Les facteurs externes : les caractéristiques de leurs modes de déplacement et celles de l'environnement de déplacement.

Ces facteurs internes et externes, c'est-à-dire la combinaison de caractéristiques usager-véhicule-environnement, définissent « l'intensité d'exposition » à laquelle l'utilisateur est confronté à chaque kilomètre parcouru. Ils varient d'une unité d'exposition à l'autre ^{18 26}. Les « agents internes à l'utilisateur » sont de deux sortes: ceux directement liés à l'activité routière et

ceux qui existent indépendamment de cette activité. Les premiers correspondent aux comportements de déplacement des usagers : vitesse de déplacement, conduite en téléphonant, ... Les seconds sont les caractéristiques de l'utilisateur comme son genre, son âge, son état de santé, ... Comme l'illustre la figure 1, ils ont une relation indirecte avec l'événement d'insécurité étudié. Ce sont des caractéristiques associées (en moyenne) à des comportements de déplacement spécifiques : ce n'est pas le simple fait d'être un homme qui augmente le risque d'être accidenté mais sa prise de risque sur la route, ses aptitudes à appréhender le danger, ..., qui ont un rôle direct sur l'événement de sécurité primaire.

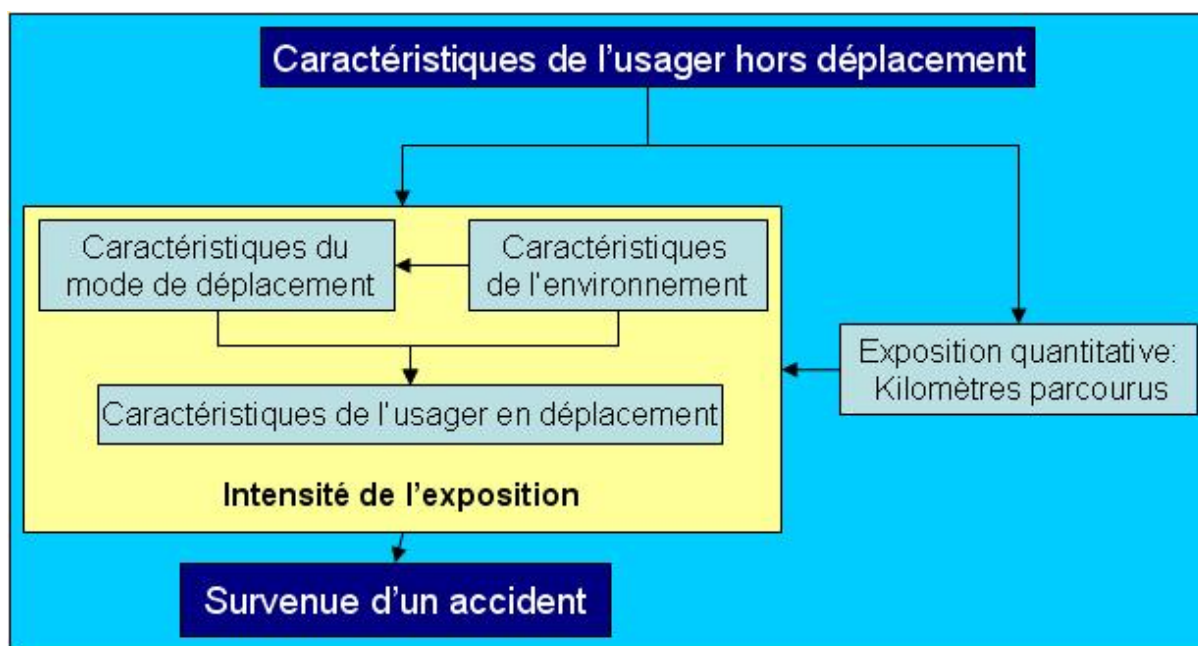


Figure 1 : Lien entre les caractéristiques individuelles des usagers indépendantes ou non de l'activité de déplacement et la survenue d'un accident

En pratique, l'exposition au risque routier est modélisée sous la forme de plusieurs facteurs de risque^{29 81 92}.

La quantité d'exposition au risque routier peut tout d'abord être utilisée sous la forme d'un facteur de risque à part entière reflétant la durée d'exposition des sujets. Ce facteur de risque peut être construit de différentes manières : sous la forme d'une variable quantitative discrète : nombre total de kilomètres parcourus pendant la période d'observation, nombre de trajets par période, ... ou sous la forme d'une variable qualitative ordinaire définie par tranche de kilométrage annuel (0-1000 kilomètres, 1000-2000, ...) ou de façon encore plus qualitative sans précision sur les fréquences ou fourchettes de distances parcourues (petit rouleur, ..., grand rouleur).

Considérer l'exposition quantitative sous la forme d'un facteur de risque permet d'estimer le risque relatif propre qui lui est associé^{29 93 94}. Une telle démarche revient à utiliser la quantité

d'exposition d'un usager comme une caractéristique qualitative, stable au cours de la période d'observation, à l'instar de l'âge ou du genre. Cette caractéristique permet d'estimer le risque relatif associé à un profil moyen d'usager, profil défini selon sa « consommation » du réseau routier. Elle reflète à la fois le niveau de confrontation du sujet aux dangers de la route et l'expérience acquise au cours de ses déplacements, c'est-à-dire les opportunités que le sujet a eues de développer un comportement « d'autodéfense » face à ces dangers^{44 95 96}.

Pour ce qui concerne la dimension « intensité d'exposition » de l'exposition au risque routier, un facteur de risque est défini pour chaque caractéristique usager-véhicule-environnement étudiée. Dans la mesure où l'exposition au risque routier quantitative est considérée comme un facteur de risque à part entier, ces caractéristiques d'intensité d'exposition ne sont pas décrites au niveau des unités d'exposition (de chaque kilomètre parcouru) mais globalement au niveau de l'usager. Ceci pose problème pour appréhender les facteurs en lien avec l'environnement de déplacement ou ceux en lien avec les comportements de déplacement lorsqu'ils varient de kilomètre en kilomètre. Dans la pratique, si des données relatives à ces facteurs sont collectées, l'information doit être simplifiée pour être considérée comme constante au niveau individuel. Les analyses relatives au rôle accidentogène associé à l'usage du téléphone portable au volant permettent d'illustrer cette spécificité. De rares études collectent en continu, par l'intermédiaire des opérateurs téléphonique, des informations sur le moment, la durée et le nombre d'appels durant la période d'observation⁹⁷. Il est possible d'identifier les unités d'exposition lors desquelles le sujet téléphonait. Généralement, seules les déclarations d'utilisation du téléphone, fournies par l'usager, sont disponibles. Ceci conduit à étudier un facteur qualitatif ordinal moins précis, décrivant un profil global d'exposition, valable pour l'ensemble des déplacements du sujet (non utilisateur, utilisateur occasionnel ou utilisateur fréquent) alors que la véritable utilisation du téléphone portable au volant et le risque d'accident qu'il génère ne concerne que quelques kilomètres de déplacement.

Lorsque l'information d'exposition disponible est suffisamment détaillée pour décrire chaque kilomètre parcouru selon les caractéristiques usager-véhicule-environnement, l'exposition quantitative peut être utilisée pour définir les modalités des facteurs de risque associés à ces caractéristiques d'intensité d'exposition. Par exemple, le facteur de risque associé à l'utilisation du téléphone au volant pourrait être détaillé plus finement, en fonction des kilomètres réellement parcourus en téléphonant (0 kilomètre parcouru en téléphonant, 1 à x kilomètres parcourus en téléphonant,...).

L'« exposition de base », peut être modélisée soit sous la forme d'un facteur de risque indépendant, c'est-à-dire sous la forme d'une variable dichotomique (se déplacer ou non), soit au sein du facteur de risque associé à la quantité d'exposition, dans la modalité comprenant ceux avec 0 kilomètre parcouru. Comme la plupart des sujets d'une population se déplacent, au moins à pieds, l'exposition de base est plutôt modélisée au sein des modalités intégrant ceux sans déplacement, lorsque l'information quantitative d'exposition est utilisée pour établir les modalités des variables associées aux facteurs d'intensité d'exposition au risque routier : par exemple, au sein des modalités 0 kilomètre parcouru à vélo, 0 kilomètre parcouru en voiture particulière,...

1.5.2.2. Exposition au risque routier et population à risque

Le concept d'exposition au risque routier renvoie aussi à la notion de « population à risque ». L'exposition de base, être sur le réseau routier, permet d'identifier les sujets appartenant à la population à risque. Ne pas être exposé signifie ne pas être un usager de la route. Au contraire, si un sujet appartient à la population à risque, il peut être exposé ou non exposé aux facteurs de risque de la maladie étudié (intensité d'exposition).

Si dans le paragraphe précédent nous avons vu que la quantité d'exposition pouvait être utilisée sous la forme d'un facteur de risque ou pour construire les modalités des facteurs de risque associé à l'intensité d'exposition, un autre usage en est généralement fait dans les analyses de sécurité primaire. La quantité d'exposition est utilisée comme un dénombrement de la population à risque sur la période d'observation^{15 16 18}. La notion de personne-kilomètre est alors utilisée et correspond à la notion épidémiologique de personne-année utilisée dans le calcul de taux d'incidence.

1.5.2.3. Risque routier, taux d'incidence et risque relatif

Dans les analyses de sécurité primaire, la notion de risque routier ou risque d'accident est généralement assimilée au « taux d'accident ». Ce taux est un taux d'incidence et correspond à la situation dans laquelle la quantité d'exposition est utilisée pour mesurer la population à risque (paragraphe 1.5.2.2)⁹⁸.

$$\text{Taux}_{\text{Homme}} = \text{Accident}_{\text{Homme}} / \text{Exposition}_{\text{Homme}}$$

Le numérateur de ce taux correspond aux unités d'exposition ayant « réussi » (au regard de la définition proposée par⁴³). Le dénominateur correspond à l'ensemble des unités d'exposition, c'est-à-dire des opportunités d'accident : La quantité d'exposition mesurée en personne-kilomètre est utilisée pour dénombrer l'appartenance effective des sujets d'une population générale à la population à risque d'accident. Le rapport du taux d'accident des hommes sur

celui des femmes fournit comme le ratio de deux taux d'incidence, le risque relatif des hommes. Ces taux sont calculés dans chacune des sous-populations formées par les caractéristiques usager, véhicule, environnement ou en fonction de combinaisons de ces caractéristiques. Il est toutefois nécessaire de disposer d'un nombre suffisant de personnes-kilomètres et d'accidents pour stratifier ces informations sur l'une de ces caractéristiques et calculer le taux d'accident correspondant. La dimension « exposition de base » intervient en amont du calcul des taux : seuls ceux se déplaçant sont considérés dans la population d'étude puisqu'ils cumulent des kilomètres. Cette utilisation de l'exposition, sous forme de taux d'accident correspond à l'usage qu'il est fait des taux d'incidence dans les analyses épidémiologiques de type transversale.

L'utilisation de l'exposition au risque routier comme un ensemble de facteurs de risque, y compris pour sa dimension quantitative (paragraphe 1.5.2.1) se rencontre dans des analyses de sécurité routière de type cas-témoins ou cohorte ^{29 81 92}. Dans ce cas, les « risques routiers » calculés ne correspondent pas à des taux d'accidents, mais directement à des mesures relatives d'insécurité : le risque relatif ou son approximation l'odds-ratios. Ils quantifient l'insécurité routière d'un groupe relativement à celle du groupe de référence.

1.5.3. Particularités de l'exposition au risque routier

1.5.3.1. Rôle de l'exposition de base

La survenue d'un accident de la circulation est conditionnée par la présence d'un sujet sur le réseau routier (Tobey en 1983 dans Keall) : sans exposition de base, l'événement étudié ne peut être observé. C'est précisément cette particularité qui conduit à utiliser la dimension quantitative de l'exposition au risque routier comme une mesure de la population à risque. Elle permet de quantifier la durée exacte pendant laquelle les sujets sont effectivement à risque « d'être malades ». Cette particularité est commune aux accidents de tous types: du sport, de travail,... Sans activité sportive, sans activité professionnelle donc sans exposition de base, ces événements ne peuvent survenir. Le risque de leur survenue augmente également avec la durée de la pratique sportive ou de l'activité professionnelle, donc l'augmentation de leur exposition quantitative. De même, l'apparition d'un mésothéliome est presque exclusivement conditionnée par l'exposition à l'amiante (80% des cas sont provoqués par ce facteur de risque) ^{99 100}. Les sujets ne travaillant pas ou ne vivant pas en contact avec cette substance ont un risque très faible d'être atteints par cette pathologie ^{101 102}. Plus généralement, tous les problèmes de santé publique présentent une exposition de base : être en vie.

Les caractéristiques usager-véhicule-environnement ne peuvent ainsi avoir d'effet sur la survenue d'un accident sans exposition de base, c'est-à-dire sans activité routière. Ce n'est pas le cas pour toutes les pathologies. Le cancer du poumon peut être provoqué par une exposition prolongée à la silice cristalline (quartz, tridymite, cristobalite auxquels sont exposés les tailleurs de pierre, ouvrier du BTP, des fonderies,...)^{103 104}. Cette substance n'est pas le seul facteur de risque de cette pathologie : la consommation de tabac ou d'alcool ont un rôle sur la survenue de la plupart des cancers^{105 106}. Ces expositions peuvent provoquer la maladie sans que les sujets aient d'activité professionnelle les exposant à la silice cristalline.

Enfin, la présence sur le réseau présente la spécificité d'être l'unique source d'exposition (exposition de base aux caractéristiques usager-véhicule-environnement susceptibles de provoquer un accident de la circulation). Avec d'autres événements, les sujets peuvent être en contact avec les facteurs de risque dans différentes circonstances : l'exposition à l'éther de glycol, responsable de malformations congénitales, se produit principalement en milieu professionnel mais peut également se faire au domicile des sujets : l'éther de glycol est également présent dans certains produits ménagers ou de bricolage (produits à vitre, peintures, dissolvants,...)¹⁰⁷. Dans le cadre du mésothéliome, le sujet peut être exposé à l'amiante en milieu professionnel, dans l'environnement de vie (pollution industrielle ou exposition environnementale naturelle) ou à son domicile (contact avec un sujet travaillant avec l'amiante ou avec l'amiante présente dans le bâtiment de vie)¹⁰¹.

1.5.3.2. Discontinuité et variabilité de l'exposition au risque routier

L'exposition au risque routier est un phénomène très discontinu. Lors d'un trajet, le sujet cumule des unités d'exposition. Au terme de ce déplacement, il quitte la population à risque d'accident. Il appartient de nouveau à cette population lorsqu'il entame un autre déplacement. La figure 2 décrit l'exposition au risque routier d'un usager ayant n trajets au cours de la période d'observation. Ces trajets sont entrecoupés de périodes où il ne cumule pas d'unités d'exposition, puisqu'il ne se déplace plus. Il ne peut avoir d'accident de la circulation. Cette figure illustre également l'extrême variabilité de l'exposition au risque routier. D'une part le nombre d'unités cumulées varie d'un trajet à l'autre, d'autre part, l'intensité d'exposition varie pour chaque unité parcourue selon les combinaisons de caractéristiques usager-véhicule-environnement.

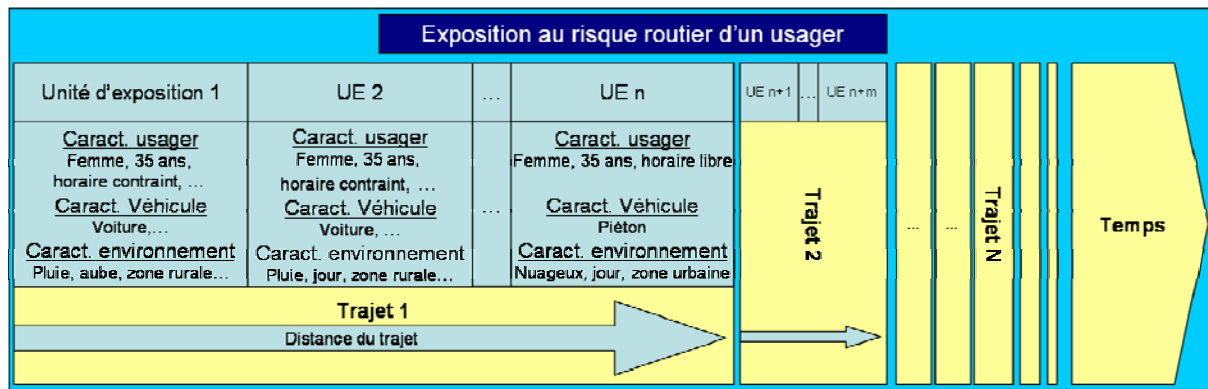


Figure 2 : Processus d'exposition au risque d'un usager au cours d'une période d'observation

L'exemple présenté illustre l'exposition au risque routier globale d'une femme de 35 ans. Son premier trajet dans la période d'observation est un déplacement domicile-travail. Il débute à l'aube, sous la pluie, en zone rurale. Elle se déplace en voiture particulière et sous contrainte de temps puisqu'elle doit emmener ses enfants à l'école. Son trajet s'achève à pied, en zone urbaine, après avoir garé son véhicule sur un parking à proximité de son lieu de travail alors que la pluie a cessé de tomber. Elle entamera un deuxième trajet sur la voie publique pendant sa pause déjeuner pour se rendre à un point de restauration, trajet qu'elle parcourra à nouveau, plusieurs minutes après, en sens inverse. A la fin de sa journée, elle quittera son travail soit pour aller récupérer ses enfants sur leur lieu de garde ou pour réaliser d'autres démarches (courses,...). Elle cumule ainsi un ensemble de trajets jusqu'à la date de point. Chaque unité d'exposition se singularise en fonction de sa combinaison de caractéristiques usager-véhicule-environnement. Une unité d'exposition d'un certain trajet, par exemple lors de son trajet matinal domicile-travail, est différente de l'unité d'exposition parcourue le lendemain au même endroit car certaines caractéristiques de l'utilisateur (son attention, sa prise de risque...) ou de l'environnement (la météo, la luminosité...) se seront modifiées. Les unités d'exposition sont d'autant plus singulières qu'elles sont parcourues par un autre usager.

L'exposition au risque routier se caractérise ainsi par une multitude de périodes/fenêtres d'exposition dont la durée va correspondre à une unité d'exposition. Chaque fenêtre a sa propre intensité d'exposition définie en fonction de ses caractéristiques usager-véhicule-environnement. En épidémiologie environnementale, l'évaluation de l'exposition au radon, à l'instar de l'exposition au risque routier, nécessite de considérer des fenêtres d'exposition très réduites : la quantité de radon auquel un sujet est soumis varie en fonction de la saison mais également du moment de la journée ¹⁰⁸. Les comportements individuels ont également un impact sur l'intensité de l'exposition (aérer les pièces de vie, temps passé hors d'un espace clos). En épidémiologie nutritionnelle, les expositions sont également variables au cours du

temps : le régime alimentaire d'un individu se modifie au cours de sa vie tant en quantité qu'en qualité ¹⁰⁹. La nature et la composition des produits ingérés varient également au cours du temps. L'exposition au risque routier présente cependant une « volatilité » plus importante puisque l'intensité d'exposition varie d'une unité à l'autre contrairement à ces deux exemples où les fenêtres d'exposition peuvent présenter des intensités d'exposition plus durables.

1.5.3.3. Indépendance des unités d'exposition au risque routier

L'exposition au risque routier présente enfin la particularité d'avoir un effet immédiat et indépendant de l'exposition passée ou future.

Il n'existe pas d'effet de latence pour les unités d'exposition au risque routier. Les caractéristiques usager-véhicule-environnement ont un effet immédiat et produisent, ou non, un accident au moment où l'exposition se produit et non lors d'unités d'exposition postérieures. Ce n'est pas le cas pour les expositions à l'amiante pour lesquelles le temps de latence entre la première exposition et la déclaration de la maladie dépasse en général vingt ans ^{110 111}.

Enfin, l'exposition au risque routier n'a pas d'effet cumulatif : il n'existe pas de seuil au-delà duquel l'accumulation d'unités d'exposition conduit nécessairement au développement de la maladie. L'accident se produit ou non uniquement en fonction de l'intensité d'exposition de l'unité présente dans l'unité d'exposition qui est en train de se parcourir.

1.5.4. Particularités de l'insécurité routière

En raison de ces différentes particularités, l'obtention d'une information d'exposition au risque routier adéquate n'est pas toujours facile. Face à ces difficultés, des techniques de détermination des risques routiers d'insécurité primaire se basant uniquement sur les données d'accidents de la route ont été développées. Les données d'insécurité routière présentent en effet des particularités dont il est possible de tirer parti pour établir des résultats sans pour autant disposer de données d'exposition.

L'insécurité routière, c'est-à-dire l'implication d'un sujet dans un accident de la route, est un événement multidimensionnel qui dépend des caractéristiques de l'utilisateur, de celles de son véhicule et de son environnement de déplacement. Toutefois, comme l'indique le terme « accident », l'insécurité routière contient une part d'aléatoire. Un même déplacement peut s'effectuer quotidiennement sans problème pour l'utilisateur. Ce trajet pourra cependant générer un accident alors que les principales caractéristiques usager-véhicule-environnement (formant l'intensité d'exposition des kilomètres parcourus tout au long de ce déplacement) sont restées quasiment identiques à celles présentes lors des précédents trajets. Cette dimension aléatoire

de l'accident pour le sujet impliqué renvoie à deux autres spécificités de l'insécurité routière : la notion de responsabilité dans la survenue de l'accident et le caractère collectif de l'accident. La notion de responsabilité correspond au caractère actif ou passif de l'implication des usagers dans un accident de la route. Les sujets actifs contribuent à la survenue de leurs accidents, ceux passifs ne sont impliqués que par leur présence sur le réseau (exposition de base). Si certains accidents n'impliquent qu'un véhicule occupé par un seul usager, d'autres sont des événements collectifs impliquant plusieurs véhicules et victimes. Dans ces derniers accidents, seule une partie des usagers impliqués dans le même événement peuvent avoir contribué activement à leur survenue.

Les spécificités de l'insécurité routière permettent de stratifier la population des accidentés en différentes sous populations qu'il est possible de comparer pour obtenir les risques routiers d'insécurité primaire. Ces sous populations sont définies soit en utilisant la notion de responsabilité ou le type d'accident, soit en utilisant la gravité des atteintes corporelles et le type d'accident dans lesquels les sujets étudiés sont impliqués.

La notion de responsabilité dans la survenue de l'accident permet d'identifier les usagers activement impliqués dans leur accident et ceux passivement impliqués. Ces derniers sont supposés ressembler à la population circulante et sont utilisés pour estimer les prévalences des caractéristiques d'intensité d'exposition présentes dans la population circulante. La comparaison de ces deux groupes permet d'estimer une approximation des risques routiers d'insécurité primaire. Le type d'accidents, c'est-à-dire la comparaison des sujets impliqués dans un accident à un véhicule à ceux impliqués dans un accident à deux véhicules, permet également d'approximer les risques d'accident de la route. Ces approches sont présentées plus en détail dans le chapitre 3.

La gravité des atteintes corporelles mais également les types d'accidents dans lesquels les sujets étudiés sont impliqués peuvent également être utilisés pour étudier la sécurité routière primaire. Il s'agit de considérer les risques de présenter une certaine gravité d'atteintes corporelles chez les sujets impliqués dans les accidents à deux véhicules puis ceux estimés chez les sujets impliqués dans les accidents à un véhicule. Dans les accidents à deux véhicules, l'appariement naturel des sujets dû à leur implication dans le même événement permet de contrôler l'effet des conditions de chocs et de se focaliser sur la fragilité des usagers. Dans l'étude des accidents à un véhicule, ces deux dimensions sont mêlées. La comparaison des résultats obtenus chez les deux groupes d'accidentés permet alors d'obtenir des réflexions sur le rôle des comportements de déplacements ayant généré certaines conditions de choc. Cette approche fait l'objet du chapitre 4.

1.6. CONCLUSION

L'exposition au risque routier ne se réduit pas à un simple décompte des distances parcourues. Elle se compose de trois dimensions :

- l'exposition de base : être confronté ou non aux dangers de la route.
- la quantité d'exposition : somme des opportunités d'accident rencontrées par l'utilisateur, c'est-à-dire quantification de la durée d'exposition des sujets aux dangers de la route.
- l'intensité de l'exposition ou qualité d'exposition : combinaison des caractéristiques usager-véhicule-environnement rencontrées par un sujet lorsqu'il est présent sur le réseau routier. Ces caractéristiques changent d'une unité d'exposition à l'autre et forment la dangerosité de chacune de ces situations de déplacement auxquelles l'utilisateur de la route est exposé.

D'un point de vue épidémiologique, l'exposition au risque routier s'assimile à la notion de population à risque d'accident. L'exposition de base définit les sujets susceptibles d'être accidentés (population cible) parmi la population générale (population source). La quantité d'exposition est utilisée pour mesurer la durée d'appartenance des sujets à cette population à risque, non pas en personne-temps mais le plus souvent en personne-kilomètre. L'intensité d'exposition est utilisée pour identifier les différents groupes d'utilisateurs pour lesquels on souhaite calculer leur niveau d'insécurité routière. Ce dernier est généralement désigné dans les analyses de sécurité routière sous la terminologie « risque » et est calculé sous la forme d'un taux d'accident. Ce taux correspond à un taux d'incidence. Les caractéristiques d'intensité d'exposition au risque routier relatives à l'utilisateur ou au véhicule sont utilisées afin d'identifier les groupes susceptibles de constituer un enjeu de prévention routière. Les caractéristiques d'environnement sont étudiées afin de contrôler l'effet de confusion qu'elles sont susceptibles d'introduire dans l'étude des précédentes caractéristiques.

L'exposition au risque routier renvoie également à la notion « d'exposition à un facteur de risque ». L'exposition de base, l'intensité d'exposition au risque routier mais aussi la quantité d'exposition sont également des facteurs de risque de l'implication dans un accident. Dans ce cas, un risque d'accident propre à la quantité d'exposition peut être calculé (contrairement à l'approche précédente qui utilise cette quantité pour mesurer la population à risque). Cette démarche est généralement utilisée dans des analyses de sécurité primaire de type cas-témoins ou cohorte. Le risque d'accident calculé ne correspond plus à une mesure d'incidence mais à une mesure relative de l'insécurité routière du groupe d'utilisateurs considérés par rapport au groupe de référence.

Les particularités associées au concept d'exposition au risque routier se retrouvent pour les expositions aux facteurs de risque d'autres problèmes de santé publique. Sa véritable spécificité réside dans la nature des fenêtres d'exposition. Il existe en effet autant de fenêtres d'exposition que de kilomètres parcourus, c'est-à-dire que d'unités d'exposition. Chaque fenêtre a sa propre intensité d'exposition selon les caractéristiques usager-véhicule-environnement présentes lors de cette période d'exposition. Dans la mesure où les usagers ne sont pas en permanence sur le réseau routier, les fenêtres d'exposition sont entrecoupées de périodes sans exposition, selon la fréquence des trajets de l'utilisateur. L'exposition au risque routier est ainsi un phénomène « volatile et éphémère » générant des risques d'accident, c'est-à-dire une incidence de la maladie, d'une extrême variabilité d'une unité d'exposition à l'autre.

Il est donc préférable de disposer d'un recueil de l'information d'exposition au risque routier très précis afin d'identifier le niveau d'intensité d'exposition de chaque kilomètre parcouru. La connaissance des différentes caractéristiques propres à une unité d'exposition permettrait de se focaliser sur l'une d'elles tout en ayant la possibilité de contrôler la confusion engendrée par les autres.

D'un point de vue pratique, nous l'avons vu, il est extrêmement difficile de connaître les caractéristiques de chaque kilomètre parcouru. Il est généralement possible de stratifier les quantités totales de kilomètres sur les facteurs de l'utilisateur qui existent indépendamment de l'activité de déplacement (sexe, âge, catégorie socio-professionnelle). En revanche, il est extrêmement difficile, voir impossible, de les stratifier sur les comportements de déplacement de l'utilisateur ou les caractéristiques associées à l'environnement de déplacement, dans la mesure où ces facteurs varient d'une unité d'exposition à l'autre. Ces difficultés à collecter une information d'exposition précise se retrouvent également en épidémiologie nutritionnelle où il est extrêmement difficile d'évaluer avec précision les consommations des usagers tant en fréquence qu'en qualité. De plus, la teneur calorique des aliments mais également leur composition chimique sont difficiles à connaître sur des périodes d'exposition longue. En épidémiologie professionnelle, l'exposition à des substances toxiques et l'intensité de ces expositions dépend de la nature et de la durée du poste occupé et des tâches effectuées.

Le plus souvent, les recueils manquent de précision et l'information disponible conduit à considérer des facteurs d'exposition plus globaux. La modélisation des risques routiers d'insécurité primaire, basée sur ces données d'exposition, est limitée. Les effets propres aux caractéristiques disponibles sont plus délicats à estimer et les risques sont confondus par les caractéristiques non disponibles, en particulier celles associées à l'environnement de

déplacement. Le chapitre 2 illustre à travers l'étude des inégalités sociales d'insécurité routière primaire, la prise en compte de l'exposition au risque routier dans ses différentes dimensions sur la base de données d'exposition longitudinales

Chapitre 2

Estimation de risques relatifs d'accident de la route lorsque l'exposition aux facteurs de risque d'accidents est connue dans la population à risque

2.1. INTRODUCTION

Le statut social des usagers de la route est un facteur de risque d'insécurité routière¹¹²⁻¹¹³. Les enfants issus de familles socialement défavorisées ont un plus grand risque d'être impliqués dans des accidents de la route corporels ou mortels¹¹⁴⁻¹¹⁸. Les adultes socialement défavorisés ont également plus de risque d'être impliqués dans un accident grave¹¹⁹⁻¹²². Certaines études montrent, en revanche, que les adultes occupant des positions sociales favorisées ont plus de risque d'être impliqués dans un accident de la route, quelle que soit sa gravité¹²³⁻¹²⁴.

Des disparités dans les quantités et conditions de déplacement sont mises en avant pour expliquer ces inégalités sociales¹¹⁵⁻¹¹⁶⁻¹²⁵⁻¹²⁶: le statut social ne serait que le reflet de l'exposition au risque routier des usagers¹²⁷. Si cela est admis sur le plan théorique, en pratique, les données sur la population à risque et ses expositions aux facteurs de risque d'accident, adaptées à une telle étude sont le plus souvent manquantes : L'exposition au risque routier quantitative est évaluée sous la forme du nombre de sujets habitant sur le territoire où les événements d'insécurité routière se sont produits, sans détails sur les conditions d'exposition des sujets¹²⁰⁻¹²².

La nature de l'association entre statut social et sécurité routière primaire reste floue tout comme le rôle joué dans cette association par l'exposition au risque routier quantitative (kilomètres parcourus) et qualitative (intensité d'exposition).

Ces questions sont étudiées dans ce chapitre chez les actifs et retraités français de la cohorte GAZEL. Cette base de données fournit un suivi longitudinal de leur insécurité et exposition au risque routier depuis 2002. Cette analyse permet de présenter l'estimation de risques relatifs d'insécurité primaire et la prise en compte de l'exposition lorsque son information est disponible.

En pratique, peu d'études de cohorte sont disponibles pour traiter des problématiques de sécurité routière primaire : l'accident de la route corporel et mortel est un événement rare nécessitant un suivi longitudinal d'une durée importante, sur une large population d'usagers de la route⁵⁴. Les données sont plus souvent recueillies par des études de type cas-témoins et surtout une approche accidentologique de type enquête transversale qui permet d'estimer des taux d'accidents.

Deux autres analyses sont ainsi réalisées dans ce chapitre, avec chacun de ces designs d'étude. L'étude des inégalités sociales de sécurité routière primaire et du rôle de l'exposition au risque routier est reconduite en sélectionnant les deux sous-populations d'étude dans la cohorte GAZEL. Ces analyses permettent de discuter les spécificités de la modélisation de

l'information d'exposition au risque routier quantitative et qualitative dans ces designs où l'information disponible est moins riche car obtenue sans suivi longitudinal.

2.2. APPROCHE DE COHORTE

2.2.1. Matériel et méthode

2.2.1.1. Données sources et population d'étude

Les données utilisées pour cette analyse sont extraites de la cohorte GAZEL des entreprises Électricité De France et Gaz De France. Ces entreprises emploient environ 150 000 personnes à travers le territoire national. Cette cohorte a été créée en 1989. Initialement, 20 625 sujets ont été inclus dans la cohorte, dont 73% d'hommes. Afin d'étudier une population à forte incidence pour les pathologies les plus fréquentes (cancer, maladies cardiovasculaires,...), seuls les salariés âgés de 40 ans et plus et les femmes de 35 ans et plus en 1989 étaient éligibles.

La cohorte GAZEL est conçue comme un « laboratoire épidémiologique » pour faciliter la recherche sur une multitude de maladies et facteurs en lien avec la santé. Plus de détails sont disponibles par ailleurs ^{12 13}. Le suivi des sujets est organisé par l'unité INSERM U687 en collaboration avec les services internes des entreprises. L'ensemble des informations recueillies sont confidentielles et anonymes.

Des informations sociodémographiques, sur les activités professionnelles, les modes de vie, les états de santé et les pathologies des sujets sont ainsi collectées. Les données sont régulièrement mises à jour par les services des ressources humaines, de la médecine du travail et des compagnies d'assurance maladie de ces entreprises. Un questionnaire auto-déclaratif est envoyé par voie postale aux membres de la cohorte en début de chaque année. Ce questionnaire couvre les douze mois de l'année précédente. Les sujets sont suivis pendant leur période d'activité et d'inactivité professionnelle (pour arrêt maladie, invalidité ou passage à la retraite).

Le projet d'étude associé à la cohorte GAZEL a évolué au cours des années pour intégrer des sous-études aux problématiques plus spécifiques. En 2001, un questionnaire supplémentaire sur les comportements de déplacement et l'insécurité routière a été expédié aux membres de la cohorte GAZEL. Depuis 2002, plusieurs des questions sont reprises, en continu, dans le questionnaire annuel général de la cohorte, notamment celles en lien avec les quantités de kilomètres parcourus par les sujets.

Les sujets inclus dans la présente étude sont âgés, en 2001, au minimum de 52 ans pour les hommes, 47 pour les femmes et au maximum de 63 ans. La population d'étude est composée des sujets ayant renvoyé au moins un des auto-questionnaires sur la période 2002-2004 (N=16 011). Ces questionnaires fournissent des informations sur leur insécurité routière et leur exposition au risque routier pour 2001 et 2003. La population d'étude est finalement composée des 15 953 sujets pour lesquels l'information sur le statut social, les kilomètres parcourus et l'implication dans un accident sont connus. Les usagers de véhicule motorisé sont au nombre de 15 271.

2.2.1.2. Événement d'intérêt

La plupart des recueils de données d'accidents de la route sont composés d'accidents corporels : c'est un accident impliquant un ou des sujets victimes d'atteinte(s) corporelle(s). Se restreindre à ces seuls accidents afin d'étudier une problématique de sécurité routière primaire conduit à intégrer des éléments de sécurité routière secondaire dans les résultats : un accident de la route corporel résulte de l'implication des usagers dans un accident de la circulation (sécurité routière primaire) mais également de la présence d'atteinte(s) corporelle(s) suite à l'accident (sécurité secondaire ou « fragilité »)³¹. Étudier ainsi les inégalités sociales d'insécurité routière primaire sur la base d'accidents corporels conduirait à mélanger le rôle du statut social sur « l'implication » à son rôle sur la « fragilité des sujets ». Plusieurs études ont en effet mis en évidence des éléments de sécurité secondaire différents selon le niveau social des usagers de la route : les sujets des classes défavorisées disposent de véhicules moins sûrs^{126 128 129} et utilisent moins la ceinture de sécurité que les autres usagers¹³⁰⁻¹³². L'étude de tous les types d'accidents de la route sans restriction sur leur gravité, c'est-à-dire en considérant ceux matériels, (accidents n'impliquant que des dommages matériels au(x) véhicule(s) impliqué(s)) permet ainsi de considérer le rôle du statut social en matière de sécurité routière primaire sans que son rôle en matière de sécurité secondaire n'interfère.

Les membres de la cohorte GAZEL sont invités à renseigner chaque année le nombre d'accidents de la circulation dans lesquels ils ont été impliqués. Les accidents corporels bénéficient d'un recueil détaillé notamment pour ce qui concerne la date de leur survenue et le mode de déplacement utilisé lors de l'accident. Ce n'est pas le cas pour les accidents matériels. Ils sont décrits sous la forme d'un décompte global sans aucune autre précision notamment sur la date exacte de leur survenue.

L'événement étudié ici est l'implication dans un accident de la circulation, corporel ou non.

2.2.1.3. Statut social

La position sociale des sujets est déterminée sur la base de leur statut professionnel. Il est préféré au niveau de revenu ou d'éducation. Les revenus sont collectés uniquement en 1989 et en 2001 alors que le statut professionnel est renseigné en continu par le service des ressources humaines. Le niveau de qualification des usagers est d'une part très corrélé au statut professionnel et d'autre part conduit à constituer des groupes moins homogènes (en raison du nombre de formations et de diplômes existants).

Le statut professionnel est codé sur la base de la classification INSEE des « Professions et Catégories Socioprofessionnelles » (PCS ex CSP, ¹³³). Les catégories considérées sont « cadre », « profession intermédiaire » et le regroupement en une catégorie des statuts « ouvrier » et « employé ». Pour les sujets actifs, le statut considéré est celui de l'année d'observation, pour les autres, le dernier statut professionnel avant leur cessation d'activité.

2.2.1.4. Exposition au risque routier

Les facteurs de risque décrivant les dimensions quantitatives et l'intensité de l'exposition au risque routier sont de deux types : ceux qui sont directement associés à l'activité routière et ceux qui existent indépendamment de la présence de l'utilisateur sur la route.

L'exposition quantitative appartient à ce premier type d'information. Elle est estimée en kilomètres parcourus chaque année par le sujet. Les kilomètres parcourus sont collectés selon le mode de déplacement : véhicule motorisé de 4 roues et plus (pour la suite on parlera de véhicule motorisé de 4 roues), deux roues motorisés ou vélo. Le kilométrage annuel effectué à pieds par les usagers est déduit à partir de leurs déplacements hebdomadaires. Parmi les facteurs décrivant directement l'activité routière des sujets figurent également les caractéristiques individuelles décrivant les comportements de déplacement des sujets. Elles sont collectées uniquement sur le sous-groupe des usagers de véhicules motorisés, à partir du questionnaire spécifique envoyé en 2001. Les usagers décrivent, sur la base d'échelle qualitative, leurs fréquences de déplacements sous l'emprise de l'alcool, en téléphonant, en état de somnolence. Les excès de vitesse maximaux sont également auto-déclarés par type de voie ainsi que l'habitude ou non de transgresser les règles du code de la route. Enfin, les sujets sont invités à renseigner leur niveau de prudence auto-estimé en situation de déplacement.

Les autres facteurs de risque étudiés n'ont pas de rôle direct sur la survenue d'un accident, mais conditionnent des comportements de vie et par conséquent des comportements de déplacement : c'est le cas de l'âge ou du genre qui sont corrélés à la prise de risque au

quotidien et en conséquence à la prise de risque sur la route, au choix d'une vitesse de déplacement inadaptée par exemple ⁵. Les variables de ce type, étudiées ici, sont les caractéristiques individuelles mises en évidence lors de précédentes analyses de l'insécurité routière des sujets de la cohorte GAZEL. Il s'agit des facteurs sociodémographiques comme l'âge, le genre et le statut familial ; des événements de vie comme l'hospitalisation, le départ d'un enfant du foyer, la réalisation d'un achat important, le divorce et le départ en retraite ; des états de santé physique, nerveuse ressentis par les sujets ; des problèmes de santé : les hommes présentant des problèmes de santé sont ceux ayant des complications dentaires, des problèmes de gingivites ou de cataracte, pour les femmes ce sont celles ayant un problème de diabète, un glaucome ou un trouble du système uro-génital ; et du profil psychologique des sujets définis sur la base du score de Bortner qui tient compte de l'agressivité du sujet, de son impatience et de son sentiment à se considérer « dans l'urgence » (type A,). Hormis le type A collecté dans l'auto questionnaire de 1993, toutes les autres caractéristiques sont recueillies annuellement.

2.2.1.5. Modélisation

La mise en pratique de cette approche est réalisée au moyen des points de suivi de la cohorte GAZEL couvrant les années 2001, 2002 et 2003. Les sujets ayant renseigné au moins un de ces autoquestionnaires sont considérés. L'information relative aux événements d'insécurité est décrite pour chaque usager sous la forme d'un décompte total d'accidents de la route. Les dates exactes de survenue des accidents sont inconnues. L'événement d'intérêt considéré est le statut annuel « accidenté » ou « non accidenté », quel que soit le nombre d'accidents dans lequel un sujet a été impliqué au cours d'une année. Il est réactualisé chaque année. Sur toute la durée de la période d'observation, le sujet peut présenter de 0 à 3 fois le statut « accidenté ». Le statut professionnel ainsi que les différents facteurs d'ajustement sont également reconsidérés chaque année.

Deux analyses sont réalisées. La première consiste à étudier tous les usagers observés entre 2001 et 2003 quel que soit leur mode de déplacement. La deuxième se restreint aux usagers motorisés. Cette restriction permet d'étudier les facteurs de risque d'intensité d'exposition relatifs aux comportements de déplacement sur la route disponibles uniquement pour ces usagers.

La mise en pratique de cette approche suppose de prendre en compte les modifications dans les niveaux d'exposition intervenant au cours du suivi longitudinal. De plus, l'accident de la route n'est pas nécessairement une maladie létale ou invalidante, les sujets accidentés peuvent

appartenir à la population à risque immédiatement ou peu de temps après avoir été impliqués dans un accident. Chaque suivi 2001, 2002, 2003 correspond ainsi à une période à risque. Si un des suivis n'est pas renseigné ou est inexploitable, ce suivi est considéré comme censuré pour le sujet. Après une période de « censure » ou une période durant laquelle le sujet a été accidenté, les usagers sont déclarés à risque pour un nouvel événement d'insécurité. Ils débutent une autre période à risque. La modélisation doit également permettre de prendre en compte la récurrence des événements étudiés chez un même sujet. Le modèle conditionnel pour événements récurrents est utilisé à cette fin ^{134 135}.

C'est une extension du modèle aux risques proportionnels proposé par Cox pour analyser les données de survie ¹³⁶ : la période où le sujet est à risque d'accident se termine lorsqu'un événement d'insécurité survient ou lorsque le sujet est censuré. Une nouvelle période à risque commence alors pour le sujet. Un indicateur est utilisé pour identifier l'ordre d'apparition des différents événements dans lesquels un usager est impliqué. Le tableau 1 illustre la façon dont sont modélisées les périodes à risque de deux sujets suivis pendant trois ans. Le sujet 1 est impliqué dans un accident au cours de la première et de la seconde année. Le deuxième sujet est lui impliqué dans un accident au cours de la première année et suivi pendant les deux autres années sans être impliqué dans un accident.

Tableau 1 : Exemple de la prise en compte des périodes à risque d'accident de la route avec le modèle conditionnel pour événements récurrents

Sujet 1			Sujet 2		
Intervalle de temps	Événement	Strate	Intervalle de temps	Événement	Strate
[0-12]	1	1	[0-12]	1	1
]12-24]	1	2	]12-36]	0	2
]24-36]	0	3			

Le modèle de risque proportionnel, selon les covariables dépendant du temps $x(t)$ s'écrit :

$$h_s(t, x(t), \beta_s) = h_{0s}(t) \exp[x(t) \beta_s].$$

Les paramètres β_s sont calculés en utilisant une estimation de la vraisemblance partielle stratifiée. Les risques estimés en prenant l'exponentielle des β_s (hazard risk) s'apparentent à des risques relatifs et s'interprètent comme tels. Une estimation sandwich de la variance des paramètres est nécessaire pour contrôler les corrélations induites par la présence de plusieurs périodes à risque par sujet ^{135 137}.

2.2.1.6. Stratégie d'analyse

Il s'agit tout d'abord de mettre en évidence l'effet de l'appartenance à un statut social sur la survenue d'accidents de la route. Pour cela, les risques relatifs bruts d'implication dans un accident, associés à chaque statut professionnel sont estimés. Il s'agit ensuite d'étudier le rôle de l'exposition au risque routier dans cette relation. Les risques relatifs bruts associés aux différents groupes sociaux sont ajustés sur les facteurs de risque associés à la quantité d'exposition et aux différentes caractéristiques composant l'intensité de l'exposition au risque routier. Seuls les facteurs d'ajustement statistiquement significatifs au seuil de confiance de 5% sont considérés. Les tests de Wald et du rapport de vraisemblances sont utilisés. L'impact de ces ajustements, donc de l'exposition au risque routier, est évalué à travers la modification de magnitude et/ou de la significativité statistique des risques relatifs associés aux différents statuts sociaux.

Une première analyse est réalisée sur l'ensemble des usagers disponibles. Elle permet de présenter la prise en compte d'une caractéristique d'intensité d'exposition au risque routier, ici le mode de déplacement, lorsque cette caractéristique est considérée en association avec la quantité d'exposition : les modalités des facteurs de risque associées à chaque mode de déplacement sont construites sur la base de la distribution des kilomètres parcourus (arrondis au millier de kilomètres le plus proche pour faciliter l'interprétation) avec chacun de ces modes.

Une deuxième étude est réalisée sur le sous-groupe des sujets motorisés. Elle permet de présenter la prise en compte des caractéristiques d'intensité d'exposition au risque routier directement associée à l'activité de déplacement (excès de vitesse, alcool, téléphone au volant...). Elle permet également d'illustrer la prise en compte des quantités d'exposition comme un facteur de risque à part entière, séparément des facteurs associés à l'intensité d'exposition au risque routier. En effet, les quantités d'exposition au risque routier ne sont pas toujours recueillies en fonction des facteurs d'intensité d'exposition usager-véhicule-environnement. Dans le cadre de la cohorte GAZEL, les caractéristiques individuelles décrivant les comportements de déplacement ne sont pas détaillées kilomètre par kilomètre, contrairement aux modes de déplacement. Elles sont renseignées globalement au niveau de l'utilisateur comme s'il s'agissait d'habitudes de déplacement présentes à chaque kilomètre de chacun de ses trajets: « Vous est-il arrivé de conduire alors que vous aviez sommeil ? » « Jamais, quelques fois, une fois par mois, une fois par semaine,... ». Il est donc impossible

de quantifier les distances réellement parcourues alors que l'utilisateur présentait le comportement d'intérêt.

Les analyses sont conduites séparément selon le genre car les caractéristiques d'exposition au risque routier et d'insécurité routière des hommes sont différentes de celles des femmes¹³⁸. De plus, les femmes sont plus jeunes que les hommes en raison des critères d'inclusion : à la création de la cohorte en 1989, les femmes étaient éligibles dès l'âge de 35 ans contre 40 ans pour les hommes.

2.2.2. Résultats

2.2.2.1. Étude sur l'ensemble des usagers

La population d'étude est composée de 15 953 sujets dont 11 736 hommes. Un total de 43 620 personnes-années est ainsi observé dont 32 428 se rapportent à des hommes. Chez les hommes, 40% des personnes-années sont relatives à des cadres, 50% à des personnes occupant une profession intermédiaire et 10% à des ouvriers ou employés. Chez les femmes ces proportions sont respectivement de 17%, 67% et 16%.

Entre 2001 et 2003, 1 344 hommes et 395 femmes ont été accidentés : 1 525 sujets ont le statut accidenté une seule fois, 215 deux fois et 10 à chaque année de suivi soit trois fois. Sur ces 1 750 accidentés, 1 240 sont uniquement impliqués dans des accidents matériels, 153 uniquement dans des accidents corporels, 270 dans les deux types d'accidents et 77 dans des accidents de nature inconnue. Ainsi, 70% des 1 965 événements étudiés sont relatifs à des implications dans des accidents uniquement matériels. Quarante cinq pour-cent des 1 542 événements étudiés chez les hommes se rapportent à des personnes ayant ou ayant eu un statut cadre, 46% à des sujets ayant ou ayant eu une profession intermédiaire et 8% à des ouvriers-employés. Chez les femmes, ces proportions représentent 22%, 64% et 14% de leurs 423 accidents.

Le tableau 2 présente la distribution des sujets selon leur statut professionnel et les caractéristiques d'intensité d'exposition disponibles sur la population étudiée et directement liées à l'activité de déplacement. Ces variables sont relatives aux modes de déplacement utilisés par les sujets étudiés. Leurs modalités sont construites en utilisant l'exposition quantitative, c'est-à-dire les quantités de kilomètres parcourus avec chacun de ces modes. Pour les deux roues motorisées, plus de 90% des sujets déclarent ne pas utiliser ces modes de déplacement. Seuls les profils « utilisateur » et « non utilisateur » sont considérés quel que soit le nombre d'unités d'exposition que ces derniers effectuent avec leurs véhicules. Le

même codage est utilisé pour les cyclistes. Les piétons sont répartis entre ceux parcourant moins de 3 kilomètres par semaine et ceux parcourant de plus grandes distances.

Tableau 2 : Distribution des sujets selon le statut professionnel, les quantités de déplacement et le mode de déplacement (pourcentages colonne)

	Hommes (N=11 736)			p [†]	Femmes (N=4 217)			p [†]
	Cadre	Prof. Int.	Ouvr.-empl.		Cadre	Prof. Int.	Ouvr.-empl.	
Usager véhic. motor. ≥ à 4 roues ‡				<0,0001				<0,0001
≥20 000	32,4	23,2	20,0					
[15 000-20 000[	30,0	27,8	21,9					
[10 000-15 000[	21,5	24,3	24,3					
<10 000	16,2	24,9	33,8					
≥10 000					28,1	25,4	21,0	
[6 000-10 000[					24,9	23,8	21,7	
[2 000-6 000[					31,7	28,9	28,0	
<2 000					16,0	21,8	29,2	
Usager de 2 roues motorisé				NS				NS
Utilisateur	5,4	5,3	5,7		0,8	1,7	2,4	
Cycliste				NS				<0,001
Utilisateur	45,7	42,9	40,0		28,8	22,9	20,0	
Marche ‡				NS				NS
≥143	50,4	49,7	48,6		42,6	41,7	39,6	

† Test du Khi-deux

‡ Par tranche de kilomètres parcourus en 2001

Les hommes se déplacent plus que les femmes (tableau 2). Les cadres se déplacent plus que les sujets des autres classes professionnelles. Chez les hommes, près de 62% des cadres se déplacent plus de 15 000 kilomètres par an en véhicule motorisé à plus de deux roues contre 43% chez les ouvriers-employés. Chez les femmes, 53% des cadres se déplacent plus de 6 000 kilomètres par an contre 43% chez les ouvrières-employées. La part importante des cadres dans les accidents de la circulation, par rapport à leur part dans la population à risque étudiée, pourrait donc s'expliquer par leurs fortes quantités de déplacement avec un mode de déplacement motorisé de plus de deux roues.

Pour les autres modes de déplacement, les hommes parcourent les mêmes distances quel que soit leur groupe social d'appartenance. En revanche, les femmes cadres semblent être plus nombreuses à utiliser le vélo que les femmes des autres groupes sociaux.

Il existe une association statistiquement significative entre le statut professionnel et l'implication dans un accident de la circulation : les hommes comme les femmes cadres ont plus de risque d'être impliqués dans un accident que les ouvriers ou employés (tableau 3). Il n'existe cependant pas de différence statistiquement significative entre ces derniers sujets et ceux occupant une profession intermédiaire.

Tableau 3 : Risque relatif brut d'être accidenté, cohorte GAZEL 2001- 2003

	Hommes (N=11 736)			Femmes (N=4 217)		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
PCS			<0,01			<0,01
Cadre	1,29	[1,06-1,56]		1,57	[1,13-2,17]	
Prof. Interméd.	1,09	[0,89-1,32]		1,13	[0,85-1,50]	
Ouvrier-employé	1,00			1,00		

Lorsque les risques relatifs sont ajustés sur les caractéristiques individuelles des usagers non directement associées à leur activité de déplacement (tableau 4), l'association entre le statut professionnel et l'implication dans un accident de la route perdure : les cadres, hommes ou femmes, ont toujours plus de risque d'être accidentés que les ouvriers ou employés.

Tableau 4 : Risque relatif d'être accidenté selon la PCS, ajusté sur les caractéristiques de l'utilisateur indirectement associées à l'activité de déplacement, cohorte GAZEL 2001- 2003

	Hommes (N=11 736) [†]			Femmes (N=4 217) [‡]		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
PCS			<0,01			<0,01
Cadre	1,26	[1,04-1,53]		1,45	[1,05-2,01]	
Prof. Interméd.	1,10	[0, 90-1,33]		1,12	[0,85-1,48]	
Ouvrier-employé	1,00			1,00		

[†] Ajusté sur le statut familial, l'âge des sujets, le statut de retraite, la réalisation d'un achat important, l'hospitalisation et le divorce des sujets.

[‡] Ajusté sur le statut familial, l'âge des sujets, le type A, la réalisation d'un achat important, l'hospitalisation et le départ d'un enfant du foyer.

Le tableau 5 présente les risques relatifs associés aux statuts professionnels ajustés sur les facteurs de risque décrivant l'importance de l'exposition aux dangers de la route par mode de déplacement. Ces facteurs sont construits en croisant la quantité d'exposition et la caractéristique d'intensité d'exposition associée au mode de déplacement. Malgré la prise en compte de ces facteurs plus directement liés à l'activité routière que les facteurs d'ajustement précédents, le statut professionnel est toujours associé à l'insécurité routière.

Tableau 5 : Risques relatifs d'être accidenté selon la PCS, ajustés sur le mode de déplacement, cohorte GAZEL 2001- 2003

	Hommes (N=11 736)			Femmes (N=4 217)		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
PCS			<0,01			<0,05
Cadre	1,24	[1,02-1,52]		1,49	[1,08-2,05]	
Prof. Interméd.	1,08	[0,89-1,31]		1,10	[0,83-1,45]	
Ouvrier-employé	1,00			1,00		
Usager véhic. motor. ≥à 4 roues (Km. annuels)			<0,0001			<0,0001
≥20 000	1,22	[1,06-1,41]				
[15 000-20 000[	1,04	[0,91-1,20]				
[10 000-15 000[	0,90	[0,77-1,04]				
<10 000	1,00					
≥10 000				1,53	[1,14-2,05]	
[6 000-10 000[				1,48	[1,08-2,02]	
[2 000-6 000[				1,48	[1,08-2,02]	
<2 000				1,00		
Usager de deux roues motorisé			<0,0001			NS
Utilisateur	1,55	[1,30-1,86]		1,10	[0,53-2,31]	
Non utilisateur	1,00			1,00		
Cycliste			NS			NS
Utilisateur	1,06	[0,96-1,17]		1,16	[0,94-1,45]	
Non utilisateur	1,00			1,00		
Marche (Km. annuels)			NS			NS
≥143	0,92	[0,83-1,01]		1,02	[0,84-1,24]	
<143	1,00			1,00		

Les hommes ayant un profil de grands rouleurs avec un véhicule motorisé à quatre roues (plus de 20 000 kilomètres/an) sont plus impliqués dans les accidents de la circulation. C'est également le cas des hommes utilisant un deux roues motorisé.

Chez les femmes, l'utilisation d'un véhicule motorisé à quatre roues augmente le risque d'être accidenté. Bien que celles parcourant plus de 10 000 kilomètres chaque année semblent avoir un plus grand risque d'accident que celles qui se déplacent le moins, il ne semble pas exister d'effet linéaire dans l'augmentation du risque d'accident selon la quantité de kilomètres parcourus : le risque relatif n'augmente pas proportionnellement au kilométrage effectué.

Tableau 6 : Risques relatifs d'être accidenté selon la PCS, ajustés sur le mode de déplacement et les caractéristiques de l'usager indirectement associées à l'activité de déplacement, cohorte GAZEL 2001-2003

	Hommes (N=11 736) [†]			Femmes (N=4 217) [‡]		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
PCS			<0,05			NS
Cadre	1,22	[1,01-1,49]		1,37	[0,98-1,90]	
Prof. Interméd.	1,09	[0,89-1,32]		1,09	[0,82-1,43]	
Ouvrier-employé	1,00			1,00		
Usager véhic. motor. ≥ à 4 roues (Km. annuels)			<0,0001			<0,001
≥20 000	1,20	[1,04-1,38]				
[15 000-20 000[	1,05	[0,91-1,21]				
[10 000-15 000[	0,91	[0,78-1,05]				
<10 000	1,00					
≥10 000				1,57	[1,17-2,10]	
[6 000-10 000[				1,50	[1,10-2,06]	
[2 000-6 000[				1,48	[1,08-2,03]	
<2 000				1,00		
Usager de deux roues motorisé			<0,0001			NS
Utilisateur	1,54	[1,29-1,85]		1,05	[0,51-2,18]	
Non utilisateur	1,00			1,00		
Cycliste			NS			NS
Utilisateur	1,09	[0,99-1,20]		1,17	[0,95-1,46]	
Non utilisateur	1,00			1,00		
Marche (Km. annuels)			NS			NS
≥143	0,93	[0,84-1,03]		1,06	[0,87-1,29]	
<143	1,00			1,00		

[†] Ajusté sur le statut familial, l'âge des sujets, le statut de retraite, la réalisation d'un achat important, l'hospitalisation et le divorce des sujets.

[‡] Ajusté sur le statut familial, l'âge des sujets, le type A, la réalisation d'un achat important, l'hospitalisation et le départ d'un enfant du foyer.

Les facteurs relatifs aux modes de déplacement, mais également aux caractéristiques individuelles indirectement associées à l'activité de déplacement, sont pris en compte conjointement (tableau 6). Les risques relatifs associés aux modes de déplacement sont équivalents à ceux estimés précédemment (tableau 5). Chez les hommes, il existe toujours une différence d'implication dans les accidents de la route entre les cadres et les ouvriers-employés. En revanche, le sur-risque d'accidents des femmes cadres n'est plus statistiquement significatif et l'association entre le statut professionnel et l'implication dans un accident disparaît.

La prise en compte de l'information d'exposition au risque routier effectuée jusqu'ici ne suffit pas à expliquer la relation entre le statut social et l'insécurité routière chez les hommes. D'autres facteurs sont à prendre en compte pour expliquer cette association, en particulier les facteurs individuels décrivant les comportements sur la route. Jusqu'ici, ces comportements ne sont qu'indirectement contrôlés à travers les facteurs individuels non directement associés

à l'activité routière : ceux sociodémographiques, ceux associés aux événements de vie ou à la santé des sujets. Pour les femmes, de tels ajustements ne sont pas nécessaires puisque les facteurs utilisés suffisent à expliquer la relation entre le statut social et l'insécurité routière. L'ajustement sur les comportements de déplacement offre cependant la possibilité d'étudier plus finement le rôle de l'exposition dans la relation statut professionnel-accident.

2.2.2.2. Étude sur le sous-groupe des usagers motorisés

Ces facteurs supplémentaires ne sont disponibles que pour le sous-groupe des usagers des modes de déplacement motorisés. La population d'étude est de 15 271 dont 11 612 hommes. Sur la période d'étude 2001-2003, 40 794 personnes-années sont observées parmi lesquelles 31 635 sont relatives à des hommes. La répartition de ces personnes-années selon le statut professionnel reste identique à celle observée dans la précédente population d'étude : chez les hommes, 41% sont relatives à des cadres, 50% à des sujets occupant une profession intermédiaire et 9% des ouvriers-employés ; chez les femmes, ces proportions sont respectivement de 17%, 67% et 16%.

Dans cette sous-population d'étude, 1 326 hommes et 352 femmes sont impliqués dans des accidents : 1 476 sujets ont le statut accidenté une fois, 192 deux fois et 10 à chaque année de suivi. Sur ces 1 678 accidentés, 1 212 sont uniquement impliqués dans des accidents matériels, 138 uniquement dans des accidents corporels, 256 dans les deux types d'accidents et 72 dans des accidents de nature inconnue. Ainsi, 71% des 1 890 événements étudiés sont relatifs à des implications dans des accidents uniquement matériels. Quarante six pour cent des 1 507 événements étudiés chez les hommes se rapportent à des personnes ayant ou ayant eu un statut cadre, 46% à des sujets ayant ou ayant eu une profession intermédiaire et 8% à des ouvriers-employés. Chez les femmes, ces proportions représentent 22%, 64% et 14% de leurs 383 accidents.

Tableau 7 Distribution des sujets utilisant des véhicules motorisés selon leur statut professionnel, leurs quantités et comportements de déplacement.

	Hommes (N=11 612)				Femmes (N=3 659)			
	Cadre	Prof. Interméd.	Ouvr.-empl.	p [†]	Cadre	Prof. Interméd.	Ouvr.-empl.	p [†]
Kilométrage annuel parcouru ‡				<0,0001				<0,05
>=20 000	28,8	20,8	17,9					
[15 000-20 000[	23,1	20,7	17,9					
[10 000-15 000[	26,5	27,8	23,9					
<10 000	22,1	30,7	39,2					
>=10 000					28,1	23,4	24,0	
[6 000-10 000[					23,3	22,0	19,3	
[2 000-6 000[					25,0	25,6	27,4	
<2 000					23,5	29,0	29,3	
Usager de deux roues motorisé				NS				<0,05
Utilisateur	5,4	5,8	0,9		2,1	3,1	4,2	
Utilisation de téléphone en déplacement		Manquant=1371		<0,0001		Manquant=584		<0,0001
Utilisateur	33,6	24,0	18,0		30,7	16,3	17,7	
Excès de vitesse hors agglomération		Manquant=1365		<0,0001		Manquant=592		<0,01
>20 kilomètres heure	11,5	8,4	7,0		8,8	6,7	7,1	
0-20 kilomètres heure	65,7	62,3	51,9		50,9	45,7	41,4	
Excès de vitesse en agglomération		Manquant=1364		<0,0001		Manquant=589		<0,0001
>20 kilomètres heure	7,6	4,1	2,8		5,8	2,7	3,5	
0-20 kilomètres heure	64,3	59,1	50,6		49,6	45,3	38,5	
Excès de vitesse sur autoroute		Manquant=1374		<0,0001		Manquant=618		<0,0001
>20 kilomètres heure	8,7	5,2	3,1		5,5	3,0	2,6	
0-20 kilomètres heure	60,1	50,9	38,0		48,7	32,4	23,4	
Conduite et Somnolence		Manquant=1372		<0,0001		Manquant=592		<0,0001
Etat de somnolence	42,8	31,5	24,1		33,5	22,0	18,8	
Conduite et alcool		Manquant=1381		<0,0001		Manquant=588		NS
Conduite après consommation	25,1	24,0	22,3		6,7	5,6	4,8	
Prudence auto estimée au volant		Manquant=1362		<0,0001		Manquant=585		<0,05
Moins prudent que les autres usagers	3,0	2,0	2,5		2,6	1,3	1,9	
Violations du code de la route		Manquant=1368		<0,0001		Manquant=590		<0,05
Violation (hors excès de vitesse)	50,9	49,9	47,0		43,6	39,3	43,2	

†Test du Khi-deux‡ avec un véhicule motorisé

Les quantités de kilomètres parcourus avec un véhicule motorisé sont plus importantes chez les hommes que chez les femmes (tableau 7). Comme dans la population précédente, ce sont les cadres qui se déplacent le plus. Les comportements de déplacement diffèrent également selon le statut social des usagers. Au regard de l'information disponible, ils ne peuvent pas être détaillés selon les quantités de kilomètres réellement effectuées : ces comportements sont supposés être identiques pour un usager donné quel que soit le nombre et la longueur des trajets qu'il effectue.

Chez les hommes, les cadres ont plus tendance à utiliser un téléphone en conduisant que les autres usagers. Ils ont également plutôt tendance à dépasser les limites de vitesse, à conduire en ayant consommé de l'alcool (quelles que soient les quantités ingérées) ou en état de somnolence que les sujets des autres groupes. Les sujets reportant conduire moins prudemment que les autres usagers ou violer le code de la route sont en proportion égale à celle des autres sujets.

Chez les femmes, les ouvrières-employées sont proportionnellement plus nombreuses à utiliser un deux-roues motorisé que les cadres. Elles violent le code de la route autant que les cadres et plus que les femmes occupant une profession intermédiaire. En revanche, les femmes cadres ont plus tendance à téléphoner au volant, à dépasser les limites de vitesse, à conduire en état de somnolence et à se déclarer imprudentes lorsqu'elles se déplacent.

Ces résultats semblent indiquer que les cadres ont des comportements quantitatifs comme qualitatifs différents des autres usagers et propices à la survenue d'accident. L'analyse des risques relatifs bruts confirme la sur-implication des cadres dans les accidents de la circulation (tableau 8).

Tableau 8 : Risque relatif brut d'être accidenté selon la PCS pour les usagers de véhicules motorisés, cohorte GAZEL 2001-2003

	Hommes (N=11 612)			Femmes (N=3 659)		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
PCS			<0,01			<0,05
Cadre	1,30	[1,06-1,59]		1,44	[1,03-2,03]	
Prof. Interméd.	1,10	[0,90-1,35]		1,11	[0,82 -1,49]	
Ouvrier-employé	1,00			1,00		

Lorsque les quantités de kilomètres parcourues avec un engin motorisé sont prises en compte, l'effet du statut social sur l'insécurité routière perdure chez les hommes mais disparaît chez les femmes (tableau 9). Ceux et celles qui se déplacent beaucoup ont plus de risque d'être impliqués dans un accident que ceux parcourant moins de 10 000 kilomètres ou celles

parcourant moins de 2 000 kilomètres. Les sur-risques d'accident de la route n'augmentent cependant pas proportionnellement au nombre de kilomètres parcourus.

Tableau 9 : Risques relatifs d'être accidenté des usagers de véhicules motorisés selon la PCS, ajustés sur les quantités de kilomètres parcourus avec un engin motorisé, cohorte GAZEL 2001-2003

	Hommes (N=11 612)			Femmes (N=3 659)		
	RR	IC95%	p	RR	IC95%	p
PCS			0,01			NS
Cadre	1,25	[1,02-1,53]		1,40	[0,99-1,98]	
Prof. Interméd.	1,09	[0,89-1,33]		1,12	[0,83-1,51]	
Ouvrier-employé	1,00			1,00		
Kilométrage annuel parcouru			<0,0001			<0,001
>=20 000	1,32	[1,15-1,52]				
[15 000-20 000[	1,19	[1,03-1,36]				
[10 000-15 000[	0,94	[0,81-1,08]				
<10 000	1,00					
>=10 000				1,73	[1,30-2,30]	
[6 000-10 000[				1,60	[1,18-2,16]	
[2 000-6 000[				1,36	[1,01-1,82]	
<2 000				1,00		

Les risques relatifs bruts associés aux catégories professionnelles sont aussi ajustés sur les facteurs de risque décrivant l'intensité d'exposition, c'est-à-dire sur les caractéristiques individuelles directement et indirectement associées à l'activité routière (tableau 10). Il n'existe alors plus d'association statistiquement significative entre le statut professionnel et l'insécurité routière : quel que soit le genre des sujets étudiés, les cadres ont autant de risque d'être accidentés que les ouvriers-employés.

Les hommes déclarant dépasser les limitations de vitesse, utiliser un téléphone en se déplaçant, conduire en état de fatigue ou utiliser un deux-roues motorisé ont des risques relatifs d'accident supérieurs aux sujets se déplaçant sans ces comportements (tableau 10).

Les femmes utilisant un téléphone en se déplaçant, conduisant sous l'emprise de l'alcool et moins prudemment que les autres ont également un sur-risque d'accident de la route (tableau 10).

Tableau 10 : Risques relatifs d'être accidenté des usagers de véhicules motorisés selon la PCS, ajustés sur les comportements de déplacement, cohorte GAZEL 2001-2003

	Hommes (N=11 612)			Femmes (N=3 659)		
	RR [†]	IC95%	p	RR [‡]	IC95%	p
PCS			NS			NS
Cadre	1,15	[0,94-1,41]		1,33	[0,95-1,87]	
Prof. Interméd.	1,07	[0,87-1,31]		1,11	[0,83-1,49]	
Ouvrier-employé	1,00			1,00		
Excès de vitesse en agglomération			<0,01			
>20 kilomètres heure	1,26	[1,02-1,57]				
0-20 kilomètres heure	1,01	[0,88-1,15]				
Respect des limitations	1,00					
Excès de vitesse sur autoroute			<0,01			
>20 kilomètres heure	1,26	[1,02-1,55]				
0-20 kilomètres heure	1,16	[1,02-1,32]				
Respect des limitations	1,00					
Utilisation de téléphone en déplacement			<0,01			<0,05
Utilisateur	1,19	[1,07-1,33]		1,27	[1,02-1,59]	
Non utilisateur	1,00			1,00		
Conduite et Somnolence			<0,05			
Etat de somnolence	1,14	[1,03-1,27]				
Etat normal	1,00					
Usager de deux roues motorisé			<0,0001			
Utilisateur	1,50	[1,26-1,79]				
Non utilisateur	1,00					
Conduite et alcool						0,05
Conduite après consommation				1,57	[1,12-2,20]	
Conduite sans consommation				1,00		
Prudence auto estimée au volant						<0,01
Moins prudent que les autres usagers				1,84	[1,11-3,04]	
Autant ou plus prudent que les autres usagers				1,00		

[†]ajusté sur l'âge, le statut familial, la retraite, le divorce, l'achat important, l'hospitalisation et l'état physique des usagers

[‡]ajusté sur le statut familial, l'achat, le départ d'un enfant, l'hospitalisation, la présence d'un problème de santé et le TYPE A des usagers

La prise en compte des facteurs de risque associés aux quantités de kilomètres parcourus et aux facteurs individuels d'intensité d'exposition (directement liés ou non à l'activité routière) ne modifient pas la nature de l'association entre le statut social et l'insécurité routière qui reste statistiquement non significative (tableau 11). Pour les autres facteurs, seuls les risques relatifs associés à la somnolence chez les hommes et à l'utilisation du téléphone chez les femmes deviennent non significatifs lorsque les quantités de kilomètres parcourus sont considérées.

Tableau 11 : Risques relatifs d'être accidenté des usagers de véhicules motorisés selon la PCS, ajustés sur les comportements de déplacement, cohorte GAZEL 2001-2003

	Hommes (N=11 612)			Femmes (N=3 659)		
	RR [†]	IC95%	p	RR [‡]	IC95%	p
PCS			NS			NS
	Cadre	1,15 [0,94-1,41]		1,36 [0,97-1,91]		
	Prof. Interméd.	1,07 [0,87-1,30]		1,11 [0,83-1,49]		
	Ouvrier-employé	1,00		1,00		
Excès de vitesse en agglomération			<0,001			
	>20 kilomètres heure	1,29 [1,04-1,60]				
	0-20 kilomètres heure	1,02 [0,89-1,16]				
	Respect des limitations	1,00				
Excès de vitesse sur autoroute			<0,01			
	>20 kilomètres heure	1,23 [1,01-1,52]				
	0-20 kilomètres heure	1,15 [1,01-1,31]				
	Respect des limitations	1,00				
Utilisation de téléphone en déplacement			<0,01			
	Utilisateur	1,18 [1,06-1,32]				
	Non utilisateur	1,00				
Usager de deux roues motorisé			<0,0001			
	Utilisateur	1,45 [1,22-1,74]				
	Non utilisateur	1,00				
Conduite et alcool						<0,05
	Conduite après consommation			1,59 [1,13-2,23]		
	Conduite sans consommation			1,00		
Prudence auto estimée au volant						<0,05
	Moins prudent que les autres usagers			1,98 [1,17-3,36]		
	Autant ou plus prudent que les autres usagers			1,00		
Kilométrage annuel parcouru			<0,01			<0,05
	>=20 000	1,19 [1,04-1,37]				
	[15 000-20 000[	1,15 [1,00-1,32]				
	[10 000-15 000[	0,92 [0,80-1,06]				
	<10 000	1,00				
	>=10 000			1,58 [1,18-2,13]		
	[6 000-10 000[			1,52 [1,12-2,06]		
	[2 000-6 000[			1,35 [1,01-1,81]		
	<2 000			1,00		

[†]ajusté sur l'âge, le statut familial, la retraite, le divorce, l'achat important, l'hospitalisation et l'état physique des usagers

[‡]ajusté sur le statut familial, l'achat, le départ d'un enfant, l'hospitalisation, la présence d'un problème de santé et le TYPE A des usagers

2.3. APPROCHE CAS-TEMOINS

2.3.1. Matériel et méthode

Dans cette étude, les données de la cohorte GAZEL sont à nouveau utilisées pour sélectionner la population d'étude. L'étude des inégalités sociales est réalisée sur la base du suivi 2002 de la cohorte, c'est-à-dire sur l'exposition et l'insécurité routière des sujets survenues en 2001. Seuls ceux pour lesquels l'information d'exposition au risque routier et d'insécurité routière est disponible sont considérés. Les autres périodes ne sont pas étudiées dans la mesure où les statuts de maladie et d'exposition évoluent au cours du temps : un sujet pourrait se retrouver cas puis témoins.

Dans une enquête cas-témoins en sécurité primaire, les cas sont choisis parmi les sujets accidentés et les témoins sont choisis soit en population générale, soit au bord de la route en population circulante. Dans ce dernier choix, ils sont souvent appariés aux cas : les témoins sont sélectionnés au même endroit où les accidents se sont produits ou peuvent également être appariés sur leurs caractéristiques individuelles^{37 65 139}. Dans ce cas, l'appariement est supposé contrôler les comportements de déplacement sous-jacents aux caractéristiques utilisées pour réaliser l'appariement. Ici, les cas correspondent aux sujets impliqués dans un accident de la circulation au cours de l'année 2001. Les témoins sont choisis en les appariant aux cas selon le genre et l'âge. Afin de maximiser la puissance de l'étude, quatre témoins sont sélectionnés pour chaque cas. Ils sont choisis aléatoirement et sans remise parmi les sujets répondant aux critères d'appariement du cas.

Le statut social est défini comme dans l'approche précédente, sur la base du statut professionnel occupé en 2001 pour les actifs ou le dernier avant la fin d'activité pour les retraités. Les facteurs d'ajustement sont les mêmes que ceux utilisés dans l'analyse de cohorte portant sur tous les usagers.

La stratégie d'analyse reste identique à celle utilisée dans le paragraphe précédent :

- analyse des risques bruts associés à la PCS,
- puis ajustement sur les facteurs de risque associés à la quantité d'exposition au risque routier ou/et à l'intensité d'exposition.

Les risques d'accidents sont calculés sous la forme d'odds-ratios grâce au modèle logistique conditionnel.

2.3.2. Résultats

Les 755 sujets de la cohorte GAZEL déclarant être accidentés en 2001 sont utilisés comme des cas et sont appariés à 3 020 sujets (quatre témoins/cas). Les analyses ne sont pas stratifiées selon le genre afin de conserver une puissance statistique satisfaisante. En revanche, le genre est utilisé comme un facteur d'appariement afin de contrôler au mieux les spécificités d'exposition au risque routier des hommes et des femmes.

Les cas sont tout d'abord appariés à des témoins de mêmes âge et genre. La population étudiée est composée de 3 775 sujets. Chez les cas, 39% sont des cadres, 52% occupent une profession intermédiaire et 9% sont ouvrier(e)s-employé(e)s. Chez les témoins, ces proportions sont respectivement de 35%, 54% et 11%.

Cette approche met en évidence une association statistiquement significative entre le statut professionnel et l'implication dans un accident. Les cadres ont un risque d'être accidenté supérieur à celui des ouvrier(e)s-employé(e)s, et ce, malgré le contrôle par appariement des effets des comportements de déplacement associés au sexe et à l'âge des usagers (tableau 12). Les sujets occupant ou ayant occupé une profession intermédiaire semblent avoir le même risque d'implication dans les accidents que les ouvrier(e)s-employé(e)s. Ces effets perdurent lorsque d'autres caractéristiques individuelles indirectement associées à l'activité routière sont prises en compte (tableau 12).

Tableau 12 : Odds ratios selon la PCS, bruts et ajustés sur les facteurs individuels indirectement associés à l'activité de déplacement, appariés sur le sexe et l'âge, cohorte GAZEL 2001

	Hommes			Femmes		
	OR	IC95%	p	OR [†]	IC95%	p
PCS			<0,05			0,05
Cadre	1,45	[1,08-1,95]		1,41	[1,04-1,91]	
Prof. Interméd.	1,22	[0,92-1,62]		1,31	[0,98-1,75]	
Ouvrier employé	1,00			1,00		

[†]ajusté sur le statut de retraite, l'état de santé nerveuse, l'hospitalisation et le divorce des sujets

Comme précédemment, l'ajustement sur les facteurs de risque associés à l'utilisation ou l'importance de l'utilisation de chaque mode de déplacement ne modifie pas la nature de la relation entre statut social et insécurité routière : les cadres ont toujours plus de risque d'être impliqués dans un accident de la route (tableau 13). En revanche, cette association devient non significative lorsque ces facteurs sont considérés concomitamment aux facteurs de risque associés aux caractéristiques d'intensité d'exposition individuelles et non directement associées avec l'activité routière (tableau 13).

Tableau 13 : Odds ratios selon la PCS, ajustés sur les facteurs individuels indirectement associés à l'activité de déplacement et le mode de déplacement des usagers, appariés sur le sexe et l'âge, cohorte GAZEL 2001

	Hommes			Femmes		
	OR	IC95%	p	OR [†]	IC95%	p
PCS			<0,05			NS
	Cadre	1,40 [1,04-1,89]		1,36 [0,98-1,84]		
	Prof. Interméd.	1,21 [0,91-1,61]		1,30 [0,97-1,73]		
	Ouvrier-employé	1,00		1,00		
Usager véhic. motor. ≥ à 4 roues (Km. annuels)			<0,01			<0,05
(par genre)						
	≥20 000 ou ≥10 000	1,37 [1,10-1,72]		1,33 [1,06-1,68]		
	[15 000-20 000[ou [6 000-10 000[	1,05 [0,83-1,33]		1,09 [0,86-1,38]		
	[10 000-15 000[ou [2 000-6 000[	0,95 [0,74-1,21]		1,00 [0,78-1,28]		
	<10 000 ou <2 000	1,00		1,00		
Usager de deux roues motorisé			<0,05			<0,05
	User	1,55 [1,09-2,20]		1,55 [1,09-2,21]		
	Non user	1,00		1,00		
Cycliste			NS			NS
	Utilisateur	1,13 [0,95-1,33]		1,18 [0,99-1,40]		
	Non utilisateur	1,00		1,00		
Marche (Km. annuels)			NS			NS
	≥143	1,02 [0,87-1,20]		1,09 [0,93-1,29]		
	<143	1,00		1,00		

[†]ajusté sur le statut de retraite, l'état de santé nerveuse, l'hospitalisation et le divorce des sujets

La modélisation des caractéristiques d'intensité d'exposition au risque routier présentée dans le tableau 13 n'est pas toujours réalisable. Le tableau 14 présente la prise en compte de l'exposition au risque routier lorsque les quantités de kilomètres parcourus ne peuvent pas être détaillées par mode de déplacement. L'exposition quantitative est considérée comme un facteur de risque à part entière. Les modes de déplacements sont regroupés en une seule variable afin de s'intéresser à un profil global d'utilisateur et non aux kilomètres parcourus avec tel ou tel mode de déplacement. Les profils accidentogènes suivants sont déterminés : l'utilisateur de deux-roues motorisés (qu'il utilise ou non un autre mode de déplacement), l'utilisateur non motorisé qui ne se déplace qu'à pieds ou à vélo, et les autres sujets utilisant des engins motorisés à quatre roues.

La nature de l'association entre le statut social et l'insécurité routière reste identique à celles précédemment trouvées (tableau 14) : il existe un sur-risque d'accident des cadres qui est

toutefois non significatif après ajustement sur les facteurs de risque associés aux kilomètres parcourus, aux modes de déplacement et aux caractéristiques individuelles de l'utilisateur indirectement associées à l'activité de déplacement.

Tableau 14 : Odds ratios selon la PCS, ajustés sur les facteurs individuels indirectement associés à l'activité de déplacement, le kilométrage annuel des usagers et le type d'usager, appariés sur le sexe et l'âge, cohorte GAZEL 2001

	Hommes			Femmes		
	OR	IC95%	p	OR [†]	IC95%	p
PCS			<0,05			NS
	Cadre	1,36 [1,01-1,83]		1,33 [0,98-1,80]		
	Prof. Interméd.	1,19 [0,89-1,58]		1,27 [0,96-1,70]		
	Ouvrier-employé	1,00		1,00		
Kilométrage annuel ‡			<0,001			<0,001
	≥20 000 ou ≥10 000	1,58 [1,25-2,00]		1,52 [1,25-2,00]		
	[15 000-20 000[ou [6 000-10 000[	1,45 [1,14-1,85]		1,52 [1,20-1,94]		
	[10 000-15 000[ou [2 000-6 000[	1,05 [0,82-1,36]		1,11 [0,85-1,43]		
	<10 000 ou <2 000	1,00		1,00		
Type d'usager			NS			NS
	Usager de véhicule motorisé à 2 roues	1,37 [0,69-2,75]		1,54 [0,76-3,11]		
	Usager de véhicule motorisé à ≥4 roues	0,91 [0,49-1,68]		1,01 [0,54-1,88]		
	Usager non motorisé	1,00		1,00		

[†]ajusté sur le statut de retraite, l'état de santé nerveuse, l'hospitalisation et le divorce des sujets ‡tous modes de déplacement confondus

2.4. APPROCHE ACCIDENTOLOGIQUE

2.4.1. Matériel et méthode

L'étude de l'insécurité routière sous la forme de taux d'accidents nécessite de connaître :

- Les accidents de la route dans lesquels les sujets présentant le profil d'usager étudié sont impliqués.
- L'exposition au risque routier de ces sujets, c'est-à-dire la population à risque d'accident et la quantité d'exposition de cette population.

Les mesures des quantités d'exposition, généralement des kilomètres parcourus, et de l'intensité d'exposition, caractéristique usager-véhicule-environnement, et différents profils d'usagers sont estimées à partir de sous-groupes de sujets choisis de façon représentative dans la population générale^{11 76}. Les données d'insécurité routière sont généralement connues de façon plus ou moins exhaustive, notamment celles en lien avec les accidents corporels qui font l'objet d'un recueil continu de la part des forces de l'ordre dans la plupart des pays

développés ¹⁴⁰. Le recueil des données ainsi obtenues s'apparente à un design d'étude de type transversale.

Dans ce travail, les données de la cohorte GAZEL relatives à l'année 2001 sont utilisées encore une fois pour réaliser une telle étude. Les sujets étudiés sont ceux pour lesquels l'information sur les facteurs de risque en lien avec l'intensité et la quantité d'exposition au risque routier mais aussi sur l'insécurité routière est disponible. Ces données permettent d'estimer des taux d'incidence puis des risques relatifs généralisables, en théorie, aux travailleurs et retraités d'EDF-GDF âgés de 52 à 63 ans pour les hommes et de 47 à 63 ans pour les femmes.

Les taux d'incidence ou « d'accidents » sont estimés pour les profils d'utilisateurs définis par le statut social et les facteurs d'ajustement. Ils sont calculés en utilisant comme mesure d'insécurité routière l'ensemble des accidents dans lesquels les sujets ont été impliqués au cours de l'année 2001 et comme mesure d'exposition au risque routier, l'ensemble des kilomètres parcourus au cours de cette période.

La modélisation de ces taux d'incidence puis l'estimation des risques relatifs sont réalisées ici avec le modèle de Poisson. Selon la définition de l'exposition au risque routier proposée par Hauer, une unité d'exposition est considérée comme un essai dont la « réussite » est l'accident. Chaque unité suit une loi de Bernoulli dont la probabilité de « réussite » est singulière et conditionnée par les caractéristiques de l'utilisateur, du mode de déplacement et de l'environnement de déplacement présentes lorsque cette unité s'est réalisée. Le nombre total d'accidents est assimilé à une somme d'unités d'exposition ayant abouti à un succès. Comme la probabilité de succès de chaque unité est faible ⁷, le nombre total d'accidents est supposé suivre une distribution de Poisson avec comme paramètre la somme des probabilités de « réussite » de chaque unité. La probabilité que le groupe d'utilisateurs de profil i dans l'environnement j connaisse d_{ij} événements d'insécurité routière s'écrit:

$$P(d_{ij}) = \frac{(\exp(-\text{TI}_{ij}n_{ij}))(\text{TI}_{ij}n_{ij})^{d_{ij}}}{d_{ij}!}$$

avec $\text{TI}_{ij} = d_{ij} / n_{ij}$, le taux d'accidents du groupe et n_{ij} le nombre de personnes-kilomètres, sous les hypothèses $E(d_{ij}) = \text{Var}(d_{ij}) = \text{TI}_{ij}n_{ij}$. Le taux d'accidents, en tant que taux d'incidence, peut être étudié selon un modèle de Poisson, modèle de régression appartenant à la famille des modèles linéaires généralisés ¹⁴¹ :

$$\text{Ln}(\text{TI}_{ij}) = \alpha_i + \beta X_{ij} \quad \leftrightarrow \quad \text{Ln}(d_{ij}) = \alpha_i + \beta X_{ij} + \text{Ln}(n_{ij})$$

X_{ij} représentent les caractéristiques d'intensité d'exposition usager, véhicule et environnement utilisées pour définir les groupes d'usagers à comparer et par conséquent les facteurs de risque d'intérêt. Cette modélisation permet de comparer les taux d'accidents des différents groupes d'usagers au taux du profil de référence et fournit ainsi des risques relatifs en tenant compte du cadre inférentiel et du contexte multidimensionnel de l'insécurité routière.

Toutefois, chaque unité d'exposition a une probabilité d'aboutir à un accident différente de celles des autres unités : l'intensité d'exposition varie d'une unité à l'autre selon les caractéristiques usager-véhicule-environnement présentes dans chacune. Rien ne garantit que le nombre total d'accidents de la route soit une somme de variables aléatoires ayant chacune une loi de Poisson de même paramètre. Dans ce cas, l'hypothèse de base du modèle de Poisson, $E(d_{ij})=Var(d_{ij})$, doit être testée pour savoir si le modèle de Poisson reste applicable. Dans le cas contraire, le modèle binomial négatif est une des alternatives pour remédier à cette difficulté et comparer les taux d'accidents. Il repose sur une combinaison de la distribution de Poisson et de la distribution Gamma. Sa formulation est identique à celle du modèle de Poisson mais ce modèle ne nécessite plus l'égalité entre la variance du nombre d'événements observés et sa moyenne. Cette variance s'écrit

$$Var(d_{ij})= TI_{ij}n_{ij}+ (TI_{ij}n_{ij})^2 /k$$

avec k le paramètre de la loi Gamma.

La stratégie d'analyse reste identique à celle utilisée dans les précédents paragraphes. Les risques d'insécurité primaire sont calculés sous la forme de risques relatifs grâce au modèle négatif-binomial.

2.4.2. Résultats

Le tableau 15 présente le décompte des accidents et des unités d'exposition en fonction des profils définis sur la base du statut professionnel des usagers. Chez les hommes comme chez les femmes, la part des différents groupes sociaux dans la population à risque est très proche de celle estimée dans la population des accidentés. Les taux d'incidence sont ainsi très semblables quelle que soit la PCS des usagers (tableau 15).

Tableau 15 : Distribution des personnes-kilomètres et des accidents selon le statut social des sujets, cohorte GAZEL, 2001

	Hommes			Femmes		
	Accidents N=691	Kms parcourus N=208 488 747	Tx d'accidents (pour 10 ⁶ kms)	Accidents N=212	Kms parcourus N=48 684 254	Tx d'accidents (pour 10 ⁶ kms)
Cadre	43,99%	43,65%	3,34	17,45%	17,57%	4,32
Prof. Interméd.	47,32%	47,34%	3,31	70,28%	66,86%	4,58
Ouvr-employé	8,68%	9,02%	3,19	12,26%	15,57%	3,43

Les risques relatifs bruts d'être accidenté ne mettent pas en évidence d'inégalités sociales de sécurité routière : pour les hommes et les femmes, les cadres comme les sujets occupant une profession intermédiaire ne se différencient pas des ouvrier(e)s-employé(e)s (tableau 16). L'estimation de ces risques relatifs d'accidents est réalisée au moyen du modèle négatif binomial car il existe une trop forte dispersion des données pour utiliser le modèle de Poisson (paramètre de dispersion supérieur à 5 chez les hommes et à 13 chez les femmes).

Tableau 16 : Risques relatifs bruts d'être accidenté selon la PCS, cohorte GAZEL, 2001

	Hommes			Femmes		
	RR	IC _{95%}	p	RR	IC _{95%}	p
PCS			NS			NS
Cadre	1,02	[0,72-1,44]		1,23	[0,59-2,59]	
Prof. Interméd.	1,01	[0,72-1,43]		1,37	[0,72-2,59]	
Ouvrier employé	1,00			1,00		

S'il n'est pas nécessaire d'ajuster ces risques relatifs sur d'autres facteurs, un modèle multivarié est toutefois réalisé pour illustrer la prise en compte des facteurs de risque associés à l'intensité d'exposition au risque dans cette approche. Les risques relatifs sont ainsi ajustés sur le mode de déplacement des usagers (tableau 17).

Dans la cohorte GAZEL, le nombre total de kilomètres parcourus est détaillé par mode de déplacement. En revanche, comme indiqué précédemment, les données d'insécurité routière sont recueillies globalement au niveau de l'utilisateur, sans détail sur le mode de déplacement utilisé lors des accidents. Il n'est donc pas possible d'utiliser cette information pour calculer le numérateur des taux d'accidents, c'est-à-dire de dénombrer le nombre d'unités d'exposition ayant abouti à la survenue d'un accident de la route en fonction du mode de déplacement. Le mode de déplacement peut toutefois être utilisé en simplifiant l'information disponible. Il s'agit de définir, comme précédemment, un type d'utilisateur global, constant pour tous les

déplacements (donc tous les kilomètres) et tous les accidents du sujet considéré au lieu de considérer le mode de déplacement utilisé pour chacun des kilomètres qu'il a parcourus.

Par exemple, le profil d'utilisateurs de deux-roues motorisés ne correspond pas aux kilomètres réellement parcourus avec un deux-roues motorisé. Il s'agit des utilisateurs ayant parcouru au moins un kilomètre avec ce mode de déplacement. L'ensemble des kilomètres et accidents qu'ils ont effectués avec un autre mode de déplacement sont pourtant sommés sous le profil utilisateur de deux roues motorisés lors du calcul du taux d'accident correspondant.

Tableau 17 : Risques relatifs d'être accidenté selon la PCS, ajustés sur le type d'utilisateur, cohorte GAZEL, 2001

	Hommes			Femmes		
	RR	IC _{95%}	p	RR	IC _{95%}	p
PCS			NS			NS
Cadre	1,06	[0,76-1,47]		1,24	[0,62-2,49]	
Prof. Interméd.	1,04	[0,75-1,45]		1,37	[0,78-2,43]	
Ouvrier employé	1,00			1,00		
Type d'utilisateur			<0,0001			<0,0001
Utilisateur de véhicule motorisé à 2 roues	1,60	[1,13-2,26]		0,17	[0,02-1,58]	
Cycliste	1,08	[0,89-1,30]		1,11	[0,72-1,73]	
Marcheur	59,92	[22,22-161,62]		27,60	[9,64-78,99]	
Utilisateur de véhicule motorisé à 4 roues	1,00			1,00		

Quatre profils d'utilisateurs sont créés : ceux utilisant un deux roues motorisé (qu'ils utilisent ou non un autre mode de déplacement), ceux utilisant un vélo mais pas de deux-roues motorisé (qu'ils utilisent ou non un autre mode de déplacement), ceux n'utilisant pas ces modes de déplacement mais un véhicule motorisé et les piétons.

Tableau 18 : Distribution des personnes-kilomètres et des accidents selon le type d'utilisateur, cohorte GAZEL 2001

	Hommes			Femmes		
	Accidents N=691	Kms parcourus N=208 488 74	Tx d'accidents (×10 ⁶ kms)	Accidents N=212	Kms parcourus N=48 683 971	Tx d'accidents (×10 ⁶ kms)
Usag. de véh. motor. 4 roues	321	104506120	3,07	144	33930723	4,24
Usag. de véh. motor. 2 roues	60	12429063	4,83	1	1195777	0,84
Cycliste	304	91517970	3,32	61	13500632	4,52
Piéton	6	35594	168,57	6	57122	105,04

La variable « type d'usager » ainsi définie illustre également une autre spécificité de la prise en compte de l'exposition au risque routier. Contrairement aux précédentes approches, le risque associé aux piétons est important (OR=60). Cette mesure relative ne révèle cependant pas un profil d'usager particulièrement accidentogène : elle met en évidence le problème de l'estimation du niveau d'insécurité routière des usagers non motorisés sur la base d'un taux d'incidence mesuré en utilisant comme mesure de l'exposition au risque routier les personnes-kilomètres. Le nombre d'accidents des piétons est rapporté à une quantité d'exposition, c'est-à-dire à une mesure de la population à risque, bien plus faible que celle des usagers motorisés qui, en raison de leur vitesse de déplacement et des capacités de mobilité offerte par leur véhicule, ont pu parcourir plus de kilomètres par unité de temps. Leur taux d'accident est alors « mécaniquement » plus important (tableau 18). La mesure de l'exposition en temps passé sur la route serait dans ce cas plus adaptée et offrirait un contexte de comparaison plus équilibré entre les modes de déplacement ⁶⁶.

2.5. DISCUSSION

2.5.1. Résumé des résultats

Ce travail confirme l'existence d'inégalités de sécurité routière primaire selon le statut social d'appartenance des usagers de la route. Les cadres sont plus souvent impliqués dans des accidents de la circulation que les sujets des autres groupes sociaux. Ces inégalités se retrouvent chez les hommes comme chez les femmes. La sur-implication dans les accidents de la circulation des sujets ayant une position sociale élevée est cohérente avec les résultats de deux autres analyses dans lesquelles les sujets les plus accidentés sont les femmes les plus diplômées ¹²³ et les conducteurs de véhicules motorisés âgés de 18 à 65 ans ayant les plus forts revenus ¹²⁴.

Nos résultats et ceux de ces deux publications fournissent cependant des conclusions différentes de toutes celles rencontrées dans la littérature sur les inégalités sociales de sécurité routière : les sujets socialement défavorisés sont plus souvent victimes de l'insécurité routière que les autres usagers de la route. Ces différences sont cependant liées à la façon dont est définie l'insécurité routière. En effet ces études ne portent que sur des accidents corporels. Les usagers correspondants sont inclus dans les études à la fois parce qu'ils sont accidentés (sécurité primaire) et très souvent parce qu'ils sont eux-mêmes blessés (sécurité secondaire). Il est dès lors délicat de séparer le rôle du statut social dans chacune de ces dimensions. Les différences entre notre étude et celles établies sur la base des accidents corporels pourraient

ainsi provenir du rôle spécifique des inégalités sociales sur la dimension « sécurité secondaire ». Une analyse succincte des sujets de la cohorte GAZEL accidentés au cours de la période d'observation 2001-2003 confirme cette hypothèse. Chez les hommes, les cadres ont un risque de 0,51 (IC_{95%}:[0,32-0,82]) d'être impliqués dans un accident corporel lorsqu'ils sont accidentés par rapport aux ouvriers-employés. Les femmes cadres ont également un sous-risque de 0,43 d'être impliquées dans un accident corporel lorsqu'elles sont accidentées mais ce risque n'est pas significatif (IC_{95%}:[0,18-1,03]). Les sujets occupant une profession intermédiaire ne se distinguent pas des sujets du groupe de référence. Il semble donc exister un effet particulier du statut social en matière de sécurité secondaire. Il semble par ailleurs que les sujets socialement défavorisés sont susceptibles d'être moins résistants aux chocs en raison d'états de santé moins bons que ceux des autres sujets^{51 125 142 143}. De plus, ces sujets ont des véhicules moins capables d'assurer une bonne protection de leurs occupants en cas de choc¹²⁸ et moins bien entretenus^{126 129}. Enfin, ils portent moins souvent leur ceinture de sécurité que les usagers des groupes sociaux plus favorisés^{42 74 131 132}.

Les résultats concernant les autres facteurs de risque, c'est-à-dire les excès de vitesse, l'utilisation de deux roues motorisés, du téléphone portable en situation de déplacement ou la somnolence en situation de déplacement sont concordants avec ceux précédemment publiés sur d'autres données¹⁴⁴⁻¹⁴⁷ et ceux précédemment publiés sur les données de la cohorte GAZEL^{104 148-153}.

Ces inégalités d'implication dans les accidents de la circulation s'expliquent par des disparités dans les expositions aux facteurs de risque associés à l'exposition au risque routier des sujets, selon leur profil social. Le risque relatif d'accident plus élevé des cadres devient non significatif après prise en compte des caractéristiques en lien avec la quantité d'exposition et l'intensité d'exposition. La proportion de sujets se déplaçant beaucoup et/ou ayant des comportements de déplacement à risque est plus importante chez les cadres que dans les autres catégories professionnelles. Ils sont proportionnellement plus nombreux à parcourir de longues distances en véhicule motorisé à quatre roues. Dans le sous-groupe des usagers motorisés, les cadres, tout genre confondu, sont proportionnellement plus nombreux à utiliser leur téléphone en se déplaçant ; Les hommes cadres sont plus nombreux à déclarer dépasser les limites de vitesses autorisées ou à conduire en état de somnolence ; les femmes cadres sont plus nombreuses à déclarer conduire en ayant consommé de l'alcool et se sentir moins prudentes sur la route que les autres usagers.

Ces résultats confirment la conceptualisation du rôle du statut social sur la survenue d'accident (de la circulation ou non) proposée par Diderichsen¹¹⁶. Il considère le statut social

comme un facteur reflétant l'« exposition des sujets » (c'est-à-dire la quantité d'exposition : durée d'appartenance à la population à risque) et leur « susceptibilité » à connaître ces situations (c'est-à-dire l'intensité de leur exposition aux dangers : spécificités d'exposition aux facteurs de risque présents sur la route). C'est précisément l'ajustement sur les caractéristiques définissant ces deux effets qui rend l'association entre le statut social et l'insécurité routière primaire non significative. Nos résultats montrent que les inégalités sociales de sécurité routière primaire ne sont pas seulement expliquées par des disparités dans les distances parcourues. Les comportements de déplacement (l'intensité d'exposition) ont un rôle très important dans ces disparités, notamment chez les hommes où les cadres se déplacent de façon moins sûre que les autres usagers. Enfin, ils illustrent la nécessité de séparer la dimension de sécurité routière secondaire de celle primaire dans une telle analyse : l'étude de l'implication dans un accident corporel, contrairement à l'étude de l'implication dans un accident toute gravité confondue, n'aurait pas permis d'évaluer le sur-risque d'insécurité primaire des cadres.

En l'absence d'information d'exposition au risque routier, la connaissance de la PCS des usagers apparaît être un levier d'action potentiel de prévention routière. Si toutefois les informations individuelles sur les quantités et l'intensité d'exposition au risque routier sont disponibles, le statut social ne semble plus avoir d'intérêt propre. La connaissance du statut social reste pertinente pour adapter le contenu des messages de prévention.

2.5.2. Forces et faiblesses

2.5.2.1. Résultats et données

La cohorte GAZEL est une source d'information pertinente pour l'étude d'une telle problématique. Grâce à son suivi longitudinal, elle fournit des informations mises à jour chaque année. Comme tous les accidents de la route des sujets sont recueillis sans restriction sur leur gravité, qu'ils soient corporels ou matériels, cette cohorte permet d'isoler le rôle du statut social en termes d'insécurité routière primaire de son rôle en termes d'insécurité routière secondaire³¹. Concernant les résultats fournis par l'analyse de cohorte, il présente l'avantage d'être obtenus avec un modèle de risque proportionnel pour événement récurrent. Ce modèle permet de prendre en compte tout l'historique de l'insécurité routière d'un usager (et non de se focaliser sur un événement particulier) et aussi de prendre en compte les modifications d'exposition aux facteurs de risque intervenant au cours des trois années de suivi.

Ces résultats présentent cependant des limites. Dans l'approche sur les usagers de véhicules motorisés, le risque relatif ajusté, associé aux cadres est de 1,15 chez les hommes et de 1,36 chez les femmes. Ces risques relatifs restent proches de ceux bruts : respectivement de 1,30 et 1,44. Il est difficile de distinguer si la non significativité statistique des risques ajustés résulte d'un simple effet mécanique, dû à l'inclusion de facteurs supplémentaires dans les modèles multivariés, ou si, au contraire, l'exposition au risque routier a véritablement un effet dans l'association statut social-insécurité routière. Cette dernière hypothèse est cependant privilégiée. L'exposition au risque routier est le principal facteur de risque de l'insécurité routière³⁷. De plus, l'exposition au risque routier est un facteur reconnu, sur le plan théorique, pour expliquer l'association entre statut social et implication dans les accidents^{116 154 155}.

Les spécificités de la cohorte GAZEL peuvent expliquer la faiblesse des risques estimés. Les usagers étudiés sont âgés de 49 à 64 ans pour les femmes et de 54 à 64 pour les hommes. Ces sujets sont dans des tranches d'âge à faible risque d'accident de la route¹⁵⁶. Le risque d'obtenir des estimations conservatrices est d'autant plus important que les sujets sont sélectionnés à partir des mêmes entreprises. Les différences de mode de vie entre les sujets des différents groupes sociaux sont sans doute moins importantes que celles existantes en population générale : les sujets de ces entreprises bénéficient par exemple, quel que soit leur statut, d'un accès aux soins ou aux activités extra-professionnelles équivalent. Enfin, quel que soit le statut social des usagers, la participation aux questionnaires annuels est meilleure pour les sujets ayant des comportements de vie plus sûrs notamment en terme de santé¹⁵⁷. Il est donc possible qu'un biais de sélection existe en faveur d'une population d'étude aux comportements routiers plus sûrs, ce qui peut également conduire à estimer des risques moins élevés.

Au regard de l'indicateur de statut social utilisé, même si la participation des sujets à la cohorte GAZEL est d'autant plus importante que leur position dans l'échelle sociale est élevée¹⁵⁷, la probabilité d'un biais différentiel dans la qualité de l'information recueillie, selon le statut social, semble faible :

- le protocole de recueil est identique pour tous les sujets.
- l'outil de recueil a été développé par des équipes de recherche expérimentées. Plus de dix ans de retour d'expérience ont permis d'optimiser le questionnaire et le recueil des données.

Les spécificités d'âge et de comportements de vie des sujets de la population étudiée ne permettent toutefois pas de généraliser nos résultats à l'ensemble de la population française. Dans la mesure où toutes les professions et catégories socioprofessionnelles ne sont pas toutes

représentées chez EDF-GDF, ils ne peuvent pas à l'évidence être étendus aux PCS non considérées dans notre analyse.

2.5.2.2. Exposition au risque routier

La cohorte GAZEL présente l'avantage de fournir des informations sur l'ensemble de la population à risque d'accident : les populations de sujets accidentés et non accidentés. Elle fournit aussi des informations quantitatives d'exposition au risque routier mises à jour chaque année. Toutefois, les unités d'exposition, ont un niveau de détail réduit. Les kilomètres parcourus peuvent être détaillés en fonction du mode de déplacement utilisé par les usagers pour les parcourir. En revanche, aucune information relative aux environnements de déplacement empruntés par les sujets (type de chaussée, météorologie, ...) n'est disponible. La confusion susceptible d'être engendrée par ces facteurs non pris en compte dans l'association entre statut social et implication dans un accident de la route ne peut donc pas être contrôlée.

Concernant les facteurs de risque décrivant les caractéristiques « usager » de l'intensité d'exposition, les kilomètres peuvent être décrits selon les caractéristiques des usagers qui existent indépendamment de l'activité routière, car ces dernières sont constantes pour tous les déplacements des usagers : genre, âge, état de santé... En revanche, les informations relatives aux comportements de déplacement, présentent trois limites. Ces caractéristiques individuelles d'intensité d'exposition n'ont été collectées qu'en 2001 ce qui nécessite de considérer ces comportements comme constants pour toute la période d'observation 2001-2003. Elles sont recueillies uniquement pour les usagers de véhicules motorisés ce qui nécessite de restreindre l'analyse à ce sous-groupe pour les considérer. Enfin, l'information est recueillie au niveau de l'usager et n'est pas détaillée au niveau des unités d'exposition. Le comportement de déplacement est pourtant susceptible de varier d'un trajet à l'autre, d'un kilomètre à l'autre : un usager de la route utilise son téléphone uniquement sur quelques kilomètres et non sur l'ensemble de ses déplacements. L'information disponible conduit à définir un profil global d'usager, le statut « usager de téléphone », supposé valable pour tous ses kilomètres, qu'il les ait parcourus ou non en téléphonant. Il ne s'agit plus d'étudier le risque propre associé à l'utilisation du téléphone sur la route mais le risque associé aux comportements de déplacement des sujets utilisant un téléphone (non distinction entre le rôle du profil de l'usager et l'éventuelle perturbation de l'activité de conduite liée à l'usage du téléphone).

Même si les comportements de déplacement étaient renseignés au niveau des unités d'exposition, il ne serait pas possible d'étudier le rôle propre associé à l'utilisation du téléphone au volant. Ce facteur a surtout un sens vis-à-vis des accidents survenus au volant d'un véhicule motorisé. Le mode de déplacement utilisé lors de chaque accident n'est toutefois pas renseigné (surtout au niveau des accidents matériels). Ainsi, la sous-analyse portant sur les usagers de véhicule motorisés conduit à sélectionner l'ensemble de leurs accidents dont ceux qu'ils ont eu avec des modes de déplacement non motorisés. Le facteur de risque associé à l'utilisation d'un téléphone ne peut donc pas décrire le rôle du téléphone mais seulement le rôle du profil « utilisateur de téléphone » sur l'insécurité routière prise dans sa globalité, y compris celle survenue en se déplaçant avec un véhicule non motorisé.

Malgré ces limites, la cohorte GAZEL fournit des informations sur les comportements de déplacement rarement disponibles dans d'autres sources de données d'exposition.

2.5.3. Comparaison des approches

2.5.3.1. Approche de cohorte et approche cas-témoins

Dans ces deux approches, l'exposition au risque routier est considérée sous la forme de facteurs de risque.

Les quantités d'exposition au risque routier sont utilisées soit pour définir les modalités des facteurs de risque associées aux caractéristiques d'intensité d'exposition (ici les modes de déplacement) soit comme un facteur de risque à part entière. La première modélisation suppose de disposer d'une information très fine afin de pouvoir détailler le nombre de kilomètres parcourus selon le mode de déplacement (tableau 6). Le deuxième codage est généralement utilisé lorsque le nombre de kilomètres parcourus est connu globalement sans pouvoir être détaillé sur d'autres facteurs d'intensité d'exposition. Le mode de déplacement des usagers doit alors être modélisé indépendamment des distances parcourues (tableaux 14 et 17).

L'information d'exposition au risque routier utilisée dans l'approche de cohorte est plus complète que celle utilisée dans l'approche cas-témoins puisqu'elle repose sur trois points de suivi (pour les sujets ayant répondu à chaque auto-questionnaire de la cohorte GAZEL). Les deux approches fournissent toutefois des résultats assez semblables : le sur-risque brut des cadres ne s'explique pas totalement par les quantités d'exposition des usagers et il est nécessaire de prendre en compte des facteurs de risque associés aux caractéristiques « usager » de l'intensité d'exposition au risque routier.

Dans l'approche de cohorte, un groupe de sujets de la population générale est interrogé, à intervalle régulier, sur ses habitudes de déplacement tant quantitatives que qualitatives. Cette démarche nécessite des moyens logistiques et financiers importants pour suivre de larges groupes de sujets qui permettent de décrire un large panel de comportements de déplacement dans différents environnements routiers. La taille et le suivi de la population d'étude doivent être encore plus importants lorsqu'il s'agit d'étudier des accidents de la route corporels ou mortels : La survenue de tels événement est rare pour la population circulante⁵⁴. Ici, lorsque l'analyse de cohorte est réduite au seul suivi 2001, la puissance de l'étude est trop faible pour étudier l'association entre le statut social et l'implication dans un accident : cette association est non significative alors que sur trois ans de suivi, elle le devient.

Le design d'étude cas-témoins semble à ce titre plus souple. L'étude cas-témoins est basée sur une seule mesure des données d'exposition au risque routier et d'insécurité routière ce qui permet d'étudier, à budget égal, un plus grand nombre de sujets. En maximisant la puissance de l'étude lors de la mise en place du design d'étude (4 témoins par cas), il est possible d'obtenir une association statistiquement significative entre le statut social et l'implication dans un accident et ce sur un seul point de suivi. De plus, cette démarche ne nécessite pas de sélectionner les sujets en population générale afin d'obtenir une adresse postale fixe pour pouvoir les contacter par la suite (ce qui n'est pas le cas dans notre chapitre puisqu'il s'agit d'une étude cas-témoins nichée dans la cohorte GAZEL). Il est possible de sélectionner les témoins directement en population circulante (généralement par appariement avec les cas sur leurs caractéristiques individuelles et/ou en choisissant des sujets circulant sur les lieux où les accidents sont survenus). Ceci permet de prendre en compte l'information d'exposition relative à l'environnement de déplacement soit par ajustement soit par appariement. Une telle approche est difficile à réaliser avec une étude de cohorte, comme l'illustrent les données de la cohorte GAZEL : aucun renseignement sur l'environnement de déplacement n'est disponible car les sujets sont suivis en dehors de leur activité de déplacement.

2.5.3.2. Approche accidentologique classique

En France, les données généralement utilisées pour calculer les taux d'accidents proviennent :

- du recueil national des accidents de la circulation (BAAC en France)
- et d'enquête transversale estimant l'exposition au risque routier de la population circulante à partir d'échantillons de sujets représentatifs de la population générale (enquête « nationale Transport »).

Dans notre exemple, les données proviennent de la cohorte GAZEL. Ces données ne sont pas représentatives des sujets âgés de 49 et 64 ans, actifs ou retraités, de l'entreprise EDF-GDF (les sujets étaient inclus en 1989 sur la base de volontariat, biais de sélection en faveur des sujets en meilleure santé, meilleure participation des cadres,...). Les résultats obtenus sont cependant intéressants pour illustrer les particularités de cette démarche.

Contrairement aux études cas-témoins et cohorte, cette approche ne considère pas les usagers qui ne se déplacent pas: ils ne contribuent ni au numérateur, ni au dénominateur des taux d'accidents. Dans les précédentes approches, ils sont comptabilisés dans le groupe des non utilisateurs d'un certain mode de déplacement ou des sujets dans la tranche la plus basse d'exposition (0 à n kilomètres). L'approche sous forme de taux d'accidents se focalise ainsi sur les particularités de la population circulante, alors que les deux autres proches permettent d'étudier l'activité routière et ses conséquences dans la population générale.

Comme nous l'avons vu dans le précédent chapitre, dans l'approche sous forme de taux d'accident, l'information quantitative d'exposition au risque routier n'est plus considérée comme un facteur de risque mais comme une mesure de la population à risque. L'unité statistique d'intérêt est l'unité d'exposition, c'est-à-dire ici le nombre de personnes-kilomètres. En se focalisant sur l'unité d'exposition, le taux d'accident devrait refléter l'effet direct d'un facteur de risque dans chacun des kilomètres parcourus alors que ce facteur était présent. En pratique, l'information recueillie est rarement décrite au niveau du kilomètre parcouru. Dans la cohorte GAZEL, hormis les caractéristiques de l'usager constantes au cours de la période d'observation, donc constantes pour tous les kilomètres parcourus par un usager (âge, genre, état de santé,...), aucune caractéristique n'est détaillée ou étudiable en fonction des kilomètres parcourus. Les facteurs de risque doivent être considérés comme constants pour tous les kilomètres de l'usager à l'instar du genre ou de l'âge. Les taux d'incidence et risques relatifs d'accidents obtenus ne reflètent pas l'effet accidentogène ou le sur-risque du facteur de risque étudié lors des unités d'exposition parcourues en présence de ce facteur. Ils reflètent, comme dans les précédentes analyses, le risque d'accident moyen estimé à partir de tous les kilomètres parcourus par les sujets ayant pourtant effectué seulement quelques-uns de leur déplacement en présence du facteur de risque étudié.

Ce manque de description au niveau des unités d'exposition induit également une autre limite dans l'utilisation du taux d'accident pour évaluer l'insécurité routière. L'utilisation de la quantité d'exposition comme dénominateur du taux d'accident implique que chaque unité d'exposition a le même poids. Une telle hypothèse est cependant une simplification du processus d'exposition des usagers de la route. Par exemple, le kilomètre parcouru par un

usager en début de trajet est sommé de la même façon, au dénominateur du taux d'accidents de ce profil d'usager, que les kilomètres qu'il a parcouru en fin de trajet où sa fatigue plus importante rend cette unité d'exposition plus dangereuse que les précédentes. Cette particularité est impossible à appréhender, sauf à connaître très précisément les unités d'exposition pour identifier si elles interviennent en début ou fin de trajet. Cette difficulté se rencontre également dans les deux autres approches. De même, le kilomètre parcouru en voiture particulière par un usager ne se déplaçant qu'occasionnellement avec ce mode de déplacement, pendant les vacances par exemple, contribuera de la même façon que le kilomètre parcouru par un usager de même profil se déplaçant plus fréquemment avec une voiture particulière. La notion d'expérience n'est alors pas appréhendée. Pour remédier à cela, un facteur de risque qualitatif pourrait être créé à partir des kilomètres parcourus pour prendre en compte cet effet. Dans le cadre de l'approche sous forme de taux, la quantité d'exposition servirait cependant à la fois au dénominateur des taux et comme facteur de risque. Cela peut poser des problèmes pour estimer ces taux d'incidence avec le modèle linéaire généralisé de Poisson (une liaison, difficilement appréhendable avec le lien canonique usuel, lierait la maladie et la quantité d'exposition ¹⁴¹). A l'inverse, dans l'approche de type cohorte ou cas-témoins dans laquelle la quantité d'exposition est utilisée comme un facteur de risque, la construction d'une telle modalité est plus aisée.

Cette approche fondée sur les données de l'année 2001 ne permet pas de mettre en évidence d'association statistiquement significative entre la PCS et l'implication dans un accident. Ceci n'illustre pas une limite de la méthode statistique sous-jacente à cette démarche puisque l'approche de type cohorte, elle aussi, ne met pas en évidence de risques relatifs significatifs lorsqu'elle se focalise aussi sur les données de la seule année 2001. Ceci illustre plutôt la nécessité de travailler sur de grands échantillons de données pour obtenir l'information d'exposition au risque routier et d'insécurité routière sur un plus grand nombre de sujets. L'approche accidentologique apparaît, à l'instar de l'approche de cohorte qui nécessite un suivi longitudinal, moins souple que l'approche cas-témoins.

2.5.3.3. Quelle approche utiliser?

Chacune des trois approches est limitée par le niveau de détail de l'information d'exposition au risque routier disponible.

Si les kilomètres parcourus sont détaillés selon les caractéristiques d'intensité d'exposition usager-véhicule-environnement, l'approche sous forme de taux est intéressante car elle décrit le risque de ces facteurs au niveau de l'unité d'exposition elle-même. Cette approche repose

sur la représentativité des données d'exposition recueillies. Les efforts à fournir pour estimer des mesures d'exposition au risque routier représentatives et donc généralisables à l'ensemble des usagers circulants font que ces études sont très rarement réalisées : une fois par décennie, en France pour l'enquête « nationale Transport ». Ces efforts sont nécessaires si l'objectif est d'obtenir une description de l'insécurité routière de la population étudiée. Si l'objectif est d'identifier les groupes les plus accidentogènes, les approches comparatives de type cohorte et cas-témoins sont plus efficaces.

Dans ces approches l'entité d'intérêt n'est plus l'unité d'exposition au risque routier mais l'utilisateur. La quantité d'exposition est utilisée sous la forme d'un facteur de risque à part entière ou dans les modalités des facteurs de risque usager, véhicule associés à l'intensité d'exposition au risque routier. Le but est dans ce dernier cas d'évaluer la durée d'exposition à ces caractéristiques. Cette dernière modélisation est celle qui se rapproche le plus de l'approche sous forme de taux puisqu'il est possible d'évaluer avec plus de précision les kilomètres réellement parcourus en présence du facteur de risque étudié.

Les données de cohorte, à l'instar de la cohorte GAZEL, sont très riches, car elles fournissent grâce au suivi longitudinal des sujets, plusieurs mesures de l'exposition au risque routier et d'insécurité routière. Néanmoins, ces informations sont recueillies au niveau du sujet, en population générale et non en population circulante. L'information ainsi collectée ne décrit pas l'environnement de déplacement ce qui ne permet pas d'évaluer les effets propres associés aux caractéristiques individuelles de l'utilisateur.

Comme nous l'avons vu, l'approche cas-témoins semble la plus adaptée pour étudier le rôle de notre problématique de sécurité routière primaire. Contrairement à l'analyse de cohorte, le nombre d'événements d'insécurité routière est fixé a priori ce qui dispense d'un long suivi longitudinal pour obtenir le nombre d'événements nécessaire à la mise en œuvre des modèles multivariés. D'autre part, en augmentant le nombre de témoins par cas (ici 4), on obtient une puissance statistique suffisante pour mettre en évidence l'association entre PCS et accident de la route et ce, en utilisant une seule année d'observation.

L'approche cas-témoins est également plus souple que l'approche accidentologique. Cette dernière nécessite l'obtention de données représentatives de la population des usagers circulants. Dans l'approche cas-témoins, témoins et cas doivent seulement provenir de la même population source afin d'être comparables. Ici, ce problème ne se pose pas dans la mesure où témoins et cas appartiennent tous deux aux membres de la cohorte GAZEL. En revanche cette difficulté peut survenir dans les analyses de sécurité routière primaire où les témoins sont choisis en population circulante ou par tirage au sort dans la population générale.

Pour assurer cette comparabilité, les témoins sont généralement choisis par appariement, en fonction des lieux des accidents et/ou des caractéristiques des accidentés. Les techniques d'analyse multivariée peuvent aussi être employées pour assurer a posteriori cette comparabilité. Si les témoins sont sélectionnés en population circulante, il est également possible de contrôler l'effet des facteurs environnementaux.

Le choix du groupe témoins reste toutefois une tâche complexe notamment lorsqu'il s'agit d'étudier l'exposition aux facteurs de risque associés aux caractéristiques d'intensité d'exposition ayant une faible prévalence en population circulante (nécessité d'échantillonner un grand nombre de sujets) ou pour lesquelles les sujets sont réticents à fournir des informations (risque de biais différentiel dans la mesure de l'exposition entre les cas et témoins, les premiers pouvant être contraints par la loi à fournir leurs expositions, alors que les seconds répondent sur la base du volontariat). Dans ce cas, d'autres méthodes d'analyse des risques d'accidents doivent être utilisées pour estimer des taux d'incidence ou risque relatifs en l'absence d'information d'exposition adéquates: celles qui utilisent uniquement les données des sujets accidentés.

C'est précisément l'objet du chapitre suivant.

Chapitre 3

Estimation de risques relatifs d'accident de la route lorsque l'exposition aux facteurs de risque d'accidents est inconnue dans la population à risque

3.1. INTRODUCTION

3.1.1. Contexte

La détermination des taux d'incidence et des risques relatifs d'accident est nécessaire pour identifier la dangerosité associée aux différents profils d'usagers circulant et ainsi fournir les indicateurs nécessaires à la conduite d'actions de sécurité routière efficaces^{34 46 158}.

Dans les analyses de sécurité routière, les risques relatifs sont calculés en rapportant le taux d'accident d'un groupe d'usager à celui du profil de référence le moins « accidentogène ». Ce taux d'incidence est également un rapport entre la mesure de l'insécurité routière du groupe d'usager étudié et la mesure de son exposition au risque routier, c'est-à-dire à la mesure de sa durée d'appartenance à la population à risque d'accident, généralement en personne-kilomètre.

Cette démarche requiert une information d'exposition au risque routier très détaillée pour pouvoir stratifier la population à risque d'accident selon chaque profil d'usager considéré, c'est-à-dire pour pouvoir sommer le nombre d'unités d'exposition parcourues par profils d'usagers. De plus, les circonstances de déplacement varient d'un usager à l'autre. Les différents profils d'usagers étudiés ne peuvent être considérés indépendamment des autres caractéristiques d'intensité d'exposition relatives à l'environnement, au mode de déplacement et aux sujets^{39 159-161} : il est nécessaire de connaître les facteurs de risque associés aux caractéristiques usager-véhicule-environnement auxquels les usagers sont exposés au cours de leur déplacement. La connaissance d'une telle information d'exposition au risque routier permet de contrôler la confusion générée par ces facteurs et ainsi de déterminer l'effet propre associé au facteur de risque d'intérêt.

Les risques relatifs (ou l'odds-ratio, leur approximation) peuvent également être déterminés en utilisant l'approche de cohorte et l'approche cas témoins (chapitre 2). L'approche cas témoins détermine ces risques en comparant des sujets accidentés à un groupe de sujets non accidentés sélectionnés parmi la population circulante. Les prévalences des différents facteurs de risque observées dans ce dernier groupe sont supposées fournir une image de l'exposition aux caractéristiques d'intensité d'exposition usager-véhicule-environnement des sujets de la population source dont sont issus les cas. Comme indiqué ci-dessus, la connaissance des prévalences relatives aux caractéristiques véhicule-environnement des non accidentés permet de contrôler la confusion qu'elles sont susceptibles d'introduire dans l'étude d'une caractéristique relative à l'usager de la route^{162 163}.

Lorsque des données sur la population à risque d'accident sont disponibles, les prévalences des facteurs de risque associés aux caractéristiques « usager » d'intensité d'exposition, stables dans le temps, comme le genre et l'âge, sont généralement recueillies. En revanche, il est plus difficile et parfois impossible de connaître l'exposition de la population à risque d'accident aux facteurs de risque associés aux caractéristiques des modes de déplacement et/ou de l'environnement de déplacement^{20 39 164}. Les besoins logistiques, financiers et humains mais également l'augmentation de la durée de recueil inhérente à la collecte d'informations plus sophistiquées sont autant de freins à l'obtention de données d'exposition au risque routier détaillées¹⁶⁵. De même, l'information est rarement disponible ou adaptée lorsqu'il s'agit de s'intéresser à des problématiques plus spécifiques (en lien avec les usagers non motorisés ou les enfants) ou relatives à des zones géographiques particulières^{7 40 48}.

3.1.2. Méthodes de substitution

3.1.2.1. Principe

La nécessité de calculer des risques relatifs d'accident adéquats, qui tiennent compte des différentes sources de confusion demeure. Pour ce faire, des méthodes d'estimation visant à remplacer l'information sur la population à risque d'accident et ses expositions aux facteurs de risque d'intensité d'exposition ont été développées.

Ces approches se répartissent en deux familles : celle fondée sur la responsabilité et celle fondée sur le type d'accident dans lesquels les sujets sont impliqués. Elles ont en commun de n'utiliser que l'information relative aux usagers accidentés : les bases de données d'accidents de la route ont l'avantage d'être recueillies en continu, sur un vaste territoire géographique et de façon relativement exhaustive. C'est le cas des BAAC, les données françaises d'accident de la route collectées par les forces de l'ordre². Ces bases présentent également l'avantage de fournir de nombreuses informations relatives aux caractéristiques usager-véhicule-environnement des accidents.

Les sujets accidentés sont répartis en sous-groupes selon leur responsabilité dans la survenue de l'accident ou selon le type de l'accident dans lequel ils sont impliqués. Cette classification permet de définir un groupe d'usagers particulier dont la distribution des différentes caractéristiques usager-véhicule-environnement est supposée refléter celle que l'on observerait dans la population qui circule aux moments et lieux où surviennent les accidents.

3.1.2.2. Familles de modèles

3.1.2.2.1. Approches fondées sur la responsabilité

Les méthodes de substitution les plus répandues reposent sur le concept de responsabilité. La responsabilité se définit comme le comportement actif ou passif, répréhensible ou non vis-à-vis du code de la route, que les usagers ont eu juste avant leur accident et qui a pu conduire ou non à la survenue de cet événement. Les sujets n'ayant pas causé leur accident, les non responsables, sont utilisés comme échantillon de la population à risque d'accident, en lieu et place des sujets non accidentés de la population circulante. Thorpe ¹⁶⁶ et Haight ¹⁶⁷ popularisent cette méthode de substitution de l'exposition par la responsabilité sous le nom de « méthode d'exposition induite ». Dans cette approche, la responsabilité ne peut pas être directement établie mais est déduite algébriquement sur la base du type d'accident dans lequel un sujet est impliqué comme nous le verrons plus loin. Carr ¹⁶⁸ s'inspire de cette méthode pour développer la méthode dite de « quasi exposition induite ». La notion de responsabilité est désormais directement déterminée sur la base du procès-verbal établi par les forces de l'ordre. Tombée en désuétude, cette méthode connaît un regain d'intérêt après la publication de plusieurs travaux visant à valider ses hypothèses ^{39 164} et à établir la correspondance des risques qu'elle fournit avec l'odds ratio ^{169 170}. La possibilité d'utiliser la régression logistique lui donne son véritable essor en la dotant d'un cadre inférentiel tout en permettant de prendre en compte les différentes sources de confusion notamment celles en lien avec l'environnement de déplacement ^{159 170}.

Les approches d'exposition induite et de quasi exposition induite ne sont pourtant pas les premières à avoir utilisé le concept de responsabilité. Moins populaire, « l'analyse de responsabilité » (^{171 172} est développée dès les années 50 (Smith and Popham 1951 in ¹⁷¹) et reprise au cours des décennies suivantes (McCarrol and Haddon 1962 in ¹⁷¹). Son application la plus célèbre reste l'étude de Borckenstein qui est la première à mettre en évidence une relation de type dose-effet entre la concentration d'alcool dans le sang des conducteurs et leur responsabilité dans la survenue des accidents ¹⁷³. Les développements les plus récents de l'analyse de responsabilité sont proposés par Robertson et Drummer ¹⁷⁴. Cette méthode permet également d'obtenir un cadre inférentiel et de prendre en compte le contexte multidimensionnel de l'insécurité routière primaire.

3.1.2.2. Approches fondées sur le type d'accident

Les autres méthodes de substitution de la véritable information d'exposition (population à risque et exposition aux facteurs de risque usager-véhicule-environnement) n'utilisent pas le concept de responsabilité. Leur formulation conduit à approximer l'information d'exposition au risque routier en utilisant le type d'accident dans lesquels les sujets sont accidentés.

Koornstra^{175 176} développe une approche dans laquelle les sujets impliqués dans les accidents à plusieurs véhicules sont utilisés comme mesure de la population à risque d'accident, en lieu et place des sujets non accidentés. Les prévalences des facteurs de risque usager-véhicule-environnement présentes dans ce groupe sont supposées refléter celles des caractéristiques d'intensité d'exposition au risque routier présentes dans la population à risque d'accident. Les usagers de même profil, et impliqués dans un accident à un véhicule, sont eux supposés refléter les mêmes distributions des facteurs de risque usager-véhicule-environnement mais pondérées par la propension de chaque profil d'usager à avoir des accidents. La comparaison de la distribution des facteurs de risque chez ceux impliqués dans les accidents à plusieurs véhicules à celle des facteurs de ceux impliqués dans les accidents à un véhicule doit permettre d'isoler la propension à avoir un accident, c'est-à-dire le risque d'être accidenté pour le profil d'usager considéré. Malheureusement, ce modèle se révéla difficile à mettre en œuvre en raison de sa complexité algébrique et de la spécificité des hypothèses sous-jacentes. Plus récemment, les travaux de Cuthbert reprennent les développements de Koornstra^{177 178}. Il propose une estimation des risques d'insécurité primaire plus fonctionnelle et établit leur correspondance avec les odds ratios tout en tenant compte des phénomènes de confusion engendrés par l'environnement de déplacement.

3.1.3. Problématique et objectifs

Ces méthodes reposent sur le même principe : substituer à un groupe de sujets non accidentés, un sous-groupe des sujets accidentés à partir duquel les prévalences des facteurs de risque d'intensité d'exposition usager-véhicule-environnement présents dans la population circulante sont estimées. La définition de ce groupe varie d'une méthode à l'autre. Pourtant elles ont toutes la même finalité : calculer des risques relatifs d'insécurité primaire lorsque les données d'exposition au risque routier sont manquantes. La méthode de quasi exposition induite est aujourd'hui la plus utilisée. Hormis son omniprésence dans la littérature, aucune recherche ne permet d'affirmer sa supériorité sur les autres méthodes ni d'identifier laquelle s'avère être la plus pertinente. Un éclaircissement est donc nécessaire.

L'approche de quasi exposition induite, l'approche de Cuthbert ou l'approche de responsabilité sont des approches comparatives qui conduisent à estimer l'approximation du risque relatif, l'odds-ratio. Toutes ont été développées dans le champ des études accidentologiques, sans référence au cadre épidémiologique dans lequel les comparaisons de sous-groupes et l'emploi de l'odds ratio sont pourtant largement utilisés. La reconsidération

de ces méthodes sous cet angle pourrait contribuer à mieux délimiter leurs forces et faiblesses et ainsi faciliter leur comparaison.

C'est pourquoi nous présentons dans ce chapitre les aspects méthodologiques propres à ces différentes approches afin d'éclaircir au mieux la proximité de chacune avec le design de type cas-témoins. Ces méthodes sont ensuite appliquées aux données de l'enquête « Stupéfiants et Accidents Mortels » dont les principaux résultats sur le rôle du cannabis et de l'alcool en termes d'insécurité routière primaire ont été publiés par ailleurs ¹⁷⁹. Cette mise en pratique permet de comparer les risques obtenus dans chaque modèle. Elle permet aussi de s'intéresser à la portée de ces résultats en termes d'interprétation mais également de généralisation.

3.2. MATERIEL ET METHODES

3.2.1. Matériel

3.2.1.1. Données

Les données de l'enquête « Stupéfiants et Accidents Mortels » (SAM) sont utilisées pour mettre en œuvre ces méthodes ^{14 179}. Chaque accident corporel survenant sur le territoire national fait l'objet d'un procès-verbal dressé par les forces de l'ordre. Les bordereaux d'analyse des accidents de la circulation (BAAC) permettent ainsi de recueillir des informations relatives aux conditions environnementales présentes lors de l'accident et celles relatives aux véhicules et usagers impliqués ².

En parallèle, un recueil complémentaire a été mis en œuvre d'octobre 2001 à septembre 2003 afin d'enregistrer la présence de produits stupéfiants chez les conducteurs d'engin motorisé ou non, impliqués dans les accidents mortels ¹⁴. Cette enquête a été rendue possible par la parution du décret de loi n°2001-751. Les forces de l'ordre, avec la collaboration de laboratoires d'analyse agréés par le ministère de la justice, ont ainsi encadré des épreuves de dépistage et, en cas de dépistage positif, des analyses et examens médicaux, cliniques et biologiques complémentaires.

L'étude SAM porte sur les 10 748 sujets pour lesquels un test a pu être établi. Ils sont impliqués dans 7 458 accidents, soit 47% de collisions et 43% d'accidents à un véhicule. Des piétons sont impliqués dans 743 de ces accidents. Parmi les 6 766 usagers de l'enquête SAM déclarés responsables, 858 ne le sont que partiellement.

Les populations d'étude utilisées dans cette recherche sont extraites de cette enquête avec des critères de sélection différents selon l'approche de substitution considérée. Elles sont

présentées approche par approche dans les sections suivantes. La figure 3 présente le cadre d'étude et les ensembles de données étudiés.

3.2.1.2. Événement d'intérêt

En l'absence de données d'exposition au risque routier, le risque relatif d'être impliqué dans un accident de la route ne peut plus être établi directement. L'analyse d'exposition induite et celle de Cuthbert, conduisent à déterminer une approximation de ce risque en comparant les usagers selon le type d'accident dans lesquels ils sont impliqués.

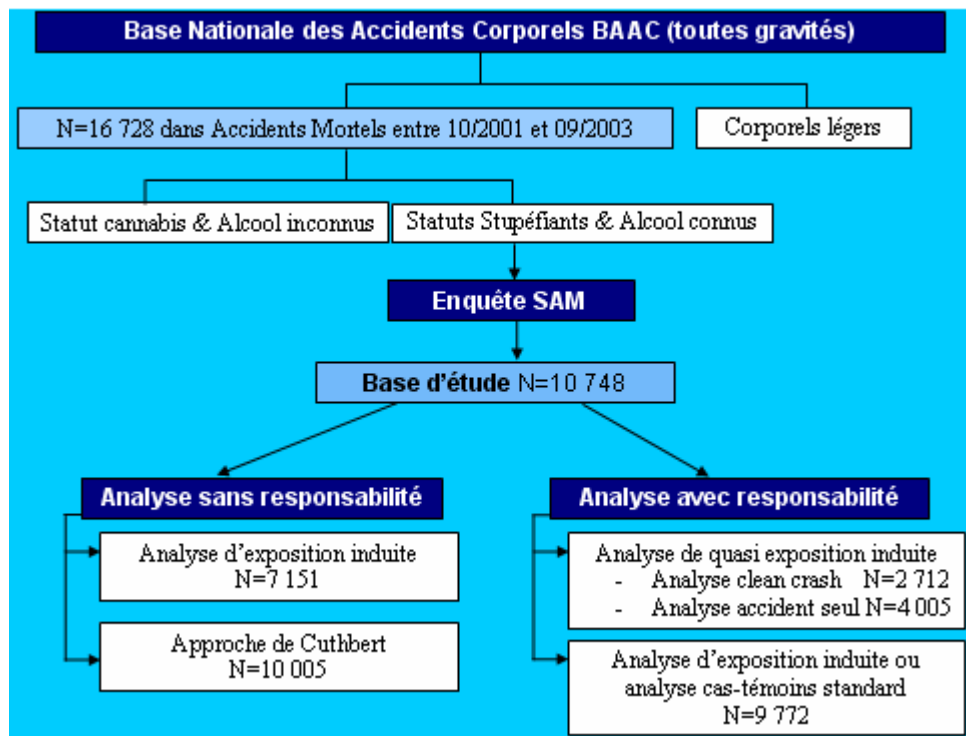


Figure 3 : Description du cadre d'étude et des différentes populations d'étude utilisées

L'analyse de quasi exposition induite et l'analyse de responsabilité déterminent une autre mesure d'insécurité primaire en considérant le risque d'être responsable de son accident.

La responsabilité, c'est-à-dire le fait de causer la survenue de l'accident, est généralement déterminée par avis d'experts et analyse des procès-verbaux établis par les forces de l'ordre ^{160 164 168 180}. Elle peut également être déterminée par l'utilisation d'une procédure automatique basée sur un algorithme de décision. Cette procédure se base principalement sur la responsabilité déterminée par les forces de l'ordre. Tous les facteurs susceptibles de modifier le niveau de responsabilité du conducteur sont également pris en compte : la complexité de la tâche de conduite, l'état de la chaussée, du véhicule ou les conditions de circulation ^{14 174}. Les infractions au code de la route en lien avec la consommation d'alcool et de cannabis ne sont cependant pas considérées. Un score de responsabilité est ainsi calculé, permettant de classer les usagers étudiés en trois groupes : ceux totalement responsables de leur accident, ceux

ayant contribué partiellement à sa survenue et enfin ceux non responsables. C'est cette technique d'attribution de la responsabilité qui est utilisée dans cette étude. Pour la suite de l'analyse, les usagers classés partiellement responsables sont associés à ceux qui le sont totalement.

3.2.1.3. Variables d'études et d'ajustement

La consommation de cannabis des sujets est établie en mesurant la présence de 9tétrahydrocannabinol (Δ 9-THC), le dérivé acide du cannabis. Cette mesure est réalisée au moyen d'un test urinaire. Si celui-ci s'avère positif ou impossible à mettre en œuvre, un test sanguin est systématiquement réalisé. Le sujet est déclaré positif au cannabis si l'équivalent en concentration sanguine de Δ 9-THC ng/mL est supérieure à 0, y compris les concentrations non nulles mais inférieures au seuil fixé par la loi : <1 ng/mL.

La concentration d'alcool est mesurée par l'intermédiaire d'un dosage éthylométrique. Un test sanguin est réalisé si ce dosage s'avère positif ou impossible à réaliser. Un sujet est déclaré positif si son équivalent en concentration sanguine est supérieur à 0. Différents niveaux de concentration sont ainsi étudiés y compris les concentrations non nulles mais inférieures au seuil légal : <0.05 g/mL.

Les facteurs d'ajustement utilisés afin de prendre en compte d'éventuelles sources de confusion se rapportent aussi bien à l'utilisateur, à son mode de déplacement et à l'environnement de l'accident. Il s'agit du genre et de l'âge de l'utilisateur, de son mode de déplacement et du lieu d'accident.

3.2.2. Méthodes

3.2.2.1. Approche d'exposition induite de Thorpe et d'Haight

La méthode d'exposition induite a été développée pour trouver un substitut à l'information d'exposition au risque routier : il s'agit de trouver un « ersatz » à la mesure de la population à risque d'accident qui puisse être utilisé comme dénominateur dans le calcul des taux d'accidents. La méthode de Thorpe calcule, grâce au concept de responsabilité, un taux d'incidence appelé probabilité « relative » d'être impliqué dans un accident ¹⁶⁶. En l'absence d'information permettant d'attribuer directement la responsabilité des sujets accidentés, cette méthode en détermine une estimation à partir des effectifs de conducteurs selon qu'ils sont impliqués dans les accidents à un véhicule ou dans des accidents à deux véhicules. Pour cela, cinq hypothèses sont posées :

- Un accident impliquant un seul véhicule est causé par le conducteur du véhicule impliqué et ne résulte pas de facteurs externes à cet usager.
- Un accident impliquant plusieurs véhicules est initié par les conducteurs des deux premiers véhicules se percutant. Comme les accidents impliquant plus de deux véhicules sont marginaux, seules les collisions (terme repris par la suite pour désigner les accidents à deux véhicules) nécessitent d'être considérées.
- Dans une collision, un seul des deux conducteurs est entièrement responsable de sa survenue, l'autre est déclaré non responsable.
- La probabilité qu'un conducteur d'un certain profil soit responsable d'un accident est supposée égale à sa probabilité d'être impliqué dans un accident.
- La probabilité qu'un conducteur d'un certain profil soit non responsable d'un accident est équivalente à la probabilité de rencontrer ce profil d'usager sur la route, donc sa fréquence d'exposition aux dangers de la route, donc son appartenance à la population à risque d'accident.

La méthode d'exposition induite suppose que la probabilité d'être responsable dans une collision est équivalente à la probabilité d'être responsable dans un accident à un véhicule. Le dénombrement des non responsables s'obtient en soustrayant à l'ensemble des sujets impliqués dans des collisions ceux impliqués dans les accidents à un véhicule. Formellement, comme il y a deux fois plus de conducteurs que de collisions, la mesure relative de la population à risque d'accident (c'est-à-dire les non responsables) est égale à

$$2T_i - S_i$$

avec S_i la proportion de conducteurs de profil i impliqués dans un accident à un véhicule parmi l'ensemble de ceux impliqués dans ce type d'accident et T_i la proportion de conducteurs de profil i impliqués dans une collision parmi l'ensemble de ceux impliqués dans une collision. Cette mesure relative d'exposition est supposée indépendante du type d'accident et valable pour tous les usagers de profil i quel que soit le type d'accident dans lequel ils sont susceptibles d'être impliqués.

Le taux d'accidents des usagers de profil i

$$Taux_i = Accidents_i / Exposition_i$$

est remplacé par la « probabilité relative d'être accidenté » (Relative Accident Likelihood, RAL)

$$RAL_A = A_i / (2T_i - S_i)$$

avec A_i la proportion de conducteurs de profil i impliqués dans un accident parmi l'ensemble de ceux accidentés. La probabilité d'être impliqué dans un accident à un véhicule est égale à

$$RAL_S = S_i / (2T_i - S_i)$$

et celle d'être impliqué dans une collision à

$$RAL_T = T_i / (2T_i - S_i)$$

Les formules d'intervalle de confiance des différents taux d'incidence RAL sont présentées en annexe 1. Le ratio de deux RAL,

$$RAL_{S_i} / RAL_{S_k}$$

mesure le sur-risque des usagers i par rapport au groupe de référence k . Ce ratio de taux s'apparente à un risque relatif.

Dans la continuité de Thorpe, Haight propose une réécriture des « probabilités relatives d'être accidenté » qui tient compte du profil de la paire d'usagers impliqués dans une collision¹⁶⁷. Il identifie chacun des sujets impliqués dans le même accident (sans pour autant être en mesure de déterminer la part de responsabilité de chacun). La mesure des risques reste identique mais l'estimation de la population à risque d'accident s'écrit désormais

$$n_j = \sum_i \Gamma_{ij} \times (\sigma_i / (\sigma_i + \sigma_j))$$

avec r_{ij} la proportion de collisions impliquant un conducteur de profil i et un autre de type j , σ la proportion d'accidents à un seul véhicule. Cette approche ne fournit cependant pas de formule de variance pour les RAL.

3.2.2.2. Approche de Cuthbert

Koornstra et Cuthbert considèrent cependant qu'il n'est pas possible d'estimer la population à risque d'accident par l'intermédiaire du critère de responsabilité^{176 177}. La classification des usagers en deux groupes, responsables ou non responsables, leur apparaît trop réductrice au regard de la complexité de la réalité. La causalité de l'accident ne réside pas nécessairement dans l'action des usagers eux-mêmes : des facteurs qui leur sont externes peuvent contribuer à la survenue de cet événement. De plus, le non responsable n'est pas nécessairement l'usager le plus représentatif de la population circulante : même s'il n'est pas répréhensible au sens du code de la route, il peut inciter le tiers antagoniste, de part son comportement, à commettre une faute de conduite (changement de vitesse soudain et inadapté à la situation de conduite, par exemple). Sans son action l'accident ne se serait pas nécessairement produit. La non

responsabilité absolue semble ainsi discutable et ce groupe peut être composé d'usagers aux comportements de déplacement différents de ceux du restant de la population circulante.

La survenue d'un accident dépend des caractéristiques des usagers étudiés. Elle dépend également des spécificités d'exposition de chaque profil d'usager, en particulier de leur exposition aux facteurs de risques associés aux conditions environnementales de déplacement. Ses facteurs « externes » se rapportent aux conditions météorologiques, aux caractéristiques de la chaussée, etc. et se composent également d'une partie « aléatoire »^{177 178}. Plus cette dernière est importante, plus la proportion de conducteurs accidentés du profil d'intérêt, parmi tous les accidentés, va s'apparenter à la distribution de l'exposition au risque routier de ces sujets lorsqu'ils circulent, c'est-à-dire à leur part dans la population à risque d'accident. L'insécurité routière d'un groupe d'usagers est ainsi uniquement proportionnelle à la présence des usagers sur le système routier en fonction des spécificités des zones de déplacement. A l'inverse plus le facteur aléatoire est faible, plus les caractéristiques accidentogènes des usagers en fonction de leur profil sont prépondérantes. La proportion de ces conducteurs va alors correspondre à la distribution de leur exposition (c'est-à-dire à leur part dans la population à risque d'accident) pondérée par leur risque d'accident (incidence de la maladie propre à ce groupe) : l'insécurité routière propre au groupe d'usagers considéré ne s'explique pas par leur durée d'appartenance à la population à risque mais par la propension de ce groupe à avoir un accident.

La configuration où le facteur aléatoire est faible correspond aux accidents à un véhicule¹⁷⁷¹⁷⁸. Celle où ce facteur est important correspond aux accidents à plusieurs véhicules, puisqu'une partie des accidentés est choisie aléatoirement parmi la population circulante se trouvant au mauvais endroit, au mauvais moment. Les accidents impliquant des piétons ne peuvent pas être étudiés. Ils ne peuvent structurellement pas être pris en compte car les accidents de la route impliquant un piéton seul ne sont pas inclus (considérés comme "chute sur la voie publique", accident de la vie courante). De plus, concernant les autres usagers, leur implication dans des accidents ne serait pas uniquement induite par leur présence sur le réseau routier ou par leur propension à avoir un accident mais par un élément actif du réseau, le piéton, qui interférerait avec le rôle de la composante aléatoire.

Formellement, le nombre moyen de conducteurs impliqués dans un accident à un véhicule correspond à

$$E(n_{ij}) = p_j (s_i + \beta_j) x_{ij}$$

et celui des conducteurs impliqués dans un accident à plusieurs véhicules

$$E(m_{ij}) = q_j (s_i + \gamma_j) x_{ij}$$

avec x_{ij} l'exposition (ici la durée d'appartenance à la population à risque) des usagers de profil i circulant dans les conditions environnementales j (facteurs externes); n_{ij} et m_{ij} respectivement le nombre moyen de conducteurs de profil i impliqués dans un accident à un véhicule et à plusieurs véhicules, sous les conditions environnementales j ; p_j et q_j représentent les effets des facteurs environnementaux j et sont considérés comme agissant systématiquement sur l'insécurité routière en interaction avec la composante individuelle s_i des conducteurs de profil. Cette composante est indépendante du type d'accident considéré : les sujets sont supposés avoir la même propension à être impliqué dans un accident à un véhicule ou à plusieurs véhicules. Enfin, β_j et γ_j représentent la composante aléatoire dans les deux types d'accident et sont dépendant des conditions environnementales.

L'approximation du taux d'accidents correspond à

$$R_{ij} = E(n_{ij}) / E(m_{ij}) = [p_j (s_i + \beta_j) x_{ij}] / [q_j (s_i + \gamma_j) x_{ij}]$$

La quantité d'appartenance à la population à risque d'accident est supposée équivalente entre les deux groupes d'accidentés. Elle s'élimine algébriquement. Le sur-risque des sujets de profil i par rapport à ceux de profil k est égal à

$$\begin{aligned} R_{ij} / R_{kj} &= [[p_j (s_i + \beta_j) x_{ij}] / [q_j (s_i + \gamma_j) x_{ij}]] / [[p_j (s_k + \beta_j) x_{kj}] / [q_j (s_k + \gamma_j) x_{kj}]] \\ &= [(s_i + \beta_j) / (s_i + \gamma_j)] / [(s_k + \beta_j) / (s_k + \gamma_j)] \end{aligned}$$

Cette formulation correspond à l'écriture d'un odds ratio

$$\begin{aligned} OR_{ij} &= R_{ij} / R_{kj} \\ &= E(n_{ij}) / E(m_{ij}) / E(n_{kj}) / E(m_{kj}) \\ &\approx \exp[(s_i - s_k) \alpha_j] \end{aligned}$$

La différence $s_i - s_k$ permet de quantifier l'excès de risque des conducteurs de profil i par rapport au profil de référence k . Le groupe de référence k doit être choisi parmi les sujets ayant le taux d'accidents le plus faible et/ou le profil d'usagers le plus fréquent dans les données étudiées.

Cette formulation tient compte des effets environnementaux α_j qui doivent cependant être isolés afin d'identifier l'effet propre associé aux caractéristiques individuelles, ici le profil i . Il est ainsi nécessaire de définir un deuxième profil d'utilisateur w tel que la différence $s_w - s_k$ soit

égale à 1. Ce deuxième groupe de référence doit être choisi parmi les profils d'utilisateurs ayant un effectif de taille conséquente. Il doit être proche mais raisonnablement différent du premier profil de référence. Ce choix repose essentiellement sur les convictions du chercheur et les études antérieures, mais est souvent très délicat. L'effet des individus de profil i quels que soient les facteurs externes s'écrit

$$\sum_j \log (OR_{ij}) \approx (s_i - s_k) \sum_j \alpha_j$$

Si l'odds ratio associé à la nouvelle catégorie de référence s'écrit

$$\log (OR_{wj}) \approx (s_w - s_k) \alpha_j$$

le risque relatif qui traduit l'augmentation de risque des sujets de profil i par rapport à ceux de profil k , « normalisé » par l'augmentation standard supposée égale à 1, s'écrit

$$\begin{aligned} RR &= (s_i - s_k) / (s_w - s_k) \\ &= \sum_j \log (OR_{ij}) / \sum_j \log (OR_{wj}) \\ &= \sum_j [\log (n_{ij}/n_{kj}) - \log (m_{ij}/m_{kj})] / \sum_j [\log (n_{wj}/n_{kj}) - \log (m_{wj}/m_{kj})] \end{aligned}$$

Ce modèle suppose que les accidents à plusieurs véhicules correspondent à la situation où le facteur aléatoire est important et inversement les accidents à un véhicule à la situation où le facteur aléatoire est petit. Si cette hypothèse est vérifiée, les effets aléatoires présents dans les accidents à deux véhicules sont plus importants que ceux présents dans les accidents à un seul véhicule : les paramètres α_j doivent être statistiquement différents de 0. Ces effets environnementaux se déterminent ainsi

$$\sum_i \log (OR_{ij}) \approx \alpha_j \sum_i (s_i - s_k)$$

$$\alpha_j \approx \sum_i \log (OR_{ij}) / \sum_i (s_i - s_k)$$

Dans la mesure où les accidents n_{ij} , m_{ij} , n_{kj} , et m_{kj} sont des variables qui suivent la loi de Poisson, Cuthbert reprend l'estimation de la variance d'un odds ratio

$$\text{Var} (\log (OR_{ij})) = 1/n_{ij} + 1/m_{ij} + 1/n_{kj} + 1/m_{kj}$$

3.2.2.3. Approche de quasi exposition induite

Étude des collisions

Carr en 1979¹⁶⁸ s'appuie sur l'approche d'exposition induite et les travaux d'Haight⁽¹⁶⁷⁾ pour développer la méthode de quasi exposition induite. Comme dans l'approche d'exposition induite, un substitut est défini sur la base de la responsabilité pour remplacer la mesure d'exposition au risque routier dans les taux d'accident : au lieu d'utiliser un groupe de sujets

non accidentés, le sous-groupe des accidentés non responsables est utilisé comme mesure de la population à risque d'accident. En revanche, la responsabilité est désormais directement évaluée sur la base du rapport des forces de l'ordre. Cette approche repose sur deux principes: -Seules les collisions dans lesquelles un usager est déclaré seul responsable (R+) et l'autre non responsable (R-), présentent un intérêt. En pratique, les utilisateurs de cette méthode suppriment les collisions impliquant un piéton¹⁸¹. L'ensemble de ces accidents est dénommé « clean-crashes »^{39 163 181}.

-Les caractéristiques des usagers déclarés non responsables sont supposées identiques aux caractéristiques d'intensité d'exposition usager-véhicule-environnement auxquelles les usagers présents sur la route aux moments et lieux où surviennent les accidents sont exposés^{169 182 183}. En effet, ces conducteurs sont « choisis » aléatoirement, parmi la population circulante, par les responsables^{165 169}.

Le taux d'accidents est approximé par le taux relatif d'implication dans les accidents :

$Taux_i$

$= accidents_i / exposés_i$

$\approx RAIR_i$

$= IR_{r+} / IR_{r-}$

avec IR_{r+} l'indice de responsabilité,

$IR_{r+} = \Sigma Responsables \text{ de profil } i / \Sigma Responsables / \Sigma Exposés \text{ de profil } i / Population \text{ circulante}$,

et IR_{r-} l'indice d'exposition:

$IR_{r-} = \Sigma Non \text{ responsable } i / \Sigma Non \text{ responsables} / \Sigma Exposés \text{ de profil } i / Population \text{ circulante}$

En choisissant les usagers de profil k comme groupe de référence, on obtient le sur-risque du groupe i par rapport au groupe k. Cette mesure s'apparente à un odds ratio^{169 181}

$RAIR_i / RAIR_k =$

$$\frac{\frac{\Sigma Responsables_i / \Sigma Responsables}{\Sigma Non Responsables_i / \Sigma Non Responsables}}{\frac{\Sigma Responsables_k / \Sigma Responsables}{\Sigma Non Responsables_k / \Sigma Non Responsables}}$$

=

$$\frac{(\Sigma Exposés_i / \Sigma Malades) \times (\Sigma Exposés_k / \Sigma Non malades)}{(\Sigma Exposés_k / \Sigma Malades) \times (\Sigma Exposés_i / \Sigma Non malades)}$$

= OR

L'équivalence du RAIR avec un OR rend possible l'utilisation du modèle logistique. En définissant le fait d'être déclaré responsable comme événement d'étude, alors

RAIR

$$= P(R+) / P(R-)$$

$$= P(R+) / [1 - P(R+)]$$

et

$$P(R+|E, x) = 1 / (1 + e^{-z}) = \exp(z) / (1 + \exp(z))$$

$$\text{Logit } P(R+) = z = \alpha + \beta_E \times E + \sum_{q=1}^p \beta_p \times x_q$$

Avec *z* la combinaison linéaire des différents facteurs de risque ; *E* le facteur de risque d'intérêt, ici le cannabis ou l'alcool ; *x_q* les *q* facteurs d'ajustement permettant de tenir compte des *q* sources de confusion; $\exp(\beta_E)$ et $\exp(\beta_q)$ les odds ratios associés avec les précédents facteurs de risque.

Néanmoins, les usagers impliqués dans un clean-crash ont la particularité d'être accidentés dans le même événement et ainsi d'être « naturellement appariés »^{181 184}. L'analyse de quasi exposition-induite repose sur l'étude de paires de conducteurs (tableau 19).

Tableau 19 Distribution des clean-crashes étudiés dans l'analyse de quasi exposition induite

		R- [†]	
		Exposé (i ₂)	Non exposé (k ₂)
R+ [†]	Exposé (i ₁)	E[n _{i1,i2}]	E[n _{i1,k2}]
	Non exposé (k ₁)	E[n _{k1,i2}]	E[n _{k1,k2}]

†R+: Responsable; R-: non responsable

L'odds ratio apparié est la seule mesure d'association valide dans l'analyse de quasi exposition induite

$$OR_{\text{apparié}} = E[n_{i1, k2}] / E[n_{k1, i2}]$$

Les risques associés aux caractéristiques conducteur-véhicule sont désormais directement ajustés sur les facteurs environnementaux, mesurés ou non, puisqu'il s'agit de facteurs d'appariement.

Ces odds-ratios s'obtiennent en utilisant le modèle logistique conditionnel^{141 185}. Si l'on considère l'accident comme une strate *s*, avec comme structure d'appariement un responsable pour un non responsable, on obtient

P (Observer un sujet R+ et un sujet R- dans la strate $s | E, x_q$) =

$$\frac{\exp[E_s \times (x_{1Es} - x_{0Es}) + \sum_{q=1}^p \beta_{qs} \times (x_{1qs} - x_{0qs})]}{1 + \exp[E_s \times (x_{1Es} - x_{0Es}) + \sum_{q=1}^p \beta_{qs} \times (x_{1qs} - x_{0qs})]}$$

avec s un clean-crash ; x_{1qs} le facteur de risque q associé au responsable de l'accident s , x_{0qs} le facteur de risque q associé au non responsable de l'accident s ; $\exp(E)$ et $\exp(\beta)$ les odds ratios associés aux facteurs d'intérêt et aux facteurs d'ajustement.

Étude des accidents à un véhicule

Les accidents impliquant un seul véhicule doivent être analysés séparément dans l'analyse de quasi exposition-induite car ils ne sont pas éligibles pour le groupe des « clean-clashes ». Tous les sujets impliqués dans un accident à un véhicule sont jugés responsables. Ceux impliqués dans un accident avec des piétons ne sont pas considérés. Les usagers de même profil, jugés non responsables de leurs clean-crashes sont supposés fournir une estimation de l'exposition au risque routier valable pour tous les conducteurs circulant, présentant le profil d'intérêt, quel que soit le type d'accident dans lequel ils sont susceptibles d'être impliqués (tableau 20). En d'autres termes, les sujets d'un certain profil, non responsables de leur collision, fournissent une image de toute la population à risque d'accident ayant le profil d'intérêt. La distribution des facteurs de risque constatée dans ce groupe est valable pour l'ensemble de ces usagers qu'ils soient impliqués dans un accident à 1, 2 ou n véhicules.

Tableau 20 Distribution des sujets étudiés dans l'analyse de quasi exposition-induite portant sur les accidents à un véhicule

	R+ [†] (accidents un véhicule)	R- [†] (dans les clean-crashes)
Exposés i	Seul _{i}	Non responsables _{i}
Non exposés k	Seul _{k}	Non responsables _{k}

[†]R+: Responsable; R-: non responsable

Le taux relatif d'implication dans les accidents à un véhicule correspond à

$RAIR_{i/acc.seul}$ =

$$\frac{\sum Seuls_i / \sum Seuls}{\sum Non Responsables_i / \sum Non Responsables}$$

et l'odds ratio des sujets de profil i correspond à

$$RAIR_{i/acc\ seul} / RAIR_{k/acc\ seul} =$$

$$\frac{\sum \text{Seuls}_i / \sum \text{Seuls}}{\sum \text{Non Responsables}_i / \sum \text{Non Responsables}} \Bigg/ \frac{\sum \text{Seuls}_k / \sum \text{Seuls}}{\sum \text{Non Responsables}_k / \sum \text{Non Responsables}}$$

$$= OR_i \text{ dans les accidents seuls}$$

Dans la mesure où les responsables et les non responsables sont impliqués dans des accidents différents, les risques sont estimés grâce au modèle logistique non conditionnel.

3.2.2.4. Analyse de responsabilité

Les premières analyses de responsabilité visaient à étudier la corrélation entre le degré de responsabilité des sujets et le niveau d'exposition à un facteur de risque¹⁷¹. Puis, selon le même principe que l'analyse de quasi exposition induite, cette méthode a été utilisée pour définir le sur risque d'accident propre à un profil d'usagers en l'absence d'information d'exposition au risque routier, c'est-à-dire en l'absence d'information sur la population à risque d'accident et sur la prévalence du facteur étudié dans cette dernière.

Dans cette étude tous les sujets sont éligibles quel que soit le type d'accident dans lesquels ils sont impliqués. Contrairement à l'approche de quasi exposition induite restreinte aux clean-crashes, les sujets impliqués dans des accidents avec un piéton, à plusieurs responsables, sans responsables, avec uniquement des responsables ou uniquement des non responsables ou parfois uniquement des responsables partiels sont éligibles.

Pour cela, il est nécessaire d'utiliser une procédure d'estimation de la responsabilité qui puisse prendre en compte les infractions au code de la route, les remarques des témoins sur l'attitude des différents protagonistes, l'action dans laquelle les véhicules étaient impliqués juste avant l'accident, mais également tous les facteurs susceptibles de minorer ou majorer la responsabilité des usagers comme les caractéristiques du véhicule (son état), ou de l'environnement (état de la chaussée, spécificités de l'infrastructure, météorologie, luminosité,...)¹⁷⁴. A l'issue de la détermination de la responsabilité, les sujets sont répartis en trois groupes : les non responsables, les responsables et les partiellement responsables. Ces derniers sont le plus souvent éliminés de la population d'étude^{172 174 186}. Parfois, ils sont regroupés avec les responsables¹⁷⁹.

Dans la mesure où les non responsables sont toujours considérés comme représentatifs de la population à risque, la comparaison des responsables partiels et complets avec ces derniers permet d'identifier l'odds-ratio d'insécurité primaire associé à certains profils d'usagers. Le sur risque des usagers de profil i par rapport à ceux du groupe de référence k s'écrit :

$$OR_{i=} = \frac{\sum \text{Responsables}_i \times \sum \text{Non Responsables}_k}{\sum \text{Responsables}_k \times \sum \text{Non Responsables}_i}$$

Les données utilisées dans l'analyse de responsabilité peuvent également être modélisées en utilisant le modèle logistique non conditionnel et la responsabilité comme événement d'intérêt.

3.2.3. Stratégie d'étude

Ces approches sont appliquées aux données de l'enquête SAM afin de comparer leurs estimations des risques associés au cannabis et à l'alcool. Cette mise en pratique permet d'identifier et de quantifier les populations d'étude sélectionnées dans chacune de ces approches. Elle permet aussi d'évaluer quantitativement les risques fournis par chaque modèle, de discuter leur plausibilité et de déterminer les populations auxquelles ces risques s'appliquent.

Les modèles d'exposition induite et l'approche de Cuthbert sont considérés séparément de l'analyse de responsabilité et de la méthode de quasi exposition induite. En effet, ces dernières modélisent directement la responsabilité. L'approche de quasi exposition induite est composée de deux sous-études : celle focalisée sur les clean-crashes et celle focalisée sur les accidents à un véhicule.

Afin de permettre une meilleure comparaison des risques obtenus séparément par type d'accident dans l'approche de quasi exposition induite à ceux obtenus globalement dans l'analyse de responsabilité, les interactions entre type d'accident et alcool ou cannabis sont introduites dans l'analyse de responsabilité.

Dans la mesure du possible, les risques univariés puis multivariés associés au cannabis et à l'alcool sont estimés. Les différents intervalles de confiance sont calculés au seuil de confiance de 95% et les significativités statistiques sont calculées soit avec le test de Wald soit avec le test du ratio des log-vraisemblances.

Pour la suite de l'étude, l'analyse de quasi-exposition induite portant sur les clean crashes sera désignée sous l'appellation « analyse clean crash », celle portant sur les accidents à un véhicule sous l'appellation « analyse accident seul ». Enfin, l'analyse de responsabilité n'est rien d'autre qu'une approche cas-témoins^{183 187}. Elle est dénommée par la suite « analyse (cas-témoins) standard ».

3.3. RESULTATS

3.3.1. Approches sans détermination de la responsabilité

3.3.1.1. Approche d'exposition induite

Tous les sujets impliqués dans un accident à un seul véhicule et dans une collision sont étudiés, sauf ceux impliqués dans un accident avec un piéton. La population étudiée est ainsi composée de 7 151 accidentés dont 4 502 dans une collision (figure 3).

La distribution des usagers selon leur profil et les probabilités relatives d'être accidenté (ou taux d'accident) sont présentées dans le tableau 21. Les sujets sous la seule emprise de l'alcool présentent le moins bon profil accidentogène. Les conducteurs se déplaçant sans être sous l'influence du cannabis ou de l'alcool ont le taux d'accident à un véhicule le plus faible. Les taux d'incidence estimés pour les sujets impliqués dans les accidents à deux véhicules indiquent cependant un plus faible taux d'implication dans les collisions pour les usagers sous la double emprise du cannabis et de l'alcool. Lorsque les deux types d'accident sont considérés conjointement, le taux d'accident le plus faible reste celui des usagers non consommateurs d'alcool et de cannabis.

Tableau 21 Distribution des sujets et taux d'incidence d'être accidenté selon la consommation d'alcool-cannabis et le type d'accident-Approche de Thorpe

	Acc. seuls	Collisions	N	RAL _S [†]	IC _{95%}	RAL _T	IC _{95%}	RAL _A	IC _{95%}
Sans alcool sans cannabis	1040	3523	4563	0,33	[0,31 ; 0,36]	0,67	[0,66 ; 0,68]	0,54	[0,52 ; 0,57]
Sans alcool avec cannabis	94	201	295	0,66	[0,45 ; 1,02]	0,83	[0,73 ; 1,01]	0,77	[0,56 ; 1,11]
Alcool sans cannabis	1271	695	1966	-2,81	[-3,29 ; 2,47]	-0,90	[-1,15 ; 0,73]	-1,61	[-1,89 ; -1,41]
Alcool avec cannabis	244	83	327	-1,67	[-2,05 ; 1,46]	-0,33	[-0,52 ; -0,23]	-0,83	[-1,02 ; -0,72]

[†]RAL_S: Probabilité relative d'être impliqué dans un accident à un véhicule ; RAL_T: Probabilité relative d'être impliqué dans un accident à deux véhicules ; RAL_A : Probabilité relative d'être accidenté

Le risque associé à l'usage du cannabis, ainsi estimé, est toutefois difficilement interprétable. D'une part, ces résultats sont obtenus sans prendre en compte le rôle d'éventuels facteurs de risque associés à la survenue d'un accident et à la consommation d'alcool et/ou de cannabis. D'autre part, la plausibilité de ces estimations est discutable dans la mesure où plusieurs taux d'accident sont négatifs. Ce problème provient de l'équation $2T_i - S_i$ qui conduit à des approximations de l'exposition au risque routier, c'est-à-dire à des mesures de la population à risque d'accident, négatives pour les profils d'usagers ayant des effectifs faibles pour certains types d'accident. Un tel résultat remet en cause les fondements de l'approche d'exposition induite puisqu'il n'est pas possible d'estimer la responsabilité et donc l'exposition au risque

roumier sur la base des types d'accident. Ce problème est connu et Thorpe lui-même indique que la précision des estimations est discutable lorsque les effectifs relatifs à un profil d'utilisateur sont faibles^{166 167}.

Tableau 22 : Population d'étude selon la consommation d'alcool-cannabis des usagers et le type d'accident-Approche d'exposition induite d'Haight

Type d'accident	Sans alcool sans cannabis	Sans alcool avec cannabis	Avec alcool sans cannabis	Avec alcool avec cannabis	Collisions	Acc. seuls	Nombre d'acc.
Sans alcool sans cannabis	1377	55	151	16	1599	1040	2639
Sans alcool avec cannabis	99	11	10	1	121	94	215
Avec alcool sans cannabis	403	11	53	5	472	1271	1743
Avec alcool avec cannabis	45	3	9	2	59	244	303
Nombre d'acc	1924	80	223	24	2251	2649	4900

L'approche d'Haight de l'exposition-induite considère la même population d'étude que celle de Thorpe mais utilise les données sous une autre forme en fonction du profil des usagers impliqués dans la même collision (tableau 22). Le tableau 23 présente les nouvelles estimations des taux d'accidents et des risques relatifs selon les profils des usagers.

Quel que soit le type d'accident considéré, la conduite sous l'emprise de l'alcool ou celle du cannabis augmente le risque d'être impliqué dans un accident mortel. Contrairement aux résultats du modèle de Thorpe, le risque est maximal pour ceux sous l'emprise des deux substances, en particulier pour ce qui concerne la survenue d'un accident à un véhicule.

Tableau 23 : Taux d'incidence et risques relatifs d'implication dans un accident selon la consommation d'alcool-cannabis des usagers et le type d'accident de la route

Alcool	Cannabis	RALs	RR	RALt	RR	RALa	RR
non	non	0,64	1,00	2,30	1,00	0,87	1,00
non	oui	0,70	1,09	7,20	3,13	3,01	3,45
oui	non	4,31	6,76	15,32	6,67	5,33	6,09
oui	oui	67,90	106,47	24,97	10,86	10,69	12,22

†RALs: Probabilité relative d'être impliqué dans un accident à un véhicule ; RALt: Probabilité relative d'être impliqué dans un accident à deux véhicules ; RALa : Probabilité relative d'être accidenté

3.3.1.2. Approche de Cuthbert

La population d'étude est composée des 2 649 sujets impliqués dans un accident à un véhicule et des 7 356 impliqués dans des accidents à plusieurs véhicules, sans piéton impliqué (figure 3).

Cette approche nécessite de définir deux profils d'utilisateur de référence. Le premier profil correspond aux usagers se déplaçant sans être sous l'emprise d'une quelconque substance. Au regard des résultats des approches de Thorpe et Cuthbert, il semble que les usagers sous la seule emprise du cannabis soient différents mais proches de ceux présentant le premier profil

de référence. Ils sont donc choisis comme deuxième profil de référence afin d'isoler les effets du facteur externe (ici le moment de la journée durant lequel l'accident est survenu).

Tableau 24 Effectifs et odds ratios par profil alcool-cannabis, Approche de Cuthbert 1.

Alcool	Cannabis	AS [†]	AM [‡]	Totaux	OR [§]	OR norm [*]	IC _{95%}
non	non	1040	5819	6859	-		
non	oui	94	313	407	4,32	1	
oui	non	1271	1092	2363	10,51	2,44	[1,63-3,25]
oui	oui	244	132	376	12,36	2,86	[1,26-4,46]

[†]Effectifs des usagers impliqués dans un accident à un seul véhicule

[‡]Effectifs des usagers impliqués dans un accident à plusieurs-véhicules

[§] OR non normalisé : présence des effets des facteurs externes α_j : $\exp[(s_i - s_k)\alpha_j]$

* OR normalisé par $S_w - S_k$, en utilisant la deuxième catégorie de référence

Les résultats sont présentés dans le tableau 24. L'augmentation du risque d'accident des usagers sous la seule emprise de l'alcool par rapport à ceux qui ne sont pas sous l'emprise du cannabis et de l'alcool (risque normalisé sur la différence entre ce profil de référence et le groupe des usagers sous la seule emprise du cannabis) est de 2,44. La conduite sous la double influence de l'alcool et du cannabis semble être la plus accidentogène.

Le tableau 25 présente les effets associés aux facteurs externes et permet de vérifier si le modèle répond aux hypothèses posées par Cuthbert (les collisions reflètent l'exposition, les accidents à un véhicule reflètent l'exposition et la propension). Pour cela les paramètres α_j doivent être différents de 0. Ce n'est pas le cas ici.

Tableau 25 : Effets des facteurs externes à l'usager-Approche de Cuthbert 1.

	Effectifs	α_j [†]	IC _{95%}
Journée de semaine	5527	0,56	[-0,09 ; 1,21]
Nuit de semaine (dimanche inclus)	1079	0,80	[-0,11 ; 1,71]
Nuit de vendredi	650	0,78	[-0,75 ; 2,31]
Journée du samedi	1230	0,68	[-0,61 ; 1,97]
Nuit du samedi	996	0,77	[-0,48 ; 2,02]
Journée du dimanche	523	0,73	[-0,43 ; 1,89]

[†]Effets des facteurs externes

Les tableaux 26 et 27 présentent les résultats obtenus en choisissant un autre profil d'usagers comme deuxième groupe de référence : les sujets qui se déplacent en ayant uniquement consommé de l'alcool.

Tableau 26 : Odds ratios par profil alcool-cannabis, Approche de Cuthbert 2

Alcool	Cannabis	OR [†]	OR norm [‡]	IC _{95%}
non	non	-		
non	oui	4,32	0,41	[-4,34 ; 5,16]
oui	non	10,51	1	
oui	oui	12,36	1,18	[-2,69 ; 5,05]

† OR non normalisé : présence des effets des facteurs externes α_j : $\exp[(s_i - s_k)\alpha_j]$

‡ OR normalisé par $S_w - S_k$, en utilisant la deuxième catégorie de référence

Aucun profil d'utilisateurs ne se distingue désormais des utilisateurs non consommateurs de cannabis et d'alcool mais le modèle apparaît valide.

Tableau 27 : Effets des facteurs externes- Approche de Cuthbert 2.

	α_j^\dagger	IC _{95%}
Journée de semaine	1,37	[1,18 ; 1,56]
Nuit de semaine (dimanche inclus)	1,94	[1,68 ; 2,20]
Nuit de vendredi	1,90	[1,45 ; 2,35]
Journée du samedi	1,64	[1,26 ; 2,02]
Nuit du samedi	1,87	[1,51 ; 2,23]
Journée du dimanche	1,77	[1,43 ; 2,11]

†Effets des facteurs externes

Le choix de la deuxième catégorie de référence apparaît donc essentiel puisqu'il influence à la fois le niveau des risques estimés et la validité du modèle.

Tableau 28 : Effectifs et odds ratios par profil alcool-cannabis, Approche de Cuthbert 3.

Alcool g/mL	Cannabis ng/mL	AS [†]	AM [‡]	Totaux	OR [§]	OR norm [*]	IC _{95%}
0	0	1040	5819	6859	-		
0	trace	7	40	47	0,99	1	
0	1-2	30	140	170	2,65	2,69	[1,21-4,17]
0	3-5	14	59	73	1,47	1,49	[0,00-2,99]
0	>=5	43	74	117	7,39	7,49	[5,96-9,02]
0-0,05	0	178	317	495	6,55	6,65	[6,01-7,29]
0-0,05	trace	1	3	4	NE**	NE	NE
0-0,05	1-2	10	9	19	6,69	6,79	[4,84-8,74]
0-0,05	3-5	3	5	8	4,21	4,27	[2,27-6,27]
0-0,05	>=5	12	13	25	6,26	6,35	[4,76-7,94]
0,05-0,08	0	84	112	196	7,87	7,98	[7,09-8,87]
0,05-0,08	trace	2	2	4	1,87	1,9	[0,70-3,10]
0,05-0,08	1-2	8	2	10	4,52	4,58	[3,05-6,11]
0,05-0,08	3-5	2	0	2	NE	NE	NE
0,05-0,08	>=5	8	5	13	4,76	4,83	[2,93-6,73]
0,08-0,12	0	136	128	264	8,95	9,08	[8,31-9,85]
0,08-0,12	trace	4	0	4	NE	NE	NE
0,08-0,12	1-2	16	5	21	11,11	11,27	[8,88-13,66]
0,08-0,12	3-5	7	4	11	5,99	6,07	[4,19-7,95]
0,08-0,12	>=5	11	4	15	3,8	3,86	[2,27-5,45]
0,12-0,20	0	389	260	649	11,9	12,07	[11,55-12,59]
0,12-0,20	trace	3	2	5	2,56	2,6	[1,56-3,64]
0,12-0,20	1-2	33	17	50	12,98	13,16	[11,18-15,14]
0,12-0,20	3-5	15	9	24	6,77	6,86	[5,03-8,69]
0,12-0,20	>=5	32	14	46	11,86	12,03	[10,34-13,72]

>0,20	0	484	275	759	12,95	13,13	[12,63-13,63]
>0,20	trace	9	3	12	2,26	2,29	[1,58-3,00]
>0,20	1-2	23	10	33	8,11	8,22	[6,55-9,89]
>0,20	3-5	17	6	23	2,14	2,17	[0,94-3,4]
>0,20	>=5	28	19	47	9,22	9,35	[7,8-10,9]

†Effectifs des usagers impliqués dans un accident à un seul véhicule ‡Effectifs des usagers impliqués dans un accident à plusieurs véhicules § OR non normalisés : présence des effets des facteurs externes α_j : $\exp[(s_i - s_k)\alpha_j]$
 * OR normalisé par Sw-Sk, en utilisant comme deuxième catégorie de référence alcool=0 et cannabis=trace
 **NE : non estimable

Le nombre de profils d'usagers utilisés jusqu'ici est réduit à quatre afin de maximiser la puissance de l'étude. Il n'est pas possible d'estimer les risques relatifs associés à deux de ces profils, car ils sont utilisés comme groupes de référence. Les enjeux de sécurité routière associés aux usagers uniquement consommateurs d'alcool ou uniquement consommateurs de cannabis sont cependant importants. Une stratification plus fine des profils d'usagers est nécessaire afin de pouvoir utiliser un autre groupe de référence.

Le tableau 28 présente les résultats de la modélisation 3. Les nouveaux profils d'usagers sont définis en considérant les différents niveaux de concentrations d'alcool et de cannabis dans le sang. Il existe un plus vaste choix pour définir le second profil de référence. Cependant, les effectifs des différents groupes ainsi définis ne permettent pas d'estimer tous les odds-ratios. C'est le cas lorsque les usagers d'un même profil sont tous impliqués dans le même type d'accident ou lorsque les impliqués dans les accidents à un véhicule sont accidentés à des moments de la journée différents de ceux de même profil accidentés dans un accident à plusieurs véhicules.

Les odds-ratios déterminés avec cette nouvelle codification ne mettent pas en évidence la présence de gradients entre les niveaux de concentrations alcool et/ou cannabis et l'implication dans un accident mortel (tableau 28). Les risques obtenus par ce modèle sont cependant invalides (tableau 29).

Tableau 29 : Effets des facteurs externes, Approche de Cuthbert 3

	α_j^\dagger	IC _{95%}
Journée de semaine	0,20	[-2,01 ; 2,41]
Nuit de semaine (dimanche inclus)	0,22	[-1,53 ; 1,97]
Nuit de vendredi	0,16	[-1,92 ; 2,24]
Journée du samedi	0,10	[-1,48 ; 1,68]
Nuit du samedi	0,16	[-1,45 ; 1,77]
Journée du dimanche	0,15	[-1,98 ; 2,28]

†Effets des facteurs externes

3.3.2. Approches avec détermination de la responsabilité

3.3.2.1. Description des populations d'étude

L'analyse de quasi exposition induite et l'analyse de responsabilité sont étudiées ensemble. La première est scindée en deux sous approches : l'approche clean crash et l'approche accident seul. L'analyse de responsabilité est désignée sous l'appellation « approche standard ». Les différentes populations d'étude utilisées dans chaque approche sont présentées en figure 3.

Dans l'approche clean crash, 3 754 sujets sont impliqués dans les collisions éligibles (celles sans piéton), pour lesquelles les différents facteurs de risque sont connus pour les deux usagers et pour lesquelles la responsabilité est attribuée à un seul des deux sujets. L'enquête SAM étant un recueil d'accidents mortels de la circulation, une partie des usagers accidentés est donc susceptible d'être incluse dans l'étude du fait d'une fragilité corporelle élevée. Or cette fragilité peut être aggravée pour les sujets sous l'emprise de l'alcool ou du cannabis^{179 188}. Afin d'éviter un biais de sélection favorisant l'inclusion d'un sous-groupe d'usagers non responsables, présentant une fragilité supérieure à celle de la population circulante, les usagers seuls décédés dans leur accident et déclarés non responsables ne sont pas considérés. Les clean crashes incluant de tels sujets sont exclus. La population d'étude se compose au final de 2 712 sujets. Elle représente 18% de l'ensemble des accidents disponibles, 39% des collisions et 40% de celles sans piétons.

Dans l'approche accident seul, tous les 2 649 sujets impliqués dans un accident à un véhicule sans piéton sont sélectionnés et classés « responsable », soit 82% des sujets de l'enquête SAM impliqués dans ce type d'accident. Les 1 356 sujets retenus comme non responsables dans l'approche clean crash sont également utilisés comme non responsables dans cette approche. La population d'étude est de 4 005 sujets.

Dans l'approche standard, la population d'étude est sélectionnée parmi l'ensemble des sujets disponibles quel que soit le type d'accident dans lesquels ils sont impliqués. Les cas sont les 6 766 usagers de l'enquête SAM déclarés responsables. Un total de 3 982 sujets est éligible pour constituer le groupe de témoins. Seulement 3 006 non responsables sont cependant inclus afin d'éviter le biais de sélection associé à la fragilité décrit plus haut. Ceci permet d'obtenir un groupe de témoins le plus proche possible des usagers circulant. Au final, 9 772 sujets impliqués dans 6 482 accidents sont étudiés dans cette approche. Les accidents ainsi considérés sont composés de 48% d'accidents à un véhicule et 43% de collisions, ce qui est strictement identique à la répartition observée dans les données sources. Les sujets étudiés

représentent respectivement 96%, 80% et 81% des sujets potentiellement éligibles impliqués dans les accidents à un véhicule, dans les collisions et dans les accidents à plus de deux véhicules.

3.3.2.2. Comparaison des résultats de l'approche de quasi exposition induite et de ceux de l'analyse de cas-témoins standard

Les risques bruts associés à la conduite sous l'emprise de l'alcool et du cannabis sont présentés dans le tableau 30. Les trois approches mettent en évidence une augmentation statistiquement significative du risque de causer un accident mortel pour les conducteurs sous l'emprise de ces substances. Ces risques sont cependant d'amplitudes différentes selon l'approche considérée.

L'approche accident seul fournit une estimation de l'odds ratio brut associé à la conduite sous l'emprise de cannabis plus élevée (OR=4,2) que l'approche standard (OR=3,2) et l'approche clean crash (OR=3,1).

Les trois approches mettent en évidence une relation de type effet-dose entre la concentration d'alcool dans le sang et le risque brut de causer un accident : plus la concentration est importante, plus le risque de causer un accident mortel augmente. Le risque est élevé même pour les usagers dont la concentration d'alcool dans le sang est inférieure au seuil légal de 0,05 g/mL, en particulier avec l'approche accident seul (OR=6,0). Cette approche estime des risques plus importants que les autres pour tous les niveaux de concentrations. Par exemple, pour les usagers dont la concentration est supérieure à 0,20 % g/mL, l'odds ratio est égal à 41,8 dans l'approche standard, à 81,6 dans l'approche clean crash et s'élève à 212 dans l'approche accident seul.

Tableau 30 : Risques bruts de causer un accident de la route mortel, France 2001-2003. Modèles d'exposition induite et approche cas-témoins standard

	Analyse cas-témoins standard (Analyse de responsabilité)				Analyse de quasi exposition induite							
	n = 9 772				Approche "Clean crash" n = 2 712				Approche "Accident seul" n = 4 005			
	R+#	R-#	OR†	IC _{95%} ‡	R+	R-	OR‡	IC _{95%}	R+	R-	OR†	IC _{95%}
Cannabis (ng/mL)												
0,00	6106	2907	1,0*		1233	1310	1,0*		2311	1310	1,0*	
>0,00	660	99	3,2	[2,6-3,9]	123	46	3,1	[2,1-4,5]	338	46	4,2	[3,0-5,7]
Alcool (% g/mL)												
0,00	4335	2846	1,0*		950	1291	1,0*		1134	1291	1,0*	
Pour toutes doses	2431	160	10,0	[8,4-11,8]	406	65	9,7	[7,0-13,5]	1515	65	26,5	[20,4-34,4]
Selon la concentration												
<0,05	415	80	3,4	[2,7-4,4]	94	39	3,6	[2,3-5,6]	204	39	6,0	[4,2-8,4]
0,05-0,08	195	16	8,0	[4,8-13,4]	31	5	7,5	[2,8-20,2]	104	5	23,7	[9,6-58,3]
0,08-0,12	284	20	9,3	[5,9-14,7]	44	8	10,2	[3,8-26,7]	174	8	24,8	[12,1-50,5]
0,12-0,20	708	31	15,0	[10,4-21,6]	104	10	16,8	[7,9-35,6]	472	10	53,7	[28,6-101,0]
≥0,20	829	13	41,8	[24,1-72,4]	133	3	81,6	[19,7-337,3]	561	3	212,9	[68,3-663,9]

* $p < 0,0001$. Test du maximum de vraisemblance.

#R+ : Responsable, R- : Non responsable

† Odds ratios non appariés. Modèle logistique non conditionnel

‡ Odds ratios appariés. Modèle logistique conditionnel

Les odds ratios « alcool » et « cannabis » ajustés sont plus faibles que les risques bruts, mais restent statistiquement significatifs. Les disparités décrites ci-dessus persistent (tableau 31). La conduite sous l'emprise du cannabis augmente le risque de causer un accident mortel. L'approche clean crash estime un odds ratio (OR=1,7) proche de celui estimé dans l'approche cas témoins standard (OR=1,8) et l'approche accident seul estime un risque supérieur mais très proche (OR=1,9). La relation effet-dose entre l'alcool et le statut de responsabilité persiste. Les plus grandes disparités entre les approches concernent toujours le risque associé à la concentration d'alcool dans le sang supérieur à 0,20 % g/mL.

La présence d'une interaction entre la consommation d'alcool et celle de cannabis est également testée. Son évaluation est importante car la relation entre ces deux facteurs est assez méconnue^{172 186 189}: La consommation de cannabis a-t-elle un effet sur le risque associé à l'alcool ? Si c'est le cas, renforce-t-elle son effet délétère ? Ou annihile t-elle son effet ? Cette interaction est difficile à tester dans les approches de quasi exposition induite. Dans l'approche clean crash, seulement 46 sujets parmi les 2712 sujets étudiés ont consommé les deux produits et 123 uniquement du cannabis. Dans l'approche accident seul, 250 sujets ont consommé les deux produits et 137 uniquement du cannabis. Dans les deux cas, l'interaction est non significative. Dans l'analyse cas témoins standard, 360 sujets ont consommé les deux produits, près de 400 uniquement du cannabis. L'interaction est cependant non significative, l'odds ratio correspondant étant de 14,2 pour les usagers se déplaçant sous l'emprise de l'alcool et du cannabis. Ce risque correspond au simple produit du risque associé à chaque substance (modèle sans interaction) : $OR=15,5=1,8 \times 8,6$ (tableau 31). Nous ne mettons donc pas en évidence d'effet « catalyseur » ou « inhibiteur » d'un produit sur l'autre.

Tableau 31 : Risques ajustés de causer un accident de la route mortel, France 2001-2003

	Analyse cas-témoins « analyse de responsabilité »		Approche de quasi-exposition induite			
	OR	IC _{95%}	« Clean crash »		« Accident seul »	
	OR	IC _{95%}	OR	IC _{95%}	OR	IC _{95%}
Cannabis (ng/mL)						
0,00	1,0**		1,0***		1,0 **	
>0,00	1,8	[1,4-2,2]	1,7	[1,1-2,8]	1,9	[1,3-2,8]
Alcool (% g/mL)						
0,00	1,0*		1,0*		1,0*	
Pour toutes doses	8,6	[7,3-10,3]	7,5	[5,3-10,8]	19,2	[14,6-25,3]
Selon la concentration						
<0,05	2,8	[2,1-3,6]	2,1	[1,3-3,4]	4,6	[3,2-6,7]
0,05-0,08	6,4	[3,8-10,8]	5,7	[1,9-17,4]	15,0	[6,0-37,5]
0,08-0,12	7,6	[4,8-12,2]	7,3	[2,6-20,3]	14,9	[7,2-30,8]
0,12-0,20	13,3	[9,2-19,3]	15,8	[7,0-36,0]	39,1	[20,6-74,3]
≥0,20	40,3	[23,2-70,2]	74,9	[17,5-320,7]	171,7	[54,8-538,5]
Genre						
Homme	0,9	[0,8-1,1]	0,8	[0,6-1,1]	0,9	[0,7-1,2]
Femme	1,0		1,0		1,0	
Age						
0-24	1,9	[1,6-2,1]	1,9	[1,4-2,6]	2,5	[2,0-3,1]
25-34	1,0	[0,9-1,1]	1,2	[0,9-1,6]	1,2	[1,0-1,5]
35-69	1,0*		1,0*		1,0*	
70+	2,7	[2,1-3,3]	3,3	[2,2-5,0]	2,1	[1,5-3,1]
Catégorie d'usager						
Usager de cyclomoteur	2,9	[1,8-4,7]	6,3	[2,7-16,7]	2,7	[1,3-5,8]
Motard	5,8	[4,3-7,7]	6,1	[3,8-9,8]	5,7	[3,8-8,5]
Conduc. de véh. utilitaire	0,7	[0,5-0,8]	0,3	[0,2-0,6]	0,3	[0,2-0,5]
Conduc. de poids lourd	0,4	[0,4-0,5]	0,1	[0,1-0,2]	0,3	[0,2-0,4]
Autre conducteur	0,6	[0,5-0,8]	0,4	[0,2-0,8]	0,3	[0,2-0,4]
Conduc. de véh. léger	1,0*		1,0*		1,0*	

*p<0,0001; ** p<0,001; *** p<0,05

Tableau 31 suite : Risques ajustés de causer un accident de causer un accident de la route mortel, France 2001-2003

	Analyse cas-témoins « analyse de responsabilité »		Approche de quasi-exposition induite			
	OR	IC _{95%}	« Clean crash »		« Accident seul »	
	OR	IC _{95%}	OR	IC _{95%}	OR	IC _{95%}
Moment de la journée						
Journée du samedi	0,7	[0,6-0,9]			1,0	[0,7-1,3]
Journée du dimanche	0,8	[0,7-0,9]			0,9	[0,7-1,3]
Nuit de la semaine	0,9	[0,8-1,1]			1,3	[1,0-1,7]
Nuit du vendredi	0,8	[0,6-1,1]			1,3	[0,9-1,9]
Nuit du samedi	0,7	[0,6-0,9]			1,1	[0,7-1,5]
Journée de la semaine	1,0**				1,0	
Lieu de déplacement						
Rural	0,6	[0,5-0,7]			1,3	[0,9-1,7]
Urbain	1,0*				1,0	

*p<0,0001; ** p<0,001; *** p<0,05

3.3.2.3. Réflexions connexes

Risques selon le type d'accident

Les analyses de quasi exposition induite conduisent à étudier le rôle du cannabis et de l'alcool séparément selon le type d'accident. Ce n'est pas le cas dans l'analyse standard où les usagers sont étudiés conjointement qu'ils soient impliqués dans un accident à un, deux ou plusieurs véhicules. Si toutefois il s'avère nécessaire d'estimer les risques par type d'accident, l'approche standard peut être utilisée de deux façons :

- En réalisant des analyses séparées par type d'accident. Une telle démarche est équivalente à l'analyse clean crash pour les collisions et à l'approche accident seul pour accident à un véhicule. Elle implique une perte de puissance statistique importante pour chacune des sous-analyses. Comme nous le verrons plus loin, c'est particulièrement le cas pour l'analyse sur le groupe des sujets seuls impliqués dans leur accident : le nombre de témoins, c'est-à-dire d'accidentés jugés non responsables, est très réduit limitant les possibilités d'analyse multidimensionnelles (tableau 32).

- En utilisant une interaction entre le type d'accident et les facteurs de risque d'intérêt dans le modèle logistique multivarié. Le tableau 32 présente les résultats de cette démarche.

Le modèle 1 décrit les risques lorsque les usagers impliqués dans un accident à un véhicule, sans être sous l'emprise du cannabis, sont utilisés comme profil de référence. Il n'existe pas de différence significative entre les conducteurs sous influence du cannabis et impliqués dans un accident à un véhicule et ceux du profil de référence (OR=0,51 IC_{95%}[0,24-1,10] tableau

32). Ce risque est différent de celui trouvé dans l'approche accident seul ($OR=1,9$ tableau 31). Le groupe des non responsables diffère entre ces deux approches, ce qui pourrait expliquer ces différences : dans l'approche standard, les sujets non responsables impliqués dans les accidents à un véhicule et utilisés comme témoins sont peu nombreux ($N=58$ tableau 32). Dans l'approche accident seul, les non responsables impliqués dans les clean crashes sont utilisés comme groupe de comparaison. Ce groupe a un effectif plus important ($N=1356$). Les odds ratios associés aux usagers sous l'emprise du cannabis et impliqués dans les collisions ($OR=0,07$ tableau 32) et dans un accident à plusieurs véhicules ($OR=0,03$ tableau 32) indiquent un sous risque de causer un accident mortel par rapport au profil de référence. Ces résultats mettent en évidence une des limites de l'utilisation d'une interaction entre un facteur et le type d'accident. L'interaction ne permet pas de mettre en évidence l'effet propre du cannabis selon le type d'accident mais révèlent les disparités dans les proportions d'usagers responsables selon le type d'accident. En effet, 98% des conducteurs sont responsables dans les accidents à un véhicule, 61% dans les collisions et seulement 39% dans les accidents à plusieurs véhicules. Ces disparités sont mises en évidence lorsque des sujets impliqués dans des types d'accident différents sont comparés. Elles « écrasent » les effets des facteurs de risque considérés. Le sur-risque du cannabis existe cependant : les effets protecteurs sont plus importants chez ceux non consommateurs de cannabis impliqués dans les collisions ($OR=0,04$ tableau 32) ou dans des accidents multiples ($OR=0,01$ tableau 32) que chez ceux consommateurs de cannabis impliqués dans ces mêmes accidents (respectivement $OR=0,07$ et $OR=0,03$, tableau 32).

Le modèle 2 utilise les non consommateurs de cannabis impliqués dans les collisions comme profil de référence. Les conclusions sont conformes à celles du modèle 1 : ceux impliqués dans un accident à un véhicule, qu'ils soient sous l'emprise du cannabis ou non, ont un sur risque de causer un accident par rapport aux usagers du profil de référence. Paradoxalement ceux qui ne sont pas sous l'emprise du cannabis ont un risque supérieur à ceux qui le sont. Il est possible que les faibles effectifs d'usagers conduisant sous l'emprise du cannabis et déclarés non responsables expliquent un tel résultat. A l'inverse, ceux impliqués dans un accident à plus de deux véhicules ont un sous risque de causer un accident mortel. L'effet protecteur est supérieur pour ceux qui ne sont pas sous l'emprise du cannabis. Pour les usagers sous l'emprise de cannabis et impliqués dans une collision, le sur risque ($OR=1,7$ tableau 32) est équivalent à celui estimé dans l'approche clean crash ($OR=1,7$ tableau 31).

Le modèle 3 fournit des conclusions similaires à celles des deux autres modèles. L'effet du cannabis pour ceux impliqués dans des accidents à plus de deux véhicules ne peut être

comparé aux résultats de l'approche de quasi exposition induite puisqu'elle ne considère pas ce type d'accident.

L'interaction entre le type d'accident et la consommation d'alcool fournit des résultats assez similaires. Les problèmes de faibles effectifs dans le groupe témoin sont encore plus aigus puisque l'alcool est considéré sous la forme d'une variable catégorielle à plusieurs modalités (six niveaux de concentration sanguine).

Tableau 32 : Risques de causer un accident mortel de la circulation estimés dans l'approche cas témoins standard en utilisant l'interaction entre le type d'accident et la consommation de cannabis

	Modèle 1 [†]		Modèle 2 [‡]		Modèle 3 [§]			
	R+#	R-#	OR	IC _{95%}	OR	IC _{95%}		
Accident un véhicule								
Cannabis =0 ng/mL	2 673	50	1,00		26,45	[19,76-35,39]	70,14	[51,60-95,34]
Cannabis >0 ng/mL	353	8	0,51	[0,24-1,10]	13,43	[6,54-27,59]	35,61	[17,24-73,59]
Accident deux véhicules								
Cannabis =0 ng/mL	2 867	1 899	0,04	[0,03-0,05]	1,00		2,65	[2,33-3,03]
Cannabis >0 ng/mL	254	61	0,07	[0,04-0,10]	1,71	[1,25-2,34]	4,54	[3,28-6,28]
Accidents à 3 véhicules et plus								
Cannabis =0 ng/mL	566	958	0,01	[0,01-0,02]	0,38	[0,33-0,43]	1,00	
Cannabis >0 ng/mL	53	30	0,03	[0,02-0,06]	0,83	[0,51-1,36]	2,20	[1,33-3,63]

†Modèle 1 : niveau de référence de l'interaction : usagers non consommateur de cannabis impliqués dans un accident à un véhicule

‡Modèle 2 : niveau de référence de l'interaction : usagers non consommateur de cannabis impliqués dans un accident à deux véhicules

§Modèle 3 : niveau de référence de l'interaction : usagers non consommateur de cannabis impliqués dans un accident à plus de deux véhicules

#R+ : Responsable, R- : Non responsable

Effet de la structure hiérarchique

Comme nous venons de le voir la population d'étude considérée dans l'analyse de responsabilité est composée d'utilisateurs impliqués dans des accidents à un, deux ou plusieurs véhicules. Une partie des sujets sont donc impliqués dans les mêmes accidents. Dans notre étude, les données présentent une structure hiérarchique de type accident-véhicule-utilisateur (ou plutôt accident-utilisateur puisqu'il n'y a qu'un utilisateur considéré par véhicule). Les données ne sont plus « indépendantes et identiquement distribuées » (iid) comme cela est pourtant requis afin d'utiliser les modèles linéaires généralisés et en particulier le modèle logistique. Ignorer la présence de dépendance entre une partie des données peut affecter la validité des odds ratios estimés et celle des intervalles de confiance associés.

La structure hiérarchique est « faible » avec moins de 1,4 sujets par accident dans la population d'étude utilisée pour l'approche standard. La structure des données est très proche d'une structure « iid » : 52% des informations sont indépendantes, soit parce que les sujets sont impliqués dans des accidents à un seul véhicule (43% des accidentés étudiés) soit parce que le critère d'exclusion des sujets seuls décédés et non responsables de leur accident a conduit à n'utiliser qu'un seul des sujets impliqués dans un accident à au moins deux véhicules. Enfin, moins de 10% des sujets étudiés sont impliqués dans un accident à plus de deux véhicules. Le modèle hiérarchique à deux niveaux, accident-véhicule, montre que la variance associée aux corrélations du niveau véhicule est très faible et non significative : 0,0003355 ($\sigma = 419,6$). Les risques et leurs intervalles de confiance estimés avec le modèle logistique hiérarchique et avec le modèle logistique standard sont similaires (tableau 33). La significativité statistique des associations est également identique.

La non prise en compte de la structure hiérarchique n'affecte pas la validité des estimations. Même si sur le plan théorique les données ne sont pas « iid », le modèle logistique standard reste pertinent.

Tableau 33 : Analyse logistique hiérarchique et non hiérarchique dans l'approche cas-témoins standard

n = 9772	Analyse de responsabilité			
	Modèle logistique hiérarchique		Modèle logistique	
	OR [†]	IC _{95%}	OR [‡]	IC _{95%}
Cannabis (ng/mL)				
0,00	1,0**		1,0**	
>0,00	1,8	[1,4-2,2]	1,8	[1,4-2,2]
Alcool (% g/mL)				
0,00	1,0*		1,0*	
Pour toutes doses	8,6	[7,3-10,3]	8,6	[7,3-10,3]
Selon la concentration				
<0,05	2,8	[2,1-3,5]	2,8	[2,1-3,6]
0,05-0,08	6,4	[3,8-10,8]	6,4	[3,8-10,8]
0,08-0,12	7,6	[4,8-12,2]	7,6	[4,8-12,2]
0,12-0,20	13,3	[9,2-19,3]	13,3	[9,2-19,3]
≥0,20	40,3	[23,2-70,1]	40,3	[23,2-70,2]
Genre				
Homme	0,9	[0,8-1,1]	0,9	[0,8-1,1]
Femme	1,0		1,0	
Age				
0-24	1,9	[1,6-2,1]	1,9	[1,6-2,1]
25-34	1,0	[0,9-1,1]	1,0	[0,9-1,1]
35-69	1,0*		1,0*	
70+	2,7	[2,1-3,3]	2,7	[2,1-3,3]
Catégorie d'utilisateur				
Usager de cyclomoteur	2,9	[1,8-4,7]	2,9	[1,8-4,7]
Motard	5,8	[4,3-7,7]	5,8	[4,3-7,7]
Conducteur de véhicules utilitaire	0,7	[0,5-0,9]	0,7	[0,5-0,8]
Conducteur de poids lourd	0,4	[0,4-0,5]	0,4	[0,4-0,5]
Autre conducteur	0,6	[0,5-0,8]	0,6	[0,5-0,8]
Conducteur de véhicule léger	1,0*		1,0*	

* p<0,0001; ** p<0,001; *** p<0,05. Test du ratio du maximum de vraisemblance.

† Modèle hiérarchique logistique, structure accident-usager

‡ Odds ratio apparié.

Tableau 33 suite : Analyse logistique hiérarchique et non hiérarchique dans l'approche cas-témoins standard

n = 9772	Analyse de responsabilité			
	Modèle logistique hiérarchique		Modèle logistique	
	OR [†]	IC _{95%}	OR [‡]	IC _{95%}
Moment de la journée				
Journée du samedi	0,7	[0,6, 0,9]	0,7	[0,6-0,9]
Journée du dimanche	0,8	[0,7-0,9]	0,8	[0,7-0,9]
Nuit de la semaine (dimanche inclus)	0,9	[0,8-1,1]	0,9	[0,8-1,1]
Nuit du vendredi	0,8	[0,6-1,1]	0,8	[0,6-1,1]
Nuit du samedi	0,8	[0,6-0,9]	0,7	[0,6- 0,9]
Journée de la semaine	1,0**		1,0**	
Lieu de déplacement				
Rural	0,6	[0,5-0,7]	0,6	[0,5-0,7]
Urbain	1,0*		1,0*	

* p<0,0001; ** p<0,001; *** p<0,05. Test du ratio du maximum de vraisemblance.

† Modèle hiérarchique logistique, structure accident-usager

‡ Odds ratio apparié.

Rôle des responsables partiels

Les analyses fondées sur le critère de responsabilité ne considèrent généralement pas les usagers déclarés « partiellement responsables ». Leur prise en compte dans l'étude détériore à la fois la sensibilité et la spécificité du classement des usagers selon le statut de responsabilité. Ce ne sont pas des non responsables puisqu'ils ont indéniablement un rôle actif dans la survenue de l'accident. En revanche, ils ne présentent que « partiellement la maladie » et leur prise en compte en tant que responsables peut conduire à sous-estimer les risques.

Le tableau 34 présente les résultats de l'analyse cas témoins standard et de l'approche clean crash en intégrant ou non les responsables partiels dans le groupe des responsables. Sans les responsables partiels, la population d'étude de l'analyse clean crash est de 2 384 sujets et de 1 192 accidents. La population d'étude de l'analyse standard est de 5 908 responsables complets et de 3 006 non responsables soit 8 914 sujets.

La prise en compte des responsables partiels ne semble pas modifier les estimations des risques et intervalles de confiance. Dans l'analyse standard, la sous-estimation des risques associés à la prise en compte des responsables partiels est mineure. Dans l'analyse clean crash, les risques estimés avec et sans ces sujets sont également proches. Néanmoins les écarts sont plus importants que dans la précédente analyse. Les intervalles de confiance sont légèrement plus larges lorsque les responsables partiels ne sont pas pris en compte, en particulier pour les sujets dont la concentration d'alcool est supérieure à 0,2 g/mL.

Tableau 34 : Comparaison des analyses cas témoins standard et de l'analyse clean crash avec et sans les responsables partiels

	Analyse cas-témoins : analyse de responsabilité				Approche « clean crashes »			
	Tous les R+ [#]		Sans les R+ partiels		Tous les R+		Sans les R+partiels	
	OR [†]	IC _{95%}	OR [†]	IC _{95%}	OR [‡]	IC _{95%}	OR [†]	IC _{95%}
Cannabis (ng/mL)								
0,00	1,0**		1,0*		1,0***		1,0***	
>0,00	1,8	[1,4-2,2]	1,8	[1,4-2,2]	1,7	[1,1-2,8]	1,8	[1,1-3,1]
Alcool (% g/mL)								
0,00	1,0*		1,0*		1,0*		1,0*	
<0,05	2,8	[2,1-3,6]	2,6	[2,0-3,4]	2,1	[1,3-3,4]	2,3	[1,4-4,0]
0,05-0,08	6,4	[3,8-10,8]	6,6	[3,9-11,2]	5,7	[1,9-17,4]	4,2	[1,3-13,7]
0,08-0,12	7,6	[4,8-12,2]	8,1	[5,1-13,0]	7,3	[2,6-20,3]	7,5	[2,7-20,8]
0,12-0,20	13,3	[9,2-19,3]	14,0	[9,6-20,3]	15,8	[7,0-36,0]	17,5	[7,2-42,7]
≥0,20	40,3	[23,2-70,2]	42,2	[24,2-73,5]	74,9	[17,5-320,7]	157,0	[20,7- +∞]
Genre								
Homme	0,9	[0,8-1,1]	0,9	[0,8-1,1]	0,8	[0,6-1,1]	0,8	[0,6-1,1]
Femme	1,0		1,0		1,0		1,0	
Age								
0-24	1,9	[1,6-2,1]	1,9	[1,7, 2,2]	1,9	[1,4-2,6]	1,9	[1,4-2,6]
25-34	1,0	[0,9-1,1]	1,0	[0,9-1,1]	1,2	[0,9-1,6]	1,2	[0,9-1,6]
35-69	1,0*		1,0*		1,0*		1,0*	
70+	2,7	[2,1-3,3]	2,8	[2,2-3,5]	3,3	[2,2-5,0]	3,6	[2,3-5,6]
Catégorie d'usager								
Usager de cyclomoteur	2,9	[1,8-4,7]	3,1	[1,9-4,9]	6,3	[2,7-16,7]	7,3	[2,9-18,7]
Motard	5,8	[4,3-7,7]	6,2	[4,7-8,3]	6,1	[3,8-9,8]	5,7	[3,5-9,2]
Conducteur de véh. utilitaire	0,7	[0,5-0,8]	0,7	[0,5-0,9]	0,3	[0,2-0,6]	0,3	[0,2-0,6]
Conducteur de poids lourd	0,4	[0,4-0,5]	0,4	[0,4-0,5]	0,1	[0,1-0,2]	0,1	[0,1-0,2]
Autre conducteur	0,6	[0,5-0,8]	0,6	[0,4-0,8]	0,4	[0,2-0,8]	0,4	[0,2-0,8]
Conducteur de véh. léger	1,0*		1,0*		1,0*		1,0*	
Moment de la journée								
Journée du samedi	0,7	[0,6-0,9]	0,7	[0,6-0,9]				
Journée du dimanche	0,8	[0,7-0,9]	0,8	[0,7-1,0]				
Nuit de la semaine	0,9	[0,8-1,1]	1,0	[0,8-1,1]				
Nuit du vendredi	0,8	[0,6-1,1]	0,8	[0,6-1,1]				
Nuit du samedi	0,7	[0,6-0,9]	0,8	[0,6-0,9]				
Journée de la semaine	1,0**		1,0**					
Lieu de déplacement								
Rural	0,6	[0,5-0,7]	0,6	[0,5-0,7]				
Urbain	1,0*		1,0*					

#R+ : Responsable

3.4. DISCUSSION

Ce chapitre présente les aspects méthodologiques des différents modèles développés pour estimer des risques d'insécurité primaire en l'absence de données d'exposition au risque routier. Ces modèles sont ensuite mis en œuvre sur les données de l'enquête SAM afin de pouvoir les comparer, d'évaluer la validité de leurs risques et surtout leur portée.

3.4.1. Correspondance des méthodes de substitution avec le design d'étude cas témoins

L'approche d'exposition induite diffère de l'approche cas-témoins. Il s'agit ainsi de calculer des taux d'accidents (grâce à un substitut de la population à risque d'accident) et d'obtenir des risques relatifs plutôt que de comparer des prévalences de facteur de risque et d'obtenir des odds ratios.

La démarche de Cuthbert semble a priori s'apparenter à une approche de type cas témoins basée sur une population d'accidentés. La maladie étudiée serait l'implication dans un accident à un véhicule et le facteur de risque considéré aurait deux niveaux d'exposition : le profil d'intérêt et un autre profil utilisé comme première référence. La différence réside dans la conceptualisation des relations entre les facteurs de risque étudiés : les facteurs individuels et ceux environnementaux sont systématiquement supposés interagir entre eux contrairement à l'approche cas-témoins standard dans laquelle chaque exposition à un facteur de risque est disponible indépendamment des autres expositions. Cette démarche ne peut être assimilée à une étude de type cas-témoins : il s'agit de comparer la prévalence d'un facteur chez les accidentés seuls et les accidentés dans les collisions mais également de réaliser une double comparaison aboutissant à un ratio d'odds ratios pour isoler les effets des facteurs individuels des effets des facteurs environnementaux.

Ces deux premières approches n'étudiant pas directement la responsabilité et n'étant pas assimilables au design cas témoins sont commentées séparément des suivantes.

L'analyse de quasi exposition induite est une suite logique à l'analyse d'exposition induite. Elle a été initialement développée pour trouver un substitut à la mesure de la population à risque d'accident dans le calcul des taux d'incidence. Elle a aussi été développée pour estimer, à partir des données sur les accidentés de la route, les expositions aux facteurs de risque associés aux caractéristiques usager-véhicule-environnement des usagers de la population circulante. Au final, la méthode de quasi exposition induite conduit à définir une approche dans laquelle les prévalences des facteurs de risque des responsables sont comparées à celles des non responsables pour calculer des RAIR qui ne sont rien d'autres que des odds ratios. L'approche de quasi exposition induite s'apparente ainsi à une étude cas-témoins sur

une population d'accidentés qui aurait la responsabilité comme maladie d'intérêt. Sa spécificité réside dans la définition des populations d'étude. L'approche clean crash correspond à une étude cas témoins avec les responsables et les non responsables appariés sur l'implication dans le même accident. L'approche accident seul correspond également à une étude cas témoins. Comme tous les sujets impliqués dans un accident à un véhicule sont considérés responsables de leur accident, donc comme des cas, il est nécessaire de trouver comme groupe de témoins, un autre groupe d'accidentés représentatifs de la population circulante : les usagers non responsables accidentés dans un clean crash. Le choix d'un tel groupe de témoins repose sur l'hypothèse que les accidentés non responsables de leur collision fournissent une image des prévalences des facteurs de risque d'intensité d'exposition usager-véhicule-environnement valables pour tous les sujets de la population circulante. Les prévalences ainsi estimées sont supposées applicables à tous les sujets ayant le profil d'intérêt qu'ils soient susceptibles d'être impliqués dans un accident à un, deux ou n véhicules^{169 182}
183

Comme nous l'avons déjà noté, malgré sa dénomination particulière, l'analyse de responsabilité est une étude cas témoins avec la responsabilité comme événement d'intérêt. Les cas sont les responsables et les témoins sont les non responsables.

3.4.2. Spécificité des approches sans détermination de la responsabilité

3.4.2.1. Analyse d'exposition induite

Les analyses d'exposition induite de Thorpe et d'Haight fournissent des résultats difficilement interprétables et généralisables.

Lorsque l'approche développée par Thorpe est appliquée aux données de l'enquête SAM, les approximations qui remplacent la vraie mesure de l'exposition au risque routier, c'est-à-dire de la population à risque d'accident, sont pour certaines négatives. Il s'avère impossible d'estimer le nombre de non responsables en soustrayant les usagers impliqués dans les accidents à un véhicule à ceux impliqués dans les collisions: pour certains profils d'usagers, ceux impliqués dans les collisions sont moins nombreux que ceux impliqués dans les accidents à un véhicule. Certains taux d'accidents associés à l'alcool et au cannabis sont ainsi incohérents.

L'approche d'Haight permet de contourner ces difficultés calculatoires. Elle fournit des approximations de l'exposition plus cohérentes qui mettent en évidence des risques relatifs très importants pour les usagers sous l'emprise de l'alcool et encore plus élevés pour ceux

également sous l'emprise du cannabis. Néanmoins, cette approche ne fournit aucun développement algébrique pour déterminer la variance des risques relatifs ainsi estimés. En l'absence de cadre inférentiel, il n'est pas possible d'identifier si les sur risques observés sont le fruit du hasard ou si, au contraire, ils mettent en évidence des différences statistiquement significatives entre les groupes.

Ces résultats sont d'autant plus difficiles à interpréter et à généraliser que l'approche d'exposition induite est mal adaptée à la prise en compte du contexte multidimensionnel de l'insécurité routière. L'approximation de l'exposition au risque routier est incohérente pour certains profils du fait d'effectifs insuffisants alors que seulement quatre profils sont étudiés (selon la consommation ou non d'alcool et de cannabis). Malgré un recueil de deux ans au niveau national, un ensemble de données de taille plus importante est nécessaire pour stratifier ces profils sur les éventuels facteurs de confusion (âge, genre,...). Ces approches apparaissent ainsi inadaptées à l'étude de problématique de sécurité routière couvrant des périodes d'observation et/ou des zones géographiques réduites.

L'interprétation des risques est délicate car cette approche ne permet pas d'isoler les effets propres à un facteur de risque particulier : le rôle accidentogène spécifique au cannabis ne peut être distingué de celui propre à l'alcool car tous les facteurs sont considérés en interaction entre eux lors de la constitution des profils d'utilisateurs étudiés.

3.4.2.2. Analyse de Cuthbert

L'approche de Cuthbert s'avère plus pertinente que l'exposition induite reconnue par ailleurs obsolète^{164 177}. Elle présente cependant des limites importantes.

Contrairement à l'analyse d'exposition induite, les effets des facteurs de risque individuels sont isolés des effets associés aux facteurs environnementaux. En revanche, les facteurs de risque relatifs à des caractéristiques individuelles sont toujours considérés en interaction lors de la définition des profils d'utilisateurs d'intérêt.

Cette constitution des profils d'intérêt implique que le jeu de données à utiliser doit être de taille importante afin de pouvoir prendre en compte différents facteurs de confusion ou d'étudier des facteurs de risque individuels à plus de deux modalités. Dans le cas de l'enquête SAM, lorsque le cannabis et l'alcool ne sont plus considérés sous la forme de variables dichotomiques mais codés de façon à pouvoir étudier la présence d'éventuels effets-doses, les effectifs d'utilisateurs par niveau d'exposition sont plus faibles. Certains risques relatifs ne sont pas estimables ou sont incohérents : les estimations des risques associés aux concentrations maximales d'alcool ou de cannabis dans le sang sont inférieures à celles de certains risques

pourtant associés à des usagers ayant des concentrations moindres. Les études ayant utilisé cette méthode reposent en effet sur des jeux de données beaucoup plus importants : Cuthbert utilise une population d'étude de plus de 60 000 accidentés^{164 177}, Redondo-Calderon et al., une population de plus de 250 000 accidentés¹⁷⁸.

L'utilisation d'un codage dichotomique permet de contourner ces difficultés. Les odds ratios normalisés qui en résultent ne sont pas pour autant plus faciles à interpréter. Selon le choix de la catégorie de référence utilisée pour isoler les effets des facteurs environnementaux, soit le modèle obtenu est invalide, soit les risques obtenus sont incohérents. Le modèle est invalide lorsque les usagers sous la seule influence du cannabis sont choisis comme deuxième catégorie de référence : les effets associés aux facteurs environnementaux ne diffèrent pas de 0. L'hypothèse de base du modèle est alors remise en cause : la distribution des sujets impliqués dans les accidents à plusieurs véhicules ne fournit pas une image cohérente de l'exposition au risque routier. Lorsque les sujets exclusivement sous l'emprise d'alcool sont choisis comme deuxième catégorie de référence, le modèle est valide mais les risques obtenus sont incohérents : les usagers sous l'emprise du cannabis seul ou des deux substances ont le même sur risque d'accident que ceux circulant sans avoir consommé ces substances. Un tel choix n'est pas satisfaisant d'une part parce que la littérature a mis en évidence depuis longtemps l'existence de disparités accidentogènes entre les usagers sobres et ceux sous l'emprise de l'alcool^{65 171-173}, d'autre part, l'odds ratio non normalisé entre les deux catégories de référence s'élève à 10,51 (tableau 26), laissant supposer que la différence entre les deux catégories, hors effets des facteurs externes, $s_i - s_k$ n'est pas égale à un.

Le choix des catégories de référence est donc fondamental. Cuthbert fournit cependant peu d'éléments pour réaliser un choix pertinent. Il conseille de choisir un deuxième profil de référence w qui soit légèrement différent du premier profil de référence k de sorte que la différence $s_w - s_k$ soit égale à 1. Dans notre cas, trois profils d'usagers sont éligibles (tableaux 24 et 26). Aucun ne s'avère cependant approprié puisque pour chaque profil, les usagers sont sous l'emprise d'au moins une substance reconnue par ailleurs comme augmentant le risque d'accident par rapport aux sujets qui ne sont pas sous leur emprise (^{173 189}). La différence entre chacun de ces groupes et le premier groupe de référence n'a pas de raison d'être faible.

L'approche de Cuthbert repose sur des hypothèses peu plausibles. Elle suppose tout d'abord que les expositions aux facteurs de risque associés aux caractéristiques d'intensité d'exposition usager-véhicule-environnement déduites à partir des sujets impliqués dans un accident à plusieurs véhicules soient généralisables à tous les usagers, quel que soit le type d'accident dans lequel ils sont susceptibles d'être impliqués. Ceci est discutable car les

conditions d'exposition au risque routier des sujets impliqués dans un accident à un véhicule sont supposées différentes de celles des sujets impliqués dans une collision, notamment par rapport à l'environnement de déplacement (les accidents à plusieurs véhicules survenant plutôt en intersection ¹⁹⁰). De même, cette approche suppose que les risques d'accident déduits à partir des sujets impliqués dans les accidents à un véhicule soient généralisables à l'ensemble des usagers de même profil quel que soit le type d'accident dans lequel ils sont susceptibles d'être impliqués. Une telle hypothèse est également peu plausible car les risques d'implication dans une collision sont différents de ceux associés à l'implication dans un accident à un véhicule ¹⁸¹. Enfin, ce modèle suppose que les usagers impliqués dans les accidents à un véhicule sont les seuls à refléter le risque d'accident, c'est-à-dire la propension à avoir un accident selon le profil d'utilisateur. Tous ceux impliqués dans un autre type d'accident sont supposés refléter l'exposition au risque routier : ces accidents ne résulteraient que de la simple présence des usagers sur le réseau routier sans que ces derniers n'aient eu de rôle actif. Une telle considération ne prend pas en compte les sujets n'ayant pas su anticiper le trafic et ayant, par conséquent, été percuter un autre usager. Ces sujets ont pourtant un rôle analogue à celui qu'attribue Cuthbert aux usagers impliqués dans les accidents à un véhicule : leur implication dans un accident ne provient pas seulement de leur simple présence sur la route, l'exposition, mais de leur propension à avoir des accidents, leur incidence de maladie. Les risques obtenus en comparant les sujets impliqués dans les accidents un véhicule, à ceux impliqués dans un accident à plusieurs véhicules, sont sous-estimés. Cette méthode reste marginale et sa mise en œuvre est délicate. Seuls Cuthbert et Redondo-Calderon et al. l'ont utilisée.

3.4.3. Modèles avec détermination de la responsabilité

L'approche de quasi exposition induite et l'approche de responsabilité sont plus abouties que les précédentes. D'une part elles modélisent directement la responsabilité et non son approximation. D'autre part, elles fournissent les effets propres associés aux caractéristiques usager-véhicule-environnement et non les effets associés à des profils d'utilisateurs définis sur la base d'interactions entre les caractéristiques de l'utilisateur et celles de l'environnement de déplacement. Le contexte multidimensionnel de l'insécurité peut être pris en compte de façon plus souple avec pourtant le même recueil de données. Enfin, elles fournissent un cadre inférentiel via le recours au modèle linéaire généralisé ce qui n'est pas le cas de l'approche d'Haight.

Ces deux approches mettent en évidence une augmentation du risque de causer un accident mortel pour les usagers se déplaçant sous l'emprise du cannabis et/ou de l'alcool, et ce, après ajustement sur différents facteurs de confusion. Ces résultats sont cohérents avec ceux précédemment publiés sur les risques d'implication dans un accident de la route associés à la conduite sous influence de l'alcool ou du cannabis ¹⁷⁹. Les approches de quasi exposition-induite et celle dite « de responsabilité » (approche cas-témoins standard) estiment cependant des odds ratios différents dont l'interprétation et la généralisation sont différentes.

3.4.3.1. Disparités entre l'approche de quasi exposition induite et l'approche cas-témoins standard

Ces disparités s'expliquent principalement par les critères de sélection des sujets propres à chacune des approches. L'analyse de quasi exposition induite ne sélectionne que les sujets impliqués dans les collisions et dans les accidents à un véhicule, sans piétons. Les sujets impliqués dans les accidents à plus de deux véhicules ne sont pas éligibles. De plus, parmi les collisions, seuls les clean crashes sont sélectionnés. Au contraire, tous les sujets impliqués dans un accident avec ou sans piéton sont considérés dans l'analyse de responsabilité (analyse standard). Les accidents composés de plusieurs sujets ayant le même niveau de responsabilité ou les accidents sans responsables sont également étudiés. Les critères d'exclusion des sujets éligibles s'appliquent également différemment dans chaque approche. Dans l'approche « accident seul » de l'analyse de quasi exposition-induite et dans l'analyse standard, seuls les sujets concernés par ces critères sont exclus. Dans l'approche clean crash, l'accident est exclu dans son ensemble dès lors qu'il n'est plus possible d'étudier une paire complète. Quatre fois plus de sujets sont sélectionnés dans l'approche de responsabilité que dans l'approche clean crash.

La taille d'échantillon disponible dans les différentes populations d'étude permet d'étudier et d'observer un effet-dose entre le taux d'alcool dans le sang et le fait d'être responsable de son accident. Cependant les risques et intervalles de confiance associés aux concentrations d'alcool supérieures à 0,20 % g/mL sont larges pour les approches de quasi exposition-induite. En raison de ces problèmes d'effectifs, la présence d'une éventuelle interaction entre l'alcool et le cannabis est plus difficile à étudier dans cette dernière approche. C'est un frein à l'étude de l'effet accidentogène résultant de la consommation de ces deux substances ¹⁸⁹.

Chaque approche considère ainsi une population d'étude spécifique et répond à une problématique de sécurité routière différente. Le risque « alcool » considéré dans l'approche clean crash reflète son rôle sur la survenue de collision : il pourrait ainsi s'agir d'étudier

l'effet de l'alcool sur le défaut d'anticipation et d'adaptation aux conditions de trafic. Ce rôle semble être différent lorsqu'il s'agit de considérer la survenue d'accident à un véhicule comme l'atteste d'ailleurs le niveau des risques estimés correspondants. Les risques pourraient ainsi refléter le rôle de l'alcool sur la perte de contrôle du véhicule ¹⁹¹⁻¹⁹³. Dans ce dernier cas, les facteurs de confusion, comme la somnolence, associés à la fois à l'alcool et à la survenue d'un accident à un véhicule ne sont pas pris en compte. Les risques ainsi estimés peuvent donc refléter le rôle de facteurs de risque associés à la survenue d'accidents d'un certain type et non pris en compte lors de l'analyse ¹⁹⁴. Au contraire l'analyse cas-témoins standard, en ne se focalisant pas sur un type d'accident, estime le rôle global de l'alcool sur l'insécurité routière primaire. C'est la méthode la plus pertinente pour estimer l'effet global de sécurité routière primaire d'un facteur de risque.

3.4.3.2. Risque d'accident selon le type d'accident

L'analyse cas-témoins standard fournit une mesure de risque valable pour l'ensemble de la population circulante. Si toutefois les risques nécessitent d'être estimés par type d'accident, l'interaction « type d'accident × facteur de risque d'intérêt » peut être introduite dans l'analyse de responsabilité (tableau 32). La détermination des risques de causer un accident à un véhicule est cependant difficile : le faible nombre de témoins impliqués dans ce type d'accident conduit à estimer des odds ratios peu fiables et difficiles à interpréter. L'approche accident seul est plus appropriée puisqu'en réutilisant les témoins de l'approche clean crash, elle dispose d'un groupe de comparaison plus important. L'approche clean crash est également plus appropriée pour étudier l'étiologie des collisions : l'utilisation du processus d'appariement fournit un meilleur contrôle des facteurs de confusion liés à l'environnement de déplacement qu'ils soient mesurés ou non ¹⁸¹. L'analyse cas-témoins standard ne contrôle que les facteurs de confusion mesurés et introduits dans la régression.

3.4.3.3. Prise en compte de la structure hiérarchique dans l'approche de responsabilité

Si l'analyse de responsabilité présente l'avantage de fournir un risque global valable pour tous les usagers circulants, elle nécessite en contrepartie d'explorer la présence d'éventuelles corrélations entre les sujets impliqués dans le même événement. La prise en compte d'une structure hiérarchique à deux niveaux de type « accident-usager » ne s'avère pas nécessaire dans notre cas : le nombre d'unités par unité de regroupement est inférieur à 2 et le modèle adapté aux données corrélées fournit les mêmes estimations des risques et intervalles de

confiance que le modèle logistique standard ignorant la structure hiérarchique des données. Ce résultat est conforme à nos précédentes recherches (annexe 2 ¹⁹⁵).

Une attention particulière doit être ainsi accordée à la structure des données disponibles avec une analyse de responsabilité. Si les accidents à deux ou plusieurs véhicules représentent une part importante des accidents disponibles, l'utilisation de modèles de régression pour données corrélées est conseillée. Dans les autres cas, la non prise en compte de la structure hiérarchique des données a un effet négligeable sur les estimations obtenues et les modèles linéaires généralisés restent pertinents.

3.4.3.4. Validité de la détermination de la responsabilité

La validité de l'approche cas-témoins standard et de l'approche de quasi exposition induite dépend du soin accordé à éviter les biais de classification lors de la détermination de la responsabilité des usagers ^{164 189}. L'existence de faux positifs (sujets non responsables déclarés responsables) ou de faux négatifs (sujets responsables déclarés non responsables) conduirait à sous-estimer les risques d'insécurité primaire.

La responsabilité est ici déterminée en utilisant une procédure automatique qui tient compte des facteurs augmentant ou minorant la responsabilité des usagers. Sa validité est corroborée par avis d'experts sur un sous-groupe d'usagers impliqués dans des collisions (N=2 683) : le coefficient de Kappa, égal à 0,71, indique une bonne concordance entre la procédure automatique et l'expertise ¹⁴. Dans les deux cas, l'attribution de la responsabilité est effectuée en masquant les consommations de cannabis et d'alcool des sujets accidentés.

Dans l'approche de quasi exposition induite, la responsabilité est le plus souvent attribuée par avis d'expert. Les sujets impliqués dans un accident à un seul véhicule sont systématiquement déclarés responsables, bien que pour 2% d'entre-eux, des facteurs extérieurs soient à l'origine de l'accident. Pour les collisions, seules celles répondant aux critères du clean-crash sont considérées. Le plus souvent la responsabilité est fixée sur la base du rapport des forces de l'ordre, donc des infractions au code de la route ^{160 163 168 180}. En pratique, les autres facteurs susceptibles de minorer ou majorer la responsabilité des sujets ne sont pas pris en compte. La suppression des accidents impliquant un piéton, permet d'éliminer en partie une source de responsabilité externe à l'usager, le piéton pouvant minorer la responsabilité des conducteurs accidentés. Les autres facteurs externes notamment ceux associés au véhicule et à l'environnement de déplacement, ne sont pas pris en compte. Ici, l'utilisation de la procédure automatique d'attribution de la responsabilité permet de prendre en compte une partie des facteurs usager-véhicule-environnement susceptibles de minorer ou majorer la responsabilité

des sujets. Elle n'est pourtant jamais utilisée dans l'approche de quasi exposition-induite. L'attribution de la responsabilité sur la base d'avis d'expert, qui tiendrait compte des facteurs externes à l'usager susceptibles de modifier son niveau de responsabilité, à l'image de la procédure d'attribution automatique, constituerait une avancée majeure. Elle permettrait notamment une meilleure prise en compte de la responsabilité dans les accidents avec piétons, d'utiliser ces accidents et donc d'augmenter la puissance statistique des analyses.

Les sujets reconnus partiellement responsables ne sont jamais étudiés dans les analyses de responsabilité et celles de quasi exposition induite. Ils sont assimilables à des faux positifs s'ils sont regroupés avec les responsables complets et ne correspondent pas à des responsables. Dans cette étude, ils sont toutefois considérés comme des responsables. Leur prise en compte n'induit pas de sous-estimation des odds ratios ou de modifications dans la significativité statistique des résultats. Ne pas les considérer aurait d'une part conduit à perdre de la puissance statistique et d'autre part aurait restreint la possibilité de généraliser les résultats à l'ensemble de la population circulante. Il ne semble donc pas nécessaire de les écarter systématiquement des populations d'étude.

Le recours à une méthode de substitution de l'exposition au risque routier qui n'utilise pas le critère de responsabilité, à l'image de l'approche de Cuthbert, peut constituer une solution utile pour éviter les problèmes qui pourraient survenir lors de l'attribution de la responsabilité. Cependant au regard des difficultés de mise en œuvre et de validité des estimations de cette approche, il semble préférable d'employer l'approche de quasi exposition induite ou l'analyse de responsabilité et d'essayer de maximiser la sensibilité et la spécificité du processus d'attribution de la responsabilité.

3.4.3.5. Validité des non responsables comme groupe témoins

Les approches de quasi exposition induite et cas-témoins standard reposent toutes deux sur la ressemblance entre les usagers accidentés déclarés non responsables et la population des usagers circulants, c'est-à-dire la population à risque d'accident^{39 183}. Si ces deux populations s'avèrent différentes, le groupe de non responsables ne constitue rien de plus qu'un sous-ensemble d'accidentés, la responsabilité n'est plus un événement rare et les odds ratios ne sont plus des approximations du risque relatif. Les prévalences fournies par les non responsables ne peuvent plus être utilisées pour estimer des risques attribuables et donc déterminer le nombre de morts attribuables aux usagers de la population circulante sous l'emprise de cannabis ou d'alcool.

La représentativité du groupe de non responsables est toujours débattue¹⁸¹. Si pour certains, il semble que cette représentativité soit satisfaisante^{39 164}, pour d'autres, les non responsables ne sont pas de bons témoins^{196 197}. Ils sont considérés comme des conducteurs dont les capacités d'anticipation sont plus réduites que celles de la population circulante et seraient ainsi plus souvent percutés par les responsables que le restant de la population. Ils auraient également des attitudes de déplacement plus dangereuses que la population circulante mais dont le rôle actif dans la survenue de leur accident serait plus difficile à détecter : il peut s'agir par exemple d'un changement de vitesse soudain et inadapté à la situation de conduite qui pousserait les autres usagers à commettre des fautes de conduite pour les éviter et à être tenus responsables de leurs accidents. Enfin, une partie des sujets non responsables seraient sélectionnés du fait de leur vitesse de déplacement inférieure à celle du trafic : ils seraient plus souvent percutés, du fait de comportements de déplacements différents des comportements habituels de la population à risque d'accident, et donc moins prévisibles. Ces limites semblent cependant pouvoir partiellement être levées en utilisant une détermination de la responsabilité basée sur l'ensemble des facteurs d'intensité d'exposition (caractéristiques usager-véhicule-environnement) ayant contribué à la survenue de l'accident et non les seules infractions au code de la route¹⁷⁴.

Pour l'approche clean crash, les non responsables sont au mieux représentatifs des sujets circulants susceptibles d'être accidentés dans une collision. Leur utilisation comme témoins dans l'approche accident seul est discutable. Cette hypothèse est valide si et seulement si les usagers susceptibles d'être impliqués dans une collision ont les mêmes comportements et quantités de déplacement que ceux susceptibles d'être impliqués dans un accident à un véhicule. Dans la mesure où les accidents à un véhicule surviennent dans des conditions environnementales différentes des collisions, cette hypothèse semble difficilement tenable¹⁸¹. Il s'agit cependant du seul groupe de témoins disponible. Pour l'étude cas-témoins standard, la validité du groupe de non responsables est sujette aux mêmes limites que celles exposées ci-dessus¹⁸⁹.

Le choix d'un groupe de témoins proche de la population circulante repose sur l'absence de faux négatifs et de sous-groupes d'accidentés trop particuliers vis-à-vis de la population circulante. Cependant le recours à des critères d'inclusion spécifiques pour choisir les non responsables composant le groupe témoins permet de limiter les biais de sélection vis-à-vis de la population circulante. C'est dans le but d'éviter de sélectionner un sous-groupe d'usagers dont la fragilité est supérieure à celle de population circulante et dépendante des facteurs de

risque étudiés (consommation d'alcool et de cannabis), que les sujets seuls décédés et non responsables de leurs accidents sont exclus de nos analyses.

La définition et l'utilisation de tels critères de sélection s'effectuent au cas par cas selon la problématique considérée. Ils sont cependant plus faciles à appliquer dans l'approche cas-témoins standard que dans l'approche de quasi exposition induite puisque comme nous l'avons vu, supprimer un témoin, conduit à se passer de l'ensemble des informations relatives à son accident. Outre le problème de perte de puissance, cette démarche de sélection de témoins pertinents conduit à sélectionner un sous-échantillon de sujets jugés responsables. La règle de sélection visant à réduire l'inclusion de sujets plus fragiles que ceux de la population circulante ne peut s'appliquer à l'approche d'exposition induite et à celle de Cuthbert. Ceci constitue une limite forte pour ces méthodes puisque les sujets impliqués dans des accidents à au moins deux véhicules ne sont pas représentatifs de la population circulante.

La validité des non responsables peut être testée a posteriori, en comparant les prévalences de facteurs de risque estimées chez les non responsables à celles connues par ailleurs dans la population circulante. Dans l'analyse standard, 80 sujets sur les 3 006 témoins présentent un taux d'alcoolémie supérieur à 0,5g/l, soit 2,7% de ces usagers. Cette prévalence est comparable à celle précédemment estimée chez les conducteurs circulant en France (environ 2,5% ¹⁹⁸). Cette similitude contribue à valider l'assimilation de ces témoins aux conducteurs de la population circulante et à utiliser les prévalences des non responsables comme les estimations des prévalences présentes dans la population circulante ¹⁷⁹.

3.4.4. Avantages et limites de ces travaux

La mise en œuvre de ces modèles est réalisée à travers l'étude du rôle des consommations d'alcool et de cannabis sur la survenue d'accidents mortels. Cette problématique se prête particulièrement bien à notre sujet : les données d'exposition au risque routier relatives à l'usage de substances illicites sont très difficiles à collecter. Dans le cas d'un recueil en population circulante, elles nécessitent la mise en place d'un protocole très lourd, sur des zones géographiques larges et durant des périodes de temps assez longues avec l'appui des forces de l'ordre ⁶⁵. Outre la nécessité de recueillir des échantillons représentatifs, la prévalence de ces facteurs en population circulante est faible, ce qui suppose l'observation d'un grand nombre d'usagers ¹⁸⁹. D'autre part, les sujets sont souvent réticents à fournir des informations relatives à la consommation d'alcool ou de drogues : il s'agit de comportements pénalement condamnables dans la plupart des pays. Si une information est toutefois obtenue, la présence d'un biais de sélection différentiel est très difficile à éviter : les sujets circulant

n'ont aucune obligation légale à répondre à un enquêteur non assermenté et peuvent cacher, voire fournir une mauvaise estimation de leurs consommations, contrairement aux sujets accidentés qui sont systématiquement et législativement soumis à des tests de dépistage. Dans le cas d'un recueil en population générale, il existe également des risques de biais de sélection et de mémorisation différentiels. Si le recueil au niveau des cas est effectué immédiatement après l'accident, le recueil au niveau des témoins s'effectue indépendamment de l'activité de déplacement, parfois longtemps après, et, surtout par interview, avec un risque de falsification des informations fournies. De plus, les données recueillies par enquête téléphonique ou par interview au domicile des usagers sur la base d'un questionnaire manquent de précision par rapport aux mesures biologiques recueillies chez les accidentés. Dans ce contexte, les méthodes de substitution sont les plus pertinentes pour étudier les liens de causalité entre accident et consommation d'alcool ou de cannabis.

Les données utilisées présentent cependant plusieurs limites. Le nombre de sujets disponibles n'est pas suffisant pour étudier correctement les approches d'exposition induite et celle de Cuthbert. Pour les modèles fondés sur le critère de responsabilité, l'étude d'une population encore plus large aurait permis une meilleure analyse des effets-doses alcool et de l'interaction entre le cannabis et type d'accident. Ces données permettent d'illustrer la faisabilité de ces modèles dans un contexte où les populations d'étude sont pourtant composées de plusieurs milliers d'observations.

Les données utilisées concernent uniquement les usagers conducteurs de leur véhicule motorisé. Les résultats obtenus ne peuvent donc être généralisés aux usagers non motorisés et aux passagers des engins motorisés. Ces limites ne sont pas spécifiques aux données de l'enquête SAM mais sont inhérentes à ces méthodes visant à substituer l'information d'exposition au risque routier. Il convient cependant de préciser que les risques estimés sont des risques de causer un accident. Les modèles de substitution s'intéressent ainsi à la part active de l'insécurité routière, c'est-à-dire aux usagers qui par leur action ont provoqué un accident pour eux-mêmes mais également pour des tiers impliqués passivement dans le même véhicule ou dans un véhicule antagoniste, motorisé ou non. Intervenir sur les véritables acteurs de l'insécurité routière conduit à réduire également l'insécurité routière des usagers susceptibles d'être « passivement » impliqués. Concernant les usagers non motorisés, l'utilisation d'une procédure d'attribution de la responsabilité qui tienne compte de toutes les informations usager-véhicule-environnement devrait également permettre de mieux les prendre en compte. Cependant, les accidents impliquant un vélo seul ou une collision de piétons, sont peu ou pas enregistrés dans les bases de données. Ces données sont

généralement relatives aux cyclistes victimes d'atteintes corporelles suite à l'accident. Elles conduisent à sélectionner des non responsables différents des cyclistes circulant, majoritairement ceux présents dans des trafics à forte concentration de véhicule motorisé¹⁹⁹.

Ce travail est le premier qui compare les principaux modèles de substitution de l'exposition au risque routier sur le même ensemble de données et les replace dans le cadre épidémiologique du design cas témoins. Bien que le modèle d'exposition induite et celui de Cuthbert présentent l'avantage de dispenser de l'évaluation de la responsabilité, ils ont des limites intrinsèques les rendant difficiles à utiliser surtout sur des jeux de données dont les effectifs sont inférieurs à plusieurs milliers de sujets. Les méthodes de quasi exposition-induite et d'analyse de responsabilité s'apparentent à des études de type cas-témoins. Elles se distinguent l'une de l'autre dans la façon de définir la population à risque. Si l'analyse de responsabilité est plus pertinente pour estimer des risques routiers d'insécurité primaire globaux, valides pour l'ensemble de la population circulante, la méthode de quasi-exposition permet au contraire d'estimer les risques plus spécifiquement par type d'accident. Ces deux analyses reposent toutefois sur la qualité de l'estimation de la responsabilité et la capacité des non responsables à ressembler à la population circulante.

La particularité des études cas-témoins ainsi définies réside dans la définition des témoins. Ils sont choisis dans la population de « malades », les accidentés, et s'apparentent à des témoins hospitaliers. Cette pratique repose sur la spécificité de l'événement étudié, l'accident de la route, qui permet de considérer des sous-groupes d'accidentés particuliers selon le niveau de responsabilité des usagers ou le type d'accident dans lequel ils sont impliqués. Cette démarche tend à se généraliser dans les études de sécurité routière primaire sur données observationnelles nécessitant des informations d'exposition au risque routier détaillées. Ainsi, l'évaluation des dispositifs de sécurité primaire installés à bord des véhicules, comme par exemple le contrôleur de trajectoire électronique (ESP), nécessite de connaître la prévalence de ce dispositif dans le parc automobile, le nombre de kilomètres parcouru par le parc équipé, notamment dans les situations où le dispositif aurait une efficacité et les unités d'exposition lors desquelles le dispositif a permis d'éviter l'accident. Le recours aux études cas-témoins avec des témoins choisis parmi les véhicules accidentés constitue un des rares moyens d'évaluer l'efficacité de ces dispositifs (annexe 3).

Chapitre 4

Considérations en sécurité routière primaire au sein d'une approche comparative basée exclusivement sur des données d'accidentés de la route

4.1. INTRODUCTION

4.1.1. Contexte

Le recours aux designs épidémiologiques de type cas-témoins ou cohorte pour déterminer les risques relatifs d'accidents de la route s'avère difficile car les données relatives aux populations à risque d'accident et à leurs caractéristiques sont manquantes ou inadaptées.

Les techniques, présentées dans le chapitre précédent, visant à substituer cette information d'exposition au risque routier par un groupe d'accidentés particuliers, évitent la mise en place de recueils de données longs, coûteux ne permettant pas nécessairement d'obtenir le niveau de détail nécessaire.

Les données utilisées dans ces approches sont généralement extraites des recueils nationaux d'accidents de la route^{160 179 200}. Il s'agit le plus souvent d'accidents corporels et mortels qui sont plutôt adaptés à l'identification des facteurs de risque associés à la survenue d'une atteinte corporelle ou mortelle suite à l'implication d'un usager dans un accident de la route

Bien qu'ils s'agissent de données de sécurité routière secondaire, elles contiennent des éléments de sécurité primaire : des informations relatives à l'intensité d'exposition au risque routier des usagers, c'est-à-dire relatives aux caractéristiques d'intensité d'exposition associées aux comportements de déplacement. Un accident corporel suppose l'implication de l'usager dans un accident de la circulation, elle-même conditionnée par la présence de l'usager sur le réseau routier (exposition de base et quantitative) et les facteurs de risque usager-véhicule-environnement auxquels le sujet est exposé (intensité d'exposition) (figure 4). L'exposition au risque routier quantitative n'intervient pas directement sur la survenue d'atteintes corporelles chez les accidentés. Il n'en est pas de même pour l'intensité d'exposition au risque routier, c'est-à-dire les caractéristiques usager-véhicule-environnement présentes lors des déplacements des usagers. Les usagers ont des prises de risque sur la route et des capacités à appréhender les situations de déplacement qui dépendent de leurs caractéristiques (figures 4 et 5)). Ces comportements de déplacement aboutissent à des vitesses de déplacement plus ou moins adaptées aux situations de déplacement pouvant favoriser la survenue d'un accident de la route^{144 201}. Ces comportements ont aussi un impact important sur les conditions de choc : la vitesse de déplacement aboutit à une vitesse au moment du choc plus ou moins propice à la survenue d'atteinte corporelle^{144 201}. La présence d'atteinte corporelle voire mortelle dans un accident de la route est ainsi le résultat du niveau de protection offert par les véhicules, du niveau de résistance physique des individus mais

également des facteurs usager-véhicule environnement définissant l'intensité de l'exposition au risque routier.

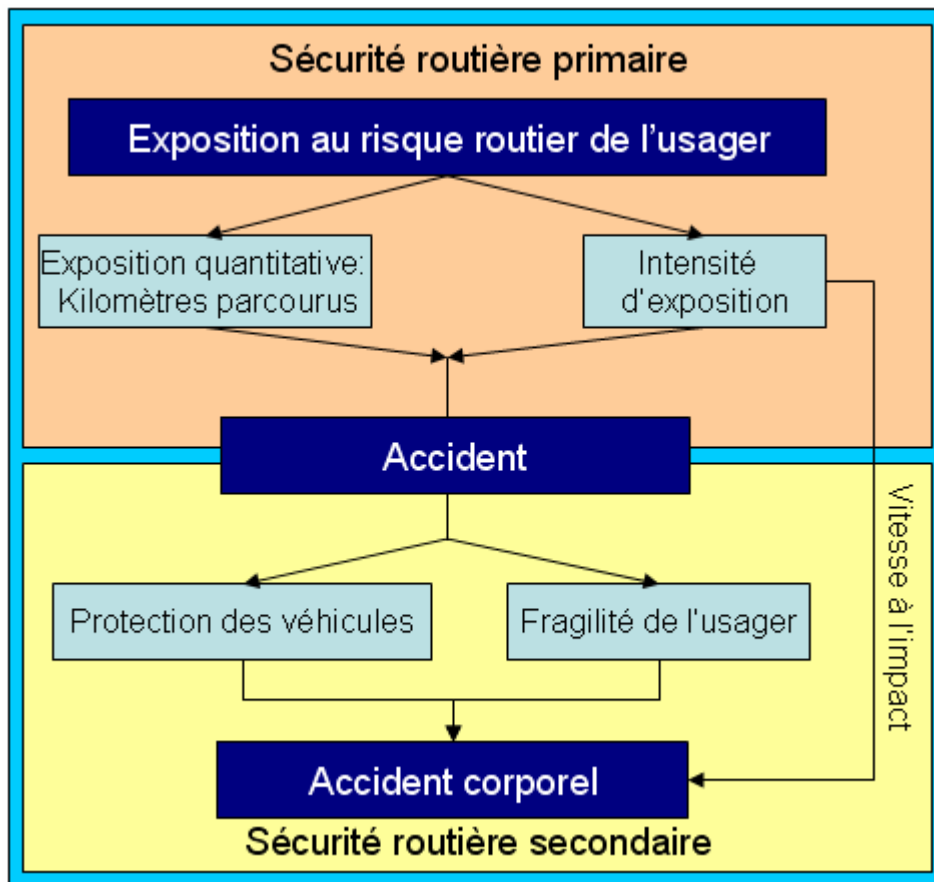


Figure 4 : Processus de survenue d'un accident corporel- détail des données implicitement contenues dans un recueil de données de sécurité secondaire.

Des considérations sur le rôle de la dimension « intensité d'exposition » semblent ainsi pouvoir être formulées au sein d'études principalement réalisées pour étudier les risques de d'insécurité secondaire. Pour dégager ces aspects de sécurité primaire, il convient de contrôler le rôle des dimensions « fragilité des usagers » et « protection offerte par les véhicules ».

4.1.2. Objectifs

Cette étude a deux objectifs :

- présenter les aspects méthodologiques de cette démarche.
- identifier les aspects d'insécurité routière primaire associés à l'âge, au genre des conducteurs, aux poids, puissance, et année de mise en service de leurs véhicules, qu'il est possible de déduire avec cette démarche sur données de sécurité routière secondaire.

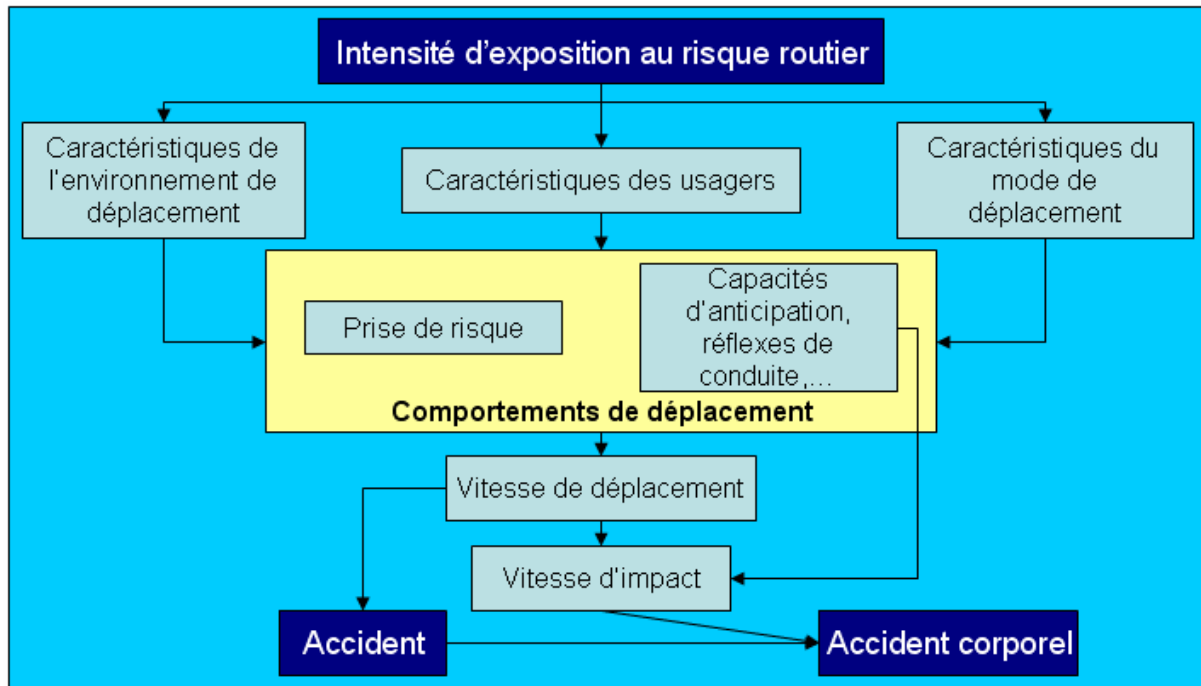


Figure 5 : Rôle des facteurs d'intensité d'exposition au risque routier dans le processus conduisant à la survenue d'un accident corporel

4.2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

4.2.1. Matériel

4.2.1.1. Données sources et population d'étude

Les données proviennent du recueil systématique des accidents corporels de la circulation réalisé par les forces de l'ordre, de 1996 à 2005, sur tout le territoire français métropolitain².

Pour chaque accident, un bulletin d'analyse d'accident corporel (BAAC) est rempli afin de recueillir des informations relatives à l'environnement de déplacement lors de l'accident, aux véhicules et aux usagers impliqués.

Seuls les conducteurs impliqués dans un accident de véhicules légers sans piétons sont considérés dans cette analyse. Seuls les accidents pour lesquels toute l'information désirée pour les véhicules et leurs conducteurs est disponible sont sélectionnés.

Les accidents dans lesquels aucun conducteur n'est blessé ou tué, c'est-à-dire ceux qui ne sont corporels que parce qu'un ou plusieurs passagers ont été atteints corporellement, sont également écartés de l'analyse. Ce choix évite de conditionner la sélection des conducteurs en fonction des taux d'occupation des véhicules qui peuvent être variables selon le contexte d'utilisation de ces véhicules et les caractéristiques de leurs conducteurs^{78 202}.

4.2.1.2. Événement étudié et facteurs de risque

L'événement d'intérêt est la survie ou non des conducteurs impliqués dans un accident corporel. Le statut vital (tué, blessé ou indemne) est renseigné pour chaque sujet étudié.

L'information collectée dans les BAAC comprend également des caractéristiques de l'accident, telles que le type de réseau, la localisation urbain/rural, la nature de l'obstacle heurté, la luminosité (nuit avec ou sans éclairage, aube, jour) et les conditions météorologiques (pluie, vent, brouillard, beau temps) ainsi que l'année de survenue de l'accident. Des informations sur les véhicules impliqués sont également recueillies, telles que la localisation de l'impact principal et l'année de première mise en circulation du véhicule. Cette dernière information est utilisée comme une valeur approchée de l'année de conception du véhicule. Pour une partie d'entre eux le « Vehicle Identification Number » (VIN) est indiqué, ce qui permet de disposer de caractéristiques supplémentaires telles que la masse et la puissance. Ces informations quantitatives discrètes sont regroupées en classes d'effectifs homogènes (quartiles). Les données recueillies par les forces de l'ordre incluent enfin des caractéristiques des occupants comme le sexe, l'âge et l'utilisation de la ceinture de sécurité.

Les facteurs de risque associés au réseau, à la localisation, à la luminosité et les conditions météorologiques sont considérés comme des facteurs de confusion à prendre en compte pour contrôler les effets associés à l'environnement de déplacement et d'accident. La zone d'impact permet de contrôler l'analyse sur les conditions de choc.

Les facteurs de risque associés au poids, millésime et puissance des véhicules ainsi qu'à l'âge et au genre des conducteurs sont les facteurs pour lesquels le rôle, en matière de comportement de déplacement, est isolé. La variable associée au port de la ceinture permet de contrôler la dimension « protection dont dispose l'utilisateur ».

L'année de l'accident est également prise en compte dans l'analyse afin de contrôler d'éventuelles modifications de la gravité des accidents au cours du temps.

4.2.2. Méthode

4.2.2.1. Stratégie d'analyse

La survie ou non du conducteur impliqué dans un accident corporel est examinée à travers deux configurations d'accidents : les collisions impliquant deux véhicules particuliers et deux seulement, et les accidents n'en impliquant qu'un seul. La comparaison des résultats obtenus pour chacun de ces types d'accidents va permettre d'isoler le rôle des caractéristiques étudiées en matière d'intensité d'exposition au risque routier.

Pour cela, les conducteurs et véhicules des collisions sont étudiés en prenant en compte l'appariement existant entre les conducteurs impliqués dans le même accident. L'analyse sur ces données permet d'estimer la probabilité d'être tué pour un conducteur accidenté tout en contrôlant l'ensemble des facteurs d'appariement mesurés ou non. Ces facteurs sont les caractéristiques de l'environnement de déplacement mais également les conditions de chocs (conditions météorologiques, le type de réseau ou l'année de survenue de l'accident). Les risques associés à l'ancienneté de la conception, la masse et la puissance du véhicule ainsi que le sexe, l'âge et le port de ceinture du conducteur sont indépendants des circonstances d'accidents puisque ces dernières sont communes aux deux véhicules impliqués. Ces risques sont seulement le reflet de deux dimensions : la capacité du conducteur à résister au choc et l'efficacité de la protection offerte par son véhicule.

Ces risques sont ensuite estimés en utilisant les conducteurs impliqués dans un accident à un véhicule. Les circonstances d'accidents découlant des comportements de conduite ne peuvent plus être isolées des dimensions « fragilité des usagers » et « protection des véhicules ». Il est cependant possible de supposer que ces deux dimensions ne dépendent pas ou très peu du type d'accident, une fois contrôlées certaines des circonstances d'accidents comme la localisation du point d'impact sur le véhicule, le lieu de l'accident ou le type de structure heurtée. Dans ce cas, les différences entre les risques appariés estimés sur les données relatives aux collisions et les risques estimés sur les données relatives aux accidents à un seul véhicule ne peuvent provenir que des différences entre les circonstances d'accident, non contrôlées pour les deuxièmes. Ainsi ces différences seront interprétées en termes de conséquences de comportements de conduite différents selon les caractéristiques des conducteurs et selon les types de véhicules conduits, aboutissant (en moyenne) à des vitesses de choc différentes. La comparaison des résultats estimés sur les collisions et ceux estimés sur les accidents à un véhicule permet ainsi de formuler des considérations en terme de sécurité routière primaire, sur le rôle de l'intensité d'exposition dans la survenue d'accident mortel.

Deux autres analyses sont réalisées sur les sujets impliqués dans des collisions afin de mieux interpréter les éventuelles différences entre les sujets impliqués dans les accidents à un véhicule et les collisions.

Les collisions sont tout d'abord analysées sans prendre en compte l'appariement. En plus des facteurs de risque déjà considérés dans l'analyse appariée, le type d'accident (fronto-frontal, frontal-latéral, ...), le type de route, les conditions météorologiques, la luminosité et l'année de survenue de l'accident sont également considérés. Par rapport à l'analyse appariée, le contrôle de l'effet accident n'est désormais assuré que par les variables d'ajustement. Cette

analyse permet de différencier les effets du véhicule et de son conducteur (propension à avoir des accidents, propre à l'usager selon son véhicule), des effets propres aux véhicules et conducteurs antagonistes (agressivité de l'antagoniste selon son véhicule).

Les collisions sont ensuite étudiées en considérant l'information au niveau de l'accident et non au niveau conducteur-véhicule. Le risque qu'au moins un conducteur soit tué dans l'accident est estimé selon les facteurs suivants: la différence d'ancienneté entre les deux véhicules impliqués, la somme et la différence des masses des véhicules, les diverses combinaisons selon le sexe et la tranche d'âge des conducteurs et la présence d'un non ceinturé. Le modèle est également ajusté sur le type de route, les conditions météorologiques, la luminosité et l'année de survenue de l'accident. Cette troisième analyse a pour but d'évaluer la gravité de l'accident dans son ensemble en fonction de la combinaison des caractéristiques des deux véhicules et des deux conducteurs impliqués.

4.2.2.2. Modèles statistiques

Design des données

La base de données établie à partir des BAAC s'apparente à un registre. Un registre est un recueil continu et exhaustif de données nominatives intéressant un ou plusieurs événements de santé dans une population géographiquement définie, à des fins de recherche et de santé publique, réalisé par une équipe ayant des compétences appropriées²⁰³. Le recueil des BAAC présente la plupart de ces caractéristiques :

- Le recueil de l'information est continu.
- Il est supposé exhaustif (bien que certains travaux mettent cependant en évidence des biais de sélection des sujets¹⁴⁰).
- Les procès-verbaux, à partir desquels les BAAC sont constitués, contiennent des données nominatives.
- L'événement de santé publique considéré est l'implication dans un accident de la route corporel.
- La population d'intérêt est celle des usagers de la route circulant en France.
- Ces données peuvent être utilisées à des fins de recherche pour affiner la connaissance de l'insécurité routière en France et à des fins de santé publique pour identifier les mesures de prévention routière à mettre en œuvre.

- Les données sont recueillies par les membres des forces de l'ordre. Ce sont des agents assermentés autorisés à collecter les informations sur les accidentés, leurs véhicules et l'environnement de l'accident.

Avec un tel design d'étude, il n'est pas nécessaire d'utiliser l'odds ratio pour mesurer les associations entre l'événement d'intérêt (tué ou non tué, tué ou blessé) et les facteurs de risque présentés dans le paragraphe précédent (annexe 4 et ^{204 205}). L'utilisation du risque relatif est d'autant plus pertinente que l'événement étudié n'est pas rare dans la population des accidentés ²⁰⁶.

Accidents à un véhicule

Les risques d'insécurité secondaire sont étudiés chez les conducteurs seuls impliqués dans leur accident en comparant ceux décédés à ceux ayant survécu à leur accident. L'exclusion volontaire des accidents dans lesquels aucun conducteur n'est blessé explique l'absence d'accidentés mais indemnes dans cette comparaison. Comme nous l'avons déjà vu, ceci évite un biais de sélection au profit des conducteurs accompagnés de passagers fragiles.

L'analyse est réalisée au moyen d'une régression de Poisson non conditionnelle avec une estimation robuste de la variance ^{207 208}. Dans la mesure où le design d'étude n'impose pas l'approximation des risques par des odds ratios, cette modélisation permet d'obtenir directement l'estimation des risques relatifs en présence d'un événement d'étude dichotomique. Le modèle s'écrit :

$$\text{Logit}(p_i) = \beta_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m X_{m_i}$$

Avec p_i , la probabilité de décéder dans un accident de la route pour un usager i sachant les différents facteurs d'exposition X_{m_i} et β_m les effets fixes associés à ces facteurs dont l'exponentielle permet d'obtenir un risque relatif.

Afin d'éviter une surestimation des erreurs d'estimation inhérentes à cette approche, une variance robuste des risques relatifs est nécessaire et obtenue par estimation sandwich :

$$\text{vâr}(\hat{RR}) = \frac{1}{a} - \frac{1}{n_1} + \frac{1}{c} - \frac{1}{n_0}$$

Collisions

Trois analyses différentes sont réalisées pour étudier les risques d'insécurité secondaire chez les usagers impliqués dans une collision.

Les sujets accidentés et décédés sont, tout d'abord, comparés aux accidentés non décédés en considérant l'appariement des données par l'intermédiaire des techniques de modélisation pour cohorte appariée^{204 205}. Les risques relatifs pour les conducteurs-véhicules impliqués dans le même accident sont estimés en utilisant une régression de poisson conditionnelle⁽²⁰⁹⁾: une vraisemblance binomiale est obtenue grâce à ce modèle en conditionnant la vraisemblance standard de Poisson sur le nombre d'accidentés dans chaque paire d'appariement, c'est-à-dire dans chaque accident.

Un modèle de Poisson hiérarchique est ensuite utilisé pour analyser ces mêmes collisions sans considérer l'appariement des données. La structure hiérarchique de type accident-conducteur permet de tenir compte des dépendances entre conducteurs impliqués dans le même accident (annexe 2 et^{195 210}). Le modèle s'écrit :

$$\text{Logit}(p_{ij}) = \beta_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m X_{m_{ij}} + \sum_{n=1}^N \beta_n X_{n_j} + U_j$$

Avec p_{ij} , la probabilité de décéder dans un accident de la route j pour un usager i sachant les différents facteurs d'exposition, $X_{m_{ij}}, X_{n_j}$ respectivement associés aux caractéristiques du conducteur-véhicule et de l'accident et β_m, β_n les effets fixes associés à ces facteurs. U_j sont les effets aléatoires rattachés au niveau hiérarchique accident et s'appliquant à β_0 , l'ordonnée à l'origine du modèle.

Enfin lorsque l'information relative aux sujets impliqués dans une collision est « agrégée » au niveau accident, les risques d'insécurité secondaire sont calculés en utilisant le modèle de Poisson avec variance robuste, décrit dans le paragraphe précédent.

Tests et sélection des facteurs de risque

Afin d'évaluer l'effet de l'introduction des différentes variables entre elles, les tableaux présentent les risques relatifs bruts et les risques relatifs ajustés. Chaque risque relatif est accompagné de son intervalle de confiance à 95%. L'effet global de chaque variable est évalué en utilisant le test du rapport de vraisemblance ou le test multidimensionnel de Wald²¹¹ dans le cas des estimations avec variance robuste. Afin de pouvoir comparer plus aisément les différents résultats obtenus dans chaque modèle, les facteurs non significatifs sont maintenus dans les modèles ajustés. Toutefois, la confusion engendrée par leur maintien dans le modèle final est négligeable : aucun facteur associé à la maladie ne varie de plus de 10% lorsque ces facteurs sont supprimés.

4.3. RÉSULTATS

4.3.1. Analyse descriptive

Entre 1996 et 2005, les forces de l'ordre ont enregistré 473 082 voitures impliquées dans des collisions entre deux voitures et deux seulement dont 284 146 ne comportent aucune donnée manquante parmi les variables sélectionnées pour l'analyse. Le VIN, qui permet de connaître la masse et la puissance des véhicules, est indiqué pour les deux véhicules impliqués pour 144 034 voitures. Par ailleurs, 164 435 voitures accidentées seules ont été répertoriées. 101 323 ont toutes les variables renseignées. La masse et la puissance sont connues pour 63 621 de ces voitures.

Pour les deux types d'accidents, les distributions observées de l'ensemble des facteurs étudiés, selon qu'on considère les données avec ou sans indication de VIN, sont extrêmement proches (tableau 35). Pour la suite des analyses, seuls les sous-groupes de sujets pour lesquels l'ensemble de l'information nécessaire est disponible, sont étudiés.

Les caractéristiques des véhicules impliqués dans les deux types d'accidents sont distribuées de façon très proche. Les zones d'impact sont différentes, avec cependant une très grande majorité de chocs avant dans les deux cas. Les caractéristiques des conducteurs sont en revanche différentes : les conducteurs seuls impliqués dans leur accident sont plus souvent des hommes, plus souvent jeunes et portent moins souvent la ceinture. La proportion de conducteurs tués est nettement plus élevée. L'exclusion volontaire des accidents à un véhicule dans lesquels aucun conducteur n'est blessé est la raison de la présence de conducteurs indemnes, seulement dans le cas des collisions.

Tableau 35 : Pourcentages des différentes caractéristiques relatives au conducteur et au véhicule selon le type d'accident et la disponibilité du code VIN- données nationales police, France 1996-2005

			Collisions		Véhicule seul		
			Connaissance des caractéristiques « conducteur » N=284 146	Connaissance des caractéristiques « conducteur- véhicule » [†] N=144 304	Connaissance des caractéristiques « conducteur » N=97 342	Connaissance des caractéristiques « conducteur- véhicule » [†] N=63 621	
Accident	Année de l'accident	2004-2005	13,9	14,1	13,9	13,7	
		2002-2003	17,8	14,2	17,8	15,4	
		2000-2001	21,7	21,0	21,7	21,6	
		1998-1999	23,1	24,2	23,1	23,8	
		1996-1997	23,5	26,6	23,5	25,5	
	Obstacle heurté	Arbres				17,9	17,7
		Mur. pont				12,9	13,0
		Poteaux				9,8	9,9
		Véhicule statique				3,8	3,9
		Glissière de sécurité.				14,8	14,4
		Fossé, talus				23,5	23,8
	Autre obstacle ou aucun identifié				17,3	17,2	
Véhicule	Année de mise en circulation	2003-2005	2,1	2,0	2,1	1,8	
		2000-2002	7,6	7,2	8,2	7,7	
		1997-1999	13,9	12,7	13,4	12,2	
		1994-1996	21,2	22,3	18,6	19,8	
		1991-1993	19,1	20,4	18,3	19,8	
		1990 et avant	36,1	35,2	39,4	38,7	
	Masse(Kg)	Plus de 1150		20,7		17,0	
		[950-1150[		29,3		30,3
		[850-950[		22,4		25,2
		[0-850[		27,6		27,4
	Puissance(KWT)	65 et plus		28,0		29,7	
		[55-65[		22,9		22,7
		[45-55[		26,4		25,3
		[0-45[		22,7		22,3
	Zone d'impact	Arrière	12,0	11,8	2,6	2,5	
		Droit	5,2	5,1	5,4	5,3	
		Gauche	7,8	7,8	6,3	6,3	
Avant		75,0	75,3	85,8	85,9		
Conducteur	Sexe	Femme	34,3	35,8	28,6	29,7	
		Homme	65,7	64,2	71,4	70,3	
	Age	65 et plus	9,6	9,6	6,8	6,8	
		[45-65[	24,1	23,7	15,9	15,7
		[25-45[	44,4	44,0	43,0	42,4
		[18-25[	21,9	22,6	34,3	35,1
	Port de la ceinture	Ceinturé	95,6	95,8	84,6	84,9	
		Non ceinturé	4,4	4,2	15,4	15,1	
	Gravité	Indemne	33,1	32,5			
		Tué	2,3	2,2	9,6	9,5	
Blessé		64,6	65,2	90,4	90,5		

†connaissance du code VIN

4.3.2. Collisions

4.3.2.1. Analyse appariée

Le tableau 36 présente les risques relatifs bruts et ajustés d'être tué dans une collision, après prise en compte de la structure d'appariement.

Comparé aux véhicules les plus anciens, le risque d'être tué est d'autant plus faible que le véhicule est plus récent. L'introduction de la masse du véhicule diminue cet effet protecteur, mais il reste significatif et le gradient est conservé.

L'effet de la masse est également majeur. Ainsi, une fois ajusté sur l'ancienneté de conception du véhicule et les caractéristiques de l'accident et des conducteurs, le risque d'être tué dans un véhicule de moins de 850 kg est 9 fois plus élevé que celui des conducteurs de véhicules de plus de 1150 kg, les plus lourds.

La puissance du véhicule, qui est très corrélée à sa masse, n'est plus significative quand la masse du véhicule est prise en compte.

Concernant les caractéristiques du conducteur, les femmes sont plus souvent tuées que les hommes. Les conducteurs les plus âgés ont également un risque d'être tués plus important que les jeunes conducteurs. Le risque augmente avec l'âge des conducteurs puisque les sujets de 45 à 65 ans ont un sur-risque d'être tués important ($RR=2,00$) mais trois fois moins important que celui des usagers les plus âgés ($RR=5,70$). En revanche ceux âgés de 25 à 45 ans semblent présenter un risque d'insécurité secondaire inférieur à celui des usagers plus jeunes. Cet effet protecteur disparaît cependant lorsque les différents facteurs d'ajustement sont pris en compte.

Le risque d'être tué est le plus élevé quand le choc principal se produit latéralement, sur le côté gauche du conducteur. Il est plus élevé pour le conducteur percuté à l'arrière, par rapport à ceux dont le véhicule est heurté par l'avant. L'effet protecteur de la ceinture est confirmé.

4.3.2.2. Analyse non appariée

Les mêmes collisions sont analysées sans prendre en compte la structure d'appariement des données. Les dépendances entre les sujets impliqués dans les mêmes collisions sont désormais prises en compte en modélisant la structure hiérarchique des données (tableau 37). La variance des effets aléatoires indiquée uniquement pour le modèle ajusté sur la dernière ligne du tableau 37 est significative, tout comme celles estimées dans les différents modèles univariés. Ceci confirme la nécessité d'appréhender la structure « accident-usager ».

L'effet protecteur des véhicules les plus récents est plus faible que dans l'analyse précédente, mais toujours significatif.

Tableau 36 : Collisions entre deux voitures particulières - Risque Relatif d'être tué pour un conducteur. Prise en compte de l'appariement par régression de Poisson conditionnelle

		RR [†] brut	IC 95%	p	RR ajusté	IC 95%	p
Année de mise en circulation	2003-2005	0,15	(0,10-0,25)	<0,0001	0,42	(0,22-0,78)	<0,01
	2000-2002	0,21	(0,16-0,27)	<0,0001	0,35	(0,25-0,49)	<0,0001
	1997-1999	0,35	(0,29-0,41)	<0,0001	0,50	(0,38-0,65)	<0,0001
	1994-1996	0,47	(0,40-0,54)	<0,0001	0,60	(0,49-0,73)	<0,0001
	1991-1993	0,68	(0,59-0,78)	<0,0001	0,78	(0,64-0,96)	<0,05
	Avant 1991	1			1		
Masse(Kg)	Plus de 1150	0,08	(0,07-0,10)	<0,0001	0,11	(0,08-0,16)	<0,0001
	[950-1150[	0,27	(0,23-0,32)	<0,0001	0,37	(0,28-0,48)	<0,0001
	[850-950[	0,42	(0,35-0,50)	<0,0001	0,50	(0,39-0,65)	<0,0001
	[0-850[	1			1		
Puissance(KWT)	Plus de 66	0,21	(0,18-0,25)	<0,0001	0,83	(0,62-1,11)	NS
	[53-66[	0,34	(0,29-0,41)	<0,0001	0,83	(0,63-1,10)	NS
	[45-53[	0,55	(0,47-0,64)	<0,0001	1,06	(0,83-1,36)	NS
	[0-45[	1			1		
Zone d'impact	Arrière	2,06	(1,50-2,83)	<0,0001	1,85	(1,21-2,82)	<0,01
	Droit	7,71	(5,93-10,0)	<0,0001	9,03	(6,57-12,4)	<0,0001
	Gauche	13,4	(9,87-18,3)	<0,0001	10,4	(7,21-15,0)	<0,0001
	Avant	1			1		
Sexe	Femme	1,30	(1,16-1,46)	<0,0001	1,25	(1,06-1,48)	<0,01
	Homme	1			1		
Age	65 et plus	4,03	(3,30-4,92)	<0,0001	5,70	(4,31-7,53)	<0,0001
	[45-65[	0,94	(0,80-1,09)	NS	2,03	(1,63-2,52)	<0,0001
	[25-45[	0,71	(0,62-0,81)	<0,0001	1,09	(0,91-1,32)	NS
	[18-25[	1			1		
Port de la ceinture	Non ceinturé	5,72	(4,60-7,10)	<0,0001	6,27	(4,75-8,26)	<0,0001
	Ceinturé	1			1		

[†]RR: risque relatif

Le risque relatif d'être tué est significativement moins élevé pour les conducteurs accidentés à bord de véhicules de masse élevée, mais plus important quand les véhicules antagonistes sont plus lourds. L'effet-dose est double : plus le poids d'un véhicule est élevé, plus son conducteur est protégé, mais plus ce véhicule est dangereux pour le conducteur antagoniste.

Les risques associés à la puissance d'un véhicule et à celle du véhicule antagoniste ne sont plus significatifs quand la masse est prise en compte dans le modèle.

Comparé aux chocs frontaux contre l'arrière d'un véhicule, le risque d'être tué est particulièrement élevé en choc latéral. Il est important mais moins élevé en choc frontal surtout pour les chocs fronto-frontaux. Être heurté par l'arrière augmente également le risque de décéder.

Les femmes ont un sous-risque de décéder dans une collision. Cependant, contrairement à l'analyse précédente, le sexe du conducteur n'a plus d'effet significatif lorsque les risques sont ajustés. Le risque d'être tué est moins élevé quand les véhicules antagonistes sont conduits par des femmes.

Sans ajustement, les usagers de plus de 65 ans ont un risque d'être tué supérieur à celui des plus jeunes. En revanche, être âgé de 25 à 45 ans semble protecteur. La prise en compte des autres caractéristiques des conducteurs, de celles des véhicules et de l'environnement de déplacement ne modifie pas cet effet protecteur. Les usagers de plus de 45 ans sont plus à risque de décéder et cet effet est encore plus important pour les conducteurs âgés de 65 ans et plus. Le risque d'être tué diminue avec l'âge des conducteurs antagonistes.

Le port de la ceinture est toujours aussi protecteur.

La prise en compte de la structure hiérarchique des données permet l'interprétation des facteurs en lien avec les caractéristiques environnementales. Dans le cas contraire, ces facteurs sont plus délicats à interpréter car l'information est répétée deux fois pour chaque accident ce qui peut biaiser les intervalles de confiance.

Comme attendu, le risque que l'accident soit mortel est le plus élevé hors agglomération, et particulièrement sur route nationale et départementale. L'augmentation de la gravité des collisions dans les dernières années est plus surprenante.

**Tableau 37 Collisions entre deux voitures particulières - Risque Relatif d'être tué pour un conducteur.
Modèle de Poisson avec structure hiérarchique accident-conducteur**

		RR brut	IC 95%	p	RR ajusté*	IC 95%	p
Année de mise en circulation	2003-2005	0,46	(0,33-0,65)	<0,0001	0,57	(0,40-0,81)	<0,0001
	2000-2002	0,54	(0,46-0,65)	<0,0001	0,62	(0,52-0,75)	<0,0001
	1997-1999	0,70	(0,62-0,79)	<0,0001	0,79	(0,70-0,91)	<0,0001
	1994-1996	0,79	(0,72-0,87)	<0,0001	0,86	(0,78-0,95)	<0,0001
	1991-1993	0,89	(0,81-0,97)	<0,0001	0,95	(0,86-1,04)	NS
	Avant 1991	1			1		
Masse (Kg)	Plus de 1150	0,43	(0,38-0,48)	<0,0001	0,48	(0,41-0,57)	<0,0001
	[950-1150[	0,78	(0,71-0,84)	<0,0001	0,81	(0,72-0,91)	<0,0001
	[850-950[	0,80	(0,73-0,87)	<0,0001	0,82	(0,74-0,92)	<0,0001
	[0-850[	1			1		
Puissance (KWT)	Plus de 66	0,60	(0,55-0,67)	<0,0001	0,99	(0,86-1,14)	NS
	[53-66[	0,69	(0,62-0,76)	<0,0001	0,99	(0,87-1,12)	NS
	[45-53[	0,81	(0,74-0,89)	<0,0001	1,05	(0,94-1,17)	NS
	[0-45[	1			1		
Masse (Kg) de l'antagoniste	Plus de 1150	4,42	(3,94-4,97)	<0,0001	3,35	(2,84-3,95)	<0,0001
	[950-1150[	2,63	(2,33-2,96)	<0,0001	2,11	(1,82-2,46)	<0,0001
	[850-950[	1,82	(1,60-2,08)	<0,0001	1,63	(1,41-1,90)	<0,0001
	[0-850[	1			1		
Puissance (KWT) de l'antagoniste	Plus de 66	2,61	(2,33-2,91)	<0,0001	0,94	(0,80-1,10)	NS
	[53-66[	1,88	(1,67-2,12)	<0,0001	0,93	(0,80-1,08)	NS
	[45-53[	1,45	(1,28-1,64)	<0,0001	0,90	(0,78-1,04)	NS
	[0-45[	1			1		
Sexe	Femme	0,79	(0,74-0,85)	<0,0001	0,96	(0,89-1,04)	NS
	Homme	1			1		
Age	65 et plus	2,69	(2,43-2,98)	<0,0001	2,38	(2,13-2,65)	<0,0001
	[45-65[	0,99	(0,89-1,10)	NS	1,14	(1,03-1,28)	<0,05
	[25-45[	0,79	(0,71-0,87)	<0,0001	0,88	(0,80-0,98)	<0,05
	[18-25[	1			1		
Port de la ceinture	Non ceinturé	5,09	(4,65-5,57)	<0,0001	4,51	(4,10-4,97)	<0,0001
	Ceinturé	1			1		
Sexe du conducteur antagoniste	Femme	0,61	(0,57-0,66)	<0,0001	0,86	(0,79-0,93)	<0,0001
	Homme	1			1		
Age du conducteur antagoniste	65 et plus	0,72	(0,62-0,84)	<0,0001	0,60	(0,51-0,70)	<0,0001
	[45-65[	1,08	(0,98-1,20)	NS	0,77	(0,69-0,86)	<0,0001
	[25-45[	1,10	(1,00-1,21)	<0,05	0,87	(0,79-0,95)	<0,0001
	[18-25[	1			1		

Tableau 37 suite Collisions entre deux voitures particulières - Risque Relatif d'être tué pour un conducteur. Modèle de Poisson avec structure hiérarchique accident-conducteur

		RR brut	IC 95%	p	RR ajusté*	IC 95%	p
Zone d'impact	Fronto-frontal	7,13	(5,49-9,26)	<0,0001	5,61	(4,30-7,30)	<0,0001
	Fronto-latéral	1,71	(1,24-2,37)	<0,001	1,63	(1,18-2,26)	<0,0001
	Arrière	2,04	(1,50-2,80)	<0,0001	2,05	(1,50-2,81)	<0,0001
	Droit	18,8	(14,3-24,7)	<0,0001	11,8	(8,98-15,6)	<0,0001
	Gauche	14,4	(11,0-18,9)	<0,0001	10,2	(7,74-13,4)	<0,0001
	Frontal-arrière	1			1		
Route	Autoroute	4,93	(3,84-6,32)	<0,0001	6,31	(4,89-8,13)	<0,0001
	Nationale hors agglo	19,4	(16,3-23,2)	<0,0001	15,7	(13,1-18,8)	<0,0001
	Départem. hors agglo	15,7	(13,3-18,6)	<0,0001	10,9	(9,14-12,9)	<0,0001
	Autr type de voirie hors agglo	8,64	(6,84-10,9)	<0,0001	5,10	(4,03-6,45)	<0,0001
	Nationale en agglo	3,06	(2,36-3,97)	<0,0001	3,48	(2,68-4,51)	<0,0001
	Départem. en agglo	3,19	(2,57-3,97)	<0,0001	2,90	(2,34-3,61)	<0,0001
	Autr type de voirie en agglo	1			1		
Année de l'accident	2004-2005	0,99	(0,88-1,11)	NS	1,36	(1,20-1,55)	<0,0001
	2002-2003	1,00	(0,89-1,12)	NS	1,29	(1,14-1,45)	<0,0001
	2000-2001	1,01	(0,91-1,12)	NS	1,16	(1,04-1,28)	<0,05
	1998-1999	0,98	(0,89-1,08)	NS	1,06	(0,96-1,17)	NS
	1996-1997	1			1		
Variance niveau accident (distribution Normale)					σ^2		
					0,46	(0,32-0,66)	<0,01

* également ajusté sur la luminosité (nuit avec ou sans éclairage, aube, jour) et les conditions météorologiques (pluie, vent, brouillard, beau temps)

4.3.2.3. Approche globale

Le tableau 38 présente les risques d'observer au moins un tué dans les collisions, évaluant ainsi la gravité globale de l'accident.

Le fait que les véhicules impliqués dans le même accident soient d'années de mises en circulation différentes n'a pas d'effet significatif sur la gravité globale de l'accident.

La gravité des collisions a tendance à augmenter avec la somme des masses des véhicules impliqués ainsi qu'avec leur différence.

Les risques bruts de la somme et de la différence des puissances des véhicules sont associés au niveau de gravité des accidents. Ces risques ne sont plus significatifs après ajustement sur les autres facteurs usager-véhicule-environnement.

La gravité des collisions est moindre lorsque les deux conducteurs impliqués sont des femmes. A l'inverse, les accidents avec deux hommes sont plus graves. Ce risque demeure significatif après ajustement.

La gravité des accidents est également plus élevée dès qu'un des conducteurs accidentés est âgé de 65 ans. Le risque que l'accident soit mortel est cependant le plus élevé lorsqu'un sujet de 18-25 ans et un autre de 45-65 ans sont impliqués dans la même collision.

La présence d'un non ceinturé augmente le risque qu'il y ait au moins un tué dans l'accident.

La probabilité que l'accident soit mortel est la moins élevée pour les accidents avec choc arrière, et la plus forte dans les accidents où les conducteurs heurtent avec l'avant de leur véhicule le côté de l'autre véhicule impliqué.

Comme l'avait montré l'analyse précédente, les déplacements en zone hors urbaine sont propices aux accidents mortels.

Tableau 38 : Collisions entre deux voitures particulières - Risque Relatif qu'un conducteur soit tué dans l'accident. Modèle de Poisson avec estimation robuste de la variance

		RR brut	IC 95%	p	RR ajusté*	IC 95%	p
Ancienneté des mises en circulation des 2 véhicules	Les deux >=2000	1,07	(0,97-1,18)	NS	0,87	(0,68-1,11)	NS
	Les deux <2000	1,01	(0,92-1,12)	NS	0,98	(0,88-1,10)	NS
	Un avant 2000. l'autre non	1			1		
Somme des masses (Kg)	[2200 et plus [	1,62	(1,47-1,80)	<0,0001	1,28	(1,10-1,48)	<0,001
	[1955-2200[	1,44	(1,30-1,59)	<0,0001	1,20	(1,06-1,36)	<0,001
	[1775-1955[	1,20	(1,07-1,34)	0,001	1,12	(1,00-1,26)	<0,05
	[0-1775[	1			1		
Différence des masses (Kg)	Plus de 340	1,43	(1,29-1,57)	<0,0001	1,16	(1,03-1,30)	<0,05
	[185-340[	1,12	(1,01-1,24)	<0,05	0,99	(0,89-1,10)	NS
	[85-185[	1	(0,90-1,11)	NS	0,95	(0,86-1,06)	NS
	[0-85[	1			1		
Somme des puissances (KWT)	125 et plus	1,27	(1,15-1,39)	<0,0001	0,94	(0,82-1,07)	NS
	[110-125[	1,16	(1,04-1,29)	<0,01	0,92	(0,81-1,05)	NS
	[95-110[	1,04	(0,94-1,15)	NS	0,94	(0,84-1,05)	NS
	[0-95[	1			1		
Différence des puissances (KWT)	25 et plus	1,26	(1,15-1,39)	<0,0001	1,10	(0,98-1,24)	NS
	[15-25[	1,14	(1,03-1,26)	0,01	1,06	(0,95-1,18)	NS
	[5-15[	1,02	(0,92-1,13)	NS	1,00	(0,90-1,10)	NS
	[0-6[	1			1		
Sexe des deux conducteurs	Homme-Homme	1,44	(1,34-1,55)	<0,0001	1,12	(1,04-1,20)	<0,001
	Femme-Femme	0,74	(0,64-0,84)	<0,0001	0,92	(0,81-1,05)	NS
	Homme-Femme	1			1		
Age des deux conducteurs	65-65	2,18	(1,63-2,92)	<0,0001	1,53	(1,15-2,04)	<0,001
	45-65	1,96	(1,59-2,41)	<0,0001	1,43	(1,17-1,75)	<0,001
	25-65	1,22	(0,97-1,52)	NS	1,00	(0,80-1,24)	NS
	18-65	1,86	(1,53-2,26)	<0,0001	1,44	(1,19-1,74)	<0,0001
	45-45	1,02	(0,85-1,23)	NS	0,87	(0,73-1,04)	NS
	25-45	0,95	(0,79-1,15)	NS	0,84	(0,70-1,01)	NS
	18-45	2,04	(1,64-2,53)	<0,0001	1,59	(1,29-1,96)	<0,0001
	25-25	1,07	(0,88-1,32)	NS	0,96	(0,79-1,16)	NS
	18-25	1,04	(0,86-1,26)	NS	0,94	(0,78-1,12)	NS
	18-18	1			1		
Présence d'un non ceinturé	Oui	3,25	(2,99-3,53)	<0,0001	3,34	(3,08-3,62)	<0,0001
	Non	1			1		

Tableau 38 suite : Collisions entre deux voitures particulières - Risque Relatif qu'un conducteur soit tué dans l'accident. Modèle de Poisson avec estimation robuste de la variance

		RR brut	IC 95%	p	RR ajusté*	IC 95%	p
Type de choc	Fronto-frontal	4,47	(3,82-5,24)	<0,0001	3,42	(2,91-4,01)	<0,0001
	Fronto-latéral	6,46	(5,50-7,59)	<0,0001	4,79	(4,07-5,64)	<0,0001
	Autre choc	2,37	(1,56-3,59)	<0,0001	1,74	(1,15-2,63)	<0,001
	Frontal-arrière	1			1		
Route	Autoroute	5,28	(4,05-6,89)	<0,0001	6,89	(5,31-8,94)	<0,0001
	Route nationale hors agglo	21,17	(17,5-25,6)	<0,0001	15,9	(13,2-19,3)	<0,0001
	Route départem hors agglo	17,49	(14,5-21,0)	<0,0001	12,2	(10,2-14,7)	<0,0001
	Atr typ de voirie hors agglo	4,25	(2,97-6,08)	<0,0001	3,30	(2,32-4,70)	<0,0001
	Route nationale en agglo	3,48	(2,67-4,53)	<0,0001	3,67	(2,82-4,77)	<0,0001
	Route départem en agglo	3,71	(2,96-4,66)	<0,0001	3,26	(2,60-4,08)	<0,0001
	Autre type de voirie en agglo	1			1		
Période de l'accident	2004-2005	1,00	(0,89-1,12)	NS	1,22	(1,07-1,38)	<0,001
	2002-2003	0,99	(0,89-1,12)	NS	1,18	(1,05-1,33)	<0,001
	2000-2001	1,01	(0,92-1,12)	NS	1,11	(1,00-1,23)	<0,05
	1998-1999	0,98	(0,86-1,08)	NS	1,05	(0,95-1,15)	NS
	1996-1997	1			1		

* également ajusté sur la luminosité (nuit avec ou sans éclairage, aube, jour) et les conditions météorologiques (pluie, vent, brouillard, beau temps)

4.3.3. Accidents à un véhicule

Le tableau 39 porte sur les accidents n'impliquant qu'une seule voiture.

Le risque d'être tué dans un accident à un véhicule n'apparaît pas dépendre de l'année de mise en circulation des véhicules.

Si le risque brut d'être tué semble augmenter avec le poids du véhicule, la masse n'a plus d'effet significatif après ajustement sur la puissance. Le risque d'être tué, brut comme ajusté, dépend de la puissance du véhicule accidenté : les véhicules les plus puissants sont ceux dans lesquels le conducteur est le plus souvent tué.

Le risque d'être tué est nettement plus faible pour les femmes. Il est d'autant plus élevé que le conducteur est âgé. Les conducteurs âgés de 18 à 45 ans ne se différencient cependant pas de ceux plus jeunes.

L'effet de la ceinture est protecteur.

En prenant le choc frontal comme référence, les chocs latéraux sont les plus graves et particulièrement côté conducteur. A l'inverse, les chocs par l'arrière des véhicules semblent être les moins graves.

Le risque d'être tué est plus élevé hors agglomération, mais avec des valeurs moindres que pour les collisions.

Le risque de décéder augmente lorsque les véhicules heurtent des structures dures telles qu'un arbre, un mur ou un pont, ou un poteau. A l'inverse, les chocs contre des structures plus « absorbantes » comme un véhicule immobile ou une glissière de sécurité provoquent moins souvent de lésions mortelles.

Enfin, comme pour les collisions, la gravité a tendance à augmenter dans le temps.

Tableau 39 : Accidents avec un seul véhicule particulier impliqué. Risque Relatif d'être tué pour le conducteur. Modèle de Poisson avec estimation robuste de la variance

		RR brut	IC 95%	p	RR ajusté*	IC 95%	p
Année de mise en circulation	2003-2005	1.09	(0.92-1.30)	NS	1.11	(0.93-1.32)	NS
	2000-2002	1.11	(1.01-1.21)	<0.05	1.10	(1.00-1.21)	NS
	1997-1999	0.96	(0.89-1.05)	NS	1.03	(0.95-1.12)	NS
	1994-1996	0.99	(0.93-1.06)	NS	1.03	(0.97-1.10)	NS
	1991-1993	1.01	(0.94-1.08)	NS	1.04	(0.97-1.10)	NS
	Avant 1991	1			1		
Masse(Kg)	plus de 1150	1.44	(1.34-1.55)	<0.0001	0.99	(0.90-1.09)	NS
	[950-1150[	1.28	(1.20-1.36)	<0.0001	1.00	(0.92-1.09)	NS
	[850-950[	1.18	(1.10-1.27)	<0.0001	1.03	(0.95-1.11)	NS
	[0-850[	1			1		
Puissance(KWT)	Plus de 66	1.46	(1.36-1.56)	<0.0001	1.23	(1.12-1.34)	<0.0001
	[53-66[	1.24	(1.15-1.34)	<0.0001	1.12	(1.03-1.22)	<0.05
	[45-53[	1.13	(1.05-1.22)	<0.01	1.09	(1.00-1.18)	<0.05
	[0-45[	1			1		
Sexe	Femme	0.54	(0.51-0.58)	<0.0001	0.71	(0.66-0.75)	<0.0001
	Homme	1			1		
Age	65 et plus	1.73	(1.59-1.88)	<0.0001	2.27	(2.09-2.47)	<0.0001
	[45-65[	1.36	(1.27-1.46)	<0.0001	1.50	(1.40-1.60)	<0.0001
	[25-45[	1.04	(0.98-1.10)	NS	1.05	(1.00-1.11)	NS
	[18-25[	1			1		
Port de la ceinture	Non ceinturé	3.77	(3.6-3.95)	<0.0001	3.57	(3.41-3.75)	<0.0001
	Ceinturé	1			1		
Zone d'impact	Arrière	0.87	(0.73-1.04)	NS	0.83	(0.70-0.98)	<0.05
	Droit	2.03	(1.87-2.20)	<0.0001	1.57	(1.45-1.69)	<0.0001
	Gauche	2.75	(2.58-2.93)	<0.0001	2.36	(2.22-2.52)	<0.0001
	Avant	1			1		
Type d'obstacle	Arbres	2.41	(2.26-2.57)	<0.0001	2.24	(2.10-2.38)	<0.0001
	Mur. pont	1.36	(1.25-1.47)	<0.0001	1.65	(1.52-1.79)	<0.0001
	Poteaux	1.23	(1.12-1.34)	<0.0001	1.48	(1.35-1.62)	<0.0001
	Véhicule statique	0.39	(0.32-0.49)	<0.0001	0.74	(0.59-0.93)	<0.01
	Glissière	0.47	(0.42-0.53)	<0.0001	0.77	(0.68-0.87)	<0.0001
	Autre obstacle	0.70	(0.64-0.77)	<0.0001	0.93	(0.85-1.02)	NS
	Fossé. talus	1			1		

Tableau 39 suite : Accidents avec un seul véhicule particulier impliqué. Risque Relatif d'être tué pour le conducteur. Modèle de Poisson avec estimation robuste de la variance

		RR brut	IC 95%	p	RR ajusté*	IC 95%	p
Route	Autoroute	0.99	(0.86-1.15)	NS	1.59	(1.36-1.86)	<0.0001
	Route nationale hors aggro	3.04	(2.70-3.41)	<0.0001	2.82	(2.49-3.19)	<0.0001
	Route départem hors aggro	3.51	(3.16-3.90)	<0.0001	2.60	(2.32-2.91)	<0.0001
	Atr typ de voirie hors aggro	2.92	(2.51-3.40)	<0.0001	2.06	(1.76-2.40)	<0.0001
	Route nationale en aggro	1.8	(1.53-2.13)	<0.0001	1.77	(1.51-2.08)	<0.0001
	Route départem en aggro	2.24	(1.98-2.54)	<0.0001	1.81	(1.60-2.04)	<0.0001
	Atr typ de voirie en aggro	1			1		
Période de l'accident	2004-2005	1.22	(1.12-1.31)	<0.0001	1.32	(1.22-1.44)	<0.0001
	2002-2003	1.08	(1.00-1.16)	NS	1.15	(1.07-1.25)	<0.0001
	2000-2001	1.06	(0.98-1.14)	NS	1.10	(1.03-1.18)	<0.01
	1998-1999	1.06	(0.99-1.13)	NS	1.08	(1.01-1.15)	<0.05
	1996-1997	1			1		

* également ajusté sur la luminosité (nuit avec ou sans éclairage, aube, jour) et les conditions météorologiques (pluie, vent, brouillard, beau temps)

4.4. Discussion

Ce chapitre présente une approche comparative permettant d'étudier l'impact de certaines caractéristiques conducteur et véhicule, formant l'intensité d'exposition, sur le risque de décéder dans un accident de la circulation, et ce, en ayant isolé l'impact de la fragilité des usagers et de la protection offerte par leurs véhicules. Ces considérations en matière de sécurité routière primaire sont obtenues sur la base de données de sécurité secondaire et au sein d'une étude statistique estimant des risques relatifs d'insécurité secondaire.

4.4.1. Résumé des résultats

Les principales conclusions qu'il est possible de déduire de la comparaison des risques estimés sur la base des accidents à un véhicule et de ceux estimés sur les collisions sont résumées séparément selon qu'elles se rapportent à l'utilisateur, son véhicule ou l'environnement de déplacement.

L'analyse appariée réalisée sur les données relatives aux collisions permet d'estimer les risques relatifs d'insécurité routière secondaire en contrôlant la plupart des conditions de choc (par l'appariement) résultant des comportements de déplacements et l'environnement de déplacement. L'analyse réalisée sur les accidents à un véhicule, au contraire, ne permet pas de contrôler cette dimension, de sorte que les risques relatifs de sécurité secondaire estimés sont

influencés par les dimensions « fragilité des usagers », « protection offerte par le véhicule » et « comportements de déplacement ». Nous faisons l'hypothèse que ces deux premières dimensions ne sont pas influencées par le type d'accident dans lequel l'utilisateur est impliqué. Toute différence entre le rôle d'un facteur de risque estimé sur la base des collisions et le rôle de ce même facteur estimé sur la base des accidents à un véhicule est interprétée comme un effet de l'intensité d'exposition au risque routier, c'est-à-dire des comportements de déplacement. Deux autres analyses sur les données de collisions, celle conduite sans prendre en compte l'appariement naturel des deux conducteurs impliqués dans le même véhicule et celle réalisée en considérant comme unité statistique l'accident, viennent en appui de cette comparaison pour discuter nos résultats.

4.4.1.1. Caractéristiques des usagers

En collision, la conductrice apparaît moins capable de survivre quand on la compare au conducteur. Lorsque l'antagoniste est une femme, un sujet accidenté a moins de risque de décéder que s'il est percuté par un homme. Lorsque la femme est le seul conducteur impliqué dans son accident, la gravité de l'accident est moindre. Cette différence ne peut pas être expliquée par le fait que, en moyenne, les femmes utilisent plus souvent des petits véhicules et plutôt pour des déplacements urbains, puisque ces effets sont pris en compte dans l'analyse. Il semblerait donc que les conductrices aient des accidents où leur seul véhicule est impliqué à moindre vitesse, puisqu'elles sont moins souvent tuées dans ces conditions, alors que leur capacité à supporter la violence de choc est moindre.

Contrairement aux femmes, les hommes semblent avoir des comportements de conduite plus propices à la survenue d'accidents graves : ils ont un plus grand risque de décéder lorsqu'ils sont seuls impliqués et ils sont plus dangereux pour ceux impliqués dans les mêmes collisions qu'eux. Enfin, l'étude des paires de conducteurs impliqués dans le même accident montre que les collisions impliquant deux hommes sont les plus graves. L'effet protecteur qui leur est associé dans une collision provient de leur plus forte résistance corporelle.

Concernant l'âge des conducteurs, les plus âgés sont les plus fragiles : dans les collisions comme dans les accidents où ils sont les seuls impliqués, leur risque de décéder est plus important que celui des autres usagers. Le risque de décéder augmente dès 45 ans et s'accroît pour ceux de 65 ans et plus. Les 25-45 ans semblent constituer un groupe à part puisque soit ils ne se distinguent pas des plus jeunes, soit ils sont moins à risque et ce dans les deux types d'accidents. Les risques relatifs associés aux plus âgés sont cependant moins importants dans les accidents seuls que dans les collisions. En raison de leur fragilité, si le

conducteur de 65 ans et plus était accidenté seul dans les mêmes conditions que les plus jeunes, on devrait retrouver son risque d'être tué au moins au même niveau (5.7 dans l'analyse appariée). Le fait qu'il ne soit "que" de 2.27 est sans doute dû au fait que les accidents correspondants ont eu lieu dans des conditions moins sévères. Autrement dit, il est probable qu'ils ont eu lieu à plus basse vitesse de choc, cette circonstance favorable ne compensant cependant pas leur fragilité intrinsèque. Les comportements de déplacement des sujets âgés semblent en effet plus sûrs car ceux avec lesquels ils sont impliqués dans une collision ont moins de risque de décéder. La fragilité de ces sujets est cependant un élément majeur de leur insécurité routière puisque les collisions impliquant au moins un conducteur âgé sont généralement les plus graves.

Le port de ceinture est fortement protecteur quelle que soit la configuration de l'accident et en particulier quelle que soit la localisation du choc principal sur le véhicule.

4.4.1.2. Caractéristiques des véhicules

Le véhicule le plus récent protège mieux son conducteur lorsque ce dernier est impliqué dans une collision. Si on admet que la sécurité secondaire des voitures a été améliorée que le heurt se produise contre un obstacle quelconque ou contre un autre véhicule, cette meilleure protection devrait être également observée en cas d'accident n'impliquant qu'une seule voiture. Or le risque d'être tué en cas d'accident seul n'apparaît pas dépendre de l'âge de conception du véhicule. Il semblerait donc que le véhicule récent soit impliqué dans des accidents à un véhicule, à plus grande vitesse, ce qui annihile le meilleur effet protecteur qu'il offrirait à son conducteur.

En collision, le risque d'être tué est très supérieur pour le véhicule le plus léger. A l'inverse, le risque d'être tué est d'autant plus réduit que la masse du véhicule antagoniste est faible. De plus, le risque qu'il y ait un tué dans une collision est plus élevé quand la différence des masses impliquées est élevée. Ceci confirme et quantifie, à partir de la réalité des accidents, le problème de compatibilité entre les véhicules ²¹²⁻²¹⁴. Le risque qu'il y ait un tué dans une collision est également plus élevé quand la somme des masses impliquées est élevée. A cela, deux explications possibles. D'une part, l'énergie à dissiper dans la collision augmente "mécaniquement" avec les masses qui sont en jeu. D'autre part, les véhicules lourds (souvent également les plus puissants) ont des accidents à plus grande vitesse que les autres, ce qui n'est pas complètement pris en compte par les facteurs associés aux circonstances des accidents considérés dans les analyses. Dans l'analyse sur les accidents à un véhicule, l'effet du poids disparaît lorsque la puissance des véhicules est appréhendée. Poids et puissance vont

dans le même sens. Ils semblent indiquer l'existence de comportements de déplacement particuliers au volant de véhicules puissants et/ou lourds, comportements qui ont pour conséquence de générer des vitesses de déplacement et donc de choc élevées.

Les véhicules les plus puissants n'apparaissent pas offrir une protection différente des autres, une fois pris en compte leur poids et leur ancienneté. Pourtant, ils sont impliqués dans les accidents à un véhicule plus sévères. Il est probable que les véhicules les plus récents et/ou les plus puissants ont des accidents à vitesse plus élevée que les autres, avec des conséquences corporelles plus importantes, malgré la protection supérieure qu'ils offrent à leurs occupants.

Les voitures particulières récentes protègent mieux leurs conducteurs quand on les compare aux véhicules plus anciens. Dès lors, il est regrettable que, très probablement du fait de vitesses de choc plus élevées, ces progrès en sécurité secondaire ne se retrouvent pas quand ces véhicules sont accidentés seuls. D'autre part, le fait que ces véhicules récents sont également, en moyenne, plus lourds implique "mécaniquement" qu'ils sont plus agressifs envers les plus légers.

4.4.1.3. Caractéristiques de l'accident

La configuration d'accident la plus grave est le choc fronto-latéral, du fait du risque d'être tué plus élevé dans le véhicule percuté latéralement. Le moins grave est le choc frontal-arrière.

D'autre part, on observe que la gravité des atteintes aux conducteurs est plus élevée hors agglomération et particulièrement sur routes nationales et routes départementales. De plus, les sur-risques hors agglomération sont nettement plus élevés pour les collisions que pour les véhicules accidentés seuls. Là encore, ce différentiel peut être en partie expliqué par les vitesses de choc : les vitesses pratiquées hors agglomération sont plus élevées qu'en agglomération et les vitesses de choc le sont en conséquence également. Or, en cas de collision ceci est vrai pour les deux véhicules. L'augmentation résultante du différentiel de vitesses entre les deux véhicules entrant en collision est une explication possible du résultat observé.

Enfin, on observe que la gravité a tendance à être supérieure pour les accidents les plus récents. Sachant que les vitesses moyennes sur le réseau routier ont nettement diminué en France à partir de 2002-2003 et que le recensement des accidents mortels est considéré exhaustif, cette hausse apparente de gravité peut être due à une sous estimation plus importante des accidents corporels ces dernières années. Des éléments de réflexion sont donnés par ailleurs ¹ sur ce phénomène qui n'influence pas nos résultats puisque nous prenons en compte cet "effet cohorte" dans les analyses.

4.4.2. Portée des résultats

Si les véhicules les plus récents sont connus pour être plus sûrs ^{215 216}, cet effet reste peu documenté, tout comme celui lié à la puissance des véhicules.

Le poids des véhicules a fait l'objet de plus nombreuses recherches. Elles confirment la pertinence de nos résultats : pouvoir de protection des véhicules lourds pour leurs occupants et rôle néfaste pour les usagers des véhicules antagonistes ²¹⁷⁻²²². Si certains préconisent une augmentation du poids du parc automobile afin de réduire le risque d'atteinte corporelle en augmentant ainsi la protection des usagers, d'autres en revanche préconisent une réduction homogène du poids du parc pour améliorer la sécurité globale sur les routes ^{217 220 222-225}. Notre étude va plutôt dans le sens de cette seconde hypothèse puisque les collisions impliquant les véhicules les plus lourds s'avèrent être les plus graves. Elle indique également que le différentiel de poids entre les véhicules ne doit pas être trop important. Il semblerait donc que dans un souci de compatibilité entre les véhicules circulant, les poids des véhicules circulant doivent être homogènes et les plus faibles possibles. Si le développement de dispositifs de protection en faveur des véhicules les plus légers doit permettre de compenser les inégalités associées à la masse des véhicules, il n'en demeure pas moins que les usagers au volant d'engins lourds ont une responsabilité particulière. Des actions de prévention pour encourager les comportements de déplacement sûrs au volant de véhicules lourds s'avèrent nécessaires : le poids et la puissance des véhicules actuels sont de plus en plus importants du fait de l'augmentation du nombre de systèmes de protection et de confort à leur bord alors que des véhicules économiquement plus accessibles du fait de la réduction d'un certain nombre d'équipements, mais donc plus légers, sont commercialisés. Le comportement des usagers selon les types de véhicule est assez mal connu. Cependant, il ressort effectivement que les usagers de véhicules de sports, de véhicules quatre-roues motorisés ou de breaks surélevés, généralement des véhicules lourds (SUV : Sport Utility Vehicle) ont des comportements de déplacements à risque ²²⁶ du fait de leur âge, du type de voie emprunté et du degré d'urbanisation de leur environnement de déplacement. Si ces facteurs sont contrôlés dans notre analyse, la dimension comportement semble associée à certains types de véhicules. Ceci permet d'éclairer le rôle joué dans notre analyse par la puissance des véhicules dans les accidents seuls, où les véhicules les plus puissants, donc ceux aptes à rouler le plus vite, sont les plus dangereux.

Concernant les caractéristiques d'âge et de genre des conducteurs, nos résultats sont également cohérents avec ceux de la littérature. Les hommes se déplacent plus que les

femmes^{5 42 95}, ont plus de risques d'accidents^{42 70 178}, de risques d'accidents corporels^{95 138} et d'accidents mortels^{95 227 228}. Bien que les femmes soient plus fragiles notamment à égalité de choc^{5 138 223 229 230}, les hommes ont des risques d'être blessés plus importants lorsqu'ils sont accidentés^{138 227 231}. Ceci est dû à leurs comportements sur la route : leur prise de risque est plus importante⁶³, leur perception du risque plus faible²³² et ils sont parfois victimes d'une certaine pression sociale⁵. Par conséquent, les hommes ont plus souvent des antécédents d'accidents¹⁹¹, sont plus agressifs sur la route²³³, roulent plus souvent sous l'emprise d'alcool et/ou de drogues²³⁴⁻²³⁶, portent moins souvent la ceinture et surtout se déplacent plus vite^{5 138}.

Nos résultats sont également corroborés par ceux de la littérature pour ce qui concerne l'âge des usagers. La fragilité est positivement corrélée avec l'augmentation de l'âge des sujets ce qui explique les sur-risques estimés dans les collisions et dans les accidents seuls³¹. Si les plus jeunes ont des comportements de déplacement moins prudents que leurs aînés pour ce qui concerne les transgressions au code de la route et des limitations de vitesses, ces derniers sont moins agressifs sur la route mais ont des capacités cognitives et d'attention plus réduites^{237 238}. Ils sont ainsi limités dans la gestion des situations de déplacements plus complexes, c'est-à-dire celles dans lesquelles la contrainte temporelle est extrêmement élevée²³⁹⁻²⁴⁴ : carrefour sans feux de signalisation, tourne à gauche,... Par conséquent, ils adaptent leurs comportements de déplacement soit en réduisant leur activité de conduite soit en réduisant leur vitesse de déplacement²⁴⁵. Nos résultats sont en accord avec cette attitude puisque le risque d'être tué, lorsque l'antagoniste est âgé, est plus faible qu'avec un usager plus jeune. De même, bien que leur fragilité reste identique, leur risque de décéder dans un accident seul n'est pas aussi élevé que celui dans les collisions lorsqu'ils sont percutés par des jeunes. On retrouve ainsi l'effet de leur comportement de déplacement plus sûr en termes de vitesse qui ne suffit pourtant pas à compenser leur plus grande fragilité. Cette étude semble enfin confirmer l'enjeu de sécurité routière que représentent les usagers âgés : ils représentent plus un danger pour eux-mêmes que pour les autres^{239 246}.

4.4.3. Spécificités de la population d'étude

Seuls sont inclus dans cette analyse les accidents pour lesquels au moins un conducteur est blessé. Ceci vise à simplifier l'analyse, avec une gravité ne dépendant pas du taux d'occupation du véhicule, taux qui pouvait varier selon le type d'accident. Une précédente analyse menée sur l'ensemble des accidents, en incluant ceux dans lesquels aucun conducteur

n'est blessé, mais où au moins un passager l'est ²⁴⁷, a estimé des risques du même ordre de grandeur et toutes les considérations qui en découlent sont donc similaires.

Dans cette étude, nous avons utilisé la probabilité d'être tué comme critère de gravité. Dans la précédente, faite sur un nombre d'années moindre et avec une méthodologie moins précise, nous avons parallèlement étudié la probabilité d'être blessé, plutôt qu'indemne. Avec ce deuxième critère de gravité, les effets des caractéristiques des véhicules et de leurs conducteurs étaient moindres, mais très cohérents avec ceux obtenus avec le critère utilisé dans cette approche ²⁴⁷.

Enfin, l'interprétation des résultats repose en partie sur la comparaison des collisions et des accidents n'impliquant qu'un seul véhicule, afin de distinguer ce qui relève d'une part de la capacité du véhicule à protéger son occupant et de la capacité de celui-ci à plus ou moins supporter le choc, et d'autre part des conditions de choc. Or nous avons établi par ailleurs que le recueil des données par les forces de l'ordre est biaisé notamment selon sa gravité et le fait qu'il y ait ou non un véhicule tiers impliqué ¹⁴⁰. Ainsi, les accidents n'impliquant qu'un seul véhicule sont moins bien recensés que les collisions, ceci d'autant plus que les accidents sont peu graves. Sachant que les accidents mortels sont bien répertoriés quelque soit le type d'accident, ceci peut expliquer en partie le fait que la proportion de tués dans les accidents seuls soit plus importante que dans les collisions. Ceci ne peut cependant qu'avoir un effet modéré sur les différences que l'on met en évidence, puisque ce biais est en partie pris en compte par les ordonnées à l'origine des différents modèles statistiques utilisés, qui correspondent aux fragilités moyennes des catégories de conducteurs et de véhicules de référence ¹⁴¹.

4.4.4. Spécificités de la démarche d'analyse

Cette démarche d'analyse permet d'étudier le rôle des caractéristiques des conducteurs et de leurs véhicules sur la survenue d'une atteinte corporelle grave lors d'un accident soit en termes de comportement de déplacement soit en termes de fragilité des usagers ou de protection offerte par leurs véhicules (figure 4). Elle permet ainsi de formuler des hypothèses quand aux rôles des facteurs d'intensité d'exposition, c'est-à-dire quand à l'impact des conditions d'exposition des usagers selon leurs comportements de déplacements ou les caractéristiques de leur voiture, sur la présence d'atteinte corporelle dans un accident et ce, en utilisant uniquement des données de sécurité secondaire.

Son originalité repose sur la comparaison des risques estimés dans les accidents à un véhicule et dans les collisions. L'utilisation de l'appariement naturel des usagers impliqués dans une

collision permet de se focaliser sur le rôle des facteurs de risque dans les dimensions « fragilité de l'utilisateur » et « protection de leur véhicule » en isolant et contrôlant leur rôle dans la dimension « comportement de déplacement ». Dans les accidents à un véhicule, les deux dimensions ne peuvent être distinguées. Sous l'hypothèse que le niveau de protection des véhicules et la résistance des usagers au choc soient indépendants du type d'accident, les disparités observées entre les risques estimés dans les deux configurations d'accidents sont supposées provenir de disparités dans les conditions de chocs.

Dans la mesure où les risques sont également ajustés sur les conditions environnementales d'accidents, ces disparités sont supposées provenir des « comportements de déplacement ».

La prise en compte du contexte multidimensionnel des accidents, en ajustant sur différents facteurs de risque associés à l'utilisateur, son véhicule et son environnement de déplacement permet ainsi de mieux contrôler la confusion engendrée par le rôle de ces différents facteurs dans ces deux dimensions. Elle permet, en outre, de mieux évaluer l'effet propre des différents facteurs étudiés qui sont corrélés entre eux à l'image du poids, de la puissance et de l'année de mise en service des véhicules.

L'obtention de données d'exposition au risque routier aurait permis de réaliser directement une étude en sécurité routière primaire du rôle des comportements de déplacement associés aux caractéristiques usager-véhicule. Toutefois, peu de sources de données permettent de stratifier la population à risque d'accident selon les caractéristiques des véhicules poids, puissance, âge. De plus, concernant les caractéristiques « usager » il serait intéressant de disposer, outre de l'information sur l'âge et le sexe, de données sur les vitesses de déplacement pratiquées, l'agressivité, l'attention, ... des usagers lors de leurs déplacements. L'approche présentée ici permet donc d'obtenir un ensemble de réflexions qui serait difficile à obtenir autrement, vues les difficultés inhérentes à l'obtention d'une information d'exposition au risque routier aussi détaillée.

Les informations de Delta V ou d'Equivalent Energy Speed (EES), c'est-à-dire les indicateurs de conditions et vitesses de choc ne sont pas disponibles dans cette étude. Elles sont cependant intéressantes dans cette démarche, puisqu'elles permettraient un contrôle des vitesses de choc dans les accidents à un véhicule à défaut de pouvoir les contrôler par appariement comme dans les collisions. En ajustant ou non sur ces informations, il serait plus facile d'identifier si les différences entre les résultats établis chez les sujets impliqués dans une collision et ceux établis chez les sujets impliqués dans un accident à un véhicule sont dues à des différences de vitesse de choc.

A l'instar de l'approche de quasi-exposition induite présentée dans le chapitre précédent, cette approche se focalise sur les accidents à un véhicule et ceux à deux véhicules. La prise en compte des accidents impliquant plusieurs véhicules complexifie l'analyse des comportements de déplacement en particulier l'étude du rôle des antagonistes. De même, cette approche ne nécessite que l'étude des conducteurs et exclut les passagers des véhicules afin de pouvoir avoir des éléments de réflexion sur l'effet, en moyenne, du comportement du conducteur sur la gravité de l'accident. Les résultats associés aux caractéristiques des usagers ne sont ainsi pas généralisables à l'ensemble des usagers de la route. En revanche, les facteurs en lien avec les véhicules concernent tout autant les passagers avant et, dans une moindre mesure, les passagers arrière. Il est ainsi vraisemblable que les conclusions de cette étude en matière de protection des conducteurs peuvent s'étendre à l'ensemble des occupants de voitures. Dans les deux cas, les mesures de prévention routière visant à modifier les comportements de déplacements des conducteurs aboutissant à la survenue d'atteinte corporelle auraient un rôle bénéfique plus large et contribueraient à l'amélioration de la sécurité routière secondaire des passagers.

Cette approche fondée sur un recueil de données de sécurité routière secondaire ne peut s'appliquer aux cyclistes et autres usagers de deux-roues motorisés. D'une part, les collisions impliquant uniquement des cyclistes ou des motards sont rares. D'autre part, la gravité pour ces derniers usagers résultant de leur collision avec un autre moyen de locomotion est difficile à comparer à celle résultant des accidents dans lesquels ils sont seuls impliqués. En effet, les conditions de chocs sont totalement différentes. La résistance corporelle des usagers est sollicitée différemment et l'hypothèse de fragilité équivalente des sujets dans les deux types d'accidents s'avère discutable. Enfin, la comparaison de ces usagers non carrossés à ceux impliqués dans la même collision mais carrossés n'a pas de sens. Pour ce qui concerne les piétons, la démarche d'analyse présentée ici ne peut être appliquée : il n'existe pas d'accidents n'impliquant qu'un piéton, ces événements n'étant pas reconnus comme étant des accidents de la circulation.

Cette analyse permet de mieux comprendre le rôle joué par les comportements de déplacement grâce aux techniques statistiques adaptées aux données de cohorte appariée. En revanche, elle ne permet pas la quantification des risques routiers d'insécurité primaire, c'est-à-dire d'implication dans un accident de la circulation : elle fournit des éléments de réflexion sur le rôle de certains facteurs d'intensité d'exposition sans disposer d'information d'exposition au risque routier. Elle reste essentiellement exploratoire et ne peut être utilisée pour obtenir des éléments de sécurité routière primaire causaux.

4. CONCLUSION

L'exposition au risque routier est centrale pour estimer les taux d'accident et les risques relatifs d'insécurité primaire. Elle est toutefois complexe à appréhender car c'est un concept multidimensionnel et son information est rarement disponible.

Nous avons vu dans le chapitre 1 que **l'exposition au risque routier ne se réduit pas à un simple décompte des kilomètres parcourus**. De façon générale, l'exposition se définit comme « la confrontation à des événements ou facteurs susceptibles de modifier la probabilité de survenue de la maladie ». L'exposition au risque routier **se compose de trois dimensions** :

-**L'exposition de base** : être confronté ou non aux dangers de la route.

-**La quantité d'exposition** : somme des opportunités d'accident rencontrées par l'utilisateur.

-**la qualité d'exposition ou l'intensité d'exposition** : caractéristiques de l'utilisateur, de son mode de déplacement et de son environnement de déplacement présentes dans chaque unité d'exposition.

La notion de confrontation à des agents correspond à « l'exposition de base ». La quantité d'exposition correspond à la durée ou à la fréquence de ces confrontations aux facteurs susceptibles de provoquer un accident. La notion d'intensité d'exposition correspond aux facteurs de risque rencontrés par les usagers lors de leurs déplacements et susceptibles de modifier la probabilité de survenue de l'accident. Les facteurs auxquels les usagers sont exposés sont de deux ordres : ceux internes à l'utilisateur, ses caractéristiques individuelles et ceux externes, les caractéristiques de leurs modes et environnement de déplacement.

En plus de cette dimension « exposition à un facteur de risque », l'exposition au risque routier englobe également une autre dimension : les notions d'exposition de base et de quantité d'exposition renvoient à la population à risque d'accident. L'exposition de base détermine qui appartient à la population cible et la quantité d'exposition permet de mesurer la durée d'appartenance à la population à risque. La notion d'intensité d'exposition renvoie toujours aux facteurs de risque auxquels les usagers de la population à risque sont exposés.

L'exposition au risque routier présente un ensemble de particularités. Son processus est discontinu (le sujet cesse d'appartenir à la population à risque entre chacun de ses trajets), extrêmement variable (la durée d'exposition varie d'un trajet à l'autre, d'un usager à l'autre) et éphémère (l'intensité d'exposition varie d'un kilomètre à l'autre en fonction de la combinaison de caractéristiques usager-véhicule-environnement présente dans chacun des kilomètres parcourus). Enfin, il n'existe ni effet de latence des unités d'exposition, ni effet « seuil » au-delà duquel l'accident de la route surviendrait nécessairement. C'est la somme de

toutes ces particularités qui rend l'exposition au risque routier si spécifique et si difficile à mesurer.

Le chapitre 2 présente la prise en compte de l'exposition au risque routier lorsque son information est disponible. Ce travail est réalisé à travers l'étude des inégalités sociales de sécurité routière, sur la base des données de la cohorte GAZEL. L'étude de cohorte met en évidence un sur-risque d'implication dans un accident de la route pour les sujets socialement favorisés. Ce risque n'est plus significatif après prise en compte de l'exposition au risque routier. L'association entre le statut social et l'insécurité routière ne s'explique pas seulement par des disparités dans la durée d'appartenance des sujets à la population à risque (quantités de kilomètres parcourus) selon le niveau social des usagers. Elle s'explique aussi par des conditions différentes de déplacement, c'est-à-dire par l'exposition, lors de leur déplacement, à des facteurs de risque différents (mode de déplacement ou comportements de déplacement). Les caractéristiques individuelles comme la PCS, mais aussi l'âge, le genre et toutes celles présentes chez l'utilisateur de la route indépendamment de son activité routière n'ont ainsi d'intérêt, en matière de prévention routière, que parce qu'elles reflètent des conditions de déplacement quantitatives et qualitatives difficiles à mesurer sans information d'exposition.

L'étude des inégalités sociales d'insécurité routière a également été réalisée avec une étude de type cas-témoins. Les résultats obtenus, sans tenir compte du suivi longitudinal des sujets, sont très proches de ceux estimés avec l'approche de cohorte. Dans les deux cas, l'unité statistique d'intérêt est l'utilisateur de la route ce qui conduit à utiliser les différentes dimensions de l'exposition au risque routier comme des caractéristiques individuelles sous la forme de facteurs de risque. La quantité d'exposition est utilisée dans ces approches comme une mesure de la durée d'exposition des sujets aux différents dangers de la route.

A l'inverse, dans l'approche de type transversale estimant des taux d'accidents, la quantité d'exposition au risque routier est considérée comme une mesure de la population à risque. L'unité statistique d'intérêt est l'unité d'exposition, ici le personne-kilomètre : en théorie les risques estimés sur de telles données reflètent les effets accidentogènes, instantanés des facteurs de risque étudiés, au niveau des unités d'exposition. En pratique, les caractéristiques usager-véhicule-environnement sont rarement détaillées au niveau de chaque kilomètre parcouru. Lorsque des informations sur la qualité d'exposition sont disponibles, comme c'est le cas dans la cohorte GAZEL, elles sont plutôt renseignées au niveau de l'utilisateur : les risques obtenus sur de telles données reflètent alors le comportement accidentogène global, évalué sur tous leurs kilomètres parcourus, des usagers présentant parfois le facteur de risque d'intérêt lors de certains de leurs déplacements.

Le choix du design d'étude pour recueillir l'information d'exposition au risque routier puis estimer les risques d'insécurité primaire répond aux mêmes critères que dans n'importe quelle autre analyse épidémiologique. Si l'objectif est plus analytique que descriptif, les approches comparatives de type cas-témoins ou cohorte sont préférables. L'approche cas-témoins est la plus facile à mettre en œuvre. Les témoins peuvent être choisis en population circulante ce qui permet de contrôler l'effet des facteurs environnementaux lors de l'estimation des risques associés aux caractéristiques de l'utilisateur. Les informations en lien avec l'environnement de déplacement sont plus difficiles à collecter avec une approche de cohorte car la nécessité de suivre les usagers dans le temps suppose de les interroger en population générale et non en situation de déplacement.

Les informations sur les facteurs de risque usager-véhicule-environnement auxquels les usagers sont exposés lors de leur présence sur le réseau routier sont difficiles à obtenir en population circulante. C'est particulièrement le cas lorsqu'il s'agit de collecter chez les non accidentés, sur la base du volontariat, des données relatives à des comportements de déplacement répréhensibles vis-à-vis du code de la route. Ceci introduit un biais différentiel par rapport aux usagers accidentés qui sont parfois contraints par les forces de l'ordre de fournir leur(s) exposition(s) aux facteurs de risque (consommation d'alcool, de drogue ...).

Des méthodes d'estimation des risques d'implication dans un accident, basées uniquement sur les données des sujets accidentés, ont été développées pour contourner ce problème. Ces méthodes sont présentées dans le chapitre trois et appliquées à l'étude du rôle du cannabis et de l'alcool dans la survenue d'accidents de la route mortels. Elles utilisent les particularités de la maladie étudiée afin de sélectionner un sous-groupe de sujets ressemblant le plus possible à la population circulante. Il existe deux familles de méthodes.

La première famille regroupe l'approche d'exposition-induite et celle proposée par Cuthbert. Les sujets accidentés dans des événements impliquant au moins deux véhicules sont utilisés comme substitut à la population circulante. Si ces méthodes évitent de déterminer le critère de responsabilité, elles sont en revanche peu puissantes. Elles nécessitent de larges bases de données pour fournir des estimations cohérentes. La validité de ces méthodes est sensible à la paramétrisation du modèle, c'est-à-dire aux groupes d'utilisateurs choisis comme profils de référence.

La deuxième famille regroupe l'approche de quasi exposition-induite et l'« analyse de responsabilité ». Ces méthodes reposent sur le critère de responsabilité. Les non responsables sont supposés représenter la population circulante. De plus, les prévalences de facteurs de risque estimées dans ce groupe de non responsables sont supposées refléter celles des

caractéristiques d'intensité d'exposition usager-véhicule-environnement présentes dans la population à risque. L'approche de quasi exposition-induite étudie les sujets impliqués dans une collision grâce à une étude de type cas-témoins appariée puis considère séparément les sujets seuls impliqués dans leur accident grâce à une étude cas-témoins standard. Dans le premier cas, les risques estimés reflètent le rôle de l'alcool ou du cannabis sur le défaut d'anticipation des usagers antagonistes. Dans le deuxième cas, ils reflètent leur rôle sur la perte de contrôle du véhicule.

Au contraire, l'analyse de responsabilité considère tous les usagers accidentés quel que soit le type d'accidents dans lesquels ils sont impliqués. Bien qu'elle soit dénommée analyse de responsabilité, il s'agit d'une étude cas-témoins standard avec la responsabilité comme événement d'intérêt. Contrairement à l'approche de quasi exposition-induite, elle permet d'évaluer l'enjeu global de sécurité routière primaire que représentent l'alcool et le cannabis sur les routes.

A l'instar de toute étude cas-témoins, la pertinence de ces dernières méthodes repose essentiellement sur la qualité des non responsables à ressembler à la population circulante : le groupe de témoins doit être le plus comparable possible à la population dont sont extraits les cas. Cette démarche visant à définir un groupe de témoins dans une population de « malades », les accidentés, s'apparente à une enquête cas-témoins avec témoins hospitaliers.

Les méthodes utilisées dans le chapitre 3 reposent sur des données provenant le plus souvent des recueils nationaux d'accidents de la route corporels. Ces informations s'appliquent plutôt aux études de sécurité secondaire. Comme nous l'avons vu dans le chapitre 4, elles contiennent des éléments de sécurité primaire qu'il est possible d'étudier sans pour autant disposer d'information d'exposition au risque routier. Un accident de la route mortel est en effet le résultat d'au moins trois dimensions : la fragilité des usagers, le niveau de protection offert par leurs véhicules et les comportements de déplacement résultant des caractéristiques usager-véhicule-environnement auxquelles cet usager est exposé lors de ses déplacements. L'utilisation des techniques d'analyse pour cohorte appariée, pour étudier les sujets impliqués dans des collisions, permet de contrôler l'effet des conditions de choc issues des comportements de déplacement. Les risques ainsi obtenus sont uniquement conditionnés par la fragilité des usagers et le niveau de protection de leur véhicule. L'analyse conduite chez les sujets seuls impliqués dans leur accident estime des risques dans lesquels les trois dimensions sont confondues. Sous l'hypothèse que la fragilité des usagers et le niveau de protection offert par leur véhicule soient indépendants du type d'accident, la comparaison de ces deux ensembles de résultats permet d'obtenir des éléments de discussion sur le rôle dans la

survenue d'accidents mortels des comportements de déplacement associés aux facteurs de risque étudiés. Cette démarche ne permet pas de quantifier des risques routiers d'insécurité primaire mais reste essentiellement exploratoire : elle ne peut être utilisée pour fournir des éléments de causalité.

Ces quatre axes de recherche nous ont permis de repréciser le concept d'exposition au risque routier et de discuter les méthodes utilisées pour estimer ou approximer les risques d'implication dans les accidents de la route selon la disponibilité des données d'exposition. Ce travail n'appréhende toutefois pas tous les problèmes associés à l'exposition au risque routier et sa prise en compte dans les analyses sur données observationnelles d'accidents de la route.

Le premier point non abordé dans ce travail concerne les études de sécurité primaire basées sur des taux d'accidents estimés en utilisant des données d'exposition au risque routier extrapolées à partir d'une population source différente de celle utilisée pour obtenir les données d'insécurité routière. Dans la mesure où le protocole de recueil de l'information est différent, il est nécessaire d'évaluer l'éventuelle présence de biais (de sélection, de mesure...) différentiels. De plus, il s'agit d'un contexte différent de celui rencontré dans les études épidémiologiques qui calculent des taux d'incidence. Dans le calcul de la variance des taux d'incidences, les personnes-années utilisées pour mesurer la population à risque sont supposées constantes. Au contraire, le numérateur des taux d'accidents est supposé provenir d'un recueil exhaustif d'accidents de la route alors que le dénominateur est mesuré en unités d'exposition, unités estimées à partir d'un sondage. Cette particularité soulève plus un problème d'inférence statistique qu'un problème épidémiologique et n'a pas été abordée dans notre travail.

L'autre point non abordé concerne les particularités d'interprétation des risques d'insécurité primaire estimés sur la base de données d'exposition collectées sur une unité statistique différente de celle pour laquelle on dispose de l'information d'insécurité routière. Par exemple, l'insécurité routière survenant sur les autoroutes est renseignée au niveau de l'usager accidenté alors que l'exposition au risque routier est estimée à partir des différentes dimensions caractérisant le trafic (débit, concentration, vitesse de flux), c'est-à-dire le plus souvent, en nombre de véhicules circulant par portion de réseau. Le niveau de détails de l'information est disparate : dans un cas l'information est relative à l'usager de la route, dans l'autre elle est relative à la portion de réseau mais peut être considérée au niveau du véhicule. Soit les informations d'insécurité routière doivent être agrégées pour être considérées au même niveau que les données d'exposition au risque routier, soit l'insécurité routière est

considérée au niveau de l'utilisateur et les données d'exposition sont utilisées comme des données écologiques agrégées au niveau du véhicule ou de la portion d'autoroute. Les interprétations et les inférences possibles sont différentes selon que l'on se place en tant qu'observateur extérieur qui évalue la sécurité routière offerte par le réseau considéré (Combien d'accidents pour un kilomètre observé pendant une heure sous certaines conditions de trafic ?) ou en tant qu'utilisateur de ce même réseau (combien de véhicules accidentés, de victimes selon les conditions de circulation rencontrées par l'utilisateur ?).

Dans notre travail, la réflexion sur l'exposition au risque routier des usagers non motorisés reste succincte. Les données à notre disposition et surtout les méthodes utilisées dans les chapitres 3 et 4, ne nous ont pas permis d'étudier plus en profondeur les particularités liées à leur exposition au risque routier et à l'estimation de leur risque d'accidents. Toutefois, les particularités de l'exposition (de base, quantitative, qualitative, son caractère discontinu, variable...) présentées dans le chapitre 1 restent valables pour ces usagers. La question est plutôt d'identifier l'unité d'exposition la plus pertinente qui puisse être détaillée selon les caractéristiques d'intensité d'exposition usager-environnement de déplacement (pour les piétons : nombre de voies traversées, temps passé sur la route...). Les méthodes d'analyses restent similaires à celles présentées dans le chapitre 2.

Le projet européen SAFETYNET a pour objectif de réduire le problème sanitaire posé par les accidents de la route. Pour cela il doit créer un observatoire européen de l'insécurité routière afin de fournir les données d'insécurité routière et d'exposition au risque routier nécessaires à l'identification et la mise en place des politiques de prévention routière nationales et européennes ²⁴⁸. Les travaux du groupe de travail de SAFETYNET spécialisé sur les questions d'exposition au risque routier soulignent la nécessité de disposer d'une information la plus détaillée possible au niveau des caractéristiques usager-véhicule-environnement ⁷. Ils indiquent toutefois que les informations les plus souvent disponibles sont macroscopiques, agrégées au niveau national.

Notre travail souligne également l'intérêt à obtenir une information d'exposition la plus détaillée possible. Idéalement, il serait nécessaire de disposer d'une source d'information qui dénombre et renseigne chacun des kilomètres parcourus par les usagers de la population étudiée, selon les caractéristiques d'intensité d'exposition. Une cohorte recueillant en

prospectif des informations d'exposition au risque routier quantitatives comme qualitatives sur la base de carnet-voyage et du système GPS pourrait fournir ce type d'informations détaillées. L'utilisation de « boîte noire » enregistrant des informations sur les circonstances présentes lors de l'accident, mais également celles présentes lors des minutes précédant l'accident permettrait la mise en place d'études épidémiologiques de type « case-crossover » pour comparer les conditions de déplacement présentes avant l'accident à celles présentes lors de l'accident. Cette approche devrait permettre d'obtenir des informations détaillées sans pour autant être obligé de mettre en place un suivi longitudinal des usagers de la route ou une enquête transversale qui ne garantirait pas nécessairement le même niveau de détail au niveau de l'environnement de déplacement des usagers. L'utilisation d'une enquête cas-témoins standard avec des témoins choisis en population circulante apparaît également pertinente pour obtenir des informations d'exposition détaillées. Elle s'applique à l'étude de l'insécurité primaire des modes de déplacement non motorisés ou à l'étude de problématique géographiquement très ciblée, pour lesquels les informations d'exposition actuellement disponibles sont rares. Les approches de type cas-témoins fondées sur le critère de responsabilité sont intéressantes car elles permettent des approches exploratoires de l'insécurité routière, à moindre coût, sur des données déjà recueillies : celles des accidentés de la route. Elles ne remplacent pas les précédentes approches mais elles pourraient permettre de cibler les enjeux de prévention pour lesquels il serait nécessaire de mesurer l'exposition au risque routier.

Ce travail a fait l'objet de quatre publications. Elles portent sur les travaux des chapitres 2, 3 et 4 mais aussi sur un point méthodologique utilisé dans les chapitres 3 et 4, concernant la structure hiérarchique des données d'accidents de la route. Trois de ces articles ont été publiés ou acceptés dans la revue anglophone Accident Analysis and Prevention et un dernier est en cours de soumission.

BIBLIOGRAPHIE

1. Amoros E, Martin J, Laumon B, Lafont S. Nationwide estimates of the actual number of road casualties, and their injury severity, modeled from police and hospital data, France, 1996-2004. *submitted* 2007.
2. ONISR. La sécurité routière en France. Bilan de l'année 2005: Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière. In: La Documentation Française, editor. *La Documentation Française*. Paris: La Documentation Française, 2006.
3. Haddon W, Jr. A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity. *J Trauma* 1972;12(3):193-207.
4. Laumon B, Martin J. Analyse des biais dans la connaissance épidémiologique des accidents de la route en France. *Revue d'épidémiologie et de santé publique* 2002;50:277-85.
5. Evans L. *Traffic safety*. Bloomfield Hills, Michigan: Science serving society, 2004.
6. Rimmo P, Hakamies-Blomqvist L. Older drivers' aberrant driving behaviour, impaired activity, and health as reasons for self-imposed driving limitations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 2002;5(1):47-62.
7. SafetyNet WP2 group. Deliverable 2.3: Risk Exposure Data Common Framework. Building the European Road Safety Observatory. In: Safetynet Integrated Project No. 506723, editor. *Safetynet Integrated Project No. 506723*. Brussels: Safetynet Integrated Project No. 506723, 2008.
8. Gaudry M, Lassarre S. *Structural Road Accident Models: The InternationalDRAG Family*. Oxford, 2000.
9. Jaeger L, Lassarre S. TAG an econometric model to monitor road unsafety. *RTS* 1999;65:3-20.
10. Fontaine H, Gourlet Y, LHoste J, Muhlrud N. Inventaire critique des données nécessaires à la recherche en sécurité routière. In: INRETS, editor. *INRETS*. Arcueil: INRETS, 2003.
11. Madre J. L'enquête transports, Recherche Transports et Sécurité. *Recherche - Transports - Sécurité* 1997;56:6-8.
12. Goldberg M, Leclerc A, Bonenfant S, Chastang JF, Schmaus A, Kaniewski N, et al. Cohort profile: the GAZEL Cohort Study. *Int J Epidemiol* 2007;36(1):32-9.
13. Goldberg M, Leclerc A, Jean-François C, Morcet J-F. Mise en place d'une cohorte épidémiologique à Electricité de France - Gaz de France. Recrutement des volontaires. Principales caractéristiques de l'échantillon. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique* 1990;38(0):265-268.
14. Laumon B, Gadegbeku B, Martin J, the SAM group. Stupéfiants et accidents mortels de la circulation routière (Projet SAM). In: ed. O, editor. *OFDT ed*. Paris: OFDT 2005.
15. Joly MF, Joly P, Bergeron J, Desjardins D, Ekoe JM, Ghadirian P, et al. [Exposure to the risk of traffic accidents, a fundamental epidemiological parameter, and one difficult to measure]. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1991;39(3):307-13.
16. Carroll PS. Classifications of driving exposure and accident rates for highway safety analysis. *Accid Anal Prev* 1973;5(2):81-94.
17. Wolfe AC. The concept of exposure to the risk of a road traffic accident and an overview of exposure data collection methods. *Accid Anal Prev* 1982;14(5):337-340.
18. Chapman R. The concept of exposure. *Accid Anal Prev* 1973;5(2):95-110.
19. Mathewson in Chapman. The concept of exposure. *Accid Anal Prev* 1973;5(2):95-110.
20. Benjamin in Joly. [Exposure to the risk of traffic accidents, a fundamental epidemiological parameter, and one difficult to measure]. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1991;39(3):307-13.
21. Dunlap in Carroll. Classifications of driving exposure and accident rates for highway safety analysis. *Accid Anal Prev* 1973;5(2):81-94.
22. Skillman in Chapman. The concept of exposure. *Accid Anal Prev* 1973;5(2):95-110.
23. Goeller in Chapman. The concept of exposure. *Accid Anal Prev* 1973;5(2):95-110.
24. Dunlap in Joly. [Exposure to the risk of traffic accidents, a fundamental epidemiological parameter, and one difficult to measure]. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1991;39(3):307-13.
25. Wass C. Indirect determination of exposure and liability. *Accid Anal Prev* 1982;14(5):365-369.
26. Risk A, Shaoul J. Exposure to risk and the risk of exposure. *Accid Anal Prev* 1982;14(5):353-357.
27. Stewart DE. Methodological approaches for the estimation, evaluation, interpretation and accuracy assessment of Road Travel 'Basic Risk' , and 'Relative Risk Odds-Ratio' performance measure indicators . Canada: Transport Canada. Road Safety and Motor Vehicle Regulation Directorate. Road Safety Programs Branch. Evaluation and Data Systems Division, 1998:88.
28. Stewart DE, A statistical methodological framework for estimating, assessing, evaluating, monitoring and interpreting road travel risk performance measure indicators. 16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV); 1998; Windsor, Ontario, Canada. ESV.
29. Dionne G, Desjardins D, Laberge-Nadeau C, Maag U. Medical conditions, risk exposure, and truck drivers' accidents: an analysis with count data regression models. *Accid. Anal. and Prev.* 1995;27(3):295-305.

30. Hauer, E. Traffic conflicts and exposure. International Symposium on Risk-Exposure Measurement; 1980; Aarhus.
31. Li G, Braver ER, Chen L-H. Fragility versus excessive crash involvement as determinants of high death rates per vehicle-mile of travel among older drivers. *Accident Analysis & Prevention* 2003;35(2):227-235.
32. INSEE, INRETS. Transports et Communications. *RTS* 1997;57:1-77.
33. Koornstra M, BROUGHTON J, DIELEMAN R, GLANSDORP C, JORGENSEN N, TAYLOR F, et al. Exposure data for travel risk assesment : current practice and future needs in the european union. Rapport de recherche ou d'étape, 1999.
34. OEDC. Road transport research-Road safety principles and models: review of descriptive, predictive, risk and accident consequence models. In: OCDE, editor. *OCDE*. Paris: OCDE, 1997.
35. Hauer E. On exposure and accident rate. *Traffic engineering+control* 1995:134-138.
36. Carlin JB, Taylor P, Nolan T. A case-control study of child bicycle injuries: relationship of risk to exposure. *Accid Anal Prev* 1995;27(6):839-44.
37. Lefrancois R, D'Amours M. Exposure and risk factors among elderly drivers: a case-control study. *Accid Anal Prev* 1997;29(3):267-75.
38. Brown ID. Exposure and experience are a confounded nuisance in research on driver behaviour. *Accid Anal Prev* 1982;14(5):345-352.
39. Stamatiadis N, Deacon JA. Quasi-induced exposure: methodology and insight. *Accid Anal Prev* 1997;29(1):37-52.
40. Hakkert AS, Braimaister L. The uses of exposure and risk in road safety studies. *SWOV*. Leidschendam: SWOV, 2002.
41. Chipman ML, MacGregor CG. Time vs. distance as measures of exposure in driving surveys. *Accid Anal Prev* 1992;24(6):679-684.
42. Kweon Y-J, Kockelman KM. Overall injury risk to different drivers: combining exposure, frequency, and severity models. *Accident Analysis & Prevention* 2003;35(4):441-450.
43. Hauer E. Traffic conflicts and exposure. *Accid Anal Prev* 1982;14(5):359-364.
44. Chipman ML, MacGregor CG, Smiley AM, Lee-Gosselin M. The role of exposure in comparisons of crash risk among different drivers and driving environments. *Accid Anal Prev* 1993;25(2): 207-211.
45. ETSC. EU Transport , incident and casualty databases : current status and future needs. Brussels: ETSC, 2001:26.
46. ETSC. Assessing risk and setting targets in transport safety programmes. In: ETSC, editor. *ETSC*,. Brussels: ETSC,, 2003.
47. Lassarre S, Papadimitriou E, Yannis G, Golias J. Measuring accident risk exposure for pedestrians in different micro-environments. *Accident Analysis & Prevention* 2007;39(6):1226-1238.
48. Howarth CI. The need for regular monitoring of the exposure of pedestrians and cyclists to traffic. *Accid Anal Prev* 1982;14(5):341-344.
49. Keall MD. Pedestrian exposure to risk of road accident in New Zealand. *Accid Anal Prev* 1995;27(5):729-40.
50. Jonah BA, Engel GR. Measuring the relative risk of pedestrian accidents. *Accid Anal Prev* 1983;15(3):193-206.
51. Roberts I, Norton R, Taua B. Child pedestrian injury rates: the importance of "exposure to risk" relating to socioeconomic and ethnic differences, in Auckland, New Zealand. *J Epidemiol Community Health* 1996;50(2):162-5.
52. Bly P, Dix M, Stephenson C. Comparative Study of European Child Pedestrian Exposure and Accidents. Norwich: The Department of the Environment, Transport and the Regions, 1999.
53. Cameron MH. A method of measuring exposure to pedestrian accident risk. *Accid Anal Prev* 1982;14(5):397-405.
54. Laumon B. [Epidemiologic research and road traffic accidentology in Europe]. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1998;46(6):509-21.
55. Fontaine, H. , Measures of risk exposure in travel surveys. ICTCT 97 Conference; 1997; Lund, Sweden.
56. Abdalla IM. Fatality risk assessment and modeling of drivers responsibility for causing traffic accidents in Dubai. *Journal of Safety Research* 2002;33(4):483-496.
57. Smeed RJ. Some statistical aspects of road safety research-Part I. *Journal of the royal statistical society-Series A(General)* 1949;CXII.
58. Lederhaus Popkin, C., DWI and alcohol-related crash trends of non-white north carolina drivers. 35th annual proceedings association for the advancement of automotive medicine; 1991; Toronto, Canada.
59. Ryan GA, Legge M, Rosman D. Age related changes in drivers' crash risk and crash type. *Accid Anal Prev* 1998;30(3):379-87.
60. Hakamies-Blomqvist L, Johansson K, Lundberg C. Driver licenses as a measure of older drivers' exposure: a methodological note. *Accid Anal Prev* 1995;27(6):853-857.

61. Joly P, Joly MF, Desjardins D, Messier S, Maag U, Ghadirian P, et al. Exposure for different license categories through a phone survey: validity and feasibility studies. *Accid Anal Prev* 1993;25(5):529-36.
62. Fernie BE. Multi-level road accident exposure sampling system for South Africa. *Accid Anal Prev* 1982;14(5):413-415.
63. Lee B, Schofer J. Restraint Use and Age and Sex Characteristics of Persons Involved in Fatal Motor Vehicle Crashes. *Transportation Research Record* 2003;1830:10-17.
64. Cambois M-A, Fontaine H. Surveys measuring risk exposure and the combining of results with other data. *Accid Anal Prev* 1982;14(5):387-396.
65. Dussault C, Brault M, Bouchard J, Lemire A. The contribution of alcohol and other drugs among fatally injured drivers in Quebec; some preliminary results. *Alcohol, Drugs and Traffic safety*. . *SAAQ* 2002:423-30.
66. Carré J-R, Arantxa J. Présentation d'une méthode d'analyse des séquences piétonnières au cours des déplacements quotidiens des citadins et mesure de l'exposition au risque des piétons. Arcueil: INRETS-DSCR, 2000.
67. Carré J-R, Arantxa J. Séquences piétonnières et mesure de l'exposition au risque. Arcueil: INRETS-DSCR, 2000.
68. Routledge D, Repetto-Wright R, Howarth CI. A comparison of Interviews and Observation to Obtain Measures of Children's Exposure to Risk as Pedestrians. *Ergonomics* 1974;17(5):623-638.
69. Aultman-Hall L, Kaltenecker MG. Toronto bicycle commuter safety rates. *Accid Anal Prev* 1999;31(6):675-86.
70. Kam BH. A disaggregate approach to crash rate analysis. *Accident Analysis & Prevention* 2003;35(5):693-709.
71. Schneider RJ, Ryznar RM, Khattak AJ. An accident waiting to happen: a spatial approach to proactive pedestrian planning. *Accid Anal Prev* 2004;36(2):193-211.
72. TRB. Travel Survey Methods, Information Technology, and Geospatial Data. *TRR* 2006;1972:1-150.
73. Doherty ST, Andrey JC, MacGregor C. The situational risks of young drivers: the influence of passengers, time of day and day of week on accident rates. *Accid Anal Prev* 1998;30(1):45-52.
74. Harrison WA, Christie R. Exposure survey of motorcyclists in New South Wales. *Accid Anal Prev* 2005;37(3):441-51.
75. Armoogum J, Madre J. Du redressement des non-réponses totales aux contrôles sur la cohérence des réponses. *Recherche - Transports - Sécurité* 1997;57:67-76.
76. Federal Highway Administration. National Household Travel Survey. In: FHWA, editor. *FHWA*. Washington, 2004.
77. Merletti F, Mirabelli D, Richiardi L. Occupational Epidemiology. In: Springer, editor. *Handbook of Epidemiology*. Berlin, 2005:926-928.
78. McEvoy SP, Stevenson MR, Woodward M. The contribution of passengers versus mobile phone use to motor vehicle crashes resulting in hospital attendance by the driver. *Accid Anal Prev* 2007;39(6):1170-6.
79. CERTU. L'enquête ménages déplacements -méthodes standard-. In: Références du Certu (RF), editor. *Références du Certu (RF)*. France: CERTU, 1998:300.
80. Lassarre, S., Coquelet, C., Hoyau, PA., Jeunes automobilistes et risque routier: un panel Multi-objectifs Colloque francophone sur les sondages 2005; Montréal.
81. Lourens PF, Vissers JA, Jessurun M. Annual mileage, driving violations, and accident involvement in relation to drivers' sex, age, and level of education. *Accid Anal Prev* 1999;31(5):593-7.
82. Federal Highway Administration. Summary of Travel Trends. In: FHWA, editor. *FHWA*. Washington, 2004.
83. Beck LF, Dellinger AM, O'Neil ME. Motor vehicle crash injury rates by mode of travel, United States: using exposure-based methods to quantify differences. *Am J Epidemiol* 2007;166(2):212-8.
84. Anderson CL, Agran PF, Winn DG. Pickup truck use in the National Personal Transportation Survey. *Accid Anal Prev* 2001;33(4):499-506.
85. Abeywardana V, Chrisophersen O, Tipping S. National Travel Survey Technical report. In: National Centre for Social Research, editor. England, 2006.
86. Trewin D. Survey of motor vehicle use. In: Statistics ABo, editor. Australia, 2004.
87. IRTAD. <http://www.bast.de/htdocs/fachthemen/irtad/english/irtadlan.htm> International Road Traffic and Accident Database, 2002.
88. OEDC. BICAR-Base de données Internationale sur la Circulation et les Accidents Routiers. *BAST* 1996.
89. Ahrens W, Pigeot I. *Handbook of Epidemiology*. Berlin, 2005.
90. Armstrong B, White E, Saracci R. *Principles of exposure measurement in epidemiology*. Great Britain, 2003.
91. Langford J, Fitzharris M, Newstead S, Koppel S. Some consequences of different older driver licensing procedures in Australia. *Accid Anal Prev* 2004;36(6):993-1001.

92. Poysti L, Rajalin S, Summala H. Factors influencing the use of cellular (mobile) phone during driving and hazards while using it. *Accid Anal Prev* 2005;37(1):47-51.
93. Abdel-Aty MA, Chen CL, Schott JR. An assessment of the effect of driver age on traffic accident involvement using log-linear models. *Accid Anal Prev* 1998;30(6):851-61.
94. Blows S, Ivers RQ, Connor J, Ameratunga S, Norton R. Car insurance and the risk of car crash injury. *Accid Anal Prev* 2003;35(6):987-90.
95. Massie DL, Green PE, Campbell KL. Crash involvement rates by driver gender and the role of average annual mileage. *Accid Anal Prev* 1997;29(5):675-685.
96. Peters A, von Klot S, Heier M, Trentinaglia I, Hörmann A, Wichmann H, et al. Exposure to traffic and the onset of myocardial infarction. *N Engl J Med* 2004;351(17):1721-30.
97. Redelmeier DA, Tibshirani RJ. Association between cellular-telephone calls and motor vehicle collisions. *N Engl J Med* 1997;336(7):453-8.
98. Brenin R. Problèmes d'inférence statistique en présence de données d'insécurité routière hétérogènes: recherche de solutions et application à des données d'accident et de trafic sur un réseau autoroutier-Mémoire de Master2. In: Université Claude Bernard-Lyon1, editor: Université Claude Bernard-Lyon1, 2006.
99. Boffetta P. Epidemiology of peritoneal mesothelioma: a review. *Ann Oncol* 2007;18(6):985-90.
100. Desoubreux N, Bouvier V, Gervais R, Galateau-Salle F, Thibon P, Leplumey T, et al. [Malignant mesothelioma in Basse-Normandie, a French population study. Descriptive analysis, prognostic factors and survival]. *Rev Epidemiol Sante Publique* 2001;49(6):523-9.
101. Goldberg M, Hémon D. Exposition à l'amiante et santé. Résultats d'une expertise collective de l'Inserm. *Actualité et dossier en santé publique* 1997;58: 7-10.
102. Robinson BW, Lake RA. Advances in malignant mesothelioma. *N Engl J Med* 2005;353(15):1591-603.
103. Cassidy A, t Manetteje A, van Tongeren M, Field JK, Zaridze D, Szeszenia-Dabrowska N, et al. Occupational exposure to crystalline silica and risk of lung cancer: a multicenter case-control study in Europe. *Epidemiology* 2007;18(1):36-43.
104. Steenland KH, William 2; Hu, Sherry 1; Walker, James T. 1. Deaths Due to Injuries Among Employed Adults: The Effects of Socioeconomic Class. *Epidemiology* 2003;14(1):7479.
105. Korte JE, Brennan P, Henley SJ, Boffetta P. Dose-specific meta-analysis and sensitivity analysis of the relation between alcohol consumption and lung cancer risk. *Am J Epidemiol* 2002;155(6):496-506.
106. Murata M, Takayama K, Choi BC, Pak AW. A nested case-control study on alcohol drinking, tobacco smoking, and cancer. *Cancer Detect Prev* 1996;20(6):557-65.
107. Cordier S, Bergeret A, Goujard J, Ha MC, Ayme S, Bianchi F, et al. Congenital malformation and maternal occupational exposure to glycol ethers. Occupational Exposure and Congenital Malformations Working Group. *Epidemiology* 1997;8(4):355-63.
108. Kreienbrock. Environmental Epidemiology. In: Springer, editor. *Handbook of Epidemiology*. Berlin, 2005:951-998.
109. Mackerras D, Margetts B. Nutritional Epidemiology. In: Springer, editor. *Handbook of Epidemiology*. Berlin, 2005:999-1042.
110. Marinaccio A, Binazzi A, Cauzillo G, Cavone D, Zotti RD, Ferrante P, et al. Analysis of latency time and its determinants in asbestos related malignant mesothelioma cases of the Italian register. *Eur J Cancer* 2007;43(18):2722-8.
111. Magnani C, Ferrante D, Barone Adesi F, Bertolotti M, Todesco A, Mirabelli D, et al. Cancer risk after cessation of asbestos exposure. A cohort study of Italian asbestos cement workers. *Occup Environ Med* 2007.
112. Borrell C, Rodriguez M, Ferrando J, Brugal MT, Pasarin MI, Martinez V, et al. Role of individual and contextual effects in injury mortality: new evidence from small area analysis. *Inj Prev* 2002;8(4):297-302.
113. Cubbin C, LeClere FB, Smith GS. Socioeconomic status and injury mortality: individual and neighbourhood determinants. *J Epidemiol Community Health* 2000;54(7):517-524.
114. Hasselberg M, Laflamme L, Ringback Weitoft G. Socioeconomic differences in road traffic injuries during childhood and youth: A closer look at different kinds of road user. *Journal of Epidemiology and Community Health* 2001;55(12):858-862.
115. Low Income Childhood Pedestrian Injury: Understanding the Disparate Risk. TRB; 2005; Washington, D.C.
116. Laflamme L, Diderichsen F. Social differences in traffic injury risks in childhood and youth--a literature review and a research agenda. *Inj Prev* 2000;6(4):293-298.
117. LaScala EA, Gerber D, Gruenewald PJ. Demographic and environmental correlates of pedestrian injury collisions: a spatial analysis. *Accident Analysis & Prevention* 2000;32(5):651-658.

118. Vaez M, Laflamme L. Impaired driving and motor vehicle crashes among Swedish youth: An investigation into drivers' sociodemographic characteristics. *Accident Analysis & Prevention* 2005;37(4):605-611.
119. Braver ER. Race, Hispanic origin, and socioeconomic status in relation to motor vehicle occupant death rates and risk factors among adults. *Accident Analysis & Prevention* 2003;35(3):295-309.
120. Cubbin C, LeClere FB, Smith GS. Socioeconomic status and the occurrence of fatal and nonfatal injury in the United States. *Am J Public Health* 2000;90(1):70-77.
121. Ferrando J, Rodriguez-Sanz M, Borrell C, Martinez V, Plasencia A. Individual and contextual effects in injury morbidity in Barcelona (Spain). *Accident Analysis & Prevention* 2005;37(1):85-92.
122. Whitlock G, Norton R, Clark T, Pledger M, Jackson R, MacMahon S. Motor vehicle driver injury and socioeconomic status: a cohort study with prospective and retrospective driver injuries. *J Epidemiol Community Health* 2003;57(7):512-516.
123. Dobson A, Brown W, Ball J, Powers J, McFadden M. Women drivers' behaviour, socio-demographic characteristics and accidents *Accident Analysis & Prevention* 1999;31(5):525-535.
124. Hemenway D, Solnick SJ. Fuzzy dice, dream cars, and indecent gestures: correlates of driver behavior? *Accident Analysis & Prevention* 1993;25(2):161-170.
125. Chandola T, Marmot M. Social Epidemiology. In: Ahrens W, Pigeot I, editors. *Handbook of epidemiology*. Berlin Heidelberg New York: Springer, 2005:894-911.
126. Cubbin C, Smith GS. Socioeconomic inequalities in injury: critical issues in design and analysis. *Annu Rev Public Health* 2002;23:349-75.
127. Plasencia A, Borrell C. Reducing socioeconomic inequalities in road traffic injuries: time for a policy agenda. *J Epidemiol Community Health* 2001;55(12):853-854.
128. Choo, S., Mokhtarian P. L. , What type of Vehicle do people drive?The role of attitude and lifestyle in influencing vehicle type choice. TRB; 2003; Washington, D. C.
129. MacDonald, S. T., Romberg, R. A., Driver/Vehicle Characteristics Related to Accident Vehicle Condition and Causation and an Assessment of Indiana PMVI Effectiveness. Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) Annual conference; 1978; Michigan.
130. Kweon, Y. J. , Kockelman, K. M. Driver Attitudes and Choices: Seatbelt Use, Speed Limits, Alcohol Consumption, and Crash Histories. TRB; 2003; Washington, D.C.
131. Lerner EB, Jehle DVK, Billittier IVAJ, Moscati RM, Connery CM, Stiller G. The influence of demographic factors on seatbelt use by adults injured in motor vehicle crashes. *Accident Analysis & Prevention* 2001;33(5):659-662.
132. Shinar D, Schechtman E, Compton R. Self-reports of safe driving behaviors in relationship to sex, age, education and income in the US adult driving population. *Accident Analysis & Prevention* 2001;33(1):111-116.
133. INSEE. Nomenclatures Definitions-Methodes, http://www.insee.fr/Fr/nom_def_met/nomenclatures/PCS/pages/pcs.htm 2003.
134. Hosmer DW, Lemeshow S. Chapter 9: Other models and Topics- Recurrent event models. *Applied Survival Analysis: Regression Modeling of Time to Event Data*. Wiley, 1999:308-317.
135. UCLA ATS. How can I model repeated events survival analysis in proc phreg?, http://www.ats.ucla.edu/stat/sas/faq/survival_repeated_events.htm .
136. Cox. Regression models and life-tables. *J. Roy. Stat. Soc. B* 1972;34(2):187-220.
137. SAS Institute. Time-Dependent Repeated Measurements, <http://www.sph.umich.edu/computing/manuals/sas8/stat/chap49/sect37.htm> 1999.
138. Martin JL, Lafont S, Chiron M, Gadegbeku B, Laumon B. Différences entre les hommes et les femmes face au risque routier. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique* 2004;52(4):357-67.
139. Tsai MC, Su CC. Scenario analysis of freight vehicle accident risks in Taiwan. *Accid Anal Prev* 2004;36(4):683-90.
140. Amoros E, Martin JL, Laumon B. Under-reporting of road crash casualties in France. *Accid Anal Prev* 2006;38:627-35.
141. McCullagh P, Nelder JA. *Generalized Linear Models*. Second ed. London: Chapman and Hall, 1989.
142. Hippisley-Cox J, Groom L, Kendrick D, Coupland C, Webber E, Savelyich B. Cross sectional survey of socioeconomic variations in severity and mechanism of childhood injuries in Trent 1992-7. *Bmj* 2002;324(7346):1132.
143. Kennedy BP, Kawachi I, Glass R, Prothrow-Stith D. Income distribution, socioeconomic status, and self rated health in the United States: multilevel analysis. *BMJ* 1998;317(7163):917-921.
144. Aarts L, van Schagen I. Driving speed and the risk of road crashes: a review. *Accid Anal Prev* 2006;38(2):215-24.
145. Horswill MS, Helman S. A behavioral comparison between motorcyclists and a matched group of non-motorcycling car drivers: factors influencing accident risk. *Accid Anal Prev* 2003;35(4):589-97.

146. McCartt AT, Hellinga LA, Bratiman KA. Cell phones and driving: review of research. *Traffic Inj Prev* 2006;7(2):89-106.
147. Stutts JC, Wilkins JW, Scott Osberg J, Vaughn BV. Driver risk factors for sleep-related crashes. *Accid Anal Prev* 2003;35(3):321-31.
148. Lagarde E, Chastang JF, Gueguen A, Coeuret-Pellicier M, Chiron M, Lafont S. Emotional Stress and Traffic Accidents: The Impact of Separation and Divorce. *Epidemiology* 2004;15(6):762-766.
149. Lagarde E, Chastang J-F, Lafont S, Coeuret-Pellicier M, Chiron M. Pain and pain treatment were associated with traffic accident involvement in a cohort of middle-aged workers. *Journal of Clinical Epidemiology* 2005;58(5):524-531.
150. Lagarde E, Chiron M, Lafont S. Traffic ticket fixing and driving behaviours in a large French working population. *J Epidemiol Community Health* 2004;58(7):562-568.
151. Nabi H, Consoli SM, Chastang J-F, Chiron M, Lafont S, Lagarde E. Type A Behavior Pattern, Risky Driving Behaviors, and Serious Road Traffic Accidents: A Prospective Study of the GAZEL Cohort. *Am. J. Epidemiol.* 2005;161(9):864-870.
152. Nabi H, Guéguen A, Chiron M, Lafont S, Zins M, Lagarde E. Sleepy driving awareness and traffic accidents: Results from a prospective study in the GAZEL cohort. *BMJ* 2006;333:75.
153. Nabi, H, Salmi, L. R. S., Lafont, S., Chiron, M., Zins, M., Lagarde, E., Attitudes associated with behavioural predictors of serious traffic accidents: Results from the GAZEL cohort. 3rd IRF/SARF REGIONAL CONFERENCE FOR AFRICA; 2006; Durban.
154. Braveman PA, Cubbin C, Egerter S, Chideya S, Kristen S, Marchi S, et al. Socioeconomic Status in Health Research: One Size Does Not Fit All. *JAMA* 2005;294(22).
155. Soori H, Bhopal RS. Parental permission for children's independent outdoor activities. Implications for injury prevention. *Eur J Public Health* 2002;12(2):104-9.
156. TRB. Safe mobility for older Americans. *Transportation in an Aging Society: A decade of Experience.* Maryland, United States., 2004:
157. Goldberg M, Chastang JF, Leclerc A, Zins M, Bonenfant S, Bugel I, et al. Socioeconomic, demographic, occupational, and health factors associated with participation in a long-term epidemiologic survey: a prospective study of the French GAZEL cohort and its target population. *Am J Epidemiol* 2001;154(4):373-84.
158. ETSC. Transport Safety Performance Indicators. In: ETSC, editor. *ETSC*. Brussels: ETSC, 2001.
159. Kirk A, Stamatiadis N. Evaluation of the Quasi-induced Exposure: Final Report. In: University of Kentucky Department of Civil Engineering, editor. *University of Kentucky Department of Civil Engineering*. Lexington, KY: University of Kentucky Department of Civil Engineering, 2001.
160. Lardelli Claret P, Luna del Castillo JdD, Jiménez Moleón JJ, Cavanillas AB, García Martín M, Gálvez Vargas R. Age and sex differences in the risk of causing vehicle collisions in Spain, 1990 to 1999. *Accid Anal Prev* 2003;35:261-272.
161. Stutts JC, Martell C. Older driver population and crash involvement trends, 1974-1988. *Accid Anal Prev* 1992;24(4):317-27.
162. DeYoung DJ, Peck RC, Helander CJ. Estimating the exposure and fatal crash rates of suspended/revoked and unlicensed drivers in California. *Accid Anal Prev* 1997;29(1):17-23.
163. Rueda-Domingo T, Lardelli-Claret P, Luna-del-Castillo JD, Jimenez-Moleon JJ, Garcia-Martin M, Bueno-Cavanillas A. The influence of passengers on the risk of the driver causing a car collision in Spain. Analysis of collisions from 1990 to 1999. *Accid Anal Prev* 2004;36(3):481-9.
164. Lyles RW, Stamatiadis P, Lighthizer DR. Quasi-induced exposure revisited. *Accid Anal Prev* 1991;23(4):275-85.
165. Rice TM, Peek-Asa C, Kraus JF. Nighttime driving, passenger transport, and injury crash rates of young drivers. *Inj Prev* 2003;9(3):245-50.
166. Thorpe JD. Calculating relative involvement rates in accidents without determining exposure. *Australian road research* 1964;septembre:25-36.
167. Haight FA. A crude Framework for bypassing Exposure. *Journal of Safety Research* 1970;2(1):26-29.
168. OECD, editor. A statistical analysis of rural Ontario traffic accidents using induced exposure data. Proc. Of the Symposium on the Use of Statistical Methods in the Analysis of Road Accidents; 1970; Paris. OECD.
169. Davis GA, Gao Y. Statistical methods to support induced exposure analyses of traffic accident data. *Transportation research record* 1995;1401:43-49.
170. Stamatiadis N, Deacon JA. Trends in highway safety: effects of an aging population on accident propensity. *Accid Anal Prev* 1995;27(4):443-59.
171. Terhune KW. An evaluation of responsibility analysis for assessing alcohol and drug crash effects. *Accid Anal Prev* 1983;15(3):237-246.

172. Drummer OH, Gerostamoulos J, Batziris H, Chu M, Caplehorn J, Robertson MD, et al. The involvement of drugs in drivers of motor vehicles killed in Australian road traffic crashes. *Accid Anal Prev* 2004;36(2):239-248.
173. Borkenstein RF, Crowther FR, Shumate RP, Ziel WB, Zylman R. The role of the drinking driver in traffic accidents (The Grand Rapids Study). *Blutalkohol* 1974;11(Suppl. 1).
174. Robertson MD, Drummer OH. Responsibility analysis: A methodology to study the effects of drugs in driving. *Accid Anal Prev* 1994;26(2):243-247.
175. Kooistra MJ. Empirical results on the exposure-proneness model. *Accid Anal Prev* 1973;5(2):175-189.
176. Kooistra MJ. A model for estimation of collective exposure and proneness from accident data. *Accid Anal Prev* 1973;5(2):157-173.
177. Cuthbert JR. An extension of the Induced Exposure Method of Estimating Driver risk. *J R Statist Soc A* 1994;152(2):177-190.
178. Redondo-Calderón, Luna-del-Castillo JdD, Jiménez-Moleón JJ, García-Martín M, Lardelli-Claret P, Gálvez-Vargas R. Application of the Induced Exposure Method to Compare Risks of Traffic Crashes among Different Types of Drivers under Different Environmental Conditions. *Am. J. Epidemiol.* 2001;153:882-891.
179. Laumon B, Gadegbeku B, Martin JL, Biecheler MB. Cannabis intoxication and fatal road crashes in France: population based case-control study. *BMJ* 2005;331(7529):1371.
180. Lardelli Claret P, Luna del Castillo JD, Jimenez Moleon JJ, Bueno Cavanillas A, Garcia Martin M, Galvez Vargas R. Influence of driver nationality on the risk of causing vehicle collisions in Spain. *J Epidemiol Community Health* 2002;56(5):394-8.
181. Lardelli-Claret P, Jimenez-Moleon JJ, Luna-del-Castillo Jde D, Garcia-Martin M, Moreno-Abril O, Bueno-Cavanillas A. Comparison between two quasi-induced exposure methods for studying risk factors for road crashes. *Am J Epidemiol* 2006;163(2):188-95.
182. Cerrelli EC. Driver exposure the indirect approach for obtaining relative measures. *Accid Anal Prev* 1973;5(2):147-156.
183. Sagberg F. Driver health and crash involvement: a case-control study. *Accid Anal Prev* 2006;38(1):28-34.
184. Perneger T, Smith GS. The Driver's Role in Fatal Two-Car Crashes: A Paired "Case-Control" Study. *Am J Epidemiol* 1991;134(10):1138-1145.
185. Breslow NE, Day NE. *Statistical Methods in Cancer Research Volume I - The Analysis of Case-Control Studies*. Lyon: Oxford University Press, 1980.
186. Ramaekers JG, Berghaus G, van Laar M, Drummer OH. Dose related risk of motor vehicle crashes after cannabis use. *Drug Alcohol Depend* 2004;73(2):109-19.
187. McGwin G, Jr., Sims RV, Pulley L, Roseman JM. Relations among Chronic Medical Conditions, Medications, and Automobile Crashes in the Elderly: A Population-based Case-Control Study. *Am J Epidemiol* 2000;152(5):424-431.
188. Evans L. Traffic Safety and the Driver In: Reinhold VN, editor. New York, 1991.
189. Bates MN, Blakely TA. Role of cannabis in motor vehicle crashes. *Epidemiol Rev* 1999;21(2):222-32.
190. Ivan JN, Pasupathy RK, Ossenbruggen PJ. Differences in causality factors for single and multi-vehicle crashes on two-lane roads. *Accid Anal Prev* 1999;31(6):695-704.
191. Laapotti S, Keskinen E. Differences in fatal loss-of-control accidents between young male and female drivers. *Accid Anal Prev* 1998;30(4):435-42.
192. Longo MC, Hunter CE, Lokan RJ, White JM, White MA. The prevalence of alcohol, cannabinoids, benzodiazepines and stimulants amongst injured drivers and their role in driver culpability: Part I: the prevalence of drug use in drivers, and characteristics of the drug-positive group. *Accid Anal Prev* 2000;32(5):613-622.
193. Longo MC, Hunter CE, Lokan RJ, White JM, White MA. The prevalence of alcohol, cannabinoids, benzodiazepines and stimulants amongst injured drivers and their role in driver culpability: Part II: The relationship between drug prevalence and drug concentration, and driver culpability. *Accid Anal Prev* 2000;32(5):623-632.
194. Connor J, Whitlock G, Norton R, Jackson R. The role of driver sleepiness in car crashes: a systematic review of epidemiological studies. *Accident Analysis & Prevention* 2001;33(1):31-41.
195. Lenguerrand E, Martin JL, Laumon B. Modelling the hierarchical structure of road crash data--application to severity analysis. *Accid Anal Prev* 2006;38(1):43-53.
196. Hakamies-Blomqvist L. Older drivers' accident risk: Conceptual and methodological issues. *Accid Anal Prev* 1998;30(3):293-297.
197. Jiang X, Lyles RW. Difficulties with quasi-induced exposure when speed varies systematically by vehicle type. *Accid Anal Prev* 2007;39(4):649-656.

198. ONISR. La sécurité routière en France. Bilan de l'année 2003: Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière. In: La Documentation Française, editor. *La Documentation Française*. Paris: La Documentation Française, 2004.
199. Kim K, Lei L. Modeling Fault Among Bicyclists and Drivers Involved in Collisions in Hawaii, 1986–1991. *Transportation Research Record* 1996;1538:75-80.
200. Chandraratna S, Stamatiadis N, Stromberg A. Crash involvement of drivers with multiple crashes. *Accid Anal Prev* 2006;38(3):532-41.
201. Elvik R, Christensen P, Amundsen A. Speed and road accidents. An evaluation of the Power Mode. In: TØI report 740/2004, editor. Oslo: Institute of Transport Economics, 2004.
202. Engström I, Gregersen N, Granström K. Young drivers—Reduced crash risk with passengers next term in the vehicle. *Accident analysis and Prevention* In press.
203. Rumeau-Rouquette C, Blondel B, Kaminski M, Bréart G. Statistiques sanitaires: exemples. In: Flammarion-Médecine, editor. *Epidémiologie : méthodes et pratique*. Paris, 1993:53.
204. Cummings P, McKnight B, Greenland S. Matched-pair cohort methods for injury research. *Epidemiologic Reviews* 2003;25(1):43-50.
205. Cummings P, McKnight B, Weiss NS. Matched-pair cohort methods in traffic crash research. *Accid Anal Prev* 2003;35(1):131-141.
206. Greenland S. Model-based estimation of relative risks and other epidemiologic measures in studies of common outcomes and in case-control studies. *American Journal of Epidemiology* 2004;160(4):301-305.
207. Spiegelman D, Hertzmark E. Easy SAS Calculations for Risk or Prevalence Ratios and Differences. *American Journal of Epidemiology* 2005;162(3):199-200.
208. Zou G. A modified Poisson regression approach to prospective studies with binary data. *American Journal of Epidemiology* 2004;159(7):702-706.
209. Hardin J, Hilbe J. Other count data models In: Stata Press, editor. *Generalized Linear Models and Extensions*. College Station, Texas, 2001.
210. Goldstein H. *Multilevel Statistical Methods (3rd ed.)*. London, 2003.
211. Judge G, Griffiths W, Hill R, H L, Lee T. *The theory and practice of Econometrics*. New York: Wiley, 1985.
212. Edwards M, Happian-Smith J, Davies H, Byard N, Hobbs A. The essential requirements for compatible cars in frontal collision. *Proceedings of 17th international technical conference on the enhanced safety of vehicles*. Amsterdam, 2001.
213. Verma, M, Enhanced Vehicle Collision Compatibility in USA- Progress Report of Technical Workgroup for Front-To-Front Compatibility. 20th ESV Conference 2007; Lyon.
214. Zeidler F, Knoechelmann F. The influence of frontal crash test speeds on the compatibility of passenger cars in real world accidents. *International journal of crashworthiness* 1998;1(3):7-15.
215. Broughton J. The benefits of improved car secondary safety. *Accid Anal Prev* 2003;35(4):527-535.
216. Wenzel TP, Ross M. The effects of vehicle model and driver behavior on risk. *Accident Analysis & Prevention* 2005;37(3):479-494.
217. Broughton J. The likely effects of downsizing on driver casualties in two-car accidents. In: Report T, editor. *TRL Report Project SR54*. Crowthorne: TRL Report, 1995.
218. Evans L, Frick MC. car size or car mass: which has greater influence on fatality risk? *Am J Public Health* 1992;82(8):1105-12.
219. Evans L, Frick MC. Mass ratio and relative driver fatality risk in two-vehicle crashes. *Accid Anal Prev* 1993;25(2):213-24.
220. Tarriere, C., Morvan, Y., Steyer, C., Bellot, D., Accident research and experimental data useful for an understanding of the influence of car structural incompatibility on the risk of accident injuries. Proceedings of the 14th International Technical Conference on ESV; 1994; Munich.
221. Thomas, C. , Faverjon, G. , Henri, C. , Le Coz, J. Y. , Got, C., Patel, A. The problem of compatibility in car-to-car collisions. Proceedings of the 34th AAAM Conference; 1990; Scottsdale, AZ, U.S.A.
222. Buzeman D, Viano D, Lövsund P. Car occupant safety in frontal crashes: a parameter study of vehicle mass, impact speed, and inherent vehicle protection. *Accid Anal Prev* 1998;30(6):713-22.
223. Evans L. *Traffic safety and the driver*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991.
224. Thomas P, Frampton R. Large and small cars in real-world crashes-patterns of use, collision types and injury outcomes. In: AAAM, editor. *43rd annual proceedings of AAAM*. Barcelona, 1999:101-17.
225. Ross M, Wenzel T. Losing weight to save lives: a review of the role of automobile weight and size in traffic fatalities. In: LBNL-48009 RN, editor. *Report Number LBNL-48009*: U.S. Department of Energy under LBL 2001:45.
226. Ross M, Wenzel T. An analysis of traffic deaths by vehicle type and model. In: LBNL-49675 RN, editor. *Report Number LBNL-49675*: U.S. Department of Energy under LBL 2002:22.

227. Yau KKW. Risk factors affecting the severity of single vehicle traffic accidents in Hong Kong. *Accident Analysis & Prevention* 2004;36(3):333-340.
228. Valent F, Schiava F, Savonitto C, Gallo T, Brusaferrero S, Barbone F. Risk factors for fatal road traffic accidents in Udine, Italy. *Accident Analysis & Prevention* 2002;34(1):71-84.
229. Evans L. Female compared with male fatality risk from similar physical impacts. *J Trauma* 2001;50(2):281-8.
230. Crandall CS, Olson LM, Sklar DP. Mortality reduction with air bag and seat belt use in head-on passenger car collisions. *Am J Epidemiol* 2001;153(3):219-24.
231. Barancik JI, Chatterjee BF, Greene-Craden YC, Michenzi EM, Kramer CF, Thode HCJ, et al. Motor vehicle trauma in northeastern ohio. I: incidence and outcome by age, sex, and road-use category. *Am. J. Epidemiol.* 1986;123(5):846-861.
232. DeJoy DM. An examination of gender differences in traffic accident risk perception. *Accident Analysis & Prevention* 1992;24(3):237-246.
233. Wells-Parker E, Ceminsky J, Hallberg V, Snow RW, Dunaway G, Guiling S, et al. An exploratory study of the relationship between road rage and crash experience in a representative sample of US drivers. *Accident Analysis & Prevention* 2002;34(3):271-278.
234. Yan X, Radwan E, Abdel-Aty M. Characteristics of rear-end accidents at signalized intersections using multiple logistic regression model. *Accident Analysis & Prevention* 2005;37(6):983-995.
235. Asbridge M, Poulin C, Donato A. Motor vehicle collision risk and driving under the influence of cannabis: Evidence from adolescents in Atlantic Canada. *Accident Analysis & Prevention* 2005;37(6):1025-1034.
236. Ostrom M, Sjogren H, Eriksson A. Role of alcohol in traffic crashes involving women: passenger car fatalities in northern Sweden. *J Stud Alcohol* 1995;56(5):506-12.
237. Dobbs AR, Heller RB, Schopflocher D. A comparative approach to identify unsafe older drivers. *Accid Anal Prev* 1998;30(3):363-70.
238. Ozkan T, Lajunen T, Summala H. Driver Behaviour Questionnaire: A follow-up study. *Accident Analysis & Prevention* 2006;38(2):386-395.
239. Parker D, McDonald L, Rabbitt P, Sutcliffe P. Elderly drivers and their accidents: the Aging Driver Questionnaire. *Accid Anal Prev* 2000;32(6):751-9.
240. Viano DC, Culver CC, Evans L, Frick M, Scott R. Involvement of older drivers in multivehicle side-impact crashes. *Accid Anal Prev* 1990;22(2):177-88.
241. Cooper PJ. Differences in accident characteristics among elderly drivers and between elderly and middle-aged drivers. *Accid Anal Prev* 1990;22(5):499-508.
242. Hakamies-Blomqvist LE. Fatal accidents of older drivers. *Accid Anal Prev* 1993;25(1):19-27.
243. Daigneault G, Joly P, Frigon JY. Previous convictions or accidents and the risk of subsequent accidents of older drivers. *Accid Anal Prev* 2002;34(2):257-61.
244. Van Elslande P. Les erreurs des conducteurs âgés. *Recherche - Transports - Sécurité* 2003;81:190-202.
245. Hakamies-Blomqvist L. Compensation in older drivers as reflected in their fatal accidents. *Accid Anal Prev* 1994;26(1):107-12.
246. Lafont S, Amoros E, Gadegbeku B, Chiron M, Laumon B. The impact of driver age on lost life years for other road users in France: A population based study of crash-involved road users. *Accident Analysis & Prevention* In Press.
247. Martin, Jean Louis , Derrien, Y , Laumon, B , Estimating relative driver fatality and injury risk according to some characteristics of cars and drivers using matched-pair multivariate analysis. 18th ESV Conference; 2003; Nagoya.
248. Thomas, P, Morris, A., Yannis, G.. The New European Road Safety Observatory – SafetyNet. 10th PRI International Road Safety World Congress; 2006; Abu Dabi United Arab Emirates.
249. Raty E, Ernvall T, Kreiss J. SARAC II: Quality Criteria for the Safety Assessment of Cars Based on real-World Crashes: Exposure Data and Primary Safety. In: CEA/EC SARAC II, editor. Braunschweig, Germany, 2006.
250. Green P, Woodrooffe J. The effectiveness of Electronic Stability Control on motor vehicle crash prevention. In: UMTRI, editor. Michigan, United States,, 2006.
251. Lie A, Tingvall C, Kraft M, Kullgren A. The effectiveness of ESP in reducing real life accidents. *Traffic Injury Prevention* 2004;5:37-41.
252. Page, Y., Cuny, S. Is ESP effective on French roads? 1st International ESAR; 2004; Hannove, Germany,.
253. Grömping, U., Menzler, S., Weimann, U.. Split-Register Study: A New Method for Estimating the Impact of Rare Exposure on Population Accident Risk based on Accident Register Data. 1st International Conference on ESAR; 2005 Hannover, Germany.
254. Delaney, A., Newstead, S., The effectiveness of anti-lock brake systems: A statistical analysis of Australian data. . Road Safety Research, Policing and Education Conference; 2004; Perth, Western Australia,.
255. Bland JM, Altman DG. Statistics notes: Matching. *BMJ* 1994;309:1128.

256. Greenland S, Morgenstern H. Matching and efficiency in cohort studies. *American Journal of Epidemiology* 1989;131(1):151-159.

Annexe 1

Intervalle de confiance des RAL dans l'approche de Thorpe

S_i , T_i et A_i sont les effectifs respectivement des usagers de profil i impliqués dans un accident à un véhicule, dans une collision et dans un accident quelque soit sa nature et S , T et A les effectifs totaux d'usagers impliqués dans un accident à un véhicule, dans une collision et dans un accident quelque soit sa nature ¹⁶⁶.

La probabilité d'être impliqué dans un accident s'écrit :

$$RAL_A = A_i / (2T_i - S_i) = A_i / T_i / (2 - S_i / T_i)$$

Pour le risque d'être impliqué dans un accident à un véhicule :

$$RAL_S = S_i / (2T_i - S_i) = S_i / T_i / (2 - S_i / T_i)$$

Pour le risque d'être impliqué dans une collision :

$$RAL_T = T_i / (2T_i - S_i) = 1 / (2 - S_i / T_i)$$

Thorpe pose également

$$var(\ln A_i) = (A - A_i) / (A \times A_i)$$

$$var(\ln S_i) = (S - S_i) / (S \times S_i)$$

$$var(\ln T_i) = (T - T_i) / (T \times T_i)$$

Ce qui permet de déduire l'intervalle de confiance du RAL_A :

$$\left[\left\{ \exp(\ln(A_i / T_i) - 1.96 \times ((A - A_i) / (A \times A_i) + (T - T_i) / (T \times T_i))^{0.5}) \right\} / \left\{ 2 - (\exp(\ln(S_i / T_i) - 1.96 \times ((S - S_i) / (S \times S_i) + (T - T_i) / (T \times T_i))^{0.5})) \right\} ; \left\{ \exp(\ln(A_i / T_i) + 1.96 \times ((A - A_i) / (A \times A_i) + (T - T_i) / (T \times T_i))^{0.5}) \right\} / \left\{ 2 - (\exp(\ln(S_i / T_i) + 1.96 \times ((S - S_i) / (S \times S_i) + (T - T_i) / (T \times T_i))^{0.5})) \right\} \right]$$

- Du RAL_S :

$$\left[\left\{ \exp(\ln(S_i / T_i) - 1.96 \times ((S - S_i) / (S \times S_i) + (T - T_i) / (T \times T_i))^{0.5}) \right\} / \left\{ 2 - (\exp(\ln(S_i / T_i) - 1.96 \times ((S - S_i) / (S \times S_i) + (T - T_i) / (T \times T_i))^{0.5})) \right\} ; \left\{ \exp(\ln(S_i / T_i) + 1.96 \times ((S - S_i) / (S \times S_i) + (T - T_i) / (T \times T_i))^{0.5}) \right\} / \left\{ 2 - (\exp(\ln(S_i / T_i) + 1.96 \times ((S - S_i) / (S \times S_i) + (T - T_i) / (T \times T_i))^{0.5})) \right\} \right]$$

- et du RAL_T :

$$\left[1 / \left\{ 2 - (\exp(\ln(S_i / T_i) - 1.96 \times ((S - S_i) / (S \times S_i) + (T - T_i) / (T \times T_i))^{0.5})) \right\} ; 1 / \left\{ 2 - (\exp(\ln(S_i / T_i) + 1.96 \times ((S - S_i) / (S \times S_i) + (T - T_i) / (T \times T_i))^{0.5})) \right\} \right]$$

Annexe 2

Faut-il prendre en compte la structure hiérarchique des données d'accidents de la route ?

Introduction

Les recueils de données d'accidents de la route se composent, en partie, d'accidents présentant une structure hiérarchique de type accident, véhicule, occupant. Il s'agit des accidents impliquant un seul véhicule mais occupés par plusieurs passagers et des accidents impliquant plusieurs véhicules et occupés par un ou plusieurs sujets.

La présence de corrélations entre les sujets impliqués dans le même accident implique qu'une partie des données n'est plus identiquement et indépendamment distribuée. En théorie, il n'est plus possible d'utiliser les modèles linéaires généralisés. En effet, l'information relative à une caractéristique du véhicule ou de l'accident est répétée autant de fois qu'il y a d'usagers et de véhicules dans le même accident. En négligeant la présence des niveaux hiérarchiques « accident » et « véhicule », les variances des risques associés à ces facteurs seraient en théorie sous-estimées puisque déterminées sur la base d'informations inutilement répétées au niveau individu. Les intervalles de confiance et les tests statistiques qui en découleraient seraient erronés uniquement par mauvaise spécification du modèle statistique.

Plusieurs solutions peuvent être employées. La première consiste à n'étudier qu'un sous ensemble de données afin d'obtenir une population d'étude dans laquelle les observations sont indépendantes : par exemple, les conducteurs impliqués dans les accidents à un véhicule. Une autre solution consiste à étudier un sous ensemble d'accidents, les collisions, et à utiliser les modèles adaptés aux données appariées pour contrôler la dépendance entre les usagers impliqués dans le même accident. La dernière solution consiste à utiliser toute l'information disponible et à employer les modèles statistiques adaptés aux données corrélées : le modèle hiérarchique ou le modèle Generalized Estimating Equation (GEE).

La prise en compte de la structure hiérarchique des données par de telles modélisations est cependant particulière dans le cas des accidents de la route. En effet, les données correspondantes ont une structure plus proche de données indépendantes que de données avec une structure hiérarchique. Le poids des données dépendantes est faible puisque la plupart se rapportent à des accidents impliquant un seul véhicule occupé par son seul conducteur : en

France entre 1996 et 2000, les accidents de véhicules légers étaient composés en moyenne de 1,46 véhicules par accident et 1,54 usagers par véhicule.

Ces conditions sont peu propices à l'utilisation des modèles hiérarchiques. Ils s'appliquent généralement à des structures où le nombre de sujets par unité de regroupement est élevé mais le nombre d'unités de regroupement est réduit. Un minimum de 30 unités de regroupement est préconisé dans le cadre des modèles linéaires hiérarchiques afin d'éviter des problèmes de biais dans les estimations ou de non convergence du processus d'estimation. Ces limites ne sont pas clairement identifiées pour ce qui concerne les modèles non linéaires hiérarchiques et le nombre de sujets par unité de regroupement. Le minimum de trente unités de regroupement est très largement atteint dans les données d'accident puisque plusieurs milliers d'accidents peuvent être disponibles. Cependant le nombre de sous-unités est souvent très réduit.

La prise en compte de la structure hiérarchique peut s'avérer difficile à mettre en œuvre en utilisant les modèles adaptés aux données corrélées. Sa non prise en compte peut conduire à sous-estimer les risques et intervalles de confiance et conduit à violer les hypothèses sous-jacentes à l'utilisation des modèles linéaires généralisés.

L'objectif de cette étude est donc de définir :

- la pertinence du modèle hiérarchique lorsque le nombre d'unités de regroupement est important (accidents) mais le nombre de sujets par unités de regroupement est faible (individus par véhicule et véhicule par accident).
- la pertinence d'une autre méthode pour données corrélées, le modèle GEE
- les conséquences induites par l'utilisation du modèle logistique standard qui ne tient pas compte de la structure hiérarchique des données.

Matériel et méthode

Matériel

Les données utilisées concernent les accidents corporels de la circulation de véhicules légers survenus en France entre 1996 et 2000 et collectées par les forces de l'ordre. Tous les accidents mortels survenus durant la période d'étude sont sélectionnés ainsi qu'un échantillon aléatoire de 10% des accidents corporels (l'objectif étant d'obtenir un set de données de taille raisonnable). La population d'étude est finalement composée de 2 030 accidents soit 17 512 véhicules et 26 918 occupants dont 6 221 sujets décédés.

L'événement d'intérêt est le décès des sujets. Les facteurs de risque sélectionnés relatifs à l'accident sont le type de chaussée, la présence d'une intersection et la luminosité. Ceux

relatifs au véhicule sont la zone d'impact et la masse du véhicule. Enfin, ceux relatifs à l'utilisateur sont son genre, son âge, le port de la ceinture et l'emplacement dans le véhicule

Méthode

Données observées et données simulées

Pour évaluer l'efficacité des différents modèles considérés, une analyse de Monte-Carlo est réalisée. Des données sont simulées sur la base des données observées. Ces dernières permettent d'une part de définir la structure hiérarchique à reproduire (nombre d'accidents, de véhicules par accident, de sujets par véhicules), et d'autre part d'identifier la distribution des différents facteurs de risque selon le niveau hiérarchique auxquels ils se rapportent. Les quantifications des effets des différents facteurs de risque, de leurs variances et de la variance des effets aléatoires associés aux différents niveaux de la hiérarchie sont réalisées grâce à un modèle logistique hiérarchique à trois niveaux accident-véhicule-environnement. Ces valeurs observées servent à construire les jeux de données simulés. Ce sont les points de référence utilisés dans les comparaisons à venir. Un total de 100 jeux de données est simulé sur la base des différents effets fixes et effets aléatoires observés. Chacun est composé de 12 030 accidents soit 17 512 véhicules et 26 918 occupants accidentés. Les variances des effets aléatoires sont respectivement de 0,350 et 0,134 pour les niveaux hiérarchiques accident et véhicule.

Modèles utilisés

L'événement étudié est le décès des sujets. C'est donc un facteur qui suit une loi binomiale et qui nécessite le recours au modèle logistique.

Afin de prendre en compte la structure hiérarchique, il est possible d'utiliser le modèle logistique hiérarchique à trois niveaux (MLM3),

$$\text{Logit}(p_{ijk}) = \beta_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m X_{m_{ijk}} + \sum_{n=1}^N \beta_n X_{n_{jk}} + \sum_{q=1}^Q \beta_q X_{q_k} + U_{jk} + U_k$$

avec p_{ijk} la probabilité que l'occupant i (niveau hiérarchique 1) dans le véhicule j (niveau 2) lors de l'accident k (niveau 3) soit décédé suite à l'accident ; $X_{m_{ijk}}$, $X_{n_{jk}}$, X_{q_k} les facteurs de risque respectivement associés aux caractéristiques de l'utilisateur, de son véhicule et de l'accident ; β_m , β_n , β_q les effets fixes associés à ces facteurs. Les odds-ratios s'obtiennent en calculant l'exponentielle de ces effets.

Concernant la structure hiérarchique, U_{jk} et U_k sont les effets aléatoires rattachés au niveau 2 et au niveau 3. Ils s'appliquent à β_0 , l'ordonnée à l'origine. Ils sont supposés indépendants les uns des autres et distribués selon la loi normale avec comme variance σ_2^2 et σ_3^2 . Ce sont ces derniers paramètres qui sont estimés et qui permettent d'évaluer la part de variance résiduelle encore non expliquée par les effets fixes considérés. L'estimation des différents paramètres est réalisée en utilisant la quasi-vraisemblance pénalisée d'ordre 2.

Un modèle logistique hiérarchique à deux niveaux accident-usager (MLM2) est également spécifié afin d'évaluer l'impact d'une définition plus simple de la structure hiérarchique.

Le modèle GEE est également utilisé. Il permet de modéliser une variable binomiale avec des données corrélées. Il s'agit d'un modèle logistique modifié pour estimer correctement les variances des risques, les corrélations étant isolées dans une « matrice de travail » comme des termes de nuisance. La structure est ici de type « exchangeable correlation matrix » mais n'importe quelle autre définition conduirait aux mêmes estimations des variances lorsque, comme dans notre cas, le nombre d'unités de regroupement au niveau 3 est important.

Le modèle logistique standard (ML) est également utilisé, qui ne tient pas compte de la structure hiérarchique des données.

Critère d'évaluation

Les 100 jeux de données sont modélisés avec les modèles MLM3, MLM2, GEE et ML. Leurs estimations sont comparées entre elles et en particulier à celles du ML. Pour assurer cette comparabilité, la proportion de biais dans les estimations de chaque méthode est calculée. Il s'agit de l'écart entre la valeur estimée et la valeur théorique d'un paramètre,

$$\frac{\text{moyenne}(\hat{\theta}_0, \dots, \hat{\theta}_{100}) - \theta}{\theta}$$

avec $\text{moyenne}(\hat{\theta}_0, \dots, \hat{\theta}_{100})$, l'estimation de Monte Carlo d'un paramètre pour chacun des 100 jeux de données ; $\hat{\theta}_i$ la i -ème estimation du paramètre considéré ; θ la valeur théorique de ce même paramètre, servant de référence, déterminée à partir des données observées.

Ces proportions de biais sont calculées pour tous les effets fixes $\beta_m, \beta_n, \beta_q$ et pour leurs variances. Elles sont également déterminées pour les odds-ratios qui découlent de ces paramètres, $\exp(\beta_m), \exp(\beta_n), \exp(\beta_q)$ et leurs intervalles de confiance. Enfin, elles sont estimées pour les variances des effets aléatoires et leurs écart-types.

Résultats

La modélisation des données observées est présentée en tableau 40. Les risques et variances des effets aléatoires sont estimés avec le MLM3 et vont servir à calibrer les simulations. Les effets fixes et les odds-ratios sont tous statistiquement significatifs. Pour ce qui concerne les paramètres associés à la structure hiérarchique (tableau 41), la variance des effets aléatoires associée au niveau hiérarchique accident est significative. La variance des effets aléatoires associée au niveau véhicule est non significative : les usagers accidentés à bord du même véhicule ne semblent pas corrélés. Ce niveau hiérarchique sera cependant conservé pour la suite des analyses afin d'étudier la structure complète de type accident-véhicule-usager. Cependant comme indiqué précédemment le MLM2 sera considéré en parallèle au MLM3 afin de pouvoir étudier la structure accident-usager.

Lors de la modélisation des 100 jeux de données aucun problème de convergence des processus d'estimation utilisés par les modèles MLM, GEE ou LM n'est survenu. Si les estimations ainsi obtenues sont cohérentes pour ce qui concerne le MLM2, le modèle GEE et ML, celles obtenues avec le MLM3 ne sont pas toutes cohérentes. La variance des effets aléatoires associés au niveau hiérarchique « véhicule » est estimée à 0 dans 36% des jeux de données simulés. Pourtant la valeur théorique de ce paramètre utilisée lors de sa simulation est de 0,134. Le problème est identique pour l'écart type de ce paramètre simulé à 0,094. Cette incohérence disparaît si l'on simule des accidents avec plus de véhicules et d'usagers : 18% des estimations des variances des effets aléatoires sont égales à 0 lorsque chaque unité est composée de 2 sous unités et sont toutes cohérentes dès lors qu'il y a au moins 5 sous unités par unité. Si la structure hiérarchique observée est conservée (moins de deux sous unités par unité), les difficultés de convergence des processus d'estimation surviennent lorsque le nombre d'accidents étudié est réduit à 1 000. Lorsque les processus convergent, un tiers des estimations associées à la variance du niveau hiérarchique véhicule sont incohérentes et un cinquième en ce qui concerne la variance du niveau hiérarchique accident.

Les proportions de biais associées aux effets fixes sont présentées dans le tableau 42. Les modèles MLM fournissent les estimations de Monte-Carlo les plus proches des valeurs théoriques, avec des proportions de biais inférieures à 5%. Le MLM3 fournit de meilleures estimations que le MLM2. Le modèle GEE et le ML calculent des estimations présentant des biais variant de -4 à -10%. L'écart relatif entre la valeur théorique et celle estimée pour l'effet fixe associé aux femmes est de -4% dans le MLM3, -5% dans le MLM2 et de -10% avec les autres modèles.

Tableau 40 Effets fixes, effets aléatoires, odds-ratios et distributions observées associés aux facteurs de risque des usagers impliqués dans des accidents corporels, France 1996-2000

Population utilisée [†]	Facteurs de risque	%	OR _{brut} [‡]	β [#]	$\sigma(\beta)$ [#]	OR _{ajusté} [‡]	
N= 12 030 accidents	Type de voie						
		Autoroute	16,70	1,14	0,22	0,09	1,25
		Route nationale ou départementale	75,40	2,84	1,07	0,06	2,92
		Autre voie	07,90	1,00	0	-	1,00
		Nature de l'accident					
		Accident à un véhicule	58,70	2,26	0,92	0,04	2,51
		Acc à plusieurs véhic en intersection	16,00	0,32	-1,02	0,07	0,36
		Acc à plusieurs véhic hors intersection	25,30	1,00	0	-	1,00
		Moment de la journée					
		Nuit, aube, crépuscule	44,50	1,55	0,26	0,04	1,30
	Journée	55,50	1,00	0	-	1,00	
N= 17 512 véhicules	Type de choc						
		Autre type d'impact	04,50	1,96	0,25	0,08	1,28
		Impact latéral	15,40	2,29	1,25	0,05	3,48
		Impact arrière	07,10	0,26	-0,49	0,09	0,61
		Impact avant	73,00	1,00	0	-	1,00
		Poids					
	Moins de 1 000 Kg	64,00	1,26	0,28	0,04	1,32	
	Plus de 1 000 Kg	36,00	1,00	0	-	1,00	
N= 26 918 usagers	Genre						
		Femme	36,40	0,67	-0,10	0,04	0,91
		Homme	63,60	1,00	0	-	1,00
		Age					
		65 ans et plus	11,30	1,85	1,51	0,06	4,51
		[45-65[	18,50	1,08	0,51	0,05	1,67
		[0-18[	02,90	0,57	-0,09	0,08	0,91
		[18-45[	67,30	1,00	0	-	1,00
		Position dans le véhicule					
		Passager arrière	13,00	0,79	-0,63	0,08	0,53
		Passager avant droit	21,90	1,12	0,1	0,06	1,16
		Conducteur seul	42,20	1,91	0,92	0,05	2,51
		Conducteur	22,90	1,00	0	-	1,00
	Ceinture de sécurité						
	Sans ceinture	15,50	5,40	1,80	0,05	6,07	
	Avec ceinture	84,50	1,00	0	-	1,00	
Ordonnée à l'origine				-3,97	0,09		

[#]Coefficient de régression et écart-type du coefficient de régression.

[‡]Odds ratio(=exp(β)) obtenu avec le modèle logistique standard en tenant compte de l'unité statistique auquel les facteurs de risque se réfèrent : les accidents pour la luminosité, les véhicules pour le type de choc ou l'utilisateur pour la position dans le véhicule.

Tableau 41 : Paramètres aléatoires du modèle logistique hiérarchique accident-véhicule-usager

Variance des effets aléatoire §	Var(U)	σ var (U)
Niveau accident	0,35	0,08
Niveau véhicule	0,13	0,09

§Paramètres estimés avec le MLM3.

Les estimations des variances des effets fixes fournies par les différents modèles sont cependant plus éloignées de leurs valeurs théoriques (tableau 42). Les MLM fournissent toujours les meilleures estimations. Les biais sont les plus importants avec les estimations des modèles GEE et LM : la variance de l'effet fixe associé aux véhicules dont la masse est inférieure à 1000 kg a un biais de -4% dans le MLM3 contre -5% dans le MLM2, -9% dans le GEE et -11% dans le ML.

Les paramètres en lien avec la structure hiérarchique, c'est-à-dire les variances des effets aléatoires associés aux niveaux accident et véhicule ainsi que leurs écarts-type, sont présentés en fin de tableau 42. Seul le modèle MLM permet d'estimer ces paramètres. Les biais sont importants : -14%. Pour l'estimation des paramètres du niveau véhicule, seulement 64% des sets de données simulés sont exploitables. Cette difficulté disparaît lorsque le niveau hiérarchique véhicule est négligé. Le MLM2 fournit par ailleurs une estimation de la variance des effets aléatoires du niveau accident moins biaisée. Les estimations des écarts-types associés aux variances des effets aléatoires sont assez éloignées des valeurs théoriques, spécifiquement pour le niveau accident où les biais atteignent -21% avec le MLM3 et -49% avec le MLM2.

Lorsque l'exponentielle des différents effets fixes est utilisée pour déterminer les odds-ratios, les biais sont bien moins importants. Ils sont presque nuls avec le MLM3 et ne dépassent pas 7% en valeur absolue avec les autres modèles. Les biais de leurs intervalles de confiance sont également faibles (entre -4% et 0%) alors qu'ils cumulent ceux de l'effet fixe et ceux de leur variance. Les risques estimés et leurs intervalles de confiance sont donc très proches de leurs valeurs théoriques (tableau 43). Comme attendu, les intervalles de confiance estimés par le ML sont légèrement sous-estimés par rapport à leurs valeurs théoriques. Quel que soit le modèle considéré, les significativités statistiques associées aux différents risques ne sont pas affectées par les biais et correspondent à celles théoriques.

Tableau 42 Biases des estimations de Monte-Carlo des effets fixes, des variances des effets aléatoires) et de leur écart-type[†].

	Effets fixes							
	β				$\sigma(\beta)$			
	MLM3 [‡]	MLM2*	GEE	ML	MLM3 [‡]	MLM2*	GEE	ML
Autoroute	00%	-01%	-06%	-06%	-04%	-05%	-11%	-12%
Route nationale et départementale	-01%	-04%	-07%	-07%	-07%	-08%	-14%	-15%
Accident à un véhicule	-02%	-02%	-08%	-08%	-06%	-14%	-20%	-22%
Accident à n véhic. en intersection	-01%	-02%	-06%	-06%	16%	15%	06%	05%
Nuit, aube, crépuscule	01%	00%	-05%	-05%	-10%	-10%	-16%	-18%
Autre impact	03%	02%	-04%	-04%	06%	05%	00%	-02%
Impact latéral	-02%	-03%	-08%	-08%	-03%	-04%	-08%	-11%
Impact arrière	00%	00%	-05%	-05%	-17%	-18%	-22%	-23%
Moins de 1 000 Kg	-02%	-03%	-08%	-08%	-04%	-05%	-09%	-11%
Femme	-04%	-05%	-10%	-10%	-09%	-10%	-15%	-14%
65 ans et plus	-02%	-02%	-08%	-08%	-12%	-13%	-17%	-17%
[45-65[	-01%	-02%	-08%	-08%	-12%	-12%	-17%	-17%
[0-18[	06%	06%	02%	02%	49%	44%	39%	40%
Passager arrière	00%	-01%	-06%	-06%	-08%	-08%	-14%	-13%
Passager avant droit	01%	00%	-05%	-05%	-05%	-05%	-11%	-08%
Conducteur seul	-01%	-02%	-07%	-07%	-04%	-05%	-10%	-10%
Sans ceinture	-02%	-02%	-08%	-08%	-08%	-09%	-13%	-13%
Ordonnée à l'origine	-01%	-02%	-08%	-08%	00%	-08%	-14%	-15%
Effets aléatoires								
	Var[U]		$\sigma(\text{Var}[U])$					
	MLM3 [‡]	MLM2*	MLM3 [‡]	MLM2*				
Niveau 3 : accident	-14%	-05%	-21%	-49%				
Niveau 2 : véhicule**	-14%		-05%					

[†] Biases calculés en comparant les estimations de Monte-Carlo obtenus sur la base des 100 sets de données simulés aux valeurs théoriques des différents paramètres déterminées sur la base des données observées des BAAC.

[‡] MLM3 accident-véhicule-occupant

* MLM2 accident-occupant

** calculés sur la base des 64% d'estimations différentes de « 0 »

Discussion

Ces résultats permettent d'évaluer l'intérêt qu'il existe à prendre en compte la structure hiérarchique des données d'accident de la route. Cette structure présente la particularité d'être composée de beaucoup d'unités de regroupement, plusieurs milliers d'accidents, mais peu de sous unités par unité, moins de deux véhicules par accident et moins de deux passagers par véhicule. Pour cela, la pertinence du modèle logistique hiérarchique à deux ou trois niveaux

est évaluée et comparée à celle d'une autre approche pour données corrélées, le modèle GEE et enfin à celle du modèle logistique standard qui ne prend pas en compte la dépendance des données.

Tableau 43 Odds-ratios et intervalles de confiance théoriques et estimés par les MLM, GEE et ML

	Valeurs théoriques [†]		MLM3 [‡]		MLM2*		GEE		ML	
	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%	OR	IC95%
Autoroute	1,247	[1,044-1,491]	1,251	[1,055-1,483]	1,249	[1,055-1,479]	1,235	[1,054-1,447]	1,235	[1,057-1,444]
Route nationale et départementale	2,918	[2,600-3,276]	2,881	[2,587-3,208]	2,830	[2,544-3,148]	2,705	[2,448-2,988]	2,707	[2,453-2,987]
Acc à un véhicule	2,514	[2,311-2,735]	2,480	[2,296-2,690]	2,463	[2,291-2,647]	2,344	[2,190-2,507]	2,345	[2,195-2,505]
Acc à plusieurs véh en intersection	0,362	[0,318-0,412]	0,368	[0,317-0,427]	0,370	[0,319-0,43]	0,388	[0,338-0,445]	0,388	[0,339-0,445]
Nuit, aube, crépuscule	1,300	[1,204-1,403]	1,304	[1,217-1,397]	1,301	[1,215-1,394]	1,283	[1,203-1,368]	1,283	[1,205-1,366]
Autre impact	1,284	[1,102-1,496]	1,296	[1,103-1,524]	1,293	[1,102-1,518]	1,276	[1,095-1,487]	1,275	[1,098-1,481]
Impact latéral	3,480	[3,180-3,808]	3,408	[3,124-3,718]	3,374	[3,095-3,677]	3,145	[2,895-3,416]	3,146	[2,904-3,409]
Impact arrière	0,613	[0,512-0,734]	0,614	[0,529-0,713]	0,616	[0,531-0,714]	0,631	[0,549-0,726]	0,631	[0,549-0,724]
Moins de 1 000Kg	1,323	[1,228-1,425]	1,315	[1,225-1,413]	1,313	[1,223-1,409]	1,293	[1,209-1,384]	1,293	[1,210-1,381]
Femme	0,908	[0,842-0,981]	0,912	[0,851-0,978]	0,913	[0,853-0,979]	0,918	[0,860-0,980]	0,918	[0,860-0,980]
65 ans et plus	4,509	[4,040-5,032]	4,411	[4,005-4,857]	4,353	[3,956-4,791]	3,998	[3,650-4,380]	3,998	[3,650-4,380]
[45-65[	1,667	[1,514-1,835]	1,657	[1,522-1,804]	1,650	[1,517-1,795]	1,605	[1,482-1,739]	1,605	[1,482-1,740]
[0-18[	0,913	[0,776-1,074]	0,914	[0,718-1,164]	0,915	[0,725-1,156]	0,917	[0,732-1,150]	0,917	[0,731-1,151]
Passager arrière	0,533	[0,460-0,617]	0,535	[0,467-0,613]	0,538	[0,470-0,616]	0,555	[0,489-0,630]	0,555	[0,489-0,631]
Passager avant droit	1,160	[1,041-1,291]	1,162	[1,049-1,288]	1,161	[1,048-1,286]	1,152	[1,046-1,268]	1,152	[1,043-1,272]
Conducteur seul	2,507	[2,286-2,749]	2,485	[2,275-2,715]	2,466	[2,258-2,692]	2,348	[2,160-2,551]	2,348	[2,161-2,552]
Sans ceinture	6,068	[5,545-6,640]	5,907	[5,438-6,417]	5,814	[5,355-6,312]	5,239	[4,845-5,665]	5,240	[4,846-5,667]

† Estimés sur les données observées par un MLM3.

‡ MLM3 accident-véhicule-occupant

* MLM2 accident- -occupant

L'analyse de Monte-Carlo, dans laquelle les données d'étude sont simulées sur la base d'observations, permet d'obtenir des valeurs de référence qui sont comparées aux valeurs estimées par les modèles. L'écart entre ces deux valeurs constitue la mesure la plus objective possible pour comparer les modèles.

Bien qu'il soit en limite d'utilisation sur une telle structure hiérarchique, le MLM, en particulier celui avec trois niveaux hiérarchique, est le plus pertinent de tous les modèles comparés. Il nécessite cependant que plusieurs milliers d'unités de regroupement, c'est-à-dire d'accidents de la circulation, soient disponibles dans la base de données étudiée afin d'éviter des problèmes de convergence ou d'estimations incohérentes. Pour les effets fixes, il produit

les estimations les moins biaisées. Le MLM2 avec une structure hiérarchique simplifiée sans le niveau véhicule, s'avère moins pertinent. Le modèle GEE qui permet également de prendre en compte la corrélation des données s'avère encore moins performant. Le ML fournit des estimations globalement plus biaisées que celles des autres approches : les effets fixes et leurs variances sont généralement sous-estimés.

Les biais entre valeurs théoriques et valeurs estimées sont bien moins importants lorsqu'il s'agit de considérer les odds-ratios et leurs intervalles de confiance. Le changement d'échelle induit en prenant l'exponentielle des effets fixes « lisse » les écarts. Les estimations des risques obtenues dans tous les modèles sont très proches les unes des autres. Celles obtenues dans le ML sont proches des risques théoriques. Cette approche s'avère être une solution acceptable et facile à mettre en œuvre. Sur le plan théorique, c'est une erreur mais en pratique la différence par rapport à des modélisations plus complexes est faible. La non prise en compte de la structure hiérarchique ne modifie pas la significativité statistique des différents facteurs testés. Cependant, la prudence s'impose pour les risques significatifs dont les intervalles de confiance ont une de leurs bornes proche de un. Il convient de mettre en œuvre le MLM afin d'identifier si le rejet de l'hypothèse H_0 est le fruit de la légère sous-estimation induite par le ML ou si au contraire il existe une véritable association entre les facteurs considérés et l'événement étudié.

Le modèle MLM, en particulier le modèle à trois niveaux hiérarchiques, s'avère le plus adéquat pour estimer les effets fixes. Néanmoins, ses estimations des paramètres en lien avec la structure hiérarchique des données sont très biaisées. Dans notre contexte, ceci ne représente pas une faiblesse. Bien que ce modèle soit « subject-specific » donc apte à individualiser le risque moyen d'un facteur pour chaque unité de regroupement en utilisant les effets aléatoires, il est considéré comme un modèle marginal, en « population-average » : seul le risque moyen fournit par l'effet fixe est intéressant, les effets aléatoires ne présentant pas d'intérêt en soit mais permettent d'isoler les effets des corrélations, à l'instar de la matrice de travail dans le modèle GEE. En termes de sécurité routière, il n'est pas nécessaire d'individualiser le risque d'un facteur pour chaque accident, mais au contraire de connaître son effet moyen pour déterminer si une intervention est nécessaire pour tous les usagers présentant ce profil. Pour pouvoir individualiser les risques, il faudrait un minimum de 5 sujets par véhicules et 5 véhicules par accident pour éviter que les estimations des effets aléatoires ne soient trop biaisées. Bien que cette façon d'appréhender le MLM soit similaire à l'approche marginale du GEE, elle s'en différencie : le GEE se contente d'isoler les effets des

corrélations alors que la structure hiérarchique du MLM permet d'ajuster les effets fixes sur les effets aléatoires.

Conclusion

Ainsi, lorsque l'on considère un problème de sécurité routière qui requiert l'analyse de tous les types d'accident générés par un ou plusieurs véhicules eux-mêmes occupés par un ou plusieurs usagers, le MLM est utilisable pour prendre en compte la corrélations des données, et ce malgré la spécificité de la structure hiérarchique considérée. Il fournit les meilleures estimations possibles des odds-ratios tout en permettant d'ajuster les risques sur la structure hiérarchique, contrairement à l'approche GEE qui fournit en outre des risques plus biaisés. Un grand nombre d'accidents doit cependant être disponible afin d'éviter des problèmes calculatoires. Le MLM et le modèle GEE estiment des risques très proches de ceux calculés dans le ML. Cette approche demeure une solution de modélisation intéressante lorsque les données d'accidents de la route considérées sont composées d'une majeure partie d'accident à un véhicule et un occupant ou d'usagers indépendants des autres accidentés. Elle est par ailleurs plus facile à mettre en œuvre dans les logiciels statistiques. Si les données considérées sont composées d'une majeure partie d'accidents ayant une autre nature, des accidents à deux véhicules, des accidents de transport en commun ou des carambolages, le MLM est préconisé. Il convient également d'utiliser ce modèle afin de valider les conclusions établies sur la base des intervalles de confiance obtenus par le ML quand leurs bornes sont proches de 1.

Bibliographie

cf ¹⁹⁵

Annexe 3

Évaluation de l'efficacité des dispositifs de protection embarqués dans les véhicules

L'évaluation de l'efficacité d'un dispositif de sécurité tel que l'ABS (système électronique permettant d'éviter le blocage des roues) ou l'ESP (contrôleur électronique de trajectoire) est rendue difficile par manque de données d'exposition au risque routier. La connaissance du parc automobile équipé, des kilomètres parcourus par les véhicules équipés et des situations dans lesquelles un accident serait survenu en l'absence du dispositif de sécurité est pourtant primordiale. De plus, ces dispositifs nécessitent une évaluation dès leur introduction sur le marché au moment où leurs prévalences sont les plus faibles.

Pour ce faire une méthode permettant de contourner l'absence de ces données, a été développée, exclusivement basée sur des données d'accidents de la route. Cette méthode, identifiée comme une approche cas témoins, ne définit pas les cas et les témoins sur la base de la responsabilité mais sur la base des types d'accident. Les cas sont les accidents dans lesquels le dispositif de sécurité peut avoir un effet s'il est présent, par exemple si on s'intéresse à l'ESP, les accidents avec perte de contrôle du véhicule (en courbe). Les témoins sont les accidents dans lesquels le dispositif n'est pas efficace, les collisions avec choc latéral par exemple. Le tableau de contingence 44 décrit la répartition des véhicules accidentés selon la nature de l'accident dans lesquels ils sont impliqués et la présence du dispositif de sécurité.

Tableau 44 : Description d'une étude d'évaluation de dispositif de sécurité

	Équipé	Non équipé
Accident pertinent (Cas)	A	B
Accident non pertinent (Témoins) i	C	D

La mesure d'efficacité du dispositif est

$$E=I-OR$$

Dans la mesure où le nombre d'accidents disponibles dans la base de données n'est pas fixé a priori, l'odds-ratio ou OR peut alors s'écrire

OR

$$= \frac{P(\text{Accident}_{\text{pertinent}} \mid \text{Véhicule équipé}) / P(\text{Accident}_{\text{nonpertinent}} \mid \text{Véhicule équipé})}{P(\text{Accident}_{\text{pertinent}} \mid \text{Véhicule non équipé}) / P(\text{Accident}_{\text{nonpertinent}} \mid \text{Véhicule non équipé})}$$

$$= A/C/B/D$$

Les accidents « témoins » n'ont a priori pas de raisons d'être causés par le dispositif de sécurité. Ainsi

$$\frac{P(\text{Accident}_{\text{nonpertinentaudispositif}} \mid \text{Véhicule équipé})}{P(\text{Accident}_{\text{nonpertinentaudispositif}} \mid \text{Véhicule nonéquipé})} \\ = C/D = I$$

L'odds-ratio est alors équivalent à un risque relatif. Ceci est d'autant plus vrai que l'accident est un événement rare

$$A/A+C=A/C \text{ et } B/B+D=B/D$$

L'utilisation du modèle logistique permet d'une part d'évaluer l'effet propre aux dispositifs de sécurité et d'autre part d'ajuster sur les différents facteurs usager-véhicule.

Cette approche ressemble à celle de quasi exposition induite et à l'analyse de responsabilité. Il s'agit de définir un groupe de témoins proche de la population circulante sur la base des données d'accidents de la route. Dans cette approche tout repose sur la ressemblance des témoins à la population des véhicules circulants : les véhicules « témoins » doivent être percutés par le côté indépendamment de la présence du dispositif pour être supposés refléter la prévalence du dispositif étudié dans la population circulante.

Bibliographie

cf ²⁴⁹⁻²⁵⁴

Annexe 4

Risque relatif apparié

Les données d'accidents de la route corporels, telles que recueillies en continu par les forces de l'ordre, à l'image des données des BAAC, présentent deux propriétés :

- Le nombre de sujets « malades » est une variable aléatoire dépendant du nombre d'accidents de la route survenus dans la population circulante étudiée pendant la période d'observation.
- Les sujets impliqués dans le même accident sont naturellement appariés.

Lorsqu'il s'agit d'étudier un événement d'intérêt dichotomique, par exemple le fait d'être tué ou d'être gravement atteint suite à l'implication dans un accident de la route, il n'est pas pertinent de recourir au modèle logistique (adapté aux données binomiales) et donc à l'odds-ratio. D'une part, il est possible de calculer la probabilité d'être tué sachant l'exposition à un facteur de risque ($P[M|E]$) et par conséquent les risques relatifs. D'autre part, l'Odds-Ratio n'est une mesure pertinente que dans la mesure où le décès ou la présence d'une atteinte corporelle grave, suite à un accident de la route, n'est pas un événement rare.

L'utilisation du risque relatif au lieu de son approximation, l'odds-ratio, est particulièrement utile pour calculer les risques de sécurité routière secondaire des sujets impliqués dans les collisions. En effet, il est nécessaire de prendre en compte l'appariement des sujets impliqués dans le même événement (tableau 45). Si les risques sont évalués en utilisant un odds-ratio, seules les paires discordantes, celles pour lesquelles un seul des deux conducteurs est tué, sont nécessaires :

$$OR = B/C$$

Les paires dans lesquelles les deux usagers sont décédés, A, ne sont pas utilisées bien que ces sujets contribuent au bilan global de l'insécurité routière. En revanche si les mesures d'association sont déterminées au moyen de risques relatifs appariés, toutes les paires dans lesquelles au moins un conducteur est tué dans l'accident, sont utilisées

$$RR = (A+B)/(A+C)$$

Tableau 45 : Répartition des usagers impliqués dans une collision selon leur statut vital

		Conducteur A	
		Tué	Non tué
Conducteur B	Tué	A	B
	Non tué	C	D

L'utilisation du risque relatif apparié permet ainsi d'appréhender plus largement la population concernée par l'insécurité routière.

Ces risques appariés bruts et ajustés peuvent être estimés en utilisant les techniques de modélisation adaptées à l'analyse des données de cohorte appariée comme le modèle de

Poisson conditionnel ou le modèle de hasard proportionnel avec utilisation de la technique de Breslow ou Efron pour prendre en compte les ex æquo.

Dans le cadre d'une analyse ne nécessitant pas la prise en compte de l'appariement des données, par exemple une étude fondée sur les conducteurs impliqués dans un accident à un véhicule, les risques relatifs peuvent être calculés en utilisant le modèle log-linéaire pour données binomiales.

Bibliographie

Cf ^{204 205 208 255 256}

Production scientifique

Articles

- Martin JL, **Lenguerrand E et al.**, A population based estimation of the driver protection provided by passenger cars: France 1996-2005. (Submitted)
- Lenguerrand E**, Martin JL, Moskal A, Laumon B, the SAM group, The quasi-induced exposure method and the standard case-control approach: a comparison with regard to the road safety implications of cannabis and alcohol use. *Accident Analysis & Prevention* 2008; 40: 861-868.
- Lenguerrand E**, Martin JL, Chiron M, Lagarde E, Laumon B, Road crash involvement and professional status: A prospective study using the French Gazel cohort. *Accident Analysis & Prevention* 2008; 40: 126-136
- Lenguerrand E**, Martin JL, Laumon B, Modelling the hierarchical structure of road crash data-Application to severity analysis, *Accident Analysis & Prevention* 2006;38: 43-53.

Communications orales

- Lenguerrand E**, Martin JL, Laumon B, the SAM group. A comparison of methods for assessing the risk of causing a road crash when driving under the cannabis and alcohol influence in case-control study. Accepted for oral presentation at The UK Society for Social Medicine & The International Epidemiological Association, Cork, Ireland, 2007 (Proceedings in *Journal of Epidemiology and Community Health*).
- Lenguerrand E** "Road crash involvement and professional status". Scientific Day of the GAZEL cohort, Paris, France (7 February 2007).
- Lenguerrand E**, Chiron M, Consoli S, Laumon B. Road crash, professional status and exposure to road risk in the GAZEL cohort. Accepted for oral presentation at the Epidemiological conference of the French mother tongue epidemiologist (ADELF) , Dijon, France, 2006. (Proceedings in the 54 special edition of the *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique*).

Rapports

- "Deliverable 2.3: Risk Exposure Data Common Framework, SafetyNetWP2 group", Safetynet Integrated Project No. 506723: Building the European Road Safety Observatory, 2008.
- "Hierarchical non linear models and road crash data: Cluster size effect on the reliability of risks and confidence interval estimations", INRETS Report/N°0305, Bron, France, 2003.

TITRE :

L'exposition au risque routier et sa prise en compte dans les analyses épidémiologiques des accidents de la route selon la disponibilité de l'information

RÉSUMÉ:

La détermination des risques relatifs d'insécurité primaire nécessite de connaître la population à risque d'être accidentée. L'exposition au risque routier est difficile à analyser : elle est multidimensionnelle et rarement renseignée. Un état de l'art du concept d'exposition est tout d'abord dressé pour préciser ses spécificités. La détermination des risques d'accident, lorsque l'information sur l'exposition est disponible, est présentée à travers les approches de cohorte, cas-témoins et celle accidentologique estimant des taux d'accidents. Les méthodes d'exposition induite et de quasi exposition-induite, utilisées pour déterminer les risques d'accident en l'absence d'information d'exposition, sont ensuite comparées à l'approche cas-témoins. Enfin, la portée, en termes de sécurité routière primaire, de résultats obtenus uniquement sur données de sécurité secondaire est discutée. Ce travail décrit les forces et faiblesses des différentes méthodes utilisées pour prendre en compte le rôle de l'exposition au risque routier dans les analyses observationnelles des accidents de la route

TITLE:

Exposure to road risk and taking it in account in road safety epidemiological studies according to the availability of the information.

ABSTRACT:

Determining the primary road safety risk requires knowing the population at risk of being crash involved. Exposure to road risk is difficult to analyse as it is a multidimensional concept and the necessary information is often missing. Firstly, the characteristics of road exposure concept are described in a Chapter on the State of the art. Secondly, the epidemiological and accidentological approaches that allow estimating the road risk when the information on the exposure is available, are discussed. Thirdly, the methods of induced and quasi-induced exposure, which are used for determining accident risks in absence of exposure data, are compared with case control study approach. Finally, the relevance of primary safety conclusions obtained through secondary road safety data, are discussed. This work describes the strengths and weaknesses of different methods used for taking in account the role of exposure to road risk in observational analysis of primary safety.

DISCIPLINE : EPIDEMIOLOGIE ET STATISTIQUE MEDICALE

MOTS-CLÉS : Épidémiologie des transports ; Insécurité routière, Exposition au risque routier, Taux d'accident ; Cohorte ; Cas-témoins ; Étude d'exposition (quasi-)induite ; analyse de responsabilité

KEYWORDS : Transport epidemiology ; Road safety, Exposure to road risk; Crash rate ; Cohort study; Case-control study; (Quasi-) induced exposure method; Responsibility analysis

ADRESSE DU LABORATOIRE :

Unité Mixte de Recherche Épidémiologique et de Surveillance Transport Travail Environnement (UMRESTTE INRETS-UCBL-InVS)/ INRETS
25 avenue François Mitterrand Case 24,
69675 BRON cedex