



HAL
open science

Quantification des causes des accidents de deux / trois-roues motorisés et de leurs conséquences corporelle (approche épidémiologique)s

Dan Wu

► **To cite this version:**

Dan Wu. Quantification des causes des accidents de deux / trois-roues motorisés et de leurs conséquences corporelle (approche épidémiologique)s. Santé. Université de Lyon, 2018. Français. NNT : 2018LYSE1175 . tel-02006570

HAL Id: tel-02006570

<https://theses.hal.science/tel-02006570>

Submitted on 4 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



N° d'ordre NNT : 2018LYSE1175

THÈSE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

opérée au sein de

l'Université Claude Bernard Lyon 1

École Doctorale ED 205

École Doctorale Interdisciplinaire Sciences-Santé

Spécialité de doctorat : Biostatistique

Discipline : Épidémiologie

Soutenue publiquement le 02/10/2018, par :

Dan WU

Quantification des causes des accidents de deux/trois-roues motorisés et de leurs conséquences corporelles

(approche épidémiologique)

Devant le jury composé de :

LAGARDE Emmanuel, Directeur de Recherche (HDR), INSERM, IETO	Rapporteur
LANOY Émilie, Chargée de Recherche (HDR), Institut Gustave Roussy	Rapporteuse
SERRE Thierry, Chargé de Recherche (HDR), IFSTTAR, LMA	Rapporteur
SCHOTT Anne-Marie, Professeure, PUPH, Univ. Lyon 1, HESPER	Examinatrice
VAN ELSLANDE Pierre, Directeur de Recherche, IFSTTAR, LMA	Examineur
HOURS Martine, Directrice de recherche (HDR), IFSTTAR, UMRESTTE	Directrice de thèse
MARTIN Jean-Louis, Chargé de recherche, IFSTTAR, UMRESTTE	Encadrant

UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON 1

Président de l'Université

Président du Conseil Académique

Vice-président du Conseil d'Administration

Vice-président du Conseil Formation et Vie Universitaire

Vice-président de la Commission Recherche

Directrice Générale des Services

M. le Professeur Frédéric FLEURY

M. le Professeur Hamda BEN HADID

M. le Professeur Didier REVEL

M. le Professeur Philippe CHEVALIER

M. Fabrice VALLÉE

Mme Dominique MARCHAND

COMPOSANTES SANTE

Faculté de Médecine Lyon Est – Claude Bernard

Faculté de Médecine et de Maïeutique Lyon Sud – Charles Mérieux

Faculté d'Odontologie

Institut des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques

Institut des Sciences et Techniques de la Réadaptation

Département de formation et Centre de Recherche en Biologie Humaine

Directeur : M. le Professeur G.RODE

Directeur : Mme la Professeure C. BURILLON

Directeur : M. le Professeur D. BOURGEOIS

Directeur : Mme la Professeure C. VINCIGUERRA

Directeur : M. X. PERROT

Directeur : Mme la Professeure A-M. SCHOTT

COMPOSANTES ET DEPARTEMENTS DE SCIENCES ET TECHNOLOGIE

Faculté des Sciences et Technologies

Département Biologie

Département Chimie Biochimie

Département GEP

Département Informatique

Département Mathématiques

Département Mécanique

Département Physique

UFR Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives

Observatoire des Sciences de l'Univers de Lyon

Polytech Lyon

Ecole Supérieure de Chimie Physique Electronique

Institut Universitaire de Technologie de Lyon 1

Ecole Supérieure du Professorat et de l'Education

Institut de Science Financière et d'Assurances

Directeur : M. F. DE MARCHI

Directeur : M. le Professeur F. THEVENARD

Directeur : Mme C. FELIX

Directeur : M. Hassan HAMMOURI

Directeur : M. le Professeur S. AKKOUCHE

Directeur : M. le Professeur G. TOMANOV

Directeur : M. le Professeur H. BEN HADID

Directeur : M. le Professeur J-C PLENET

Directeur : M. Y. VANPOULLE

Directeur : M. B. GUIDERDONI

Directeur : M. le Professeur E.PERRIN

Directeur : M. G. PIGNAULT

Directeur : M. le Professeur C. VITON

Directeur : M. le Professeur A. MOUGNIOTTE

Directeur : M. N. LEBOISNE

Remerciements

Cette thèse a été financée par la Fondation Sécurité Routière et a été réalisée au sein de l'Unité Mixte de Recherche Épidémiologique et de Surveillance Transport Travail Environnement (UMRESTTE)¹. J'adresse mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidée au cours de ma thèse.

En premier lieu, je tiens de tout cœur à remercier Jean-Louis Martin, directeur adjoint de l'UMRESTTE. J'ai eu de la chance de décrocher mon premier travail en tant qu'ingénieure d'étude dans le cadre du projet VOIESUR, au sein de l'UMRESTTE, embauchée par Jean-Louis. Après presque deux ans de travail agréable ensemble, c'était un grand plaisir pour moi de commencer une thèse sous son encadrement dans le cadre du projet SECU2RM. Bref, « chef », merci pour ton aide, ton super encadrement et ton super humour de tous les instants.

J'exprime toute ma gratitude à Martine Hours, directrice de l'UMRESTTE, de m'avoir acceptée comme doctorante sous sa direction. En tant que directrice de ma thèse, elle m'a guidée dans mon travail et m'a donnée de précieux conseils pour la rédaction des articles et du rapport de thèse.

Je remercie particulièrement Amina Ndiaye, docteure au sein de l'UMRESTTE, pour tous ses conseils professionnels sur les traitements des données lésionnelles.

J'exprime mes remerciements à Emmanuel Lagarde, Émilie Lanoy et Thierry Serre, pour avoir accepté d'être rapporteurs de ma thèse. J'exprime aussi mes remerciements à Anne-Marie Schott et Pierre Van Elslande, pour avoir accepté d'être membres du jury de ma thèse et aussi pour les conseils précieux qu'ils m'ont accordés dans le cadre du comité de suivi de thèse.

Je tiens énormément à remercier deux collègues : Amandine (reine des macros) et Marie (prof de français sur-mesure), avec qui j'ai eu le plaisir de partager le même bureau, des connaissances statistiques, des idées et des moments agréables. Bref, merci les filles, pour votre aide et vos encouragements tout au long de ma thèse.

Je tiens à remercier ma collègue Marine, avec qui j'ai pu travailler. Je la remercie pour le temps qu'elle a passé à m'initier à l'inférence causale et au monde contrefactuel.

Je souhaite remercier tous les membres de l'UMRESTTE, qui m'ont bien accueillie dans cette unité, m'ont beaucoup encouragée et m'ont bien aidée. La bonne ambiance de l'unité, les fous rires dans les couloirs, une partie de tarot entre les jeunes ou une partie de badminton/pingpong entre les sportifs, ces bons souvenirs resteront...

¹ IFSTTAR/UMRESTTE, 25 Avenue François Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France

Enfin, je tiens particulièrement à remercier les 979 conducteurs de deux/trois-roues motorisés pour leur participation précieuse à notre enquête SECU2RM.

Bien sûr, je n'oublie pas la personne qui était toujours à côté de moi pour me soutenir, pour me donner des conseils et pour me rebooster dans tous les moments – Donatien.

Résumé

Contexte : les deux-roues motorisés (2RM) sont en forte évolution et la vulnérabilité de leurs usagers est de plus en plus manifeste. En 2013, dans le monde, les usagers de 2RM ont compté pour 23 % de la mortalité routière, devant les piétons (22 %). Dans ce contexte, la sécurité des usagers de 2RM est devenue une préoccupation sérieuse dans la plupart des pays. Contrairement à beaucoup de problèmes de santé publique, les principaux facteurs de l'insécurité routière en 2RM sont connus. L'enjeu d'aujourd'hui est surtout de quantifier leur effet sur la survenue d'accidents et d'évaluer les effets des quelques dispositifs de protection disponibles.

Les objectifs de cette thèse sont de mieux connaître les problèmes d'interaction entre les conducteurs de 2RM et les automobilistes selon différentes situations accidentelles (en particulier en intersection), de quantifier les effets des facteurs à l'origine de la survenue des accidents issus de la perte de contrôle du 2RM, et de mesurer l'efficacité des dispositifs de protection portés par les usagers de 2RM (casque intégral, blouson de moto, pantalon de moto, gants, bottes ou chaussures montantes et protection dorsale).

Données : la réalisation des objectifs de la thèse s'appuie sur les données du projet VOIESUR, les données du Registre des accidents de la circulation du Rhône et les données recueillies au moyen d'une enquête postale réalisée auprès de 7 148 usagers de 2RM accidentés entre 2010 et 2014 identifiés par le Registre du Rhône.

Résultats :

- Le problème de détectabilité des motos au niveau des intersections est confirmé. Dans la même situation d'interaction entre deux véhicules en intersection, un automobiliste a plus de difficulté à détecter une moto qu'à détecter un véhicule léger.
- Les facteurs suivants sont associés à la survenue des accidents de type perte de contrôle : alcool, type de moto, jour de l'accident, sinuosité de la route, adhérence de la route et vitesse. Nous soulignons le fait qu'une mauvaise adhérence de la route augmente considérablement le risque de perte de contrôle, en particulier lorsque la dégradation de l'adhérence est inattendue pour les motocyclistes en raison de la présence de gravillons, de corps gras, de nids de poule, etc. sur la route.
- En cas d'accident, les vêtements dédiés à la moto protègent les usagers des blessures. Ils sont efficaces pour éviter les dermabrasions et les plaies cutanées, mais ne semblent pas protéger des blessures plus graves telles que fracture, luxation ou entorse, sauf pour les bottes ou chaussures montantes qui réduisent le risque de fracture de la cheville ou du pied. Concernant les plaques dorsales, aucune efficacité n'a été montrée.

- Les casques intégraux protègent mieux le visage de l'utilisateur du 2RM comparés aux non-intégraux, alors qu'aucune différence de protection du crâne ou du cerveau n'est mise en évidence entre les deux types de casques.

Conclusion : Nos résultats mettent en évidence le problème de détectabilité d'un 2RM par les automobilistes en intersection et l'importance de l'état de la chaussée dans les accidents associés à une perte de contrôle du 2RM par son conducteur. Il est fortement recommandé pour les automobilistes de bien faire attention aux véhicules prioritaires venant de la gauche ou d'en face avant de tourner à gauche, particulièrement aux 2RM venant d'en face. L'amélioration de l'état de la chaussée et une signalisation adaptée représentent aussi un enjeu fort pour la sécurité des usagers de 2RM. Nos résultats soutiennent la recommandation faite par les organismes de sécurité routière du port plus systématique des équipements vestimentaires chez les usagers de 2RM. Enfin, nos résultats encouragent l'utilisation d'un casque intégral chez les usagers de 2RM afin de mieux protéger le visage.

Mots clés : deux-roues motorisé (2RM), configuration, accident de type perte de contrôle (accident PDC), défaillance de détection, courbe, adhérence de la route, type de 2RM, vitesse de roulement, lésion cutanée superficielle, fracture, lésion à la face, lésion à la tête, vêtement de moto, protection dorsale, type de casque.

Abstract

Background: Motorized two-wheelers (MTW) are evolving rapidly and the vulnerability of their users is becoming more obvious. MTW users were the most vulnerable road users, accounting for 23 % of all road traffic fatalities worldwide in 2013, in front of pedestrians (22 %). In this context, the safety of MTW users has become a serious concern in most countries. In contrast to many public health problems, the main factors of MTW road safety have been identified. The issue today is to quantify their effects on the occurrence of accidents and to measure the effects of protective devices.

The present thesis aims to better understand the interaction problems between MTW drivers and automobilists according to different accident configurations (in particular at intersection), to identify and assess the effect of critical factors on the risk of MTW loss-of-control crashes, and to measure the effectiveness of protective clothing (motorcycle jacket, trousers, gloves, knee-high or ankle boots, back protection) for MTW users.

Data: This study used MTW accident data collected in a French project VOIESUR, injury data from the Rhône Registry, plus data collected by means of a postal survey which was conducted among 7148 MTW riders injured between 2010 and 2014 and identified in the Rhône Registry.

Results:

- We confirmed the problem of motorcycle detection for other road users. In the similar conditions, the motorists have more difficulty to detect a motorcycle than a car oncoming, in particular at intersections.
- The following factors are associated with the occurrence of motorcycle loss-of-control accidents: alcohol use, motorcycle type, weekend vs. weekday, road alignment, road adhesion and traveling speed. We emphasize that poor road adhesion significantly increases the risk of losing control, especially when deteriorated road adhesion is encountered unexpectedly, due to the presence of loose gravel, ice, oil, potholes, etc. on the roadway.
- In case of accident, motorcycle clothing protects users from injury. It can protect riders against injuries such as dermabrasion and laceration, but not against more serious injuries, such as fracture and sprain, except for boots, which reduce foot-and-ankle fracture risk. No effect of dorsal protectors was shown.
- Full-face helmets provide significantly greater protection against facial injury than do other helmets. However, no significant difference of protection against skull or brain injury is found between the two types of helmets.

Conclusion: Our results highlight the problem of MTW detection for motorists at intersections and the important role of road conditions in the occurrence of accidents resulting from loss of control of MTW. It is recommended for motorists to pay extra attention to priority vehicles oncoming from their

left or the opposite direction, before turning left at an intersection, especially to MTW. Regular road maintenance and immediate installment of appropriate warning signs concerning road deterioration are also highly recommended in consideration of MTW safety. Finally, our results support road safety organizations' recommendation that protective clothing be worn: this should be more systematic for MTW users, the same for the use of full-face helmets.

Key-words: motorized two-wheeler (MTW), configuration, loss of control, detection failure, curve, road adhesion, motorcycle type, traveling speed, soft tissue injury, fracture, facial injury, head injury, protective clothing, dorsal protector, helmet type.

Table des matières

Introduction générale	19
Objectifs des travaux de thèse	20
État de l'art sur les accidents de 2RM et leurs conséquences corporelles	21
1.1. Principaux facteurs de survenue d'accidents spécifiques aux 2RM	21
1.1.1. Détectabilité du 2RM	22
1.1.2. Comportements à risque du conducteur de 2RM.....	23
1.1.3. Infrastructure-géométrie de la route et état de la chaussée	23
1.1.4. Types de 2RM	24
1.1.5. Système d'assistance au freinage	25
1.2. Bilan des connaissances sur les lésions des usagers de 2RM et les dispositifs de protection.....	27
1.2.1. Bilan des connaissances sur les lésions des usagers de 2RM	27
1.2.2. Port du casque et lésions à la tête/face/cou.....	29
1.2.3. Types de casque et lésions à la tête ou à la face	29
1.2.4. Équipements vestimentaires.....	37
1.3. Synthèse et discussion.....	45
Données et méthode	47
2.1. Registre du Rhône	47
2.2. Enquête auprès d'accidentés en deux-roues motorisés	48
2.2.1. Population concernée.....	48
2.2.2. Mise en place de l'enquête.....	49
2.2.3. Données recueillies	49
2.2.4. Retour des questionnaires de l'enquête	50
2.2.5. Redressement des non-réponses	51
2.3. Base de données VOIESUR.....	53
2.3.1. Contenu de la base VOIESUR.....	53
2.3.2. Vitesse au choc et vitesse initiale (vitesse de roulement).....	53
2.4. Plan de l'analyse.....	54
Problèmes d'interaction entre les conducteurs de 2RM (motos) et les automobilistes	57
3.1. Introduction	57
3.2. Matériel et méthode.....	58
3.2.1. Définition de la défaillance fonctionnelle humaine	58
3.2.2. Définition de la configuration d'accident	59
3.2.3. Population d'étude	59

3.2.4.	Analyses statistiques	59
3.3.	Résultats	60
3.3.1.	Types d'accidents entre deux véhicules	60
3.3.2.	Accidents en intersection – les 2 véhicules provenant de directions opposées ou perpendiculaires	62
3.3.3.	Synthèse et discussion	65
Accidents de type perte de contrôle (accidents PDC) et facteurs de risque de leur survenue.....		67
4.1.	Introduction	67
4.2.	Accidents de type perte de contrôle en moto à partir des données extraites des procès-verbaux des forces de l'ordre.....	69
4.2.1.	Matériel et méthode.....	69
4.2.2.	Résultats	72
4.2.3.	Discussion	77
4.3.	Accidents de type perte de contrôle à partir d'une enquête auprès des victimes impliquées.....	81
4.3.1.	Matériel et méthode.....	81
4.3.2.	Résultats	83
4.4.	Comparaison des résultats des deux études et discussion.....	88
4.4.1.	Résultats similaires	88
4.4.2.	Résultats différents	89
4.4.3.	Résultats supplémentaires dans l'étude SECU2RM	90
4.5.	Conclusion	91
Bilans lésionnels des usagers de 2RM et protection procurée par les équipements de sécurité portés		93
5.1.	Introduction	93
5.2.	Bilans lésionnels subis par les usagers de 2RM dans le Registre	95
5.2.1.	Description détaillée des lésions de la population d'étude	95
5.2.2.	Description des lésions chez les blessés graves (MAIS 3+)	98
5.3.	Efficacité des équipements de protection (vestimentaires).....	101
5.3.1.	Matériel et méthode d'analyse.....	101
5.3.2.	Résultats	103
5.3.3.	Discussion	109
5.4.	Efficacité relative des différents types de casques	113
5.4.1.	Matériel et méthode d'analyse.....	113
5.4.2.	Résultats	115

5.4.3. Discussion	118
Discussion générale	121
6.1. Synthèse des résultats	122
6.1.1. Survenue d'accidents en moto.....	122
6.1.2. Conséquences lésionnelles des victimes en 2RM et dispositifs de protection passifs	124
6.2. Perspectives de recherche	125
6.2.1. Perspectives de recherche avec les données présentes.....	125
6.2.2. Perspectives de recherche sur la question de la vitesse pratiquée des 2RM.....	125
6.2.3. Perspectives de recherche sur la question de l'ABS.....	126
6.2.4. Perspectives de recherche sur la question des trois-roues.....	126
Conclusion	128
Références	129
Annexes	139
Annexe A – Lettre d'information et questionnaire.....	141
Annexe B – Résultats de l'enquête SECU2RM.....	157
Annexe C – Article publié.....	193
Productions scientifiques	210

Liste des tableaux

Tableau 1 : principaux résultats des études sur l'efficacité relative des différents types de casque sur la protection de la tête et de la face	33
Tableau 2 : principaux résultats des études sur l'efficacité des équipements de protection vestimentaires	39
Tableau 3: distribution des types d'accidents pour les moto-VL et VL-VL	60
Tableau 4 : proportion de défaillance de détection pour les automobilistes impliqués dans les accidents moto-VL et VL-VL, en fonction du type d'accident	61
Tableau 5 : six configurations d'accidents en intersection – les 2 véhicules provenant de directions opposées ou perpendiculaires	62
Tableau 6 : proportion de défaillance de détection pour les automobilistes impliqués dans les accidents moto-VL et VL-VL, en fonction de la configuration d'accident	63
Tableau 7 : moyenne des vitesses de roulement d'une moto et d'un VL prioritaires allant tout droit selon que l'accident a eu lieu en agglomération ou hors agglomération	64
Tableau 8 : distribution des cas et des témoins selon des facteurs potentiels associés aux accidents PDC (effectifs observés et pourcentages pondérés), OR bruts et IC 95 % – données VOIESUR.....	74
Tableau 9 : distribution des cas et des témoins selon les facteurs associés aux accidents PDC (pourcentages pondérés et moyennés de 50 jeux de données), OR bruts et ajustés et IC 95 % – données VOIESUR	76
Tableau 10 : distribution des cas et des témoins selon des facteurs potentiels associés aux accidents PDC (effectifs observés et pourcentages pondérés), OR bruts et IC 95 % – enquête SECU2RM.....	84
Tableau 11 : distribution des cas et des témoins selon les facteurs associés aux accidents PDC (pourcentages pondérés et moyennés de 10 jeux de données), OR bruts et ajustés et IC 95 % – enquête SECU2RM.....	86
Tableau 12 : comparaison des résultats des études VOIESUR et SECU2RM	89
Tableau 13 : gravité globale des victimes	95
Tableau 14 : effectifs et proportions de victimes usagers de 2RM souffrant d'au moins une lésion (AIS 1+) par localisation, et la répartition des MAIS des lésions pour chaque localisation.....	96
Tableau 15 : description de la nature des lésions chez les victimes souffrant d'au moins une lésion (AIS 1+)....	98
Tableau 16 : effectifs et proportions de victimes souffrant d'au moins une lésion (AIS 3+) par localisation chez les blessés graves	99
Tableau 17 : description de la nature des lésions (AIS 3+) chez les blessés graves.....	100
Tableau 18 : caractéristiques des conducteurs accidentés en 2RM	104
Tableau 19 : risque de lésion aux membres supérieurs et inférieurs, et au thorax en fonction de l'équipement porté	105
Tableau 20 : description de la nature des lésions aux membres supérieurs et inférieurs, et au thorax	106
Tableau 21 : risque de lésion cutanée superficielle, abrasion/plaie et contusion selon l'équipement porté	107
Tableau 22 : risque de fracture, luxation ou entorse selon l'équipement porté	107
Tableau 23: risque de lésion aux vertèbres cervicales, dorsales, lombaires en fonction du port de la protection dorsale.....	108
Tableau 24 : description des lésions à la colonne vertébrale.....	108
Tableau 25 : risque de fracture, étirement selon l'équipement porté	108

Tableau 26 : risque de lésion cutanée superficielle, abrasion/plaie et contusion selon l'équipement porté (les lésions codées en zone externe sont prises en compte)	109
Tableau 27 : description des victimes en fonction du type de casque porté (intégral ou non)	116
Tableau 28 : risque de lésion à la face chez les victimes ayant reçu un choc à la tête/face	117
Tableau 29 : risque de lésion à la tête chez les victimes ayant reçu un choc à la tête/face	118

Liste des figures

Figure 1 : constitution de l'échantillon de l'étude – SECU2RM	50
Figure 2 : résultats de l'enquête SECU2RM et présentation de la pondération	52
Figure 3 : procédure de sélection des cas et des témoins	70
Figure 4 : sélection de la population d'étude (efficacité relative des types de casque).....	114

Liste des abréviations

2RM	Deux ou trois Roues Motorisé
ABS	<i>Anti-lock Braking System</i>
ACEM	Association des Constructeurs Européens de Motocycles
AIC	<i>Akaike Information Criterion</i>
AIS	<i>Abbreviated Injury Scale</i>
BAAC	Bulletin d'Analyse des Accidents Corporels de la circulation
CBS	<i>Combined Braking System</i>
CNIL	Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés
FCS	<i>Fully Conditional Specification</i>
IC 95 %	Intervalle de Confiance à 95 %
IIS	<i>Injury Impairment Scale</i>
ITF	<i>International Transport Forum</i>
MAIDS	<i>Motorcycle Accidents In-Depth Study</i>
MAIS	Maximum de l'AIS
MOTAC	<i>Motorcycle Accident Causation</i>
NPAI	N'habite Pas à l'Adresse Indiquée
OR	<i>Odds Ratio</i>
ONISR	Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière
PV	Procès-Verbal
PDC	Perte De Contrôle
SAMU	Service d'Aide Médicale Urgente
SECU2RM	SECURité 2RM
SMUR	Service Mobile d'Urgence et de Réanimation
SOeS	Service de l'Observation et des Statistiques du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
SPF	Santé Publique France
RR	Risque Relatif
VL	Véhicule Léger
VOIESUR	Véhicule Occupant Infrastructure Etudes de la Sécurité des Usagers de la Route
N_{obs}	Nombre d'observations (effectif observé)
N_w	Nombre d'observations pondéré (effectif pondéré)
%_w	Pourcentage pondéré

Définitions

Accident corporel : Provoque la blessure d'une ou plusieurs personnes, survient sur une voie ouverte à la circulation publique et implique au moins un véhicule (motorisé ou non) en mouvement.

Accident PDC : Accident de type perte de contrôle

Accident mortel : Provoque la mort d'une ou plusieurs personnes, survient sur une voie ouverte à la circulation publique et implique au moins un véhicule (motorisé ou non) en mouvement.

Accident moto-VL : Accident entre une moto et un véhicule léger

Accident VL-VL : Accident de deux véhicules légers

Cyclomoteur : Deux-roues motorisé de cylindrée inférieure à 50 cm³

Cyclomotoriste : Conducteur d'un cyclomoteur

Motocyclette (moto) : Deux ou trois-roues motorisé de cylindrée supérieure ou égale à 50 cm³

Motocycliste : Conducteur d'une motocyclette

Moto légère : Motocyclette dont la cylindrée est inférieure à 125 cm³

Moto lourde : Motocyclette dont la cylindrée est supérieure ou égale à 125 cm³

Dans le codage AIS

Région face : Visage (oreilles et yeux compris)

Région tête : Crâne et cerveau

Lésion à la face : Toute lésion qui touche la région de la face

Lésion à la tête : Toute lésion au crâne ou au cerveau

Introduction générale

En 2013, d'après l'Organisation Mondiale de la Santé (WHO 2015), dans le monde entier, les usagers de deux-roues motorisés (2RM) représentaient 23 % de la mortalité routière, devant les piétons (22 %). En France, ils représentaient 21% de la mortalité et 30 % des blessés hospitalisés en 2016 pour moins de 2 % du trafic routier (ONISR 2017a). Toutes gravités confondues, les usagers de 2RM représentaient 23 % des blessés suite à un accident de la circulation routière dans le Rhône en 2015 et le nombre de blessés graves en 2RM était supérieur à celui des occupants de voiture (Laumon et al. 2016).

Bien que le parc de 2RM soit en forte augmentation, le nombre de tués en 2RM a été en constante diminution les quinze dernières années, passant de 1 408 en 2000 à 734 en 2016 en France, ce qui est sans doute en partie dû aux efforts de prévention en matière de sécurité routière. Cette forte baisse de 48 % (mais seulement 35 % pour les 2RM de cylindrée $\geq 50 \text{ cm}^3$) n'est cependant pas aussi importante que celle observée pour les usagers de véhicules légers (VL) qui a atteint 67 % sur la même période (ONISR 2017a).

Les usagers de 2RM représentent un groupe d'utilisateurs routiers particulièrement exposés au risque d'accident corporel et mortel. Des travaux récents ont montré leur vulnérabilité particulière, avec un risque d'être tué 20 à 30 fois plus élevé en 2RM qu'en voiture par kilomètre parcouru (Blaizot et al. 2013; Bouaoun et al. 2015; SOeS 2013a). Le risque d'être blessé est lui aussi 30 fois plus élevé en 2RM qu'en voiture (Blaizot et al. 2013). Les usagers de cyclomoteurs (catégorie des cylindrées inférieures à 50 cm^3) sont plus exposés aux accidents corporels comparés aux usagers de motocyclettes (catégorie des cylindrées supérieures ou égales à 50 cm^3). Ils présentent en effet un risque d'être blessé 3,3 fois plus élevé, alors que le risque pour un conducteur de décéder est presque le même pour les deux catégories de 2RM (SOeS 2013a).

Dans ce contexte, la sécurité pour les usagers de 2RM est devenue une préoccupation sérieuse et il est nécessaire de comprendre les difficultés particulières qu'ils rencontrent afin de proposer des actions de prévention efficaces. Comme pour les autres modes de déplacement, les recherches sont menées de deux points de vue : celui de la sécurité primaire et celui de la sécurité secondaire. Les recherches en sécurité primaire ont pour objectif de réduire le nombre d'accidents, tandis que les recherches en sécurité secondaire ont pour objectif d'atténuer les conséquences corporelles de l'accident quand il survient, autrement dit la gravité des blessures des victimes. Cette thèse suit ces deux grands axes de recherche. En sécurité primaire, les travaux portent sur les causes de la survenue des accidents de 2RM. Il s'agit d'identifier les facteurs intervenant dans la survenue des accidents et de quantifier leur effet. Nous nous intéressons particulièrement aux deux types d'accidents de 2RM suivants : les

accidents de 2RM en perte de contrôle et les accidents d'interaction entre les 2RM et les véhicules légers (VL). En sécurité secondaire, les travaux portent sur la caractérisation des bilans lésionnels des victimes et sur les dispositifs de protection. Cette dernière partie se consacre à l'identification de l'efficacité des dispositifs de protection portés par les usagers de 2RM tels que le casque intégral, la protection dorsale, le blouson de moto, le pantalon de moto, les gants et les bottes ou les chaussures montantes.

Il est entendu que, dans la suite du document, l'appellation 2RM recouvre aussi les scooters pendulaires à trois roues, sauf distinction spécifique.

Objectifs des travaux de thèse

En termes de sécurité primaire, l'objectif de la thèse est de quantifier l'importance des situations de conflit entre les 2RM et les voitures, en particulier en cas de défaut de détection, et d'estimer l'importance de l'infrastructure routière (en termes d'adhérence ou de profil) dans la survenue d'accidents avec perte de contrôle du 2RM.

En termes de sécurité secondaire, l'objectif de la thèse est de déterminer les bilans lésionnels des blessés en 2RM, et d'évaluer l'efficacité des équipements de protection portés sur ces bilans. Concernant ce dernier objectif, il s'agit d'évaluer en quoi les vêtements portés par l'utilisateur de 2RM ont pu éviter ou atténuer certaines lésions ; l'évaluation porte aussi sur le type du casque, ainsi que sur les dispositifs de protection de la colonne vertébrale que sont les protections dorsales.

Chapitre 1

État de l'art sur les accidents de 2RM et leurs conséquences corporelles

1.1. Principaux facteurs de survenue d'accidents spécifiques aux 2RM

En l'état actuel des connaissances, les facteurs principaux associés à la survenue des accidents de 2RM ont bien été identifiés dans les recherches menées. Ils sont liés aux usagers (comportement, expérience, sexe, âge), aux véhicules (type et cylindrée), à l'infrastructure (géométrie de la route, état de la chaussée), à l'environnement (conditions météorologiques, éclairage, gêne de vision) et aux problèmes d'interaction entre usagers de 2RM et autres usagers de la route (faible détectabilité des 2RM par les autres usagers, etc.) (Hurt et al. 1981; Lin and Kraus 2009; Vlahogianni et al. 2012).

Bien sûr, la plupart de ces facteurs sont souvent identifiés aussi pour les autres modes de déplacement. Certains facteurs sont cependant plus spécifiques ou plus fréquemment observés avec les 2RM, du fait que ces derniers diffèrent des véhicules à quatre roues en termes de caractéristiques dynamiques, de dimensions physiques et d'usage. Comparés aux véhicules à quatre roues, les 2RM sont plus petits, étroits, et leur stabilité est moindre. Les 2RM sont plus sensibles à l'état de la surface de la chaussée, au rayon des courbes, et plus délicats à contrôler en cas de freinage d'urgence du fait de la faible surface de contact entre la roue et le sol, cette difficulté étant particulièrement élevée en cas de freinage en courbe ; les 2RM sont aussi plus difficiles à détecter par les autres usagers en intersection à cause de leur faible gabarit. Ce petit gabarit leur permet de changer de file de manière parfois surprenante pour les autres usagers, et incite à rouler entre deux files de voiture, ce qui là aussi peut poser des problèmes avec les autres usagers. Enfin, les motos présentent souvent des rapports puissance/poids élevés permettant de très fortes accélérations, ce qui peut induire un comportement à risque de leurs conducteurs, ou être la raison de leur choix de ce mode de déplacement, avec un risque d'accident accru.

Dans ce sous-chapitre nous allons nous intéresser plus spécialement aux travaux qui ont porté sur :

- 1) les problèmes de détectabilité des 2RM,
- 2) les comportements à risque souvent rencontrés chez les usagers de 2RM,
- 3) les problèmes posés par l'état et la géométrie de la route,
- 4) l'influence du type de 2RM utilisé,
- 5) les performances des systèmes de freinage.

1.1.1. Détectabilité du 2RM

Les accidents d'interaction entre automobilistes et usagers de 2RM sont complexes et font le plus souvent intervenir une combinaison de dysfonctionnements entre les deux usagers impliqués. Un des dysfonctionnements souvent observés est celui de la non (ou trop tardive) détectabilité du 2RM par un automobiliste.

Ce problème de détectabilité du 2RM est bien identifié comme facteur d'accidents dans la littérature. Il est souvent relevé dans les accidents où un automobiliste n'a pas respecté la priorité d'un 2RM à l'approche d'une intersection, de manière volontaire ou involontaire (Clarke et al. 2007; Hurt et al. 1981; Olson et al. 1979; Pai 2011). L'étude de (Hurt et al. 1981) a montré que dans les accidents de 2RM impliquant plusieurs véhicules, les deux tiers des accidents étaient causés par un automobiliste qui avait coupé la route à un 2RM prioritaire, et que la majorité de ces automobilistes n'avaient pas vu le 2RM avant la collision. Dans une étude récente (ACEM 2009) effectuée sur 921 accidents de 2RM dans 5 pays européens, plus de 70 % des automobilistes responsables d'accidents ont eu une défaillance de détection, c'est-à-dire que ces automobilistes ont échoué dans leur détection du 2RM.

Bien sûr, parmi les automobilistes qui ont eu une défaillance de détection, certains automobilistes n'ont pas du tout regardé dans la direction du 2RM qui arrivait, alors que certains autres ont regardé dans la direction d'arrivée du 2RM mais n'ont pas réussi à le voir ou l'ont vu trop tard. Dans ce dernier cas, les accidents sont souvent décrits sous l'anglicisme « *looked-but-failed-to-see accidents* » (LBFS) (Clarke et al. 2007; Koustanai et al. 2008). Selon un article récent (Clabaux et al. 2012), en agglomération, les motocyclistes impliqués dans les accidents LBFS en intersection roulent significativement plus vite que ceux impliqués dans les autres types d'accidents en intersection.

Les raisons du problème de la détectabilité du 2RM sont multiples : parce que les automobilistes ne s'attendent pas à croiser des 2RM, et donc y prêtent moins attention (Mannering and Grodsky 1995) ; parce que le système visuel humain perçoit mal ce qui est étroit, petit et avec des couleurs peu contrastées par rapport à l'environnement (Engel 1971; Wulf et al. 1989) ; mais aussi parce que les motocyclistes mettent souvent en défaut les stratégies de prise d'information des automobilistes par des manœuvres inattendues (remontées de file, dépassements par la droite), des positionnements dans les angles morts, des niveaux d'accélération surprenants, ainsi que des vitesses élevées sur la route prioritaire, etc. (Clabaux et al. 2012; Van Elslande et al. 2008b).

On peut noter des tentatives récentes d'amélioration de la détectabilité des 2RM et de leurs usagers : par exemple, des feux en face avant qui permettent, en élargissant leur gabarit visuel, une meilleure perception des 2RM, et une meilleure estimation des distances et des vitesses d'approche des 2RM par les autres usagers, ou l'utilisation de vêtements lumineux et d'autres équipements rétro-réfléchissants

qui permettent aux usagers des 2RM d'être mieux vus (Cavallo et al. 2015; Gershon et al. 2012; Olson et al. 1981; Thomson 1980; Wells et al. 2004; Williams and Hoffmann 1979; Wulf et al. 1989).

1.1.2. Comportements à risque du conducteur de 2RM

Les motivations des usagers et les usages des 2RM sont très divers, et cela a une influence forte sur les comportements des usagers en termes de prise de risques (METLTM 2012). La conduite d'un 2RM peut attirer des conducteurs à la recherche de sensations fortes (Mannering and Grodsky 1995). L'usage ludique de la moto s'accompagne d'une certaine prise de risque (METLTM 2012). La prise de risque est un comportement typique des motocyclistes (Wong et al. 2010) et est souvent observée parmi les hommes jeunes qui constituent une part importante des motocyclistes (Lin and Kraus 2009).

La recherche du plaisir de la vitesse est un des motifs importants pour conduire une moto. Les motocyclistes déclarent souvent qu'ils aiment conduire vite (Broughton et al. 2009). La majorité des motos ont un rapport puissance/poids plus élevé que les voitures, ce qui permet aux motos d'avoir une meilleure accélération et de rouler plus vite. Selon des études empiriques, les motocyclistes conduisent en moyenne plus vite que les automobilistes (DISR 2008; Horswill and Helman 2003; Jevtić et al. 2015; Perco 2008; Walton and Buchanan 2012), et ils ont plus tendance à rouler en excès de vitesse hors agglomération qu'en agglomération (Broughton et al. 2009).

De nombreuses recherches ont montré que la vitesse est liée au risque d'accident (Aarts and van Schagen 2006), et certaines études spécifiques aux accidents de 2RM ont montré que la vitesse excessive ou inappropriée est un facteur souvent associé aux accidents de 2RM (Elliott et al. 2007; Hurt et al. 1981; Lardelli-Claret et al. 2005; Van Elslande and Elvik 2012). La vitesse est également corrélée positivement à la gravité des accidents. Les conséquences corporelles sont susceptibles d'être plus graves à vitesse élevée, ce qui est confirmé par des études sur des données d'accidents de 2RM (Chung et al. 2014; Lin et al. 2003; Shankar and Mannering 1996).

La prise de risque chez les conducteurs de 2RM se manifeste parfois par une remontée de file à vitesse inadaptée ou par un dépassement par la droite, mais peut bien sûr être de même ordre que celle rencontrée chez les automobilistes telle que la conduite sous l'influence de l'alcool, le non-respect des signaux de trafic et des règles du code de la route (franchissement de lignes continues), la conduite sans permis, etc. L'origine des accidents de 2RM est également souvent liée à ces comportements risqués (Huang and Preston 2004; Lin and Kraus 2009; Vlahogianni et al. 2012).

1.1.3. Infrastructure-géométrie de la route et état de la chaussée

Les usagers de 2RM doivent faire preuve de plus d'attention sur la route que les automobilistes. Par la nature du 2RM, il est plus difficile de contrôler son équilibre, qui est maintenu en dynamique. Pour une vitesse donnée, un changement de géométrie de la route ou la présence d'un obstacle peuvent

facilement poser des problèmes d'équilibre à l'utilisateur de 2RM, là où un automobiliste s'adapte aisément à ces perturbations environnementales. En raison de la faible surface de contact entre les roues de 2RM et le sol, les 2RM perdent facilement l'adhérence de la route, notamment en cas de présence de gravillons, de défauts d'enrobé et de marquages au sol glissants par temps humide.

Des études ont montré que le risque d'accident de 2RM est plus élevé en courbe, en particulier le risque d'accident de 2RM seul ou d'accident avec perte de contrôle. 53 % des accidents avec perte de contrôle ont eu lieu dans les courbes ou dans les ronds-points (Whitaker 1980). Environ 22 % des pertes de contrôle des 2RM ont été observées avec une sortie de route en virage, et étaient souvent en rapport avec une vitesse excessive en entrée de virage (Hurt et al. 1981). 15 % des accidents graves de moto au Royaume-Uni étaient associés à une perte de contrôle en courbe (Clarke et al. 2007). Par ailleurs, une étude cas-témoins (pas spécifique aux 2RM) a montré que le risque d'accident mortel d'un véhicule seul est plus élevé en courbe qu'en ligne droite (Haworth et al. 1997).

Les conditions de la surface de la route telles que surfaces glissantes, rainures, plaques d'égout, marquages au sol, etc. présentent un danger pour les usagers de 2RM (Elliot et al. 2003). La détérioration de la surface de la route, le bitume endommagé ou la présence de certains objets glissants sur la chaussée (gravillons, huile, feuilles, etc.) ont été observés dans 30 % des accidents de 2RM dans l'étude MAIDS (ACEM 2009). Selon une étude française (Van Elslande et al. 2008b), la détérioration de l'état de la route a été considérée comme un élément explicatif dans 7 % des accidents de moto en perte de contrôle et 18,5 % des accidents de cyclo en perte de contrôle.

1.1.4. Types de 2RM

Les 2RM varient en termes de style, de performance et les types de 2RM peuvent correspondre à des usages différents. Leur classification diffère d'un pays à l'autre d'une manière parfois subtile. Dans la littérature, on trouve diverses classifications pour décrire les types de 2RM (en termes anglais) telles que :

- *Scooter, traditional, cruiser, touring, sport-touring, sportbike, dual-purpose* (NHTSA/MSF 2000);
- *Scooter, standard, cruiser, chopper, touring, sport touring, sport, uclad sport, supersport, dual purpose, off-road* (Teoh and Campbell 2010);
- *Scooter, step-through, conventional street, cruiser, chopper, touring, sport touring, sport, endure* (ACEM 2009);
- *Scooter, retro, cruiser, tourer, sports, trail bike* (Smith et al. 2013).

En France, une enquête nationale sur l'utilisation des 2RM, réalisée en 2012 par le service de l'observation et des statistiques du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

(SOeS), a utilisé la classification suivante : scooter, basique-classique, custom, roadster, routière, GT (grand tourisme), sportive, trail, et tout-terrain (SOeS 2013b). Selon cette enquête, les scooters sont le type de 2RM le plus fréquent en circulation, dont la moitié sont des cyclos, suivis par les roadsters (13 %), qui sont les motos de plus de 125 cm³ les plus vendues actuellement en France, et par les trails (11 %) ; les sportives représentent environ 5 % du parc circulant des 2RM.

Les usagers de 2RM sélectionnent souvent leur véhicule en fonction de la performance, de l'usage qu'ils comptent en faire, du prix du véhicule, etc. Ainsi les usagers de chaque type de 2RM sont différents les uns des autres. Les conducteurs des motos sportives adoptent souvent une conduite plus risquée que les autres (Bjørnskau et al. 2012). En général, les usagers de motos sportives roulent plus vite que ceux des autres types de moto (Jevtić et al. 2015).

Certains travaux ont étudié le risque de décès ou le risque d'accident en fonction du type de 2RM. Les supersports et les motos sportives sont associées à un risque de décès plus élevé que les autres types de motos (Teoh and Campbell 2010). Selon des études de sondage, les trails et les sportives sont associés à un risque d'accident élevé (Bjørnskau et al. 2012; Harrison and Christie 2005). D'ailleurs, les supersports ainsi que les sportives impliquées dans les accidents mortels sont particulièrement associées à l'excès de vitesse (Bjørnskau et al. 2012; Teoh and Campbell 2010).

1.1.5. Système d'assistance au freinage

Par rapport aux voitures, la particularité des 2RM du point de vue de la stabilité et de l'adhérence augmente la difficulté de manœuvrer convenablement pour leurs utilisateurs en cas d'urgence. Un "mauvais" freinage est un facteur courant dans les accidents de 2RM. D'après (Hurt et al. 1981), seulement 24 % des manœuvres d'évitement effectuées par les usagers de 2RM sont correctement exécutées dans les situations d'urgence ; le problème typique de ces manœuvres est un freinage mal dosé qui entraîne le blocage des roues : soit l'utilisateur n'utilise que le frein arrière et freine trop fort, soit l'utilisateur utilise les deux freins sans bien doser la répartition du freinage avant-arrière. Dans l'étude de (Whitaker 1980), 28 % des accidents issus d'une perte de contrôle du 2RM étaient directement dus à des erreurs de freinage. Dans l'étude de (Roll et al. 2009), environ 43 % des 2RM ayant freiné ont perdu leur stabilité en raison d'un freinage excessif.

Afin d'aider les conducteurs de 2RM à freiner efficacement, notamment en situation d'urgence, les fabricants ont développé deux nouveaux systèmes d'assistance au freinage :

- *ABS (Anti-lock Braking System)* : a été conçu à l'origine pour prévenir le blocage des roues lors des freinages en conditions d'adhérence dégradée (pluie, neige, verglas, etc.). Ainsi lors d'un freinage intense ou brutal, l'ABS aide les conducteurs à conserver la maîtrise de leur véhicule et permet d'optimiser les distances de freinage (Green 2006), ce qui permet aux

usagers de 2RM de freiner avec plus de confiance et sans crainte de tomber au sol à cause du blocage des roues (Roll et al. 2009).

- CBS (*Combined Braking System*) : appelé également freinage couplé, permet de combiner le frein arrière avec le frein avant. Le CBS a été essentiellement introduit pour résoudre le problème de freinage insuffisant (en particulier de la roue avant). Lorsqu'on actionne le frein arrière, le CBS permet d'actionner automatiquement le frein avant en répartissant le freinage avant et arrière. Le CBS peut être ainsi très utile dans des situations où le conducteur ne freine pas assez ou pas du tout de l'avant en raison de sa crainte de blocage de la roue avant ; néanmoins, il est toujours possible de bloquer les roues pendant un freinage intensif en présence d'un CBS (Teoh 2011).

En ce qui concerne l'efficacité de l'ABS dans la prévention des accidents de 2RM, certains travaux basés sur les données réelles d'accidents ont rapporté que l'utilisation d'ABS peut prévenir la survenue d'accidents (Rizzi et al. 2015; Rizzi et al. 2009; Roll et al. 2009; Teoh 2011). Une réduction significative de 38 % des accidents corporels a été trouvée pour les motos équipées d'un ABS, à partir d'une étude basée sur la méthode de l'exposition induite (Rizzi et al. 2009). En s'appuyant sur les données d'exposition des motos et les données d'accidents mortels, (Teoh 2011) a montré que l'incidence d'accidents mortels était de 37 % plus faible pour les motos équipées d'un ABS que celles non équipées d'ABS. L'ABS réduit non seulement le nombre d'accidents, mais aussi leurs conséquences (Rizzi et al. 2016). Une étude basée sur les données d'assurance a montré que la présence de l'ABS couplé au CBS réduit la fréquence de réclamations de dommage auprès de l'assurance de 31%, alors que la présence de l'ABS seul réduit cette fréquence de 20% (HLDI 2013).

L'ABS est obligatoire depuis plusieurs années sur les voitures et son efficacité ne fait plus vraiment l'objet de débats, mais les utilisateurs de 2RM ne sont pas tout à fait convaincus par son efficacité. Selon un sondage national sur les motos aux États-Unis, seule la moitié des répondants ont déclaré que l'ABS améliore la sécurité et que leur prochaine moto en serait équipée (McCartt et al. 2011). Par ailleurs, selon l'enquête SOeS, en France seulement un huitième des 2RM étaient équipés d'un ABS en 2012 (SOeS 2013b). L'enquête montre également que plus la cylindrée du 2RM augmente, plus il dispose de l'ABS : en France, près de 30 % des motocyclettes de plus de 750 cm³ en sont équipées contre seulement 4 % des cyclos. Ceci correspond à la fois au choix des usagers (éventuellement guidé par le coût) et à la disponibilité du système.

1.2. Bilan des connaissances sur les lésions des usagers de 2RM et les dispositifs de protection

En raison de l'absence de carrosserie, les usagers de 2RM ne peuvent pas compter sur leur véhicule pour les protéger en cas d'accident et n'ont pour seule protection que leur casque et des vêtements standards ou dédiés à la moto. Ils sont ainsi particulièrement exposés à des dommages corporels.

De nombreuses études ont travaillé sur les conséquences lésionnelles des victimes en 2RM. Les types et la gravité des blessures ont été examinés, ainsi que les facteurs de risque de blessure. D'autres études ont évalué l'efficacité du port du casque, de vêtements de moto, de la protection dorsale et du gilet airbag pour réduire ou atténuer les blessures des victimes en 2RM suite à un accident. Dans la suite, nous faisons un bilan des connaissances sur les conséquences corporelles chez les victimes en 2RM et sur l'efficacité des équipements de protection portés.

Il est entendu que, dans la suite du document, l'expression « tête/face » sera utilisée pour désigner l'ensemble crâne-cerveau-face, alors que le mot « tête » désignera l'ensemble crâne-cerveau sans la face.

1.2.1. Bilan des connaissances sur les lésions des usagers de 2RM

De nombreux travaux ont étudié les lésions subies par les usagers de 2RM, en termes de région corporelle touchée, de localisation anatomique, de nature et de gravité des lésions à partir des données hospitalières. Plus que les autres usagers, les usagers de 2RM subissent souvent des lésions multiples lors d'un accident. Les lésions superficielles cutanées peu graves (comme les abrasions, les contusions, les lacérations) sont les lésions les plus courantes chez les victimes usagers de 2RM (Cawich et al. 2008; Chichom-Mefire et al. 2015; Hurt et al. 1981).

Lésions aux membres inférieurs et supérieurs

Les lésions aux membres inférieurs sont les lésions les plus courantes chez l'ensemble des blessés en 2RM et elles touchent de 40 % à 70 % des blessés selon plusieurs études (Dischinger et al. 2006; Kraus et al. 2002; Moskal et al. 2007; Peek et al. 1994; Ross 1983; White et al. 2013), suivies par les lésions aux membres supérieurs (Dischinger et al. 2006; Moskal et al. 2007; Pedder et al. 1981). Les lésions aux membres sont rarement fatales, mais elles peuvent causer une incapacité permanente des victimes (Gadegbeku et al. 2006). En termes de localisation anatomique précise, le genou est la partie du membre inférieur la plus souvent touchée (Craig et al. 1983; Moskal et al. 2007). Les lésions les plus courantes aux membres inférieurs et supérieurs, en termes de nature, sont les lésions superficielles cutanées peu graves (abrasion, contusion, lacération) (Cawich et al. 2008; Otte and Middelhaue 1987; Schuller et al. 1982). Les fractures des membres sont elles aussi fréquentes, avec des conséquences relativement graves (Cawich et al. 2008; Peek et al. 1994). Le tibia et la fibula sont les deux os des

membres inférieurs subissant le plus souvent des fractures (Chichom-Mefire et al. 2015; Lateef 2002; Liu et al. 2016; Peek et al. 1994), la clavicule et le radius pour les membres supérieurs (Liu et al. 2016).

Lésions à la tête

Les lésions à la tête sont fréquemment subies par les usagers de 2RM, mais moins souvent que les lésions aux membres. Par contre, les lésions à la tête sont les lésions les plus fréquemment observées chez les usagers de 2RM en cas d'accident mortel ou grave (Ankarath et al. 2002; Bachulis et al. 1988; Kraus et al. 2002; Lin and Kraus 2009; Moskal et al. 2007; Pedder et al. 1981). Elles sont la principale cause de décès des usagers accidentés en 2RM (Ankarath et al. 2002; Bachulis et al. 1988; Faduyile et al. 2017; Sahdev et al. 1994), et sont également la principale cause pour les survivants de séquelles majeures définies par un IIS (*Injury Impairment Scale*) supérieur ou égal à 3 (Gadegbeku et al. 2006). La moitié des victimes décédées d'un accident de 2RM sont mortes d'un traumatisme crânien (Faduyile et al. 2017). Les lésions à la tête contribuent non seulement à la mortalité et à la morbidité des usagers de 2RM, mais aussi à des frais importants de soins médicaux (Aare and Holst 2003; Braddock et al. 1992).

Lésions au thorax

Les lésions au thorax sont également très courantes chez les usagers de 2RM décédés ou blessés gravement dans un accident (Ankarath et al. 2002; Faduyile et al. 2017; Kraus et al. 2002; Moskal et al. 2007; Pedder et al. 1981). Les fractures aux côtes sont les lésions au thorax les plus fréquentes (Ankarath et al. 2002; Faduyile et al. 2017; Kraus et al. 2002; Liu et al. 2016).

Lésions à la colonne vertébrale

Les lésions à la colonne vertébrale ne sont pas très fréquentes chez les usagers de 2RM ; elles touchent environ 10 % des blessés selon plusieurs études (Dischinger et al. 2006; Kraus et al. 2002; Moskal et al. 2007; Robertson et al. 2002). Les résultats de la littérature sont assez divers en ce qui concerne la répartition des zones de la colonne atteintes : cervicale, dorsale ou lombaire. Des études trouvent que la colonne dorsale est la région la plus souvent lésée (Ankarath et al. 2002; Robertson et al. 2002), certaines trouvent que c'est la colonne lombaire (Goslar et al. 2008; Zulkipli et al. 2017) et d'autres que c'est la colonne cervicale (Moskal et al. 2007; Orsay et al. 1994).

1.2.2. Port du casque et lésions à la tête/face/cou

Le casque est un équipement de protection efficace pour protéger les usagers de 2RM en cas de choc à la tête/face, et son port est obligatoire dans la grande majorité des pays. Le taux de port du casque varie d'un pays à l'autre. D'après l'ITF (*International Transport Forum*), ce taux est relativement bas dans certains pays tels que la Malaisie (77 %), la Grèce (75 %), l'Argentine (65 %), le Maroc (65 %) et le Nigéria (60 %) (ITF 2017). En France, le port obligatoire d'un casque homologué a été introduit progressivement de 1961 à 1973 pour les usagers de motocyclettes et de 1976 à 1994 pour les cyclomotoristes (ONISR 2015). Bien qu'obligatoire et efficace, le port du casque à 2RM n'est pas encore systématique. Cependant, le taux de port du casque est en augmentation, passant de 93 % en 2010 à 98 % en 2016 les jours ouvrés et de 93 % à 99 % le weekend (ONISR 2017b). À ce jour en France, seuls les casques homologués selon la norme ECE 22-05 sont autorisés à la vente. Mais le port des casques répondant à l'ancienne norme française (NF S 72.305) et aux précédents amendements de la norme ECE 22 est encore autorisé.

De nombreux travaux scientifiques ont étudié l'efficacité du port d'un casque contre les lésions à la tête, à la face ou au cou. La littérature confirme unanimement que le casque est un moyen de protection efficace, qui permet de protéger les usagers de 2RM des lésions à la tête/face ou d'atténuer leurs conséquences en cas d'accident (Houston and Richardson 2008; Hurt et al. 1981; Khor et al. 2017; Liu et al. 2008; Moskal et al. 2008; Rowland et al. 1996). Contrairement au cas des lésions à la tête/face, les résultats concernant les effets du casque sur les lésions au cou ou à la colonne cervicale sont controversés : le port du casque a soit un effet délétère (Goldstein 1986), soit aucun effet (Liu et al. 2008; Moskal et al. 2008; Orsay et al. 1994), soit un effet protecteur (Crompton et al. 2011; Page et al. 2018; Rice et al. 2016).

Une étude de la collaboration Cochrane a évalué les effets du port du casque sur la réduction des décès et des lésions à la tête, à la face ou au cou après un accident en 2RM, sur une base de 61 études observationnelles recensées (Liu et al. 2008). Elle montre qu'en moyenne le port du casque réduit le risque de décès de 42 % (OR = 0,58, IC 95 % : 0,50-0,80) et le risque de lésion à la tête de 69 % (OR = 0,31, IC 95 % : 0,25-0,38). L'effet moyen du port du casque sur les blessures au visage ou au cou n'a pas pu être estimé, les informations spécifiques sur ces lésions étant jugées insuffisantes dans la plupart des études prises en compte dans cette méta-analyse.

1.2.3. Types de casque et lésions à la tête ou à la face

L'information sur les types de casque est rarement disponible dans les données d'accidents recueillies par les forces de l'ordre ou dans les données hospitalières. Dans la littérature, les termes anglais pour décrire les types de casque sont : *full-face*, *fixed full-face*, *articulated full-face*, *full-coverage*, *modular*,

flip-up, open-face, partial-coverage, half-coverage, half-head, half et *tropical*, qui peuvent être résumés (classés) en quatre types basiques de casque :

- Intégral (*Full-face*) : un casque qui couvre la tête et la face entièrement avec une partie arrière couvrant la base du crâne, équipé d'une mentonnière².
- Jet, demi-jet (*Open-face*) : un casque qui couvre presque toute la tête/face et ressemble au casque intégral, sans la mentonnière.
- Modulaire (*Modular*) : un casque entre l'intégral et le jet, possédant une mentonnière qu'on peut faire pivoter vers le haut.
- Bol (*Half-coverage*) : un casque qui n'englobe que la partie supérieure du crâne, sans protection de l'arrière du crâne. Ce type de casque n'est pas conforme à la norme européenne d'homologation.

La prévalence de l'utilisation d'un type de casque varie d'un pays à un autre. Selon l'enquête SOeS, les casques intégraux et modulaires sont les types de casque les plus utilisés en France, représentant 83 % des casques (SOeS 2013b). Les casques intégraux et modulaires sont également les casques les plus portés en Australie, avec un taux de port d'environ 92 % (Brown et al. 2015). D'autres résultats basés sur des données hospitalières indiquent que, parmi les usagers de 2RM blessés, moins de 5 % portaient un casque intégral en Malaisie (Ramli and Oxley 2016), et près d'un tiers en portaient en Corée du sud (Sung et al. 2016).

Le Tableau 1 liste les principales études sur l'efficacité relative des différents types de casque sur la protection de la tête et de la face, effectuées dans différents pays (Australie, États-Unis, Royaume-Uni, Malaisie, Brésil, Taiwan, Corée). Néanmoins, à notre connaissance, aucun article à ce sujet n'a été trouvé en France, mis à part une étude montrant que les cyclomotoristes casqués étaient plus souvent atteints à la face que les motocyclistes casqués (13 % contre 8 %), ce qui pourrait être la conséquence d'une meilleure protection de la face par les casques intégraux plus souvent utilisés par les motocyclistes (Moskal et al. 2007). Mais ce n'est qu'une suggestion des auteurs, qui manque de soutien chiffré.

L'effet des types de casque sur les lésions à la tête a été rapporté dans 12 études, mais les résultats sont inconsistants. Six études ont rapporté que, par rapport aux casques intégraux, d'autres casques étaient associés à un risque plus élevé de lésion à la tête (Brewer et al. 2013; Brown et al. 2015; Erhardt et al. 2016; Sung et al. 2016; Tsai et al. 1995; Yu et al. 2011). Une étude de cas a montré que les casques jet étaient associés à un risque plus élevé que les casques intégraux en termes de lésions graves à la tête (Chiu et al. 2000). Par ailleurs, une étude aux États-Unis a comparé l'efficacité relative d'un casque standard et d'un non-standard et a montré que les standard apportaient une meilleure protection contre

² Pièce articulée entourant le menton et assurant la tenue du casque.

une lésion à la tête en termes d'occurrence et de gravité (Peek-Asa et al. 1999). Cependant, quatre autres études n'ont pas trouvé une différence significative d'effet protecteur à la tête lié au type de casque (Cannell et al. 1982; Ramli and Oxley 2016; Vaughan 1977; Whitaker 1980).

Six études fournissent des résultats concernant les lésions à la face liées aux types de casque porté. Trois études ont trouvé que les casques intégraux apportaient plus de protection contre les lésions à la face que les casques jet (Brewer et al. 2013; Vaughan 1977; Whitaker 1980). Deux autres études ont suggéré que les casques intégraux offraient une meilleure protection contre les lésions à la face que les casques jet et bol, mais aucune n'était statistiquement significative, l'une sans doute à cause du petit effectif de l'échantillon étudié (N = 56) (Cannell et al. 1982) et l'autre en raison de la faible fréquence des casques intégraux (Ramli et al. 2014). Par ailleurs, une étude de cas dont les patients ont eu une lésion à la face suite à l'accident, a analysé la relation entre le type de traitement (opération) effectué et le type de casque porté, et a montré que les victimes portant les casques jet avaient plus souvent besoin d'une intervention chirurgicale que ceux portant des casques intégraux (Cini et al. 2014).

Ainsi, bien que le casque intégral soit a priori considéré comme le plus protecteur du fait qu'il couvre entièrement la tête et la face de l'utilisateur, cet effet attendu a encore peu souvent été évalué à partir de données d'accidents, étant donné que les informations sur les types de casque et sur les lésions à la tête et/ou à la face sont rarement disponibles simultanément. De nouvelles recherches sont encore nécessaires pour évaluer l'efficacité des différents types de casque.

Tableau 1 : principaux résultats des études sur l'efficacité relative des différents types de casque sur la protection de la tête et de la face

Auteur, année	Données	Schéma déclaré de l'étude	Sujet d'intérêt et variable d'intérêt	Résultats principaux
(Vaughan 1977)	Australie, 1975, données de la police et d'enquête : 1) N = 1 651 usagers de 2RM accidentés ; 2) N = 1 388 usagers de 2RM (enquête).		Lésions à la tête et lésions à la face Type de casque : intégral et jet	Pas de différence significative pour les lésions à la tête. Les casques intégraux offrent significativement 2 à 3 fois plus de protection contre les lésions à la face que les casques jet. Proportions de lésions à la face et de lésions à la tête dans les deux groupes de blessés (intégral vs jet) : 3 % vs 8 % ; 6 % vs 7 %.
(Whitaker 1980)	Royaume-Uni, 1974, données de la police et d'enquête : N = 450 motocyclistes blessés.		Lésions à la tête et lésions à la face Type de casque : intégral et jet	Pas de différence significative pour les lésions à la tête. La proportion de lésions à la face est plus faible chez les blessés portant un casque intégral que chez ceux portant un casque jet (8 % vs 24 %).
(Cannell et al. 1982)	Royaume-Uni, 1978-1979, données médicales et de la police : N = 56 accidents de 2RM dans la circulation urbaine.		Lésions à la tête et lésions à la face Type de casque : intégral et jet	Il semble que les casques intégraux offrent une meilleure protection contre les lésions à la face que les casques jet (mais l'effet n'est pas statistiquement significatif) : plus de lésions à la face chez les blessés portant un casque jet que chez ceux portant un casque intégral.
(Tsay et al. 1995)	Taiwan, 1990, données hospitalières + données d'exposition : N = 1351 victimes usagers de moto : 562 motocyclistes avec une lésion à la tête (cas) et 789 motocyclistes sans lésion à la tête (témoins consultant aux urgences) ; N = 1094 motocyclistes circulant (témoins appariés).	Cas-témoins	Lésions à la tête (traumatismes crâniens, fractures du crâne, perte de conscience, etc.) Type de casque : intégral, non-intégral et non port du casque (Seulement 13 % des victimes portaient un casque ; la prévalence du port d'un casque est d'environ 10 % dans la population circulante.)	Risque de lésion à la tête selon le type et le port du casque (562 cas comparés aux 789 témoins consultant aux urgences) : intégral vs non casque : $OR_a = 0,26$, IC 95 % : 0,14-0,47 non-intégral vs non casque : $OR_a = 0,72$, IC 95 % : 0,38-1,37 Risque de lésion à la tête selon le type et le port du casque (224 cas de jour comparés aux 1094 témoins appariés) : intégral vs non casque : $OR_a = 0,36$, IC 95 % : 0,13-0,98 non-intégral vs non casque : $OR_a = 0,73$, IC 95 % : 0,36-1,47
(Peek-Asa et al. 1999)	États-Unis, 1992, données hospitalières et de la police : N = 1335 patients blessés à moto		Lésions à la tête Type de casque : standard et non-standard	Les lésions à la tête sont significativement plus fréquentes et plus graves chez les victimes portant un casque non-standard que chez celles portant un casque standard.

OR_a : OR ajusté ; RR_a : RR ajusté.

Dans ce tableau, les termes « moto », « motocycliste » ne désignent pas forcément les 2RM de cylindrée $\geq 50 \text{ cm}^3$ tels que définis précédemment. En effet de nombreux articles ne précisent pas la catégorie de 2RM en fonction de cette limite de cylindrée.

Auteur, année	Données	Schéma déclaré de l'étude	Sujet d'intérêt et variable d'intérêt	Résultats principaux
(Chiu et al. 2000)	Taiwan, 1996-1998, données hospitalières : N = 8795 patients blessés à moto et hospitalisés avec une lésion à la tête		Lésions à la tête (traumatismes crâniens, fractures du crâne, perte de conscience, etc.) Type de casque : intégral/modulaire/jet et bol	Risque de lésion grave à la tête selon le type de casque : bol vs intégral/modulaire/jet : OR = 1,76, IC 95 % : 1,15-2,69.
(Yu et al. 2011)	Taiwan, 2008, données hospitalières : N = 458 paires de cas-témoins (groupe de cas : 458 motocyclistes ayant au moins une lésion à la tête ; groupe de témoins : 458 motocyclistes sans lésion à la tête).	Cas-témoins	Lésions à la tête (lacérations, abrasions et plaies au cuir chevelu, au front et aux oreilles; fractures du crâne et de la face ; lésions au cerveau) et lésions au cerveau Type de casque : intégral, jet et bol	Risque de lésion à la tête selon le type de casque : jet vs intégral : OR _a = 1,40, IC 95 % : 0,78-2,50 bol vs intégral : OR _a = 2,57, IC 95 % : 1,50-4,40 Risque de lésion au cerveau selon le type de casque : jet vs intégral : OR _a = 1,03, IC 95 % : 0,44-2,43 bol vs intégral : OR _a = 2,10, IC 95 % : 1,01-4,38
(Brewer et al. 2013)	États-Unis, 2011-2012, données hospitalières : N = 151 patients victimes d'accidents de moto.	Prospective observationnelle	Fractures de la face, fractures du crâne et traumatismes crâniens. Type de casque : intégral et non-intégral	Risque de fracture à la face selon le type de casque : intégral vs non-intégral : RRR (réduction du risque relatif) = 73 % Risque de fracture au crâne selon le type de casque : intégral vs non-intégral : RRR = 89 % Risque de traumatisme crânien selon le type de casque : intégral vs non-intégral : RRR = 45 % (non significatif)
(Cini et al. 2014)	Brésil, 2011, données hospitalières : N = 157 patients blessés à la face suite à un accident de moto.	Cas-témoins	Type de traitement : chirurgical vs conservateur Type de casque : intégral et jet/modulaire	Patients portant un casque jet ou modulaire étaient trois fois plus susceptibles de nécessiter une opération chirurgicale que ceux portant un casque intégral : OR = 3,05, IC 95 % : 1,24-7,48.
(Ramli et al. 2014)	Malaisie, 2010-2011, données hospitalières, de la police et d'enquête: N = 755 motocyclistes blessés : 391 motocyclistes avec une lésion à la face (cas) et 364 motocyclistes sans lésion à la face (témoins).	Cas-témoins	Lésions à la face Type casque : intégral, jet/bol et « tropical » Fixation du casque : fixé et non-fixé (un très faible effectif pour les casques intégraux: n = 16)	Risque de lésion à la face selon le type de casque : jet/bol vs intégral : OR _a = 1,43, IC 95 % : 0,50-4,40 « tropical » vs intégral : OR _a = 1,47, IC 95 % : 0,43-5,10 Risque de lésion à la face selon la fixation du casque : non-fixé vs fixé : OR _a = 2,10, IC 95 % : 1,41-3,13

OR_a : OR ajusté ; RR_a : RR ajusté.

Dans ce tableau, les termes « moto », « motocyclette » ne désignent pas forcément les 2RM de cylindrée $\geq 50 \text{ cm}^3$ tels que définis précédemment. En effet de nombreux articles ne précisent pas la catégorie de 2RM en fonction de cette limite de cylindrée.

Auteur, année	Données	Schéma déclaré de l'étude	Sujet d'intérêt et variable d'intérêt	Résultats principaux
(Brown et al. 2015)	Australie, 2012-2014, données d'accidents détaillées : N = 92 motocyclistes gravement blessés.		Lésions superficielles à la tête, fractures de la tête ou des dents, lésions intracrâniennes Type casque : intégral et jet	Risque de lésion superficielle à la tête selon le type de casque : jet vs intégral : OR = 9,86, IC 95 % : 2,67-36,3 Risque de fracture de la tête ou des dents selon le type de casque : jet vs intégral : OR = 20,45, IC 95 % : 1,95-214,5 Risque de lésion intracrânienne selon le type de casque : jet vs intégral : OR = 1,10, IC 95 % : 0,21-5,66
(Ramli and Oxley 2016)	Malaisie, 2010-2011, données hospitalières, de la police et d'enquête : N = 755 motocyclistes blessés : 404 motocyclistes avec une lésion à la tête (cas) et 235 motocyclistes sans lésion à la tête (témoins)	Cas-témoins	Lésions à la tête (lésions au cerveau, au crâne ou au cuir chevelu) Type casque : intégral, jet/bol et « tropical » Fixation du casque : fixé et non-fixé (un très faible effectif pour les casques intégraux : n = 16)	Risque de lésion à la tête selon le type de casque : jet/bol vs intégral : OR _a = 1,86, IC 95 % : 0,57-6,09 « tropical » vs intégral : OR _a = 2,67, IC 95 % : 0,65-11,01 Risque de lésion à la tête selon la fixation du casque : non-fixé vs fixé : OR _a = 5,73, IC 95 % : 3,38-9,73
(Erhardt et al. 2016)	États-Unis, 2012-2013, données de la police : N = 7205 motocyclistes impliqués dans un accident.		Lésions à la tête et lésions au cou Type de casque: intégral, jet, modulaire, bol et « novelty »	Risque de lésion à la tête selon le type de casque : modulaire vs intégral : RR _a = 1,08, IC 95 % : 0,81-1,44 jet vs intégral : RR _a = 1,69, IC 95 % : 1,41-2,03 bol vs intégral : RR _a = 1,91, IC 95 % : 1,66-2,20 « novelty » vs intégral : RR _a = 2,78, IC 95 % : 2,33-3,32 Pas d'association entre type de casque et lésion au cou
(Sung et al. 2016)	Corée du sud, 2012-2015, données hospitalières : N = 738 patients blessés à moto.	Rétrospective observationnelle	Lésions à la tête Type ou port du casque : intégral, jet, bol et non casque	Risque de lésion mineure à la tête selon le type de casque : intégral vs non casque : OR _a = 0,59, IC 95 % : 0,38-0,92 jet vs non casque : OR _a = 0,71, IC 95 % : 0,42-1,19 bol vs non casque : OR _a = 0,83, IC 95 % : 0,48-1,45 Risque de lésion grave à la tête selon le type de casque : intégral vs non casque : OR _a = 0,21, IC 95 % : 0,08-0,53 jet vs non casque : OR _a = 0,40, IC 95 % : 0,16-1,02 bol vs non casque : OR _a = 0,57, IC 95 % : 0,24-1,34

OR_a : OR ajusté ; RR_a : RR ajusté.

Dans ce tableau, les termes « moto », « motocyclette » ne désignent pas forcément les 2RM de cylindrée $\geq 50 \text{ cm}^3$ tels que définis précédemment. En effet de nombreux articles ne précisent pas la catégorie de 2RM en fonction de cette limite de cylindrée.

1.2.4. Équipements vestimentaires

Mis à part le casque, les dispositifs passifs de sécurité tels que blouson de moto, pantalon de moto, bottes, gants, protection dorsale ainsi que gilet airbag deviennent de plus en plus répandus dans le monde entier. En France, le port des vêtements adaptés (gants, blouson, pantalon et bottes) n'est pas obligatoire (sauf pour les gants depuis 2016), mais il est fortement recommandé par les organismes de sécurité routière. Selon l'enquête SOeS, les gants sont l'équipement vestimentaire le plus porté (83,5 %), suivis par les blousons (60,6 %), les bottes (40,9 %) et les pantalons (21,1 %) ; les cyclomotoristes sont nettement moins souvent équipés que les motocyclistes ; de manière générale, le taux d'équipement augmente avec la cylindrée du 2RM ; très peu d'utilisateurs de 2RM (0,3 %) disposent d'un gilet airbag (SOeS 2013b).

Peu d'évaluations de l'effet de l'habillement des usagers de 2RM sont disponibles dans la littérature scientifique. La recommandation du port des vêtements de protection repose sur un manque d'observations cliniques. C'est aussi le cas pour l'utilisation d'autres équipements intégrés tels que la protection dorsale et le gilet airbag, supposés protéger la colonne vertébrale et le thorax.

Vêtements de protection

Il est connu que les lésions les plus fréquentes chez les usagers de 2RM sont les lésions peu graves telles que les abrasions cutanées, les contusions et les lacérations (ACEM 2009; Hurt et al. 1981; de Rome et al. 2011). Les abrasions prédominent : elles représentent 37 % de toutes les lésions, suivies par les contusions (22 %) et les fractures (15 %) dans l'étude de (Hurt et al. 1981).

À ce jour les vêtements conçus pour l'usage de moto en Europe sont en conformité avec les normes européennes EN 13594, 13595 et 13634 concernant les gants, les blousons et pantalons de moto et les bottes, et atteignent les niveaux de protection sur la résistance à l'abrasion, à l'éclatement des coutures, aux coupures, etc. Les protecteurs contre les chocs sur les articulations (épaules, coudes, genoux) sont également en conformité avec la norme EN 1621-1.

Toutefois, l'évaluation de l'efficacité de ces vêtements de protection à partir des données d'accidents est peu effectuée. Cela est dû du fait que l'information sur ces équipements est rarement recueillie par les forces de l'ordre après un accident de 2RM. De plus, dans les cas où l'information sur les équipements est disponible, il est difficile d'évaluer l'efficacité des équipements en raison de la complexité des configurations d'accidents, des chocs reçus par les victimes et des lésions correspondantes. Les principales études concernant la performance des vêtements (de moto) sont listées dans le Tableau 2 : 13 études à ce sujet ont été trouvées dans différents pays (Allemagne, Australie, États-Unis, Turquie, Suède), et une étude européenne (France, Allemagne, Pays-Bas, Espagne et Italie).

(Aldman et al. 1981) ont trouvé que les vêtements de protection aident à éviter les lésions des tissus mous, mais échouent à réduire les fractures, alors que (Feldkamp and Junghanns 1976) ont montré que la proportion de fractures ouvertes est beaucoup plus faible chez les usagers bien équipés. L'étude de (Schuller et al. 1986) a montré que les vêtements de moto non seulement protègent des usagers de blessures cutanées et des tissus mous, mais aussi aident à diminuer la durée d'hospitalisation, la durée de l'incapacité de travail et l'incidence d'incapacité physique permanente. L'étude approfondie MAIDS, qui porte sur 921 accidents de 2RM collectés dans 5 pays (France, Allemagne, Pays-Bas, Espagne et Italie), a montré que les vêtements de moto peuvent prévenir ou atténuer les lésions dans 40 à 60 % des cas selon la région du corps (ACEM 2009). Une étude australienne récente, qui évalue pour la première fois en détail l'efficacité des vêtements de moto en cas d'accident, a montré que les équipements vestimentaires (blouson, pantalon, gants, bottes) sont efficaces pour protéger des abrasions et des plaies, et que les équipements renforcés par des armatures offrent une protection encore meilleure, mais aucune protection contre les fractures n'a été démontrée (de Rome et al. 2011).

Bien que les études listées dans le tableau nous montrent des résultats sur l'efficacité des équipements vestimentaires, le nombre des études est encore limité. Des recherches supplémentaires sur ce sujet sont nécessaires.

Tableau 2 : principaux résultats des études sur l'efficacité des équipements de protection vestimentaires

Auteur, année	Données	Schéma déclaré de l'étude	Résultats principaux
(Feldkamp and Junghanns 1976)	Allemagne, 1972-1974, données hospitalières : N = 124 patients suite à un accident de moto.	Prospective	Les lésions graves sont diminuées par l'utilisation de vêtements de protection de 52,9 % à 28,1 %. Les conducteurs sans vêtements de protection présentaient trois fois plus de fractures ouvertes que les conducteurs équipés (25,9 % contre 7,7 %).
(Hurt et al. 1981)	États-Unis, 1976-1977, données d'accidents détaillées : N = 900 accidents de 2RM.		Les vêtements épais (veste, gants, bottes) apportent une meilleure protection contre les lésions, en particulier les lésions les moins graves. Présence de lésions à la zone main/poignet (gants épais : oui vs non) : 24 % vs 37 % ; Présence de lésions au torse (veste épaisse : oui vs non) : 49 % vs 58 % ; Présence de lésions au bas du corps (pantalons épais : oui vs non) : 79 % vs 85 % (NS) ; Présence de lésions à la zone pied/cheville (chaussures épaisses/bottes : oui vs non) : 19 % vs 29 %.
(Aldman et al. 1981)	Suède, 1976-1977, données d'accidents issues d'assurances, des rapports de la police, des rapports médicaux et d'un questionnaire : N = 174 motocyclistes blessés et assurés avec Folksam (compagnie d'assurance), dont 131 ont répondu au questionnaire concernant l'utilisation des vêtements de protection, les lésions, etc.		L'utilisation de pantalons en cuir ou de gants de moto a été associée à moins de lésions dans les régions correspondantes du corps, tandis qu'on n'a trouvé aucune association significative entre l'utilisation de la veste et des bottes et le risque de lésions. Présence de lésions à la zone main/poignet (gants de moto : oui vs non) : 18 % vs 48 % ; Présence de lésions aux membres inférieurs (pantalons en cuir : oui vs non) : 50 % vs 74 % ; Présence de lésions aux membres supérieurs (veste en cuir : oui vs non) : 49,5 % vs 58 % (NS) ; Présence de lésions à la zone pied/cheville (bottes en cuir : oui vs non) : 27 % vs 35 % (NS). Les vêtements de protection semblent suffisants pour protéger les motocyclistes contre les lésions de tissus mous, mais pas suffisants contre les fractures.
(Schuller et al. 1982)	Allemagne, 1980, données de la police : N = 264 motocyclistes accidentés avec des lésions non-mineurs (lésions nécessitant un traitement hospitalier pendant au moins 24h).		En ce qui concerne les abrasions et les lacérations, une réduction des risques d'au moins 43 % a été constatée lors de l'utilisation de vêtements de moto.

NS : non significatif ($P \geq 0,05$) ; S : significative ($P < 0,05$) ; OR_a : OR ajusté ; RR_a : RR ajusté.

Dans ce tableau, les termes « moto », « motocyclette » ne désignent pas forcément les 2RM de cylindrée $\geq 50 \text{ cm}^3$ tels que définis précédemment. En effet de nombreux articles ne précisent pas la catégorie de 2RM en fonction de cette limite de cylindrée.

Auteur, année	Données	Schéma déclaré de l'étude	Résultats principaux
(Pegg and Mayze 1983)	Australie, 1967-1980, données hospitalières : N = 38 patients ayant subi des brûlures suite à un accident de moto.		Les brûlures par frottement ont été moins souvent observées en hiver et on considère que des vêtements adéquats peuvent offrir une protection contre ces brûlures.
(Schuller et al. 1986)	Allemagne, 1980, données d'enquête : N = 200 motocyclistes blessés qui portaient un casque lors de l'accident. Ils ont été interrogés immédiatement après l'accident sur les vêtements portés. Puis une deuxième fois environ 2 ans après, 67 d'entre eux ont répondu aux questions sur la durée du traitement médical, etc.	Prospective	Motocyclistes portant des vêtements de moto (au moins un blouson en cuir, plus d'autres vêtements, par ex : des bottes, des gants, ou des pantalons en cuir) vs motocyclistes sans vêtements de protection : durée d'hospitalisation diminuée de 7 jours ; durée de l'incapacité d'aller au travail ou à l'école diminuée de 20 jours ; incidence des déficiences physiques réduite de 40 % Les vêtements de moto offrent une protection contre les lésions de la peau et des tissus mous aux membres : ces lésions ont été réduites de 43 % par l'utilisation de vêtements de moto.
(Otte and Middelhaue 1987)	Allemagne, N = 470 blessés usagers de 2RM.		Une réduction des lésions comme les abrasions, les lacérations et les contusions a été trouvée chez les usagers équipés des vêtements de protection, mais ce n'est pas le cas pour les fractures.
(Koenig and Berg 2007)	Projet APROSYS SP4, bases de données : DEKRA, GIDAS 2002, COST 327, NL-MAIDS		Le port de vêtements de protection réduit la fréquence des lésions.
(ACEM 2009)	Étude d'Europe: MAIDS (Italie, Pays-Bas, Espagne, Allemagne, France), 1999-2000 : N = 921 accidents de 2RM détaillés.		Les vêtements de moto sont efficaces pour prévenir ou réduire les lésions. Les vestes ont pu prévenir ou réduire les lésions au torse chez 64,6 % des usagers de 2RM. Les pantalons ont pu prévenir ou réduire les lésions au bas du corps chez 45,6 % des usagers. Les chaussures ont pu prévenir ou réduire les lésions au pied ou à la cheville chez 48,7 % des usagers. Les gants ont pu prévenir ou réduire les lésions au poignet ou à la main chez 43,5 % des usagers.

NS : non significatif ($P \geq 0,05$) ; S : significative ($P < 0,05$) ; OR_a : OR ajusté ; RR_a : RR ajusté.

Dans ce tableau, les termes « moto », « motocyclette » ne désignent pas forcément les 2RM de cylindrée $\geq 50 \text{ cm}^3$ tels que définis précédemment. En effet de nombreux articles ne précisent pas la catégorie de 2RM en fonction de cette limite de cylindrée.

Auteur, année	Données	Schéma déclaré de l'étude	Résultats principaux
(de Rome et al. 2011)	Australie, 2008-2009, données d'enquête : N = 212 motocyclistes accidentés (recrutés à travers des hôpitaux et des stations de réparation de moto).	Cohorte prospective	<p>Lésion ouverte : abrasion/lacération</p> <p>Veste de moto (oui vs non) : tout type de lésion $RR_a = 0,83^{NS}$; lésion ouverte $RR_a = 0,42^S$ (oui + protecteur vs non) : tout type de lésion $RR_a = 0,77^{NS}$; lésion ouverte $RR_a = 0,37^S$</p> <p>Lésion du poignet ou de la main</p> <p>Gants de moto (oui vs non) : tout type de lésion $RR_a = 0,69^{NS}$; lésion ouverte $RR_a = 0,30^S$ (oui + protecteur vs non) : tout type de lésion $RR_a = 0,55^{NS}$; lésion ouverte $RR_a = 0,27^S$</p> <p>Lésions aux membres inférieurs</p> <p>Pantalon de moto (oui vs non) : tout type de lésion $RR_a = 0,89^{NS}$; lésion ouverte $RR_a = 0,63^S$ (oui + protecteur vs non) : tout type de lésion $RR_a = 0,61^{NS}$; lésion ouverte $RR_a = 0,09^S$</p> <p>Lésion du pied ou de la cheville</p> <p>Bottes de moto (oui vs chaussures/joggers) : tout type de lésion $RR_a = 0,56^{NS}$; lésion ouverte $RR_a = 0,17^{NS}$ (oui + protecteur vs chaussures/joggers) : tout type de lésion $RR_a = 0,55^{NS}$; lésion ouverte $RR_a = 0,10^S$ (autres bottes vs chaussures/joggers) : tout type de lésion $RR_a = 0,47^{NS}$; lésion ouverte $RR_a = 0,24^S$;</p> <p>Aucune association n'a été trouvée entre le port de vêtements de protection (avec ou sans protecteurs) et le risque de fractures.</p>
(McIntyre et al. 2011)	Australie, 2006-2008, données d'assurance : N = 500 TAC (<i>Transport Commission</i>) clients motocyclistes. Les lésions sont classées selon la codification ICD-9-CM.		<p>Le port de vêtements de protection spécifiques à moto a été associé à moins de lésions ouvertes (abrasions, lacérations) aux régions correspondantes du corps. Rien n'indique que les fractures pourraient être atténuées par le port de vêtements de protection.</p> <p>% de lésions ouvertes aux membres supérieurs sauf main/poignet (veste : oui vs non) : 9 % vs 22 % ;</p> <p>% de lésions ouvertes au tronc (veste : oui vs non) : 15 % vs 25 % ;</p> <p>% de lésions ouvertes à la zone main/poignet (gants : oui vs non) : 9 % vs 45 % ;</p> <p>% de lésions ouvertes aux membres inférieurs sauf pied/cheville (pantalons : oui vs non) : 14 % vs 30 % ;</p> <p>% de lésions ouvertes à la zone pied/cheville (bottes : oui vs non) : 16 % vs 29 %.</p>

NS : non significatif ($P \geq 0,05$) ; S : significatif ($P < 0,05$) ; OR_a : OR ajusté ; RR_a : RR ajusté.

Dans ce tableau, les termes « moto », « motocycliste » ne désignent pas forcément les 2RM de cylindrée $\geq 50 \text{ cm}^3$ tels que définis précédemment. En effet de nombreux articles ne précisent pas la catégorie de 2RM en fonction de cette limite de cylindrée.

Auteur, année	Données	Schéma déclaré de l'étude	Résultats principaux
(de Rome et al. 2012)	Australie, 2008-2009, données d'enquête : N = 212 motocyclistes accidentés (recrutés à travers des hôpitaux et des stations de réparation de moto). Deux mois et six mois après, 146 motocyclistes ont répondu à deux questionnaires de suivi par courrier.	Cohorte prospective	Comparés aux motocyclistes non équipés de vêtement de protection, les motocyclistes équipés avaient des lésions moins graves, étaient moins susceptibles d'avoir une incapacité ou une déficience physique et étaient plus susceptibles d'être complètement rétablis et de retourner au travail. Motocyclistes partiellement équipés vs non équipés : admis à l'hôpital $OR_a = 0,40^{NS}$; à deux mois, qualité de vie réduite $OR_a = 0,25^S$; handicap modéré/sévère $OR_a = 0,12^S$; à six mois, complètement rétabli $OR_a = 4,69^S$; retourné au travail $OR_a = 5,70^S$; Motocyclistes complètement équipés vs non équipés : admis à l'hôpital $OR_a = 0,21^{NS}$; à deux mois, qualité de vie réduite $OR_a = 0,39^S$; handicap modéré/sévère $OR_a = 0,12^S$; à six mois, complètement rétabli $OR_a = 6,22^S$; retourné au travail $OR_a = 7,98^S$;
(Erdogan et al. 2013)	Turquie, 2012-2013, données hospitalières : N = 226 patients blessés à moto et admis dans un service d'urgence.	Prospective	Lésions des tissus mous: abrasion/lacération Veste (non vs oui) : lésions des tissus mous au haut du corps $OR = 3,95^S$; les fractures au thorax, à l'abdomen, à la colonne vertébrale, au bassin et aux membres supérieurs ont été étudiées séparément (NS). Gants (non vs oui) : lésions des tissus mous au poignet ou à la main $OR = 4,94^S$; fractures $OR = 0,88^{NS}$ Pantalons (non vs oui) : lésions des tissus mous aux jambes $OR = 5,17^S$; fractures $OR = 0,94^{NS}$ Chaussures (non vs oui) : lésions des tissus mous au pied ou à la cheville $OR = 4,53^S$; fractures $OR = 0,95^{NS}$
(Brown et al. 2015)	Australie, 2012-2014, données d'accidents détaillées : N = 102 motocyclistes impliqués dans un accident grave ou mortel comme cas et 336 témoins.		Le port de vêtements conçus pour la moto a été associé à moins d'abrasions et lacérations : $OR = 0,51^S$.

NS : non significatif ($P \geq 0,05$) ; S : significative ($P < 0,05$) ; OR_a : OR ajusté ; RR_a : RR ajusté.

Dans ce tableau, les termes « moto », « motocycliste » ne désignent pas forcément les 2RM de cylindrée $\geq 50 \text{ cm}^3$ tels que définis précédemment. En effet de nombreux articles ne précisent pas la catégorie de 2RM en fonction de cette limite de cylindrée.

Protection dorsale

La protection dorsale est conçue comme un équipement de protection contre les blessures au dos et à la colonne vertébrale. À l'origine, les protections dorsales étaient principalement utilisées lors de courses motocyclistes ; elles sont actuellement répandues chez beaucoup d'usagers de motos. Il existe deux types de protections dorsales : celles intégrées aux blousons (on parle alors de plaque dorsale) et les additives (coque dorsale). Les plaques intégrées aux blousons sont souvent de simples mousses offrant vraisemblablement un niveau de sécurité moins satisfaisant que les coques dorsales. Les protections dorsales sur le marché n'atteignent pas toutes le niveau de protection supposé par la norme EN 1621-2, adoptée en 2003. Les protections dorsales certifiées par la norme permettent théoriquement d'amortir les chocs directs au dos et à la colonne, et de prévenir certaines blessures. L'utilisation de la protection dorsale est actuellement en augmentation. Selon une étude en Australie (de Rome 2006), la prévalence de la protection dorsale chez les conducteurs de moto est passée de 19 % en 2001 à 44 % en 2006. Bien que l'utilisation de la protection dorsale soit de plus en plus répandue, et que de nombreuses études biomécaniques soutiennent son éventuel effet protecteur, cet effet protecteur n'est pas corroboré par des études observationnelles cliniques.

En effet, très peu de travaux cliniques ont étudié la performance de la protection dorsale en cas d'accident, puisqu'il est rare de disposer de l'information sur le port d'une protection dorsale dans les données d'accidents. Nous avons identifié une revue de littérature et deux études transversales sur le sujet (Ekmejian et al. 2016; Giustini et al. 2014; de Rome et al. 2011). Ces deux dernières ont examiné l'effet potentiel d'une protection dorsale sur les blessures à la colonne vertébrale ou au dos. L'efficacité de la protection n'a pas été mise en évidence par (de Rome et al. 2011), alors que (Giustini et al. 2014) ont montré qu'une protection dorsale ou un gilet airbag certifiés par la norme pourraient réduire le risque de blessure grave à la colonne vertébrale, mais sans distinguer les deux dispositifs. L'éventuel effet protecteur d'une protection dorsale sur les blessures à la colonne vertébrale ou au dos n'est donc pas encore clair.

Gilet airbag

A priori, un gilet airbag offre une meilleure protection qu'une protection dorsale, car il absorbe mieux l'énergie cinétique et couvre une surface du corps plus importante. Récemment, les gilets airbag ou les blousons avec airbag intégré ont été introduits sur le marché, mais leur utilisation est encore peu répandue. D'après une enquête menée par l'Assurance Mutuelle des Motards (AMDM 2017), actuellement seulement 4 % des conducteurs de 2RM possèdent un gilet airbag, du fait que le prix du gilet airbag est jugé trop élevé et que beaucoup de conducteurs doutent de son efficacité.

Jusqu'à présent, très peu de travaux ont étudié ou montré l'efficacité du port d'un gilet airbag. Selon une étude de simulation numérique, en cas de choc au sternum (à une vitesse ≤ 30 km/h), le port du gilet airbag prévient certainement des blessures au thorax ou atténue leur gravité (Thollon et al. 2010).

Selon une étude récente portant sur un petit nombre d'observations, la majorité des usagers de 2RM accidentés et équipés d'un gilet airbag considère que le port du gilet airbag leur a évité des lésions ; toutefois, l'étude rapporte aussi qu'un impact à 40 km/h peut provoquer des lésions graves au niveau du tronc même en cas du port du gilet airbag (Serre et al. 2017). D'autres recherches sur l'efficacité du gilet airbag sont nécessaires, en particulier des études empiriques à partir des données d'accidents.

1.3. Synthèse et discussion

Dans ce chapitre, nous venons de faire un bilan des connaissances sur les accidents de 2RM en deux parties : la première partie concerne les principaux facteurs de survenue d'accidents spécifiques aux 2RM ou les plus souvent observés, la deuxième partie concerne les conséquences lésionnelles subies par les usagers de 2RM et les dispositifs de protection. Cette revue de la littérature nous a permis de connaître l'état des connaissances épidémiologiques sur l'insécurité routière des usagers de 2RM, et donc d'identifier les recherches les plus pertinentes à mener.

En l'état actuel des connaissances, bien que le problème de détectabilité du 2RM soit fréquemment observé chez les automobilistes entrant en collision avec un 2RM dans une intersection, il en est de même pour ceux en collision avec une autre automobile. Est-ce que les automobilistes éprouvent plus de difficulté à percevoir un 2RM qu'un VL, et si oui, dans quelles configurations d'accident en particulier ? Le chapitre 3 tentera de répondre à cette question à partir de données d'accidents.

Les principaux facteurs associés à la survenue des accidents de 2RM ont bien été identifiés dans les recherches menées. Contrairement à certains facteurs dont les effets ont été largement mesurés, des facteurs spécifiques liés à l'adhérence du 2RM à la route (état de la surface de la chaussée, géométrie de la route, ABS, état des pneus) ou à la dynamique du 2RM (type de 2RM, vitesse) l'ont beaucoup moins été en raison de la rareté de ces informations, malgré leur rôle important dans la survenue d'accidents de 2RM. Le chapitre 4 va porter sur l'estimation des facteurs d'accident liés à l'infrastructure. Grâce à la richesse d'information dont nous disposons (qui sera exposée dans le chapitre 2), nous allons pouvoir les étudier et mesurer leur importance dans les accidents avec perte de contrôle du 2RM.

Les usagers de 2RM sont qualifiés d'usagers vulnérables car ils ne bénéficient pas de la protection d'une carrosserie en cas de collision. C'est aussi le cas des piétons et des cyclistes, mais les usagers de 2RM présentent un inconvénient supplémentaire vis-à-vis de leur sécurité : ils se déplacent à des vitesses comparables à celles des usagers de véhicules à quatre roues. Ils sont donc particulièrement exposés aux conséquences lésionnelles en cas d'accident.

Les usagers de 2RM subissent souvent de multiples lésions en cas d'accident et ont davantage tendance à subir des séquelles permanentes. Les dispositifs de protection passifs (casque, vêtements de moto, protection dorsale et gilet airbag) sont de plus en plus répandus chez les usagers de 2RM. Néanmoins, si le port du casque et des gants est plutôt systématique pour les usagers de 2RM en France, le port du blouson de moto et des bottes de moto l'est beaucoup moins, et encore moins pour les pantalons de moto, les protections dorsales et les gilets airbag. Bien que ces équipements soient conçus et supposés réduire les blessures des usagers de 2RM et que leur utilisation soit fortement recommandée par les organismes de sécurité routière, l'évaluation de leur capacité à éviter ou atténuer

certaines lésions manque encore de démonstrations obtenues à partir des données d'accidents. À propos du casque, bien que la protection qu'il offre aux usagers vis-à-vis des blessures à la tête et la face soit largement démontrée dans de nombreux travaux, la protection apportée selon différents types de casque l'est beaucoup moins. Ce manque d'évaluation de l'efficacité des équipements vestimentaires de protection ou de l'efficacité relative des différents types de casque vient d'un manque de disponibilité des informations correspondantes dans les données d'accidents. Ainsi en France, le recueil national d'accidents de la route des forces de l'ordre (les BAAC : Bulletin d'Analyse des Accidents Corporels de la circulation) ne comprend ni l'information sur les types de casques ou les équipements vestimentaires portés par les victimes, ni l'information détaillée des conséquences lésionnelle des victimes.

Dans ce contexte, cette thèse vise également à quantifier l'efficacité des équipements vestimentaires de protection et l'efficacité relative des différents types de casque, au travers d'une enquête sur les accidents de 2RM (présentée dans le chapitre 2) dans laquelle les informations nécessaires ont pu être recueillies.

Chapitre 2

Données et méthode

La réalisation des objectifs de la thèse s'appuie sur les données déjà disponibles du Registre du Rhône et de la base VOIESUR, et aussi sur les données recueillies au moyen d'une enquête que nous avons mise en place auprès d'usagers de 2RM accidentés identifiés à l'aide du Registre du Rhône.

Dans ce chapitre, nous présentons ces trois sources de données ainsi que leur utilisation, notamment l'enquête que nous avons menée au cours de la thèse.

2.1. Registre du Rhône

Le Registre du Rhône, qualifié par l'Inserm et SPF (Santé Publique France), collecte les bilans médicaux de toutes les victimes corporelles d'accidents de la circulation ayant eu lieu dans le département du Rhône (Laumon et al. 1997). L'information est collectée dans 245 services publics ou privés prenant en charge les blessés de la route, c'est-à-dire les 67 services de première ligne (SAMU, SMUR, services d'urgence, services de réanimation), les 60 services de chirurgie, les 12 services pédiatriques, les 18 services neurologiques, les 47 services médicaux (médecine, gynécologie, etc.), les 39 services de rééducation ou de convalescence, et les 2 services de médecine légale.

Outre les caractéristiques générales des victimes accidentées (sexe, âge, adresse du domicile, mode de déplacement, casque, etc.) et quelques caractéristiques des circonstances des accidents (date d'accident, lieu d'accident, réseau, type d'antagoniste, motif du trajet, etc.), le Registre propose une description lésionnelle complète de chaque victime sous forme d'un codage de toutes les lésions selon la classification de l' AIS (*Abbreviated Injury Scale*)(AAAM 1998). Chaque lésion est décrite en termes de région corporelle, de type de structure anatomique, de structure anatomique spécifique (ou nature de lésion) et de type d'atteinte lésionnelle. À chaque lésion est affecté un score de gravité immédiate sur une échelle allant de 1 pour une lésion mineure, à 6 pour une lésion au-delà de toute ressource thérapeutique, ainsi qu'une échelle de prédiction de séquelle à 1 an allant de 0 pour aucune séquelle prévisible à 6.

Le recueil des données a débuté le 1^{er} janvier 1995. En 2017, les données des victimes accidentées entre 1995 et 2014 ont été saisies dans leur totalité et validées. En 2014, 8 121 victimes (1 779 victimes en 2RM) ont été enregistrées dans le Registre du Rhône, alors que seulement 2 850 victimes accidentées et blessées (690 victimes en 2RM) dans le Rhône ont été enregistrées dans la base

nationale des forces de l'ordre (BAAC). Cela démontre le manque d'exhaustivité du recueil des forces de l'ordre, qui incluent environ 3 fois moins de victimes que le Registre sur le même territoire.

De par son exhaustivité et la qualité des descriptions cliniques, le Registre du Rhône apparaît comme une très bonne base de sondage pour réaliser une enquête sur les accidents de 2RM.

2.2. Enquête auprès d'accidentés en deux-roues motorisés

Dans le cadre du projet SECU2RM (SECURité 2RM) financé par la Fondation Sécurité Routière, nous avons mené une enquête sur les accidents de 2RM (intitulée SECU2RM), qui a débuté en novembre 2016, et qui avait pour but de mieux comprendre les raisons de survenue des accidents et les causes des blessures subies par les utilisateurs de 2RM. L'enquête a porté sur les conducteurs de 2RM accidentés enregistrés par le Registre du Rhône entre 2010 et 2014. Un auto-questionnaire a été envoyé aux victimes pour recueillir les informations sur leur accident.

2.2.1. Population concernée

De 2010 à 2014, 9 224 victimes en 2RM ont été identifiées dans le Registre. Tous les usagers des 2RM victimes d'accidents de 2010 à 2014 ont été inclus, sous réserve qu'ils répondent aux critères suivants :

- 1) Conducteur
- 2) Âgé de 14 ans ou plus au moment de l'accident
- 3) Non décédé
- 4) Habitant en France
- 5) Si la victime a eu plusieurs accidents en 2RM de 2010 à 2014, seul l'accident le plus récent a été pris en compte.

Après application de tous ces critères, 8 022 victimes constituaient la population cible de l'enquête. 874 victimes ont été exclues de l'enquête faute d'adresse postale valide : adresse non renseignée, adresse incomplète, ou NPAI (N'habite Pas à l'Adresse Indiquée) indiqué³ dans le Registre. En fin de compte, 7 148 victimes ont fait l'objet de l'enquête.

³ L'information NPAI est indiquée pour certaines victimes qui ont été sollicitées dans les enquêtes menées précédemment par le laboratoire.

2.2.2. Mise en place de l'enquête

Il s'agit d'une enquête essentiellement postale. Les personnes identifiées dans le Registre du Rhône comme ayant eu un accident de 2RM ont été sollicitées pour répondre à un questionnaire par voie postale, avec retour par enveloppe T, et ont été informées de leurs droits et de la déclaration de cette étude à la CNIL (Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés) dans la lettre d'accompagnement. Afin d'optimiser le taux de réponse, la possibilité leur a été également donnée de remplir le questionnaire sur internet (secu2rm.ifsstar.fr). En cas de non réponse alors que l'adresse était toujours valide, une relance par courrier a été effectuée trois mois après le premier envoi de questionnaire.

2.2.3. Données recueillies

Le questionnaire comporte des questions détaillées sur la configuration de l'accident, les caractéristiques du pilote et du 2RM utilisé, la responsabilité du pilote ou de l'éventuel tiers et leurs erreurs commises. Il inclut également des questions sur la chronologie des collisions, et les éventuels impacts de la tête ainsi que les équipements de protection portés par le pilote.

Concrètement, le questionnaire comporte 7 rubriques réparties sur 3 feuilles recto-verso, avec un total de 63 questions (voir annexe A) :

- 1) Configuration de l'accident : lieu d'accident, type d'intersection, situation de conduite (manœuvres), interaction avec autrui, etc.
- 2) Circonstances de l'accident : météo, luminosité, déclivité de la route, état de la chaussée, obstacles sur la chaussée, etc.
- 3) Caractéristiques du véhicule : ancienneté, cylindrée, puissance, et type de 2RM (scooter, roadster, routière...), système d'assistance au freinage, état des pneumatiques, etc.
- 4) Conducteur et équipement de protection : expérience du conducteur, casque (port et type), vêtements de moto, protection dorsale, airbag, équipement rétro-réfléchissant, etc.
- 5) Informations supplémentaires sur l'accident : vitesse, alcool, perte de contrôle (freinage, adhérence...), manœuvre d'urgence, choc (contre véhicule, sol, glissières...), etc.
- 6) Rôle du conducteur et de l'éventuel tiers : erreur, responsabilité
- 7) Usage habituel du 2RM : kilométrage parcouru, motif d'usage, fréquence d'utilisation, etc.

2.2.4. Retour des questionnaires de l'enquête

Parmi les 7 148 victimes éligibles (Figure 1) :

- 979 sujets (14 %) ont répondu au questionnaire, dont 819 par courrier et 160 en renseignant l'application en ligne ;
- 2 475 sujets (35 %) n'habitaient plus à l'adresse indiquée (NPAI) ;
- La moitié des sujets éligibles n'ont pas répondu à l'enquête ;
- 40 sujets (0,6 %) nous ont contactés (soit par mél ou téléphone, soit avec un retour par courrier) pour nous signaler leur refus de répondre (4) ou nous indiquer qu'ils n'étaient pas concernés (36).

Le résultat de l'enquête SECU2RM révèle une quantité importante de NPAI parmi tous les sujets enquêtés (35 %) : cela est dû au fait que nous avons envoyé le questionnaire aux victimes accidentées de 2010-2014 par voie postale en utilisant les adresses du domicile renseignées à l'époque de l'accident, et non mises à jour depuis. Le taux de réponse à l'enquête est de 21 %, en excluant les NPAI et les cas spéciaux (les sujets qui se sont déclarés non-concernés par l'enquête). Après suppression de 9 questionnaires non exploitables, nous disposons finalement d'un échantillon de 970 répondants. Tous les résultats descriptifs de l'enquête se trouvent dans l'annexe B.

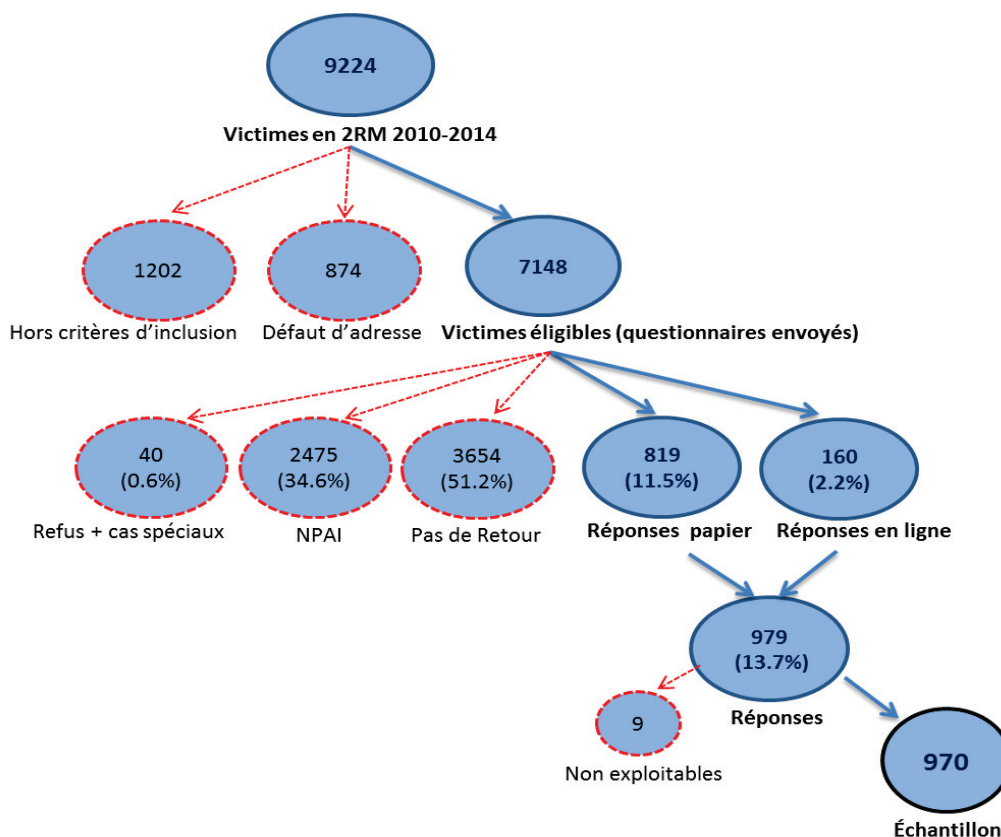


Figure 1 : constitution de l'échantillon de l'étude – SECU2RM

2.2.5. Redressement des non-réponses

Les non-réponses sont inévitables dans toute opération de collecte de données d'enquêtes non obligatoires, réalisées soit par voie postale, soit par téléphone, soit en ligne. Le taux de réponse dépend des caractéristiques de la population étudiée, de la conception du questionnaire et de la sensibilité des questions, etc. Les taux de réponse des enquêtes sont souvent très bas, c'est également le cas dans notre enquête, ce qui peut rendre douteuse la représentativité de l'ensemble des répondants.

Les personnes ayant répondu au questionnaire constituent un échantillon biaisé de notre population source. Un des intérêts d'avoir utilisé le Registre comme base de sondage est que nous avons connaissance de certaines caractéristiques des victimes, y compris leurs tableaux lésionnels. Nous avons donc pu identifier en quoi l'échantillon des répondants se distingue de notre base de sondage (les comparaisons détaillées sont présentées dans l'annexe B), ce qui nous permet d'effectuer un redressement des non-réponses. Le redressement a été réalisé à l'aide des modèles de probabilité en utilisant une régression logistique (Beaumont 2005; Brick 2013; Carlson and Williams 2001). Étant données les deux causes de non-réponse à l'enquête (Figure 2), à savoir le non-contact (les personnes n'ont pas pu être contactées à cause du défaut d'adresse : adresse non renseignée, adresse erronée ou adresse qui n'est plus valable) et le refus de répondre, le redressement des non-réponses a été réalisé en deux étapes :

- 1) Modélisation de la probabilité d'avoir un contact avec le sujet (adresse actuellement valide) : $P(C_f|E_f)$;
- 2) Modélisation de la probabilité de répondre sachant que le contact avec le sujet a été établi (autrement dit, que le sujet enquêté a bien reçu le questionnaire) : $P(R|C_f)$.

Le poids de redressement de la non-réponse est donc l'inverse du produit de deux probabilités : $(P(R|C_f) \times P(C_f|E_f))^{-1}$. Ces poids de redressement des non-réponses ont été appliqués pour les analyses concernées.

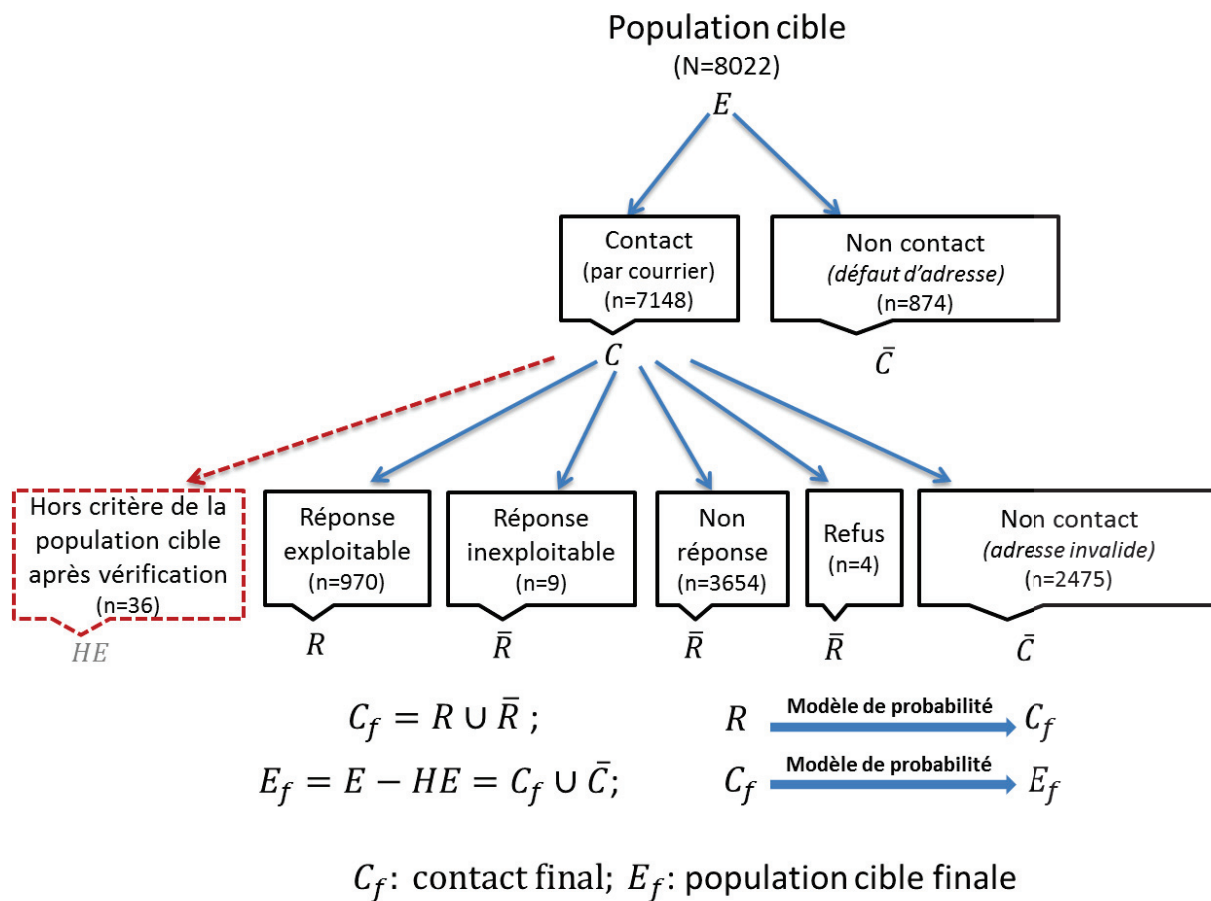


Figure 2 : résultats de l'enquête SECU2RM et présentation de la pondération

2.3. Base de données VOIESUR

2.3.1. Contenu de la base VOIESUR

La base de données VOIESUR a été constituée dans le cadre du projet VOIESUR (Véhicule Occupant Infrastructure Études de la Sécurité des Usagers de la Route) (2012) à partir de la lecture complète et de la codification minutieuse des procès-verbaux (PV) de Police-Gendarmerie transmis par l'organisme Trans PV⁴. En cas de besoin, les services de recueil ont été directement contactés dans le cadre du projet pour fournir des éléments manquants importants, tels que les plans de l'accident, les photos des véhicules impliqués et les bilans lésionnels. La collecte a porté sur tous les accidents mortels et un vingtième des accidents corporels sur le territoire métropolitain pour l'année 2011, ainsi que sur tous les accidents du département du Rhône, département pour lequel il est possible de s'appuyer sur le Registre du Rhône pour les descriptions lésionnelles. La base ainsi constituée inclut 8 541 accidents décrits à travers plus de 300 variables. La base est très complexe (28 tables) et, comprend non seulement les caractéristiques générales de l'accident pouvant être trouvées dans les BAAC, mais aussi les informations tirées de la lecture complète des PV et des informations associées (photo, plan) ou estimées par les experts en accidentologie telles que la configuration de l'accident, les défaillances fonctionnelles humaines ayant joué un rôle dans la survenue de l'accident, la perte de contrôle, la responsabilité expert, les collisions, les vitesses (vitesse de roulement, vitesse au choc), etc.

2.3.2. Vitesse au choc et vitesse initiale (vitesse de roulement)

Dans la base VOIESUR, la vitesse au choc, définie comme la vitesse du centre de gravité du véhicule au moment du choc, a été estimée par expertise du PV en fonction de tous les éléments disponibles (traces de freinage, déformation du véhicule, distance de projection du piéton, état de la route, etc.). La vitesse initiale, définie comme la vitesse à laquelle roulait le véhicule avant la situation d'urgence, a été estimée de différentes façons (en "remontant" de la vitesse au choc, ou en se fiant aux éventuels témoignages). La vitesse à laquelle le 2RM se déplace joue un rôle prépondérant dans la survenue de l'accident, en particulier en cas de perte de contrôle, et le fait d'en avoir une estimation est un élément précieux dans la compréhension de la survenue des accidents.

⁴ **Trans PV :** Section de l'AGIRA - Association pour la Gestion des Informations sur le Risque en Assurance : l'activité de Trans PV consiste à adresser aux sociétés d'assurance concernées les copies des procès-verbaux d'accidents de la circulation reçus chaque jour des services de police et de gendarmerie.

2.4. Plan de l'analyse

La suite de cette thèse se déroule suivant deux grands axes de recherche : sécurité primaire et sécurité secondaire, en s'appuyant sur les trois sources de données susmentionnées : le Registre, la base VOIESUR et l'enquête SECU2RM.

Les chapitres 3 et 4 traitent de sécurité primaire. Nous avons fait le choix de travailler uniquement sur les motos, c'est-à-dire les 2RM de cylindrée supérieure ou égale à 50 cm³, plutôt que sur l'ensemble des 2RM, car les cyclomoteurs (dont la cylindrée est inférieure à 50 cm³) présentent des caractéristiques très différentes à tous points de vue : vitesse pratiquée, circonstances de conduite, type de véhicule, âge de l'accès pour les usagers, etc. Concrètement, par exemple, la vitesse maximale d'un cyclo est de 45 km/h en France, ce qui incite à un usage essentiellement urbain où l'aménagement des réseaux est très différent de celui hors agglomération ; la majorité de cyclos sont des scooters, alors que les scooters ne représentent qu'un quart des motos, et qu'il y a presque autant de roadsters que de scooters parmi les motos ; enfin les utilisateurs de cyclos sont en moyenne plus jeunes que ceux de motos. Travailler sur l'ensemble des 2RM nous aurait conduits à examiner les interactions de tous les facteurs avec la catégorie de 2RM (cyclo/moto) ce qui, vu la taille des deux groupes et le nombre de facteurs à tester, aurait entraîné des analyses manquant de puissance statistique. Nous avons donc choisi de nous focaliser sur la catégorie à plus fort enjeu, celle des motos qui représentent les trois quarts des 2RM accidentés.

Le chapitre 3 présente le problème de détectabilité d'une moto par les automobilistes, en particulier en intersection. À partir des données VOIESUR, nous étudions les problèmes les plus fréquents qui s'instaurent entre automobilistes et usagers de moto, en termes de défaillance fonctionnelle humaine, et nous cherchons aussi dans quelles situations ces problèmes se présentent. La littérature relève que le problème de détection ou la défaillance de détection des 2RM par les automobilistes joue un rôle important dans les accidents entre usagers de 2RM et automobilistes. Pour étudier si les 2RM (motos) sont effectivement plus difficiles à détecter que les autres types de véhicules, nous comparons les défaillances de détection par les automobilistes selon qu'ils ont un accident avec un autre VL ou avec une moto, et selon la configuration d'accident.

Le chapitre 4 se concentre sur les accidents de type perte de contrôle (accident PDC). Il s'agit d'identifier les principaux facteurs à l'origine de la survenue des accidents PDC en moto, et d'évaluer leurs effets. Nous nous intéressons non seulement aux facteurs de risque liés aux caractéristiques des usagers ou des motos utilisées, qui sont déjà bien étudiés dans la littérature, mais aussi à ceux liés à la route, qui sont rarement pris en compte. Dans cette partie, les analyses sur le risque d'accident PDC utilisent deux sources de données différentes: les données VOIESUR et les données SECU2RM, ce qui nous permet de faire une comparaison des résultats.

Le chapitre 5 présente en trois parties les bilans lésionnels des victimes d'accidents de 2RM, l'efficacité des équipements de protection portés (autres que le casque), et l'efficacité relative du type de casque (intégral vs non-intégral).

- La première partie est consacrée à la description des bilans lésionnels de 7 981 conducteurs de 2RM accidentés entre 2010 et 2014 et identifiés par le Registre, en termes de gravité globale, de région corporelle, de localisation anatomique précise, et de nature des lésions.
- La deuxième partie est consacrée à l'évaluation de la capacité des vêtements de protection (blouson de moto, pantalon de moto, gants et bottes ou chaussures montantes), ainsi que des protections dorsales, à éviter ou atténuer certaines blessures en cas d'accident. Cette information a été collectée dans l'enquête SECU2RM, et peut être mise en regard des descriptions lésionnelles disponibles dans le Registre.
- La troisième partie présente l'efficacité relative du type de casque (intégral vs non-intégral). Il s'agit d'estimer l'effet relatif des deux types de casques sur les lésions à la face et sur les lésions à la tête, en s'appuyant sur les réponses des 405 répondants de l'enquête qui ont déclaré avoir reçu un choc à la tête/face lors de l'accident.

Enfin, le chapitre 6 présente la discussion générale de la thèse et les perspectives.

Chapitre 3

Problèmes d'interaction entre les conducteurs de 2RM (motos) et les automobilistes

3.1. Introduction

Ainsi qu'on l'a déjà dit plus haut, le gabarit et les capacités dynamiques des 2RM sont très différents de ceux des autres véhicules motorisés circulant sur le réseau routier. Ces différences posent des problèmes spécifiques d'interaction entre les conducteurs de 2RM et les autres usagers, parmi lesquels le problème de détectabilité est un des plus fréquemment décrit en cas d'accident.

Ce problème de détectabilité du 2RM est bien connu comme un facteur d'accidents dans la littérature. Pour faire ressortir ce problème, de nombreuses études ont comparé les accidents de 2RM impliquant un ou plusieurs autres véhicules aux accidents de 2RM seuls (Thomson 1980; Williams and Hoffmann 1979). Néanmoins, (Olson 1989) a suggéré que l'hypothèse du problème de détectabilité des 2RM, qui semblait intuitivement évidente, manquait de soutien empirique. En effet, même si les automobilistes estimés responsables d'une collision avec un 2RM à l'approche d'une intersection déclarent souvent qu'ils n'ont pas vu la moto, il en est souvent de même pour ceux impliqués dans une collision avec une autre automobile. La particularité de la détectabilité des 2RM n'est donc ni claire ni évidente pour Olson, qui a souligné qu'il est nécessaire, pour la mettre en évidence, de comparer les accidents entre un 2RM et un VL aux accidents entre deux VL.

(Cercarelli et al. 1992) ont remis en question l'hypothèse de la détectabilité en faisant une comparaison entre des groupes d'accidents dans lesquels la détectabilité est supposée être une cause commune (un automobiliste a échoué à détecter un 2RM ou une automobile). L'hypothèse selon laquelle une mauvaise visibilité des 2RM devrait conduire à un taux d'accidents de jour entre un 2RM et un VL plus élevé que celui des accidents de deux VL n'a pas été confirmée. Cependant, les auteurs reconnaissent avec Olson que la relation entre le problème de la détectabilité des 2RM et le risque d'accident n'est pas complètement claire.

Entre-temps, d'autres études plus récentes ont continué de comparer les accidents de 2RM impliquant un autre véhicule et les accidents de 2RM seuls afin de montrer le problème de détectabilité des 2RM (Clarke et al. 2007). Une étude approfondie sur les accidents en 2RM en France (Van Elslande et al. 2008b) a montré la plus grande difficulté de la détection des 2RM en comparant le taux de défaillance de détection chez deux groupes d'automobilistes impliqués dans des accidents (face à un 2RM ou à un

autre véhicule). De plus, (Crundall et al. 2008) ont conduit deux expériences de simulation concernant les défaillances de détection (détecter une voiture ou une motocyclette en approche frontale) et d'évaluation (juger s'il est sécurisé de traverser la route sans entrer en collision avec le véhicule) dans une intersection, et leur méthode a été répliquée par (Lee et al. 2015). Tous les deux ont trouvé, d'après leurs simulations, qu'une voiture est plus facile à détecter qu'une motocyclette pour les automobilistes.

Objectif

Le but de ce chapitre est de mettre en évidence le problème de détectabilité des motos pour les automobilistes au niveau d'une intersection, en comparant les accidents entre une moto et un VL aux accidents entre deux VL, et de distinguer les configurations de circulation qui favorisent le plus ce problème de détectabilité des motos.

Rappelons que nous avons choisi de ne pas intégrer dans ces analyses les accidents impliquant des cyclomoteurs pour les raisons évoquées dans la section 2.4. Il est entendu que dans la suite du document, l'appellation « accident moto-VL » désigne les accidents entre une moto et un VL et « accident VL-VL » les accidents entre deux VL.

3.2. Matériel et méthode

Les analyses dans cette partie reposent sur la base de données VOIESUR⁵. La base contient plus de 300 variables, en particulier des informations importantes et rarement à disposition dans les autres bases de données telles que la configuration d'accident, la défaillance fonctionnelle humaine et la vitesse de roulement ; c'est exactement ce dont nous avons besoin pour étudier le problème de détectabilité des 2RM.

Avant tout, il est nécessaire de préciser certaines notions importantes: la défaillance de détection (qui est un type de défaillance fonctionnelle humaine) et la configuration d'accident.

3.2.1. Définition de la défaillance fonctionnelle humaine

La défaillance fonctionnelle humaine, que l'on appelle communément erreur humaine, est définie dans VOIESUR comme suit : « une fonction défaillante dans le processus humain de réalisation d'une tâche—du traitement de l'information à l'exécution de la tâche ». La mauvaise réalisation ou l'absence de réalisation de la tâche entraîne un basculement de la situation de conduite normale vers une situation d'accident. Cette définition adoptée dans VOIESUR est issue de travaux précédents (Van

⁵ Rappelons que la collecte de la base VOIESUR a porté sur tous les accidents mortels et un vingtième des accidents corporels sur le territoire métropolitain en France pour l'année 2011.

Elslande et al. 2008a; Van Elslande 2003; Van Elslande 2000). Les défaillances sont classées en 6 catégories au premier niveau : détection (perception), diagnostic, pronostic, décision, exécution et défaillance globale. Ici, nous ne nous intéressons qu'à la défaillance de détection liée à la fois aux problèmes de visibilité et aux stratégies de prise d'information.

3.2.2. Définition de la configuration d'accident

Une configuration d'accident de la circulation routière est définie dans VOIESUR comme un déroulement prototypique correspondant à un groupe d'accidents présentant des similitudes d'ensemble du point de vue de l'enchaînement des faits et des relations de causalité, dans les différentes phases conduisant à la collision. 167 configurations sont définies dans VOIESUR. Les configurations définies prennent en compte le nombre d'usagers, le lieu de l'accident (intersection ou non) et les manœuvres effectuées avant la collision.

3.2.3. Population d'étude

La base VOIESUR contient 4 734 accidents impliquant au moins un VL.

- 823 sont des accidents VL-VL (412 mortels et 411 non mortels), soit 19,4 % des accidents de VL.
- 978 sont des accidents 2RM-VL (374 mortels et 604 non mortels), soit 28,0 % des accidents de VL.
 - 678 accidents moto-VL (287 mortels et 391 non mortels) ;
 - 295 accidents cyclo-VL (87 mortels et 208 non mortels) ;
 - 5 accidents 2RM-VL non mortels pour lesquels la catégorie de 2RM est inconnue.

Afin de mettre en évidence le problème de détectabilité des motos par les automobilistes, les analyses qui suivent porteront sur les accidents moto-VL et VL-VL. 2 accidents VL-VL sans configuration d'accident déterminée ont été exclus. Ont été exclus 65 accidents moto-VL pour lesquels la défaillance du conducteur de VL est inconnue. De même, ont été exclus 182 accidents VL-VL pour lesquels la défaillance d'un des conducteurs de VL est inconnue.

Pour conclure, l'échantillon d'étude est constitué de 639 accidents VL-VL (319 mortels et 320 non mortels) et 613 accidents moto-VL (280 mortels et 333 non mortels).

3.2.4. Analyses statistiques

La défaillance de détection chez les automobilistes est comparée dans les accidents moto-VL et les accidents VL-VL en fonction des configurations d'accidents, en utilisant le test du χ^2 . Puisque la base VOIESUR contient tous les accidents mortels et seulement un vingtième des accidents non-mortels, une pondération de 1 pour les accidents mortels et de 20 pour les accidents non mortels a été appliquée pour chaque test et chaque estimation.

3.3. Résultats

3.3.1. Types d'accidents entre deux véhicules

Quatre types d'accidents entre deux véhicules ont été définis :

- Type 1 : accidents où les deux véhicules rentrent en collision dans une intersection.
- Type 2 : accidents hors intersection avec un véhicule quittant son stationnement, étant en stationnement ou entrant ou sortant d'une voie privée, d'un garage.
- Type 3 : accidents de dépassement hors intersection, avec au moins un véhicule effectuant un dépassement.
- Type 4 : autres accidents entre deux véhicules hors intersection (hors des accidents du type 2 et type 3).

La distribution des types d'accidents pour les moto-VL et VL-VL est décrite dans le Tableau 3. La distribution pour les accidents moto-VL diffère significativement de celle des accidents VL-VL ($p < 0,001$).

Tableau 3: distribution des types d'accidents pour les moto-VL et VL-VL

Types d'accidents	Accidents moto-VL N _{obs} (% _w)	Accidents VL-VL N _{obs} (% _w)
Type 1 : accidents en intersection	282 (48,4)	211 (42,8)
Type 2 : hors intersection, accidents de stationnement	88 (17,7)	13 (3,6)
Type 3 : hors intersection, accidents de dépassement	70 (9,5)	54 (6,2)
Type 4 : hors intersection, autres (changement de voie, ralentissement, demi-tour, etc.)	173 (24,4)	361 (47,5)
Total	613 (N _w = 6 940)	639 (N _w = 6 719)

N_{obs} : effectif observé ; N_w : effectif pondéré ; %_w : pourcentage pondéré.

Les accidents en intersection (type 1) sont les accidents les plus courants pour les moto-VL, représentant presque la moitié des accidents, alors qu'ils n'arrivent qu'en deuxième position pour les VL-VL. Les accidents hors intersection, avec un véhicule faisant une manœuvre de stationnement (entrant ou sortant) (type 2), représentent près de 18 % des accidents moto-VL. La majorité des manœuvres de stationnement (entrant ou sortant) sont effectuées par les automobilistes. Par ailleurs, ce type d'accident ne représente que 4 % des accidents VL-VL. Les accidents hors intersection, avec au moins un véhicule effectuant un dépassement (type 3), représentent à peu près 10 % des accidents moto-VL. La majorité des dépassements sont effectués par les motocyclistes. Ce type d'accident est un peu moins fréquent pour les accidents VL-VL. Les accidents de type 4, c.-à-d. les accidents hors

intersection, sans manœuvre de dépassement, ni manœuvre de stationnement, représentent environ 24 % des accidents moto-VL, alors qu'ils représentent près de la moitié des accidents VL-VL.

En résumé, les motocyclistes et les automobilistes rentrent souvent en collision dans une intersection, alors que, pour deux automobilistes, cela survient plus souvent hors intersection du fait de manœuvres inattendues réalisées par un des deux automobilistes telles que changement de voie, ralentissement, demi-tour, etc.

Défaillance de détection en fonction du type d'accident

Le Tableau 4 décrit la proportion de défaillance de détection pour les automobilistes impliqués dans les accidents moto-VL et VL-VL, en fonction du type d'accident. Globalement une défaillance de détection a été relevée pour plus de la moitié des automobilistes impliqués dans les accidents moto-VL, contre moins d'un quart pour les automobilistes impliqués dans les accidents VL-VL. Cela suggère que l'automobiliste rencontre beaucoup plus souvent un problème de détection en face d'une moto que d'un VL. Pour les accidents moto-VL et VL-VL, la défaillance de détection est plus prononcée chez les automobilistes impliqués dans les deux premiers types d'accident (types 1 et 2) que chez ceux impliqués dans les deux derniers (types 3 et 4). La défaillance de détection des automobilistes joue un rôle important dans les deux premiers types de configurations d'accidents, particulièrement dans les accidents impliquant au moins une moto.

Tableau 4 : proportion de défaillance de détection pour les automobilistes impliqués dans les accidents moto-VL et VL-VL, en fonction du type d'accident

Type d'accident	Défaillance de détection pour les automobilistes		
	Accidents moto-VL % _w	Accidents VL-VL % _w	<i>p</i> -value*
Type 1 : accidents en intersection	66,8	32,9	< 0,001
Type 2 : hors intersection, accidents de stationnement	71,6	25,1	< 0,001
Type 3 : hors intersection, accidents de dépassement	41,3	17,7	0,021
Type 4 : hors intersection, autres (changement de voie, ralentissement, demi-tour, etc.)	30,5	14,0	< 0,001
Total	56,4	22,7	< 0,001

* : *p*-value du test du χ^2 en comparant la défaillance de détection dans les accidents moto-VL et VL-VL.

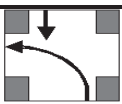
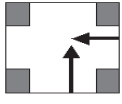


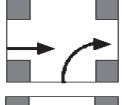
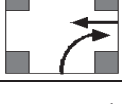
Étant donné que les accidents en intersection sont les accidents les plus fréquents et sont ceux où l'automobiliste a le plus souvent une défaillance de détection, nous nous concentrerons uniquement sur ce type d'accident pour la suite.

3.3.2. Accidents en intersection – les 2 véhicules provenant de directions opposées ou perpendiculaires

Configurations d'accidents et défaillance de détection

Pour tous les accidents en intersection, on distingue d'une part les accidents dans lesquels les 2 véhicules proviennent de directions opposées ou perpendiculaires, et d'autre part les accidents dans lesquels les 2 véhicules proviennent de la même direction ou les accidents ayant eu lieu dans un rond-point. Pour les accidents moto-VL ou VL-VL en intersection, plus de deux tiers ont eu lieu quand les deux véhicules provenant de directions opposées ou perpendiculaires se sont croisés en intersection (rond-point non compris), et dans moins d'un quart des accidents les deux véhicules allaient dans le même sens en intersection (rond-point non compris). Afin d'étudier le problème de détectabilité, nous nous sommes focalisés sur les accidents dans lesquels les 2 véhicules proviennent de directions opposées ou perpendiculaires. Les fréquences des 6 principales configurations correspondantes sont montrées dans le Tableau 5.

Tableau 5 : six configurations d'accidents en intersection – les 2 véhicules provenant de directions opposées ou perpendiculaires

Configurations	Description des configurations d'accidents	Accidents moto-VL	Accidents VL-VL
		N_{obs} (% w)	N_{obs} (% w)
	C1 : deux véhicules provenant de directions opposées, l'un allant tout droit et l'autre tournant à gauche.	89 (38,2)	30 (24,9)
	C2 : deux véhicules allant tout droit et provenant de directions perpendiculaires.	53 (24,4)	84 (45,4)
	C3 : deux véhicules provenant de directions perpendiculaires, l'un arrivant de gauche et allant tout droit et l'autre tournant à gauche.	48 (25,4)	36 (24,5)
	C4 : deux véhicules provenant de directions perpendiculaires, l'un arrivant de droite et allant tout droit et l'autre tournant à gauche.	11 (7,3)	6 (3,1)
	C5 : deux véhicules provenant de directions perpendiculaires, l'un venant de gauche et allant tout droit l'autre tournant à droite.	8 (4,6)	6 (4,0)
	C6 : deux véhicules provenant de directions perpendiculaires, l'un venant de droite et allant tout droit l'autre tournant à droite.	1 (0,05)	2(1,0)
Total		210 ($N_w = 2\ 224$)	164 ($N_w = 2\ 026$)

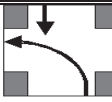
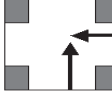
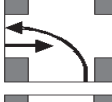
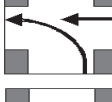
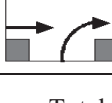
N_{obs} : effectif observé ; N_w : effectif pondéré ; % w : pourcentage pondéré.

La majorité des accidents moto-VL pour lesquels les deux véhicules venaient de directions différentes ont eu lieu dans les trois premières configurations, et il en est de même pour les accidents VL-VL. Néanmoins, la répartition de configurations des accidents moto-VL est différente de celle des accidents de deux VL ($p = 0,006$). Pour les accidents moto-VL, la configuration C1, où les deux

véhicules proviennent de directions opposées, l'un allant tout droit et l'autre tournant à gauche, est la plus fréquente (38 %), alors que la C2, où les deux véhicules proviennent de directions perpendiculaires et vont tout droit, est la plus fréquente (45 %) pour les accidents VL-VL. Concernant les accidents moto-VL, la moto allait tout droit dans 95 % des cas et environ 87 % des motos allant tout droit étaient prioritaires par rapport aux automobilistes.

Le Tableau 6 montre, pour chaque configuration d'accident (sauf la configuration C6 en raison de son faible effectif), les proportions de défaillance de détection pour les automobilistes entrant en collision avec un véhicule prioritaire allant tout droit (soit une moto soit un VL).

Tableau 6 : proportion de défaillance de détection pour les automobilistes impliqués dans les accidents moto-VL et VL-VL, en fonction de la configuration d'accident

Configurations	Accidents moto-VL		Accidents VL-VL		p-value
	N _w	%* détection	N _w	%# détection	
 C1	745	88,3	445	63,6	0,020
 C2	380	77,6	920	59,1	0,145
 C3	479	69,5	254	35,0	0,037
 C4	162	63,0	23	87,0	0,259
 C5	62	98,4	22	90,9	0,290
Total	1 828	79,3	1 664	57,5	0,002

* % détection : pourcentage de défaillance de détection d'un motocycliste prioritaire allant tout droit pour l'automobiliste pour chaque configuration.

% détection : pourcentage de défaillance de détection d'un automobiliste prioritaire allant tout droit pour un autre automobiliste pour chaque configuration.

Globalement, les automobilistes non prioritaires ont plus souvent eu une défaillance de détection en intersection quand le véhicule prioritaire était une moto plutôt qu'une voiture (79 % vs 57 %, $p=0,002$). Pour les configurations C1 et C3, les automobilistes non prioritaires ont rencontré significativement plus souvent un problème de détection face à une moto que face à un VL allant tout droit et prioritaire ($p=0,02$ pour C1 et $p=0,037$ pour C3). Il semble aussi que dans la configuration C2, les automobilistes non prioritaires ont plus souvent eu un problème de détection en face d'une moto qu'en face d'un VL, mais cela est statistiquement non significatif ($p=0,147$). Concernant les configurations C4 et C5, ce ne sont pas des configurations très fréquentes, et nous manquons de

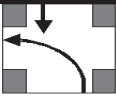
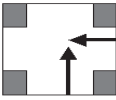
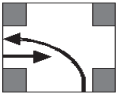
puissance statistique. On note que la défaillance de détection est plus prononcée dans la configuration C1 que dans d'autres configurations.

Pour résumer, à l'approche d'une intersection, les automobilistes ont plus de mal à détecter une moto prioritaire allant tout droit qu'à détecter un VL prioritaire allant tout droit, en particulier dans les configurations où les automobilistes non prioritaires tournent à gauche (configurations C1 et C3).

Vitesse de roulement : comparaison des vitesses d'une moto et d'un VL

En intersection, nous nous intéressons à la vitesse à laquelle le véhicule accidenté (moto/VL) allait tout droit sur la route prioritaire. Le Tableau 7 montre que, dans les mêmes situations d'accidents, en allant tout droit sur une route prioritaire, une moto semble rouler plus vite qu'un VL en agglomération (53,8 km/h vs 45,8 km/h), mais la différence de vitesses entre les deux n'est pas statistiquement significative. Aucune différence de vitesse pour les motos et les VL n'a été trouvée globalement en cas d'accident hors agglomération ($p = 0,888$). Si l'on compare la vitesse de roulement d'une moto à celle d'un VL pour chacune des trois premières configurations, nous remarquons que c'est seulement dans la configuration C1 hors agglomération que les motos roulaient significativement plus vite que les VL ($p = 0,029$).

Tableau 7 : moyenne des vitesses de roulement d'une moto et d'un VL prioritaires allant tout droit selon que l'accident a eu lieu en agglomération ou hors agglomération

Configurations d'accidents	En agglomération					Hors agglomération				
	Moto		VL		p-value t-test	Moto		VL		p-value t-test
	N _{obs}	Vitesse (km/h)	N _{obs}	Vitesse (km/h)		N _{obs}	Vitesse (km/h)	N _{obs}	Vitesse (km/h)	
 C1	21	51,7	6	47,5	0,476	9	104,0	9	83,4	0,029
 C2	13	42,8	10	34,2	0,208	8	66,5	32	78,8	0,383
 C3	11	73,2	5	58,9	0,175	8	79,5	12	63,7	0,064
5 configurations C1-C5	51	53,8	23	45,8	0,110	26	76,7	57	77,8	0,888

N_{obs} : nombre d'observations avec les vitesses renseignées. La moyenne de la vitesse de roulement a été calculée sur les données pondérées. Les résultats pour les configurations C4 et C5 ne sont pas affichés individuellement, à cause du petit effectif des observations.

3.3.3. Synthèse et discussion

Ainsi les accidents moto-VL se produisent plus fréquemment en intersection que les accidents VL-VL, qui sont plus fréquents hors intersection. Une défaillance de détection a été identifiée pour deux tiers des automobilistes entrés en collision avec une moto en intersection, alors que cette proportion est divisée par 2 pour les automobilistes en collision avec un VL.

La grande majorité de ces accidents en intersection avec 2 véhicules qui provenaient de directions opposées ou perpendiculaires, ont eu lieu selon les trois configurations C1, C2 et C3. Dans ces configurations, les automobilistes non prioritaires ont plus souvent rencontré un problème de détection face à une moto prioritaire allant tout droit que face à un VL prioritaire allant tout droit, en particulier quand les automobilistes non prioritaires tournaient à gauche. Le fait de tourner à gauche, en plus d'amener le conducteur à faire plus de mouvements de tête, complexifie la tâche de conduite par rapport à une conduite en ligne droite en traversant une intersection, et a comme conséquence possible un risque plus élevé pour un conducteur de ne pas voir un véhicule présentant une surface frontale réduite plutôt qu'une surface frontale plus grande (Hancock et al. 1990).

Par ailleurs, il faut noter que la défaillance de détection chez les automobilistes tournant à gauche est plus présente dans la configuration C1 que dans la configuration C3, dans les accidents moto-VL, ainsi que dans les accidents VL-VL. Ce résultat est en accord avec l'étude de (Leibowitz and Appelle 1969), qui a trouvé que les seuils de luminance pour la vision binoculaire étaient plus élevés à droite qu'à gauche. Ainsi les automobilistes tournant à gauche ont plus de risque de ne pas détecter un véhicule qui arrive du côté droit de leur champ de vision (comme dans la configuration C1) plutôt que du côté gauche (comme dans la configuration C3).

Dans tous les cas, la vitesse à laquelle les véhicules se déplacent a un rôle primordial dans le possible manque de détection. Nous avons l'espoir de pouvoir le mettre en évidence à partir des données de VOIESUR, pour lesquelles un effort particulier de détermination des vitesses a été fait. Cependant la seule différence significative mise en évidence concerne la configuration 1 hors agglomération, dans laquelle le motocycliste roulait à une vitesse moyenne nettement supérieure à celle de l'automobiliste confronté à la même situation, mais ce résultat conforme à nos attentes a été obtenu dans un contexte d'hypothèses multiples. En résumé, les trop faibles effectifs pour lesquels les estimations de vitesse sont disponibles n'ont pas permis de conclusions statistiquement étayées.

Conclusion

Notre étude confirme le problème de détectabilité des motos en intersection, en comparant les défaillances de détection dans les accidents moto-VL et VL-VL. L'étude montre que, dans la même situation d'interaction entre deux véhicules en intersection, un automobiliste a plus de difficulté à détecter une moto qu'un VL, ce qui est conforme aux résultats trouvés dans les expérimentations sur

simulateur dans la littérature. Cela conduit à recommander une augmentation de la détectabilité des motos elles-mêmes avec par exemple des équipements rétro-réfléchissants ou des feux spécifiques. Il est aussi fortement recommandé pour les automobilistes de faire très attention aux véhicules prioritaires venant de la gauche ou d'en face avant de tourner à gauche, et particulièrement aux motos venant face à eux.

Chapitre 4

Accidents de type perte de contrôle (accidents PDC) et facteurs de risque de leur survenue

4.1. Introduction

Dans les analyses que nous exposons dans ce chapitre, la définition de la perte de contrôle que nous avons adoptée est issue du travail de (Michel et al. 2005) et a notamment été utilisée par (Van Elslande et al. 2008b) : seul le conducteur du 2RM intervient dans le basculement en situation d'accident (rupture) même si ensuite, au cours de la situation d'urgence, une collision se produit avec un autre véhicule. Autrement dit, c'est l'absence d'interaction avec tout autre usager au moment de la rupture qui détermine si l'accident est de type perte de contrôle.

Dans une étude récente menée en Allemagne, les accidents de type perte de contrôle (accident PDC) sont le scénario le plus courant (26 %) dans les accidents graves de 2RM (Fredriksson and Sui 2016). Dans une étude réalisée en Italie, 23,4 % des accidents en moto et 18,5 % des accidents en cyclo sont dus à une perte de contrôle (Giustini et al. 2014). En Belgique, l'étude MOTAC (*Motorcycle Accident Causation*) a montré que les motocyclistes ont perdu le contrôle de leur véhicule dans 32 % des cas étudiés (Martensen and Roynard 2013). Une étude publiée par (Preusser et al. 1995) met en évidence une part des accidents PDC plus forte encore, qui représentent 48 % des accidents mortels en moto.

Ainsi les accidents PDC représentent une part importante des accidents mortels ou graves en 2RM. La recherche des facteurs de risque qui leur sont associés est d'autant plus importante qu'une grande part des accidents PDC surviennent souvent sans tiers impliqué, alors qu'il a été largement démontré que ces accidents sans tiers sont sous-déclarés dans les recueils accidentologiques effectués par les forces de l'ordre (Amoros et al. 2006). La prévention des accidents PDC est impérative, afin de réduire le risque de décès ou de blessure des motocyclistes. C'est l'une des raisons pour lesquelles ce chapitre se concentre sur ce point. De plus, peu d'études sur les accidents de moto portent spécifiquement sur ce type d'accident.

De nombreux articles rapportent que l'origine des accidents de moto est souvent liée aux comportements à risque des usagers : rouler sous l'influence de l'alcool, rouler trop vite, rouler sans permis valide, etc. On rapporte que l'alcool et la vitesse en excès sont des facteurs communs associés aux accidents de moto (Preusser et al. 1995). L'alcool peut diminuer la capacité des usagers à contrôler leur moto (Creaser et al. 2009). Les motocyclistes conduisant sous l'influence de l'alcool

sont plus susceptibles d'avoir un accident PDC, surtout pendant la nuit (Ouellet and Kasantikul 2006). Les motocyclistes roulent plus vite que les automobilistes (Horswill and Helman 2003). La vitesse excessive ou inappropriée est un facteur très courant dans les accidents de moto (Elliott et al. 2007; Hurt et al. 1981; Lardelli-Claret et al. 2005; Van Elslande and Elvik 2012). À grande vitesse, les motos deviennent plus difficiles à contrôler dans les virages et les usagers n'ont pas assez de temps pour réagir aux situations urgentes (présence d'obstacles ou d'objets glissants comme du verglas ou de l'huile sur la chaussée), ce qui peut entraîner une perte de contrôle. Un effet important du type de moto a été trouvé sur les comportements à risque des motocyclistes dans les accidents mortels ; les sportives en particulier sont associées à une prise de risque élevée (Teoh and Campbell 2010).

La littérature a souvent souligné le risque d'accident associé aux courbes. Plusieurs recherches ont montré une grande fréquence de perte de contrôle dans les courbes (Clarke et al. 2007; Hurt et al. 1981; Sexton et al. 2004). L'étude de Schneider a suggéré qu'une courbe avec un rayon décroissant provoque une augmentation significative de la fréquence des accidents et que, plus la courbe est longue, plus le risque d'accident est élevé (Schneider et al. 2010).

Selon l'étude de (Whitaker 1980), 22 % des accidents PDC se sont produits sur des surfaces glissantes (boue, gravillon) et 10 % sur des nids de poule ou des bosses. Les mauvaises conditions de la route ont été considérées comme causales dans 6,5 % des accidents de 2RM sans tiers impliqué (Hurt et al. 1981). De même, selon une étude française, 7 % des accidents PDC de moto et 18,5 % des accidents PDC de cyclo ont été associés à une chaussée dégradée (Van Elslande et al. 2008b).

Objectif

Le but de ce chapitre est d'identifier les principaux facteurs de risque à l'origine de la survenue des accidents PDC en moto, et d'évaluer leurs effets à partir de deux sources de données différentes : les données VOIESUR et les données SECU2RM.

4.2. Accidents de type perte de contrôle en moto à partir des données extraites des procès-verbaux des forces de l'ordre

Cette section a fait l'objet d'un article : *risk factors for motorcycle loss-of-control crashes*, publié dans le journal *Traffic Injury Prevention* (Wu et al. 2018).

4.2.1. Matériel et méthode

La base de données VOIESUR comprend 1 420 accidents impliquant au moins un motocycliste : 725 accidents mortels et 695 accidents non mortels, dont 441 sont des accidents PDC (327 mortels et 114 non mortels) dans lesquels au moins un motocycliste a perdu le contrôle de sa moto sans intervention d'un autre usager de la route. Ainsi, les accidents PDC représentent 45 % des accidents mortels des usagers de moto et 16 % des accidents non-mortels en France en 2011.

Avant d'aborder la constitution de l'échantillon d'étude et la méthode d'analyse, il est nécessaire de préciser la notion de responsabilité qui sera utilisée dans la définition des groupes de comparaison ; rappelons que la perte de contrôle a été définie en introduction de ce chapitre.

Définition : responsabilité expert

La responsabilité d'un usager impliqué dans un accident, appelée « responsabilité expert », est déterminée par les experts en accidentologie qui ont pris en compte tous les éléments disponibles dans les PV décrivant les accidents. La « responsabilité expert » n'est pas définie dans un sens juridique, mais dans le sens où le conducteur est estimé responsable quand il contribue à l'accident par une manœuvre inappropriée. Elle n'est pas attribuée à l'infrastructure, celle-ci n'intervenant que pour éventuellement atténuer la responsabilité du conducteur. Elle a été définie en 5 niveaux : complètement responsable, plutôt responsable, responsabilité partagée, plutôt non responsable, pas du tout responsable. Dans l'analyse qui suit les trois premiers niveaux sont considérés comme « responsable » et les autres comme « non-responsable ».

Méthode : étude cas-témoin basée sur l'analyse de responsabilité

Une étude cas-témoin a été employée afin d'estimer l'effet des facteurs de risque sur la survenue des accidents PDC en moto, en comparant les conducteurs ayant perdu le contrôle de leur moto (cas) à un groupe de conducteurs (témoins) considéré comme représentatif de la population générale des motocyclistes sur la route. L'idéal serait bien sûr de disposer d'un groupe de sujets non accidentés et pour lesquels on aurait une aussi bonne connaissance des facteurs d'exposition que pour le groupe des cas. Initialement, nous avons pensé comparer les motocyclistes ayant perdu le contrôle à ceux qui étaient impliqués dans les accidents sans perte de contrôle de leur moto. Finalement, afin de sélectionner un groupe de témoins plus représentatif de la population circulante, nous avons décidé d'exclure de ce groupe de témoins les motocyclistes responsables, selon la « méthode de l'exposition

quasi-induite » développée et utilisée par les chercheurs en épidémiologie. La validité de cette approche repose grandement sur l'hypothèse que seules des conditions fortuites ont conduit les non-responsables à être impliqués dans un accident et que, par conséquent, ils ne sont pas différents des conducteurs circulants (Lardelli-Claret et al. 2005; Lenguerrand et al. 2008; Moskal et al. 2012; Stamatiadis and Deacon 1997).

Pour résumer, les cas sont définis comme l'ensemble des motocyclistes ayant perdu le contrôle de leur véhicule. Les témoins sont définis comme l'ensemble des motocyclistes accidentés non-responsables de leur accident et sans perte de contrôle du véhicule dans l'accident. Ainsi, l'échantillon de l'étude contient 903 accidents de moto (485 mortels, 418 non-mortels), impliquant 914 motocyclistes: 444 cas et 470 témoins. Le processus de sélection des cas et des témoins est montré dans la Figure 3.

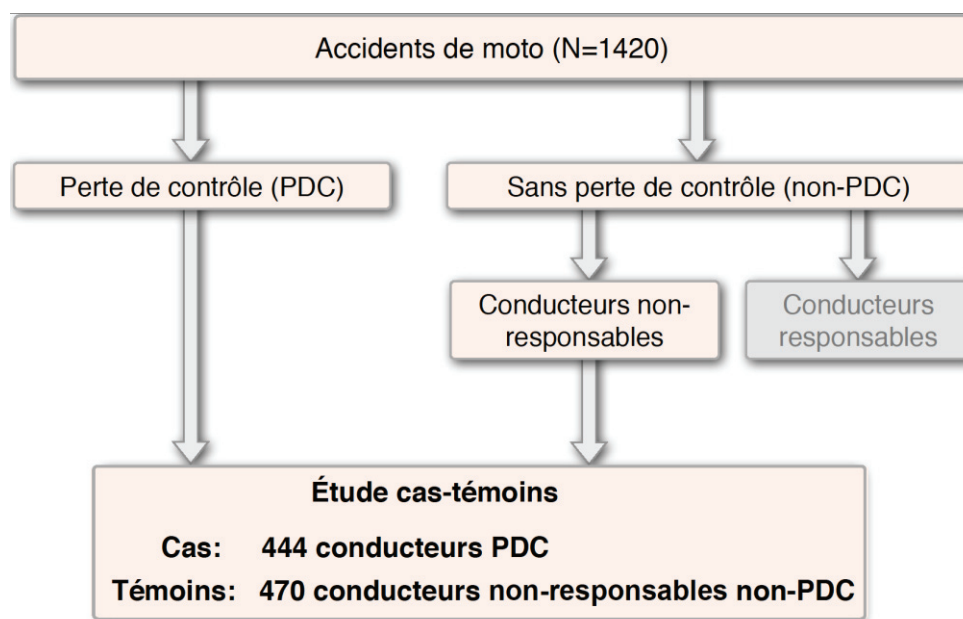


Figure 3 : procédure de sélection des cas et des témoins

Facteurs de risque potentiels

Les facteurs de risque potentiels qui ont été considérés dans les analyses sont les suivants :

- Usager (sexe, âge, alcoolémie, ancienneté du permis, motif du déplacement, vitesse de roulement) ;
- Véhicule (cylindrée, type de moto) ;
- Environnement (jour de l'accident : weekend vs semaine, luminosité, conditions météorologiques) ;
- Infrastructure (en agglomération vs hors agglomération, catégorie de route, vitesse réglementaire, sinuosité de la route, état de la route/chaussée).

Concernant les types de moto dans VOIESUR, les motos sont classées en huit types conformément à la classification adoptée dans l'enquête SOeS : basique, roadster, custom, scooter, routière/GT, sportive, trail/supermotard, et tout-terrain. Les motos basiques et les routières sont regroupées en un

seul type de moto pour les analyses. À propos des conditions d'adhérence de la chaussée, deux types de dégradation d'adhérence sont distingués : 1) « adhérence dégradée prévisible » : routes mouillées, enneigées ou déformées, prévisibles pour les usagers de moto, qui ont la capacité de s'y adapter. 2) « adhérence dégradée difficilement prévisible » : boue, gravillons, verglas, corps gras, bosses, marquages au sol et plaques d'égout, etc. sur la route, en général difficilement prévisibles pour les usagers de moto, qui auront des difficultés à s'y adapter.

Imputation multiple et pondération

L'échantillon d'étude contient des valeurs manquantes pour certains facteurs de risque potentiels. La positivité à l'alcool est manquante chez 15,2 % des motocyclistes, le type de moto dans 5,0 % des cas, l'adhérence de la route dans 3,8 % des cas et la vitesse de roulement dans 56,6 % des cas. Il est difficile de collecter assez d'information concernant l'accident pour évaluer la vitesse de roulement d'un véhicule, particulièrement quand la conséquence de l'accident n'est pas grave (car le PV correspondant contient de fait moins d'informations). Par conséquent, la vitesse est moins souvent estimée dans les accidents non-mortels (34 %) que dans les accidents mortels (51 %).

Les valeurs manquantes ont été imputées séparément pour les accidents mortels et les non-mortels, en utilisant l'imputation multiple selon la méthode FCS (*Fully Conditional Specification*) (van Buuren 2007). Le modèle d'imputation contient la variable d'événement (accident PDC) et toutes les variables d'intérêt (positivité à l'alcool, type de moto, sinuosité de la route, adhérence de la route, weekend vs semaine, et vitesse de roulement). Des variables auxiliaires associées au mécanisme des valeurs manquantes ou corrélées à la vitesse de roulement sont également incluses dans le modèle d'imputation pour la vitesse de roulement : gravité des blessures, limitation de vitesse réglementaire, conditions météorologiques, conditions de luminosité, présence d'au moins une infraction au code de la route. En outre, le moment de la journée (jour/nuit) a été ajouté dans le modèle d'imputation pour la positivité à l'alcool.

Selon le principe de l'imputation multiple, 50 jeux de données ont été créés. Les estimations ont été calculées pour chaque jeu de données, et ont été ensuite combinés pour évaluer les estimations finales. Par ailleurs, une pondération de 1 pour les accidents mortels et de 20 pour les accidents non mortels a été appliquée pour chaque estimation.

Analyses statistiques

Les analyses ont été effectuées en deux étapes. Premièrement, les cas ont été comparés aux témoins avec les données observées (en tenant compte de la pondération), en utilisant le test du χ^2 (et le test de Student pour la vitesse), afin de sélectionner les facteurs de risque liés à la survenue des accidents PDC. Les variables avec une p -value $< 0,2$ ont été sélectionnées pour l'étape suivante. Deuxièmement, les odds ratios (OR) bruts et ajustés ont été estimés pour les variables sélectionnées, en utilisant une

régression logistique univariée et une régression logistique multivariée sur les données pondérées et imputées. Les interactions entre les facteurs de risque n'ont pas été prises en compte dans les analyses multivariées pour deux raisons : d'une part, parce que peu de travaux dans la littérature ont étudié les facteurs de risque de la survenue d'accident PDC, ce qui ne permet pas d'avoir des hypothèses a priori sur les interactions supposées entre les facteurs ; d'autre part, parce que l'introduction des interactions entre variables augmenterait grandement la complexité de l'imputation multiple pour les données manquantes, et la complexité des tests statistiques ainsi que des calculs des estimations combinées à partir des 50 jeux de données créés (Seaman et al. 2012).

4.2.2. Résultats

L'analyse du risque d'avoir une perte de contrôle repose sur la comparaison du groupe de cas (444 PDC) et du groupe de témoins (470 non-PDC non-responsables). Après prise en compte de la pondération, les analyses ont porté sur 2 629 cas et 6 284 témoins.

Étape 1 : facteurs de risque potentiellement associés aux accidents PDC

Le Tableau 8 montre la distribution des cas et des témoins selon les facteurs de risque potentiellement associés à la perte de contrôle d'une moto, et les risques bruts d'avoir une perte de contrôle mesurés par les OR calculés sur les données pondérées.

Les motocyclistes âgés de 16 à 17 ans représentent 5 % des motocyclistes ayant perdu le contrôle de leur véhicule. 86 % des motocyclistes PDC ont été testés pour l'alcoolémie ; environ 16 % des tests étaient positifs (au-delà du seuil légal de 0,5 g/l). Parmi les 66 % des motocyclistes pour lesquels le motif de déplacement est précisé, 40 % ont perdu le contrôle de leur motocyclette lors d'un trajet de loisir. Plus de 40 % ont perdu le contrôle le week-end, environ 15 % la nuit sans éclairage de la chaussée, et 12 % avec de mauvaises conditions météorologiques. Plus de la moitié des motocyclistes ont perdu le contrôle dans une courbe. Plus de 30 % ont perdu le contrôle sur une route présentant une mauvaise adhérence ; en particulier, 14 % en présence d'objets glissants.

Selon les tests du χ^2 , la positivité à l'alcool, le type de moto, le jour de l'accident, les conditions de luminosité, la météo, l'agglomération (en/hors), le type de réseau, la sinuosité de la route, l'adhérence de la route, la limitation de vitesse réglementaire et la vitesse de roulement pourraient potentiellement jouer un rôle sur la survenue d'un accident PDC.

Le risque d'avoir un accident PDC est deux fois plus élevé par temps de pluie/neige que par temps sec. Les mauvaises conditions météorologiques peuvent entraîner un accident PDC due à une perte d'adhérence sur une route mouillée ou glissante, suggérant une forte association entre les conditions météorologiques et l'adhérence de la route. Seule l'adhérence de la route est prise en compte pour les analyses suivantes.

En ce qui concerne les variables fortement associées à la vitesse de roulement (en agglomération vs hors agglomération, type de réseau, et limitation réglementaire de vitesse), le risque de perte de contrôle est plus important hors agglomération, avec les limitations de vitesse supérieures à 50 km/h, et sur les autoroutes. Cependant, ces variables n'ont pas été retenues pour les analyses, en raison de leur forte corrélation avec la vitesse de roulement, facteur essentiel à la survenue d'un accident PDC (malgré certaines valeurs manquantes).

Concernant la comparaison des vitesses de roulement chez les cas et chez les témoins, les motocyclistes ayant perdu le contrôle de leur moto roulaient significativement plus vite que les témoins : 68,4 km/h et 53,3 km/h respectivement. Afin de déterminer le meilleur modèle expliquant la perte de contrôle par la vitesse de roulement, cette dernière a été introduite sous différentes formes : de manière linéaire, quadratique, ou sous forme d'un polynôme quadratique ou cubique. Le modèle avec la vitesse sous forme d'un polynôme quadratique était le meilleur en termes de minimisation de la perte d'information (AIC (*Akaike Information Criterion*) = 3 455), suivi du modèle utilisant le carré de la vitesse (AIC = 3 465). Cependant, une fois le carré de la vitesse de roulement inclus dans le modèle, la contribution du terme linéaire de la vitesse apparaît négligeable. Pour faciliter l'interprétation des analyses, nous avons choisi le modèle avec la vitesse introduite sous forme de carré.

Tableau 8 : distribution des cas et des témoins selon des facteurs potentiels associés aux accidents PDC (effectifs observés et pourcentages pondérés), OR bruts et IC 95 % – données VOIESUR

Facteurs		Cas		Témoins		OR brut (IC 95 %)	p-value
		N _{obs} =444	% _w	N _{obs} =470	% _w		
Sexe	Femme	16	7,1	28	7,4	Référence	0,915
	Homme	428	92,9	442	92,6	1,04 (0,48-2,27)	
Âge	16-17	10	5,4	7	2,2	2,35 (0,78-7,07)	0,645
	18-24	81	16,1	83	17,0	0,91 (0,50-1,65)	
	25-34	134	30,4	129	29,3	Référence	
	35-44	104	23,5	120	24,0	0,94 (0,55-1,61)	
	45-54	80	16,8	89	19,6	0,83 (0,46-1,48)	
	≥ 55	35	7,8	42	7,9	0,95 (0,44-2,08)	
Positivité à l'alcool	Négative (< 0,5 g/l)	258	72,0	382	84,4	Référence	< 0,001
	Positive (≥ 0,5 g/l)	128	14,3	7	0,1	150 (63,2-356,8)	
	Inconnue	58	13,8	81	15,5	1,04 (0,59-1,83)	
Ancienneté du permis	Non valide	49	6,9	18	3,6	2,11 (0,89-4,96)	0,251
	Valide, moins de 2 ans	150	31,7	138	27,6	1,26 (0,81-1,96)	
	Valide, 2 ans et plus	189	53,4	250	58,7	Référence	
	Inconnue	56	7,9	64	10,1	0,86 (0,43-1,72)	
Motif de déplacement	Domicile-travail/domicile-école	56	18,8	120	26,7	Référence	0,204
	Déplacements professionnels	10	4,7	27	7,4	0,91 (0,34-2,43)	
	Loisirs, promenades	145	26,5	92	19,9	1,89 (1,05-3,41)	
	Autre (vacances, courses, visites, etc.)	106	16,3	94	14,2	1,64 (0,86-3,13)	
	Inconnu	127	33,7	137	31,8	1,51 (0,87-2,63)	
Cylindrée du moteur	< 125 cm ³	91	31,6	133	34,8	Référence	0,798
	≥ 125 cm ³	350	66,8	328	63,6	1,15 (0,76-1,76)	
	Inconnue	3	1,6	9	1,7	1,04 (0,20-5,32)	
Type de moto	Scooter	57	20,2	130	34,4	0,76 (0,41-1,41)	0,002
	Basique	82	16,9	95	21,8	Référence	
	Custom	20	4,4	16	2,7	2,11 (0,69-6,44)	
	Roadster	133	24,6	107	18,9	1,68 (0,91-3,08)	
	Sportive	86	14,1	53	6,3	2,90 (1,37-6,13)	
	Trail/supermotard	38	10,8	34	7,8	1,80 (0,82-3,93)	
	Tout-terrain	15	3,5	2	0,6	7,03 (1,28-38,6)	
	Inconnu	13	5,6	33	7,5	0,96 (0,38-2,45)	
Jour de l'accident	Semaine	236	56,7	366	81,1	Référence	< 0,001
	Weekend	208	43,3	104	18,9	3,28 (2,14-5,03)	
Luminosité	Jour	303	69,3	354	75,2	Référence	0,008
	Aube ou crépuscule	21	4,4	31	6,2	0,77 (0,31-1,90)	
	Nuit avec éclairage	61	11,7	53	13,5	0,94 (0,52-1,71)	
	Nuit sans éclairage	59	14,5	32	5,0	3,12 (1,58-6,18)	
Météo	Temps normal (dégagé, nuageux)	412	87,9	444	93,2	Référence	0,063
	Temps mauvais (pluie, neige, etc.)	32	12,1	26	6,8	1,89 (0,96-3,71)	
En agglo vs Hors agglo	Hors agglomération	265	44,8	168	20,2	3,20 (2,11-4,86)	< 0,001
	En agglomération	179	55,2	302	79,8	Référence	
Type de réseau	Autoroute	33	7,8	13	3,8	2,44 (1,04-5,76)	0,127
	Route nationale	34	9,2	34	6,9	1,62 (0,77-3,39)	
	Route départementale	243	36,0	220	32,5	1,34 (0,87-2,04)	
	Voie commune	134	47,0	203	56,7	Référence	
Sinuosité de la route	Ligne droite	150	43,3	369	79,3	Référence	< 0,001
	Courbe	294	56,7	101	20,7	5,03 (3,30-7,69)	
Adhérence de la route/chaussée	Normale	343	64,4	402	82,6	Référence	< 0,001
	Dégradée prévisible	54	17,2	44	11,3	1,96 (1,11-3,45)	
	Dégradée difficilement prévisible	33	13,5	3	1,0	18,2 (5,24-63,14)	
	Inconnue	14	4,9	21	5,2	1,21 (0,48-3,05)	

Vitesse réglementaire (km/h)	≤ 50	189	54,2	293	77,8	Référence 3,23 (1,32-7,90) 2,97 (1,87-4,70) 2,78 (1,13-6,84)	< 0,001
	60-70	40	6,6	32	2,9		
	80-90	189	32,5	134	15,7		
	110-130	26	6,8	11	3,5		
Vitesse de roulement		N_{obs} vitesse connue	Vitesse moyenne (km/h)	N_{obs} vitesse connue	Vitesse moyenne (km/h)		p -value t-test < 0,001
		189	68,4	207	53,3		

N_{obs} : nombre d'observations ; N_{obs} vitesse connue : nombre d'observations avec vitesses connues.

$\%_w$: pourcentage pondéré.

Étape 2 : risque d'accident PDC

Après l'imputation multiple et la sélection des variables, le Tableau 9 montre la distribution des cas et des témoins selon les facteurs de risque significativement associés aux accidents PDC, avec les pourcentages en colonne, les OR bruts et ajustés, en utilisant les données imputées et pondérées.

Tableau 9 : distribution des cas et des témoins selon les facteurs associés aux accidents PDC (pourcentages pondérés et moyennés de 50 jeux de données), OR bruts et ajustés et IC 95 % – données VOIESUR

Facteurs de risque		Cas (N _w = 2 629) % _w	Témoins (N _w = 6 284) % _w	Analyse univariée OR brut (IC 95 %)	Analyse multivariée OR ajusté (IC 95 %)
Positivité à l'alcool	Négative (< 0,5 g/l)	84,1	99,8	Référence	Référence
	Positive (≥ 0,5 g/l)	15,9	0,2	114,5 (40,7-322,7)	103,3 (30,4-351,0)
Type de moto	Scooter	21,5	37,1	0,77 (0,41-1,42)	1,15 (0,47-2,84)
	Basique/routière	17,8	23,6	Référence	Référence
	Custom	4,8	3,0	2,15 (0,71-6,47)	2,54 (0,64-10,14)
	Roadster	25,9	20,6	1,66 (0,90-3,06)	2,38 (1,04-5,44)
	Sportive	14,9	6,6	3,00 (1,42-6,31)	3,86 (1,29-11,51)
	Trail/supermotard	11,5	8,4	1,82 (0,83-3,98)	2,67 (0,96-7,39)
	Tout-terrain	3,6	0,7	7,24 (1,32-39,59)	7,50 (1,26-44,66)
Jour de l'accident	Semaine	56,7	81,1	Référence	Référence
	Weekend	43,3	18,9	3,28 (2,14-5,03)	2,69 (1,50-4,85)
Sinuosité de la route	Ligne droite	43,3	79,3	Référence	Référence
	Courbe	56,7	20,7	5,03 (3,30-7,69)	3,54 (2,04-6,15)
Adhérence de la route/chaussée	Normale	67,9	87,4	Référence	Référence
	Dégradée prévisible	18,0	11,6	2,00 (1,13-3,52)	4,65 (2,24-9,65)
	Dégradée difficilement prévisible	14,1	1,0	18,05 (5,23-62,33)	28,41 (8,07-99,95)
Vitesse au carré				1,0002 (1,0001-1,0003)	1,00016 (1,00002-1,0003)

N_w : effectif pondéré ; %_w : pourcentage pondéré et moyenné de 50 jeux de données.

Six facteurs principaux (positivité à l'alcool, type de moto, jour de l'accident, sinuosité de la route, adhérence de la route et vitesse au carré) liés aux accidents PDC sont identifiés. Le risque d'avoir un accident PDC est extrêmement élevé chez les motocyclistes alcoolisés au-delà du seuil légal de 0,5 g/l (OR = 103). Le risque d'accident PDC varie selon les différents types de moto : les roadsters, motos sportives, trails et tout-terrains sont associés à un risque d'accident PDC plus important que les motos basiques ou routières. Les tout-terrains sont le type de moto le plus à risque d'accident PDC, avec un OR = 7,5. La conduite pendant les weekends est associée à un plus grand risque d'accident PDC que dans la semaine. En ce qui concerne l'infrastructure, le risque de perdre le contrôle est plus élevé en courbe qu'en ligne droite (OR = 3,5). Alors qu'une adhérence dégradée prévisible peut perturber la conduite normale d'une moto et multiplie par 4,6 le risque d'avoir une perte de contrôle, une adhérence dégradée difficilement prévisible apparaît beaucoup plus dangereuse pour une moto, avec un OR égal à 28. Comme attendu, le risque de perdre le contrôle augmente significativement avec le carré de la vitesse ($p = 0,027$).

4.2.3. Discussion

Ainsi, à partir d'une étude cas-témoins basée sur les données VOIESUR, six facteurs principaux (positivité à l'alcool, type de moto, jour de l'accident, sinuosité de la route, adhérence de la route, et vitesse au carré) apparaissent fortement associés à la survenue d'accidents PDC.

Alignement de la route et conditions de surface de la route

Les motocyclettes sont plus sensibles que les véhicules à quatre roues aux perturbations environnementales à cause de leurs spécificités physiques : petites, légères, instables (deux roues). Les motocyclistes doivent en conséquence faire preuve de plus d'attention sur la route que les automobilistes. Du fait de la très faible surface de contact roue/sol, la perte d'adhérence devient problématique en cas de déplacement sur route mouillée, déformée ou avec présence d'objets glissants. Il est donc attendu que cette étude confirme les effets de ces différents facteurs.

Les motocyclistes ont environ 3 fois plus de risque d'avoir une perte de contrôle dans une courbe qu'en ligne droite. Une adhérence dégradée augmente significativement le risque d'avoir une perte de contrôle, surtout quand la dégradation de l'adhérence est rencontrée de façon inattendue en raison de la présence de gravillons, de corps gras, de nids de poule, etc. sur la route (OR = 28). Le risque est multiplié par 4 en cas de déplacement sur une route mouillée ou déformée plutôt que sur une route en bon état : bien que les motocyclistes soient conscients de la mauvaise adhérence de la route, ils ne s'y adaptent pas toujours correctement, soit parce qu'ils sous-estiment le risque, soit parce qu'ils surestiment leurs capacités et celles de leurs machines dans ces conditions.

Type de moto

Les motos varient en design et en performance. Les motocyclistes sélectionnent souvent leur moto en fonction de la performance, du style, du prix du véhicule, et de l'usage qu'ils comptent en faire. Ainsi non seulement les usagers (Eyssartier et al. 2017), mais aussi le risque d'accident ou le risque de décès, diffèrent selon le type de moto. Les supermotos sont associées à un taux de mortalité plus élevé (Teoh and Campbell 2010) ; les trails ont le taux d'accident le plus élevé, deux fois plus que celui des sportives (Harrison and Christie 2005). Dans la présente étude, les usagers de roadsters ont un risque plus élevé d'avoir une perte de contrôle que ceux de motos basiques ou routières ; de plus, conduire une moto sportive est plus risqué que conduire un roadster. Or en moyenne les roadsters et les motos sportives ont des qualités de tenue de route supérieures ou égales à celles des motos basiques ou routières. On peut donc supposer que le risque plus élevé de perte de contrôle vient plutôt du comportement sur la route des usagers ayant choisi ce type de moto.

Jour de l'accident

Plus de 40 % des motocyclistes ont perdu le contrôle de leur véhicule le weekend et le risque de PDC est deux fois plus grand pendant le weekend que dans la semaine. On peut avancer deux explications

non exclusives pour cela : les motocyclistes conduisent d'une manière plus risquée lors des sorties de loisir le weekend, et/ou ils conduisent sur une infrastructure routière et dans des conditions de circulation qu'ils maîtrisent moins.

Vitesse de roulement

Bien que pour de simples raisons physiques, le risque de perdre le contrôle du véhicule augmente forcément avec la vitesse du véhicule, une relation fonctionnelle liant les deux n'est pas souvent estimée. Nous avons trouvé que le modèle avec la vitesse au carré estime mieux le risque de perte de contrôle que celui avec la vitesse. Ainsi modélisé, le risque estimé de perte de contrôle est environ 1,2 fois plus élevé lorsque la vitesse de roulement passe de 50 à 60 km/h, il est multiplié par environ 3 lorsque la vitesse passe de 50 à 100 km/h et multiplié par environ 8 de 100 à 150 km/h.

Alcool

Le risque de perte de contrôle est très élevé chez les motocyclistes alcoolisés au-delà du seuil légal de 0,5 g/l, avec un OR = 103. Cet OR peut être trop élevé et peut surestimer le risque de perte de contrôle lié à l'alcool : un OR est une bonne approximation du risque relatif seulement quand l'OR est proche de 1 ; au-dessus d'un certain niveau, la valeur de l'OR doit être prise avec précaution. Toutefois, l'effet important de l'alcool sur le risque d'un accident PDC est indéniable, en raison de l'affaiblissement des capacités de conduite qu'il entraîne, et parfois une surestimation par le conducteur alcoolisé de ses capacités. Dans de nombreuses études, une proportion élevée de conducteurs sous l'influence de l'alcool a été signalée dans des accidents impliquant un seul véhicule : 20 % des motocyclistes accidentés seuls étaient sous l'influence de l'alcool (Schneider et al. 2010) ; la moitié des conducteurs de voitures et de deux-roues motorisés impliqués dans des accidents mortels impliquant un seul véhicule avaient une concentration d'alcool dans le sang supérieure à 0,5 g/l (Laumon et al. 2011).

Limites

L'étude a plusieurs limites. La première limite vient de l'échantillon d'étude. Même si l'échantillon contient 444 cas et 470 témoins, l'effectif pour certaines catégories des facteurs étudiés est en effet plutôt faible dans le groupe de témoins : c'est le cas pour le taux d'alcoolémie positif, les motos tout-terrains ou la condition d'adhérence dégradée difficilement prévisible. Cela peut créer de l'incertitude sur les résultats qui doivent être interprétés avec prudence. La pondération a été utilisée du fait du tirage d'un vingtième des accidents non-mortels. Ceci implique de tenir compte de cette pondération dans les calculs de variances et intervalles de confiance correspondants, qui seront en général plus grands que si l'équivalent des données pondérées était observé. Cela pourrait expliquer pourquoi nous n'avons pas trouvé un effet significatif d'un permis invalide sur le risque de PDC. Malgré la richesse et la bonne qualité des données, la vitesse de roulement est manquante dans 55 % des cas. Pour suppléer ces valeurs manquantes, l'imputation multiple a été utilisée, en tenant compte de tous les

facteurs associés au mécanisme de données manquantes ou corrélés avec la vitesse. Cette technique permet d'avoir des estimations plus précises qu'une analyse ne portant que sur les dossiers complets (Rubin 1987), mais peut aussi engendrer des intervalles de confiance plus grands. Cela peut créer un biais sur l'effet de la vitesse.

Deuxièmement, il est à noter que les accidents sans tiers hors agglomération ne font pas toujours l'objet d'une procédure de police et par conséquent, ces accidents ne sont pas rapportés systématiquement dans la base de données nationale, surtout quand la conséquence des accidents n'est pas grave (Amoros et al. 2006). Cela engendre une sous-estimation des accidents de moto non mortels de type perte de contrôle et pourrait causer un biais dans les résultats.

Troisièmement, certains facteurs qui pourraient potentiellement être associés à la survenue de la perte de contrôle, tels que la fatigue et l'inattention, ne peuvent pas être pris en compte dans l'étude par manque d'information ; l'usage de drogue n'est pas considéré non plus à cause d'un grand nombre de valeurs manquantes et aussi parce que les tests de dépistage de la drogue ne sont souvent réalisés par la police que dans certains cas spécifiques. Par ailleurs, nous n'avons aucune donnée sur l'équipement en système d'antiblocage de roues (ABS) du véhicule. Son efficacité n'a donc pas pu être mesurée, alors que le dispositif ABS pourrait aider à éviter certains accidents PDC en limitant le blocage des roues. La pression des pneus et l'usure des pneus pourraient également jouer un rôle dans les accidents PDC mais cette information est également manquante dans nos données.

La dernière limite est la représentativité du groupe de témoins. L'approche cas-témoins est traditionnellement utilisée pour estimer le risque d'accident en comparant des accidentés à des non-accidentés sélectionnés si possible de façon aléatoire dans la population circulante. N'ayant que des données d'accidents à disposition, nous avons décidé de comparer les motocyclistes ayant perdu le contrôle à un groupe de motocyclistes impliqués dans un accident sans avoir perdu le contrôle et estimés non responsables de la survenue de l'accident. Cette exclusion des responsables est censée rendre le groupe de témoins plus représentatif de la population circulante des motocyclistes, mais cette hypothèse (raisonnable) est en toute rigueur impossible à vérifier (Dufournet et al. 2016).

Cette méthodologie permet cependant, notamment en disposant de la même qualité d'information sur les cas et les témoins, d'estimer le risque de perte de contrôle non seulement en ce qui concerne l'erreur humaine, mais également par rapport aux caractéristiques des motos et aux conditions de circulation (profil de la route et conditions d'adhérence).

Conclusion

L'étude confirme que certains facteurs sont associés à la survenue des accidents PDC, tels que rouler sous l'influence de l'alcool, rouler trop vite ou rouler dans un virage. Ces effets étaient attendus mais ont rarement été identifiés et quantifiés. Une mauvaise adhérence de la chaussée augmente considérablement le risque de perte de contrôle, en particulier lorsque la dégradation de l'adhérence

est difficile à anticiper pour les motocyclistes faisant face à des surfaces glissantes sur la route (OR = 28). Nos résultats renforcent l'idée selon laquelle une attention particulière doit être portée par les autorités à l'état des routes, particulièrement à la présence de graviers, d'huile, de nids de poule, etc. sur la chaussée, et à la mise en place systématique de panneaux appropriés en cas de danger. Par ailleurs l'existence d'un risque plus élevé pour les motocyclistes conduisant un roadster ou une sportive, malgré une meilleure tenue de route, doit être portée à l'attention de ces motocyclistes, car cela traduit sans doute une tendance à surestimer leur compétence ou la performance de leur véhicule.

4.3. Accidents de type perte de contrôle à partir d'une enquête auprès des victimes impliquées

Grâce à l'enquête SECU2RM que nous avons menée, nous disposons d'une autre source de données sur les accidents de 2RM, qui nous permet d'effectuer le même genre d'analyses sur les accidents PDC que précédemment. L'enquête a l'avantage d'avoir utilisé le Registre comme base de sondage, une base exhaustive qui recense la quasi-totalité des victimes accidentées et blessées sur la route dans le Rhône (même les victimes légèrement blessées sont incluses dès lors qu'elles sont passées dans un des services affiliés au Registre). En conséquence, les accidents sans tiers (la majorité de ces accidents sont des accidents PDC) sont aussi bien enregistrés que les autres, contrairement aux données des forces de l'ordre, ce qui est particulièrement important pour quantifier l'effet des facteurs de risque sur la survenue des accidents PDC.

Par ailleurs, grâce à cette enquête spécifique aux 2RM, nous disposons d'informations qui sont rarement présentes dans les données des forces de l'ordre, telles que l'ABS et l'état des pneus ; nous pouvons donc étudier leurs effets sur la survenue d'accidents PDC.

4.3.1. Matériel et méthode

La base de données SECU2RM est constituée de 970 conducteurs de 2RM qui ont participé à notre enquête (voir la section 2.2 pour les détails). Elle contient 713 accidents impliquant au moins un motocycliste, dont 30 % sont des accidents PDC. La proportion des accidents PDC trouvée dans l'enquête est presque le double de celle répertoriée dans VOIESUR, ce qui est compréhensible puisque le Registre recense indifféremment toutes les victimes corporelles suite à un accident de la route, quel que soit le nombre de véhicules impliqués, alors que les données des forces de l'ordre recensent les accidents de véhicules seuls de façon moins systématique.

Afin d'étudier les facteurs de risque associés à la survenue des pertes de contrôle des motos, nous avons fait les mêmes analyses que celles décrites précédemment, en nous appuyant sur la même méthode « étude cas-témoin basée sur l'analyse de responsabilité ». Ici, concernant la responsabilité, au lieu d'avoir la responsabilité déterminée par les experts d'accidentologie, nous n'avons que la responsabilité déclarée par les victimes. Cette responsabilité auto-déclarée est probablement biaisée par rapport à la responsabilité expert dans VOIESUR.

L'échantillon d'étude obtenu à partir des données de l'enquête contient 571 victimes conductrices de moto, 199 cas (motocyclistes ayant perdu le contrôle de leur moto) et 372 témoins (motocyclistes accidentés non responsables sans perte de contrôle de leur moto).

Facteurs de risque potentiels

Nous nous intéressons ici non seulement aux facteurs de risque déjà étudiés dans les analyses précédentes, mais également à d'autres facteurs que nous n'avons pas pris en compte ou que nous n'avons pas pu étudier faute de disposer de l'information :

- Présence d'un passager arrière (oui/non) : la présence d'un passager sur une moto peut modifier la dynamique ou la maniabilité de la moto, ce qui peut la rendre plus difficile à contrôler.
- Connaissance du lieu de l'accident, à travers la fréquence de passage sur le lieu de l'accident (quotidienne/plusieurs fois par semaine/plusieurs fois par mois/rarement/premier passage) : une meilleure connaissance du lieu peut d'une part faciliter la tâche de conduite, puisque les motocyclistes peuvent mieux anticiper la difficulté de la conduite dans certaines situations difficiles, mais peut rendre d'autre part les motocyclistes beaucoup moins vigilants dans des endroits trop habituels.
- Profil en long (route plane/en montée/en descente) : toutes choses étant égales par ailleurs, le contrôle d'une moto est a priori plus délicat en descente, surtout en cas de freinage appuyé.
- ABS (oui/non) : le dispositif pourrait aider à éviter certains accidents en limitant la survenue d'un blocage des roues.
- État des pneus (bon/pas bon) : l'adhérence des roues sur la chaussée est liée directement à l'état des pneus. Une bonne adhérence roue/chaussée nécessite à la fois un bon état des pneus et de la chaussée.

Imputation multiple et redressement des non-réponses

L'échantillon d'étude contient des valeurs manquantes pour certains facteurs de risque. Les informations relatives au motif de trajet, à la fréquence de passage sur le lieu de l'accident, au type de moto, au profil en long de la route sont manquantes pour moins de 2 % des motocyclistes. L'adhérence de la route n'est pas renseignée pour 3 % des observations, l'information sur l'équipement ABS est manquante pour 7,9 % des sujets et la vitesse de roulement pour 9,3 % d'entre eux. Les valeurs manquantes ont été imputées en utilisant l'imputation multiple avec la méthode FCS. 10 jeux de données ont ainsi été créés.

Par ailleurs, puisque les analyses subséquentes sont basées sur les réponses de l'enquête, le redressement des non-réponses a été fait pour que les données redressées soient représentatives de toutes les victimes conductrices de moto (voir la section 2.2.5 pour davantage de détails sur la méthode de redressement). Les poids de redressement des non-réponses ont été appliqués pour chaque estimation.

4.3.2. Résultats

Le Tableau 10 montre la distribution des cas et des témoins selon les facteurs de risque potentiellement associés à la perte de contrôle d'une moto, et les risques bruts d'avoir une perte de contrôle mesurés par les OR calculés sur les données pondérées.

Concernant les motocyclistes accidentés ayant subi une perte de contrôle, 13 % sont des femmes ; seulement 7 % déclarent avoir conduit sous l'influence de l'alcool ; la moitié ont perdu le contrôle lors d'un trajet de loisirs ; 14 % lors d'un premier passage sur le lieu de l'accident ; 2 % en présence d'un passager arrière ; 77 % avec une moto qui ne disposait pas d'ABS ; la moitié ont perdu le contrôle hors agglomération ; 41 % dans une courbe et 12 % dans un giratoire ; 40 % sur une chaussée en pente ; et seulement un quart ont perdu le contrôle de leur moto sur une chaussée en bonne condition/condition normale.

En comparant les motocyclistes accidentés ayant subi une perte de contrôle à ceux accidentés sans perte de contrôle et non responsables, en termes d'usagers, les femmes, les conducteurs sous l'influence de l'alcool ont davantage tendance à perdre le contrôle de leur moto ; en termes de véhicules, les motos de grosse cylindrée, non-équipées d'ABS, et avec des pneus en mauvais état sont plus impliquées dans un accident PDC ; en termes de circonstances, la conduite lors d'une activité de loisirs, la non-connaissance du lieu, la conduite pendant le weekend et la conduite par mauvais temps favorisent les pertes de contrôle ; en termes d'infrastructure, les virages, les routes en pente, les chaussées dégradées favorisent également les pertes de contrôle de la moto ; en termes de vitesse, les motocyclistes ayant perdu le contrôle roulent plus vite que nos témoins, ce qui confirme l'influence de la vitesse sur la perte de contrôle.

En univarié, le sexe, la consommation d'alcool, le motif de déplacement, la fréquence de passage sur le lieu de l'accident, la cylindrée du moteur, le type de moto, l'ABS, le jour de l'accident, la météo, l'agglomération (en/hors), le type de réseau, la sinuosité de la route, le profil en long de la route, l'adhérence de la chaussée, la limitation de vitesse réglementaire et la vitesse de roulement pourraient potentiellement jouer un rôle sur la survenue d'accident PDC (p -value $< 0,2$). Ces facteurs ont été sélectionnés pour l'analyse multivariée, à l'exception des facteurs fortement associés à la vitesse de roulement ou à l'adhérence de la route : agglomération (en/hors), type de réseau, limitation réglementaire de vitesse, et météo (selon le raisonnement déjà exposé dans la section 4.2.2).

Tableau 10 : distribution des cas et des témoins selon des facteurs potentiels associés aux accidents PDC (effectifs observés et pourcentages pondérés), OR bruts et IC 95 % – enquête SECU2RM

Facteurs	Cas		Témoins		OR brut (IC 95 %)	p-value	
	N _{obs} = 199	% _w	N _{obs} = 372	% _w			
Sexe	Femme	21	12,8	27	7,4	1,85 (0,84-4,06)	0,126
	Homme	178	87,2	345	92,6	Référence	
Âge	16-24	31	28,6	54	25,5	0,99 (0,51-1,96)	0,603
	25-34	31	22,6	56	23,3	0,86 (0,44-1,69)	
	35-44	58	28,1	79	24,9	Référence	
	45-54	47	13,7	117	18,4	0,66 (0,37-1,16)	
	≥ 55	32	7,1	66	7,8	0,81 (0,43-1,50)	
Consommation d'alcool	Non	190	93,3	370	99,7	Référence	< 0,001
	Oui	9	6,7	2	0,3	26,0 (4,8-139,6)	
Validité du permis	Invalide	4	1,9	7	1,8	1,07 (0,28-4,12)	0,677
	Valide	194	97,9	363	97,7	Référence	
	Inconnue	1	0,2	2	0,5	0,34 (0,03-3,87)	
Motif de déplacement	Domicile-travail/domicile-école	73	36,9	203	50,1	Référence	0,007
	Déplacements professionnels	10	3,2	27	8,4	0,51 (0,20-1,31)	
	Loisirs, promenades	95	49,4	105	31,1	2,16 (1,29-3,60)	
	Autre (vacances, courses, visites, etc.)	20	10,1	34	9,5	1,44 (0,66-3,13)	
	Inconnu	1	0,4	3	0,9	0,69 (0,07-6,98)	
Fréquence de passage sur le lieu de l'accident	Quotidienne	54	25,9	153	41,7	Référence	< 0,001
	Plusieurs fois par semaine	27	12,0	78	21,5	0,90 (0,43-1,86)	
	Plusieurs fois par mois	42	21,9	77	18,6	1,90 (1,00-3,59)	
	Rarement	47	24,8	46	12,7	3,13 (1,59-6,17)	
	Premier passage	28	13,8	16	4,9	4,47 (1,74-11,53)	
Inconnue	1	1,5	2	0,5	4,65 (0,39-54,83)		
Présence d'un passager	Non	193	97,9	360	97,3	Référence	0,653
	Oui	6	2,1	12	2,7	0,77 (0,24-2,44)	
Cylindrée du moteur	< 125 cm ³	44	24,5	112	35,4	Référence	0,052
	≥ 125 cm ³	155	75,5	260	64,6	1,69 (1,00-2,87)	
Type de 2RM	Scooter	37	22,8	93	28,7	1,10 (0,54-2,25)	0,070
	Basique	37	12,9	84	18,0	Référence	
	Custom	8	2,7	22	4,4	0,86 (0,28-2,71)	
	Roadster	63	35,2	93	26,6	1,84 (0,97-3,52)	
	Sportive	19	9,0	31	10,3	1,21 (0,51-2,84)	
	Trail/supermotard	27	11,6	47	11,5	1,41 (0,63-3,14)	
	Tout-terrain	8	5,9	2	0,5	15,8 (2,2-110,7)	
ABS	Non	145	77,0	261	73,0	Référence	0,002
	Oui	30	11,2	90	22,3	0,48 (0,25-0,90)	
	Inconnu	24	11,8	21	4,7	2,41 (1,16-4,99)	
État des pneus	Bon	184	91,7	355	96,0	Référence	0,267
	Moyen/mauvais	12	6,9	13	3,2	2,26 (0,77-6,67)	
	Inconnu	3	1,4	4	0,8	1,82 (0,35-9,41)	
Jour de l'accident	Semaine	141	67,2	312	81,9	Référence	0,005
	Weekend	58	32,8	60	18,1	2,20 (1,26-3,85)	
Luminosité	Jour	156	75,6	290	77,6	Référence	0,580
	Aube ou crépuscule	21	11,3	40	11,0	1,06 (0,51-2,20)	
	Nuit avec éclairage	11	7,8	29	8,9	0,90 (0,36-2,26)	
	Nuit sans éclairage	8	4,0	8	1,6	2,54 (0,80-8,05)	
	Nuit, éclairage inconnu	3	1,3	5	0,9	1,54 (0,32-7,41)	

Facteurs	Cas		Témoins		OR brut (IC 95 %)	p-value	
	N _{obs} = 199	% _w	N _{obs} = 372	% _w			
Météo	Temps normal (dégagé, nuageux)	145	73,6	324	85,5	Référence	0,032
	Temps mauvais (pluie, neige, etc.)	49	22,5	41	12,0	2,19 (1,20-3,98)	
	Inconnue	5	4,0	7	2,5	1,84 (0,39-8,74)	
En agglo vs Hors agglo	En agglomération	90	49,3	289	83,5	Référence	< 0,001
	Hors agglomération	104	47,3	76	15,2	5,28 (3,25-8,55)	
	Inconnu	5	3,4	7	1,3	4,42 (0,89-21,84)	
Type de réseau	Autoroute	13	4,4	26	5,5	1,13 (0,50-2,58)	< 0,001
	Route nationale	6	1,8	4	0,5	5,41 (1,29-22,78)	
	Route départementale	37	12,6	44	8,9	2,04 (1,15-3,61)	
	Voie commune	112	51,1	277	73,2	Référence	
	Inconnu	31	30,1	21	11,9	3,62 (1,70-7,71)	
Sinuosité de la route	Ligne droite	82	46,3	316	86,5	Référence	< 0,001
	Courbe	117	53,7	56	13,5	7,45 (4,49-12,36)	
Profil en long de la route	Plane	107	58,9	310	83,0	Référence	< 0,001
	En montée	41	17,8	27	6,5	3,86 (1,93-7,72)	
	En descente	48	20,2	33	10,3	2,76 (1,39-5,51)	
	Inconnu	3	3,0	2	0,2	20,0 (2,4-167,4)	
Adhérence de la route/chaussée	Normale	47	23,2	282	74,2	Référence	< 0,001
	Dégradée prévisible	75	34,7	58	16,7	6,62 (3,57-12,26)	
	Dégradée difficilement prévisible	71	39,3	21	6,1	20,5 (9,15-45,92)	
	Inconnue	6	2,8	11	3,0	3,01 (0,86-10,54)	
Vitesse réglementaire (km/h)	≤ 50	97	56,3	281	80,7	Référence	< 0,001
	60-70	18	7,0	26	6,9	1,46 (0,66-3,24)	
	≥ 80	63	26,3	58	11,2	3,37 (1,97-5,77)	
	Inconnue	21	10,3	7	1,3	11,7 (3,82-35,65)	
Vitesse de roulement (km/h)	N _{obs} vitesse connue	Vitesse moyenne (km/h)	N _{obs} vitesse connue	Vitesse moyenne (km/h)			p-value t-test
	186	55,1	346	46,4			0,012

N_{obs} : nombre d'observations ; *N_{obs} vitesse connue* : nombre d'observations avec vitesses connues ;

%_w : pourcentage pondéré.

Le Tableau 11 montre la distribution des cas et des témoins selon les facteurs de risque significativement associés aux accidents PDC, avec les OR bruts et ajustés, en utilisant les données imputées et pondérées.

Tableau 11 : distribution des cas et des témoins selon les facteurs associés aux accidents PDC (pourcentages pondérés et moyennés de 10 jeux de données), OR bruts et ajustés et IC 95 % – enquête SECU2RM

Facteurs de risque		Cas (N _w =1 502) % _w	Témoins (N _w =2 369) % _w	Analyse univariée OR brut (IC 95 %)	Analyse multivariée OR ajusté (IC 95 %)
Sexe	Femme	12,8	7,4	1,85 (0,84-4,06)	5,73 (2,03-16,19)
	Homme	87,2	92,6	Référence	Référence
Consommation d'alcool	Non	93,3	99,7	Référence	Référence
	Oui	6,7	0,3	26,0 (4,8-139,6)	117,9 (8,2-> 999)
Type de moto	Scotter	22,8	28,7	1,10 (0,54-2,25)	1,11 (0,48-2,56)
	Basique/routière	12,9	18,0	Référence	Référence
	Custom	2,7	4,4	0,86 (0,28-2,71)	0,68 (0,23-2,03)
	Roadster	35,2	26,6	1,84 (0,97-3,52)	1,07 (0,45-2,53)
	Sportive	9,0	10,3	1,21 (0,51-2,84)	1,93 (0,53-6,98)
	Trail/supermotard	11,6	11,5	1,41 (0,63-3,14)	0,98 (0,34-2,82)
	Tout-terrain	5,9	0,5	15,8 (2,2-110,7)	45,0 (5,9-339,8)
Jour de l'accident	Semaine	67,2	81,9	Référence	Référence
	Weekend	32,8	18,1	2,20 (1,26-3,85)	2,83 (1,43-5,65)
Sinuosité de la route	Ligne droite	46,3	86,5	Référence	Référence
	Courbe	53,7	13,5	7,45 (4,49-12,36)	6,11 (3,16-11,82)
Profil en long de la route	Plane	60,1	83,1	Référence	Référence
	En montée	18,1	6,6	3,83 (1,91-7,68)	5,35 (2,03-14,13)
	En descente	21,8	10,3	2,92 (1,42-5,94)	2,42 (1,00-5,86)
Adhérence de la route/chaussée	Normale	24,1	76,3	Référence	Référence
	Dégradée prévisible	36,1	17,3	6,62 (3,61-12,14)	19,0 (8,49-42,58)
	Dégradée difficilement prévisible	39,7	6,5	19,41 (8,83-42,07)	58,9 (20,6-168,1)
Vitesse au carré				1,00016 (1,00008-1,0002)	1,00024 (1,00012-1,0004)

N_w: effectif pondéré ; %_w: pourcentage pondéré et moyenné de 10 jeux de données

Huit facteurs principaux (sexe, consommation d'alcool, type de moto, jour de l'accident, sinuosité de la route, profil en long de la route, adhérence de la route et vitesse au carré) liés aux accidents PDC s'avèrent significatifs. Les femmes en moto ont plus tendance à avoir un accident PDC comparées aux hommes, avec un OR = 5,7. Le risque d'avoir un accident PDC est extrêmement élevé chez les motocyclistes qui conduisaient sous l'influence de l'alcool (OR = 118) dans le modèle multivarié. Le risque d'accident PDC varie selon les différents types de moto : les tout-terrains sont le type de moto le plus à risque d'accident PDC, avec un OR = 45. La conduite pendant les weekends est associée à un plus grand risque d'accident PDC que dans la semaine, environ 3 fois plus. En ce qui concerne l'infrastructure, le risque de perdre le contrôle est plus élevé dans les courbes qu'en ligne droite (OR = 6,1), et ce risque est plus élevé sur une chaussée en montée (OR = 5,4) ou en descente (OR = 2,4) que sur une chaussée plane. Concernant l'influence de l'état de la chaussée, le risque de la

perte de contrôle est multiplié par 19 quand la moto roule sur une chaussée mouillée ou déformée (autrement dit, l'adhérence de la chaussée est dégradée de manière prévisible) que sur une chaussée en état normal. Ce risque est beaucoup plus élevé quand la moto roule sur une chaussée avec présence de surfaces glissantes telles que gravillons, flaque d'eau, verglas, huile, plaque d'égout, etc. (autrement dit, une adhérence de la chaussée dégradée de manière difficilement prévisible), avec un OR = 59. Comme attendu, le risque de perdre le contrôle augmente significativement avec le carré de la vitesse ($p < 0,001$). Ainsi, le risque estimé de perte de contrôle est environ 1,3 fois plus élevé lorsque la vitesse de roulement passe de 50 à 60 km/h, mais il est multiplié par environ 6 lorsque la vitesse passe de 50 à 100 km/h et par environ 20 de 100 à 150 km/h.

4.4. Comparaison des résultats des deux études et discussion

Bien que les accidents PDC soient un des types d'accident de motocyclette les plus courants, et que leurs conséquences soient plutôt graves (représentant 45 % des accidents mortels de moto en 2011 en France), peu d'études sur les accidents de moto portent sur ce type spécifique d'accidents. L'intérêt de notre étude sur les facteurs de risque liés à la survenue d'accident PDC, est qu'elle nous permet d'estimer le risque d'accident PDC non seulement en ce qui concerne l'erreur humaine, mais aussi par rapport aux caractéristiques des motos et aux conditions de la route (sinuosité de la route, profil en long et état de la surface de la route). Ces conditions sont rarement étudiées comme facteurs de risque de survenue des accidents de moto avec des données réelles d'accidents.

L'étude exclusive des accidents PDC rend difficile la comparaison de nos résultats avec ceux répertoriés dans la littérature, particulièrement ceux portant sur l'importance des conditions de la route sur la survenue d'accidents en moto. Il était donc intéressant pour nous de pouvoir effectuer le même genre d'analyses sur la survenue d'accidents PDC à partir de nos deux sources de données puis de comparer les résultats obtenus.

4.4.1. Résultats similaires

Les résultats obtenus à partir des bases VOIESUR et SECU2RM mettent en avant six facteurs communs fortement associés à la survenue d'accident PDC : alcool, type de moto, jour de l'accident, sinuosité de la route, adhérence de la route, et vitesse de roulement au carré. Les conclusions concernant ces facteurs concordent également. En particulier, nous avons trouvé des OR très proches concernant le jour de l'accident et la vitesse de roulement au carré dans les deux analyses, de même pour la consommation d'alcool. Les résultats s'accordent sur le fait que le risque de perte de contrôle en moto est environ trois fois plus élevé pendant le weekend qu'en semaine. Le risque de perte de contrôle augmente avec la vitesse au carré et ce risque est trouvé un peu plus élevé dans l'étude SECU2RM. L'effet de l'alcool sur la survenue d'accident PDC semble très important, mais il convient de rester prudent sur la valeur de l'OR qui provient du très faible nombre de témoins ayant conduit sous l'influence de l'alcool.

Tableau 12 : comparaison des résultats des études VOIESUR et SECU2RM

Facteurs de risque		Étude VOIESUR OR ajusté (IC 95 %)	Étude SECU2RM OR ajusté (IC 95 %)
Sexe	Femme		5,73 (2,03-16,19)
	Homme		Référence
Positivité à l'alcool	Négative (< 0,5 g/l)	Référence	
	Positive (≥ 0,5 g/l)	103,3 (30,4-351,0)	
Consommation d'alcool	Non		Référence
	Oui		117,9 (8,2-> 999)
Type de moto	Scooter	1,15 (0,47-2,84)	1,11 (0,48-2,56)
	Basique/routière	Référence	Référence
	Custom	2,54 (0,64-10,14)	0,68 (0,23-2,03)
	Roadster	2,38 (1,04-5,44)	1,07 (0,45-2,53)
	Sportive	3,86 (1,29-11,51)	1,93 (0,53-6,98)
	Trail/supermotard	2,67 (0,96-7,39)	0,98 (0,34-2,82)
	Tout-terrain	7,50 (1,26-44,66)	45,0 (5,9-339,8)
Jour de l'accident	Semaine	Référence	Référence
	Weekend	2,69 (1,50-4,85)	2,83 (1,43-5,65)
Sinuosité de la route	Ligne droite	Référence	Référence
	Courbe	3,54 (2,04-6,15)	6,11 (3,16-11,82)
Profil en long de la route	Plane		Référence
	En montée		5,35 (2,03-14,13)
	En descente		2,42 (1,00-5,86)
Adhérence de la route/chaussée	Normale	Référence	Référence
	Dégradée prévisible	4,65 (2,24-9,65)	19,0 (8,49-42,58)
	Dégradée difficilement prévisible	28,41 (8,07-99,95)	58,9 (20,6-168,1)
Vitesse au carré		1,00016 (1,00002-1,0003)	1,00024 (1,0001-1,0003)

4.4.2. Résultats différents

Néanmoins, nous avons également trouvé des OR divergents concernant le type de moto, la sinuosité de la route et l'adhérence de la route. En ce qui concerne le type de 2RM, l'étude VOIESUR trouve que roadsters, motos sportives, trails et tout-terrains sont associés à un risque de perte de contrôle plus important que les motos basiques ou routières, et que les tout-terrains sont le type de moto le plus à risque de perte de contrôle avec un OR = 7,5. L'étude SECU2RM trouve quant à elle que les tout-terrains ont un risque de perte de contrôle plus important que les motos basiques ou routières, avec un OR beaucoup plus élevé (45). Une explication plausible de cette différence réside dans les différences de classification des types de moto dans les deux sources. Le type de moto est en effet déclaré directement par les victimes elles-mêmes dans l'enquête SECU2RM, alors que les motos sont classées par un expert pour les données VOIESUR selon la classification utilisée dans l'enquête SOeS. Il est aussi possible que certains accidents PDC impliquant un seul 2RM de type tout terrain se soient produits hors réseau routier, mais qu'ils soient indiqués à tort sur réseau dans le Registre du Rhône (et donc conservés dans l'analyse), alors qu'ils ont été ignorés par les forces de l'ordre.

En ce qui concerne la sinuosité de la route, comme attendu, le risque d'accident PDC est plus élevé dans un virage qu'en ligne droite dans les deux études. Cependant, ce risque est deux fois plus élevé dans l'étude SECU2RM que dans l'étude VOIESUR. En ce qui concerne l'adhérence de la route, une adhérence dégradée augmente significativement le risque d'avoir une perte de contrôle. En cas de déplacement sur une route mouillée ou déformée plutôt que sur une route en bon état, le risque de perte de contrôle est multiplié par 5 dans l'étude VOIESUR et par 19 dans l'étude SECU2RM. En cas de déplacement sur une route dégradée en présence d'objets glissants sur la surface, le risque de perte de contrôle est multiplié par 28 dans la première étude, alors que ce risque atteint 59 dans la seconde, soit plus du double.

Pourquoi les effets des virages ou d'une adhérence de la route dégradée sur le risque de perte de contrôle sont plus élevés dans l'étude SECU2RM ? Premièrement, cela pourrait venir du fait que les données VOIESUR, basées sur les données des forces de l'ordre, sous-estiment le nombre d'accidents en moto sans tiers. Autrement dit, cela engendre une sous-estimation des accidents PDC peu graves et pourrait ainsi causer un biais dans les résultats de l'étude VOIESUR. Deuxièmement, il est possible que les forces de l'ordre sous-estiment, voire négligent l'état de la chaussée qui pourrait pourtant se positionner comme un véritable facteur de risque d'accident en moto. Les problèmes relatifs à l'état de la chaussée sont ainsi peu mentionnés dans les données VOIESUR, alors qu'ils sont souvent incriminés par les victimes de notre enquête. A l'inverse il est aussi possible que les impliqués répondant au questionnaire aient plus tendance à incriminer une cause extérieure comme l'état de la chaussée.

Concernant l'influence de la sinuosité de la route ou de l'adhérence de la route sur la survenue d'accidents PDC, à quels résultats se fier sachant que les études sont basées sur deux sources de données complètement différentes ? D'après les arguments précédemment cités, la vérité se situe probablement entre les deux.

Par ailleurs, dans l'enquête postale, nous avons trouvé que les femmes ont presque 6 fois plus de risque d'avoir une perte de contrôle que les hommes conducteurs, bien qu'il n'y ait pas de différence d'occurrence d'accident PDC entre les femmes et les hommes dans l'étude VOIESUR. Afin de mieux comprendre l'effet du sexe sur la survenue d'accident PDC, des recherches supplémentaires sont nécessaires.

4.4.3. Résultats supplémentaires dans l'étude SECU2RM

Le risque d'accident PDC est plus élevé sur une chaussée en montée (OR = 5,4) ou en descente (OR = 2,4) que sur une chaussée plane. Il est possible que cela corresponde à deux situations différentes : une difficulté plus grande à contrôler son 2RM en descente notamment avec un freinage moins efficace, et une vitesse pratiquée souvent plus élevée en montée. Nous avons aussi pu étudier

l'effet de l'équipement ABS sur la survenue d'accident PDC avec les données de l'enquête. Nous avons trouvé que, dans le modèle univarié, les conducteurs de motos équipées d'un ABS ont 2 fois moins de risque d'avoir un accident PDC que ceux conduisant une moto sans ABS, mais cet effet n'est plus significatif dans le modèle multivarié quand on prend en compte la variable « adhérence de la route ». Nous avons trouvé que la présence d'un ABS dans le groupe témoin est moins fréquente quand l'état de la route est dégradé. On ne sait pas si l'ABS peut vraiment réduire le risque d'avoir une perte de contrôle, ou si c'est juste que les conducteurs de motos équipées d'un ABS sont plus prudents et sont plus attentifs à la route. Donc d'autres travaux de recherche sur les ABS sont nécessaires afin de déterminer leur rôle éventuel dans la survenue d'accidents PDC en moto. Nous avons également étudié l'effet de l'état des pneus sur la perte de contrôle des motos, de façon binaire (bon état/mauvais état). Nous avons trouvé que les motos présentant des pneus en mauvais état sont plus souvent impliquées dans des accidents PDC que celles avec des pneus en bon état, mais cette différence n'est pas statistiquement significative dans le modèle univarié. Malgré le manque de précision sur l'état des pneus et son effet a priori non-significatif sur la perte de contrôle, il serait intéressant que de futurs travaux de recherche étudient davantage la question.

4.5. Conclusion

L'étude SECU2RM confirme ce que nous avons déjà trouvé dans l'étude VOIESUR. L'obtention de résultats similaires, bien que basés sur deux sources de données différentes, valide la méthode d'analyse utilisée et renforce la crédibilité des résultats obtenus.

Les deux études confirment que certaines conditions de conduite en moto sont plus souvent associées aux accidents PDC, telles que la conduite sous l'influence de l'alcool, rouler trop vite, rouler dans un virage, rouler en tout-terrain, rouler pendant le weekend ou rouler sur une chaussée dégradée. Nous soulignons le fait qu'une mauvaise adhérence de la route augmente considérablement le risque de perte de contrôle, en particulier lorsque la dégradation de l'adhérence est inattendue pour les motocyclistes.

De plus, l'étude SECU2RM montre qu'il est plus difficile de contrôler une moto sur une chaussée en pente que sur une chaussée plane et que l'équipement ABS pourrait peut-être diminuer le risque d'accidents PDC, mais des travaux complémentaires sont nécessaires pour confirmer ce dernier point.

Enfin, malheureusement, il n'a pas été possible d'étudier d'autres facteurs tels que la fatigue et la distraction à partir de nos données, et pour cela, de futurs travaux de recherche sont nécessaires.

Chapitre 5

Bilans lésionnels des usagers de 2RM et protection procurée par les équipements de sécurité portés

5.1. Introduction

De nombreuses études sur les usagers de 2RM accidentés ont porté sur les types et la sévérité des blessures, les facteurs de risque associés aux blessures ainsi que sur l'effet protecteur du port du casque (Ankarath et al. 2002; Hurt et al. 1981; Kraus et al. 1975; Lin et al. 2003; Liu et al. 2008; Quddus et al. 2002; Whitaker 1980). Mais peu d'études ont porté sur l'effet du type de casque, ou sur l'éventuel effet des équipements vestimentaires.

Les blessures de la tête sont les blessures les plus fréquentes chez les usagers de 2RM décédés ou blessés gravement (Ankarath et al. 2002; Bachulis et al. 1988), alors que les blessures aux membres inférieurs et supérieurs sont les blessures les plus courantes parmi l'ensemble des blessés en 2RM (ACEM 2009; Dischinger et al. 2006; Moskal et al. 2007). De fait, la majorité des travaux s'est principalement concentrée sur les blessures fatales ou graves comme les blessures de la tête, du thorax, ou les fractures aux membres inférieurs, alors que peu d'études ont porté sur des blessures peu graves mais très courantes telles que les abrasions, les contusions, ou les entorses.

En cas d'accident, un usager de 2RM n'a pour seule protection que son casque et les vêtements qu'il porte, plus rarement une protection dorsale ou un gilet airbag. L'efficacité du casque a été rapportée depuis longtemps dans de nombreuses études (Hurt et al. 1981; Khor et al. 2017; Liu et al. 2008; Moskal et al. 2008). En moyenne le port du casque est estimé réduire le risque de décès de 42 % et le risque de lésion à la tête de 69 % (Liu et al. 2008). Les casques intégraux sont considérés comme le type de casque le plus protecteur du fait qu'ils couvrent entièrement la tête et la face de l'utilisateur. On peut en effet faire l'hypothèse qu'un casque intégral va mieux protéger la tête et la face qu'un non-intégral, hypothèse dont la confirmation nécessite de connaître le bilan lésionnel précis à la tête/face et le type de casque porté.

Contrairement au port du casque qui est obligatoire en France depuis presque 40 ans, le port de blouson de moto, de pantalon de moto et de bottes n'est pas obligatoire, alors que le port des gants l'est depuis 2016 (ONISR 2017a). Le port de ces vêtements est fortement recommandé par les organismes

de sécurité routière. Bien que l'effet de l'habillement des usagers de 2RM ait été évalué dans certaines études, le nombre d'études est faible et leur qualité statistique parfois insuffisante.

Ainsi de nouvelles études sont nécessaires pour objectiver la recommandation du port des équipements vestimentaires. C'est aussi le cas pour l'utilisation d'autres équipements intégrés tels que la protection dorsale et le gilet airbag dont les utilisations sont en augmentation, mais dont très peu d'études évaluent les effets.

Objectifs

Les objectifs de ce chapitre sont de déterminer les bilans lésionnels des blessés en 2RM à partir des données lésionnelles du Registre du Rhône, et d'évaluer l'efficacité des équipements de protection en les couplant aux données de l'enquête SECU2RM.

Ce chapitre s'organise en trois parties : bilans lésionnels subis par les usagers de 2RM ; efficacité des équipements de protection vestimentaires ; efficacité relative des deux types de casque (intégral ou non-intégral). La première partie décrit les lésions des blessés en 2RM en termes de régions et localisations lésées, de nature des lésions et de leur gravité. La deuxième partie évalue la capacité des vêtements de protection (blouson de moto, pantalon de moto, gants et bottes ou chaussures montantes), ainsi que des protections dorsales, à éviter ou atténuer certaines natures de lésion : abrasion, contusion, plaie, fracture, luxation, entorse, etc. La troisième partie cherche à déterminer quel type de casque (intégral ou non-intégral) protège mieux les usagers de 2RM des blessures de la tête ou des blessures de la face.

5.2. Bilans lésionnels subis par les usagers de 2RM dans le Registre

Cette partie est consacrée à la description des bilans lésionnels des usagers de 2RM en termes de gravité globale, de région corporelle, de localisation anatomique précise, et de nature des lésions.

Population d'étude

Cette partie repose sur la population cible de l'enquête SECU2RM, c'est-à-dire les 8 022 conducteurs de 2RM non décédés, âgés de 14 ans et plus, et résidant en France, qui ont été identifiés par le Registre. Ont été exclues 41 victimes sans aucune lésion décrite. Les analyses ont donc porté sur une population de 7 981 victimes.

5.2.1. Description détaillée des lésions de la population d'étude

Chaque victime présente une ou plusieurs lésions dans une ou plusieurs régions corporelles. Une victime a subi en moyenne deux lésions et la majorité des victimes ont un maximum de trois lésions. Le MAIS (maximum de l'AIS) est souvent utilisé comme indicateur de gravité globale des lésions multiples. Mais il est aussi possible de calculer le MAIS des lésions pour chaque région corporelle, pour chaque localisation atteinte, pour chaque nature de lésion, etc.

Selon le Tableau 13, plus de 60 % des victimes ont subi des blessures mineures avec un MAIS 1 et seulement 10 % ont subi au moins une blessure grave d'AIS égal ou supérieur à 3 (AIS 3+).

Tableau 13 : gravité globale des victimes

MAIS	N = 7 981	%
MAIS 1	5 070	63,5
MAIS 2	2 062	25,8
MAIS 3	684	8,6
MAIS 4	138	1,7
MAIS 5	27	0,3

Régions corporelles et localisations précises lésées

Le Tableau 14 présente la description lésionnelle détaillée des usagers de 2RM en fonction de la région corporelle atteinte et de la localisation précise pour chaque région corporelle. Les membres inférieurs sont la région corporelle la plus fréquemment touchée parmi les victimes (62,1 %), suivis par les membres supérieurs (45,6 %), conformément à ce qui est affirmé dans la littérature. La majorité des lésions aux membres (supérieurs et inférieurs) ne sont pas graves avec seulement 7 % des victimes atteintes aux membres ayant subi une lésion AIS 3+. Le pied (cheville comprise), et le genou sont les deux parties des membres inférieurs les plus souvent lésées (17,0 % et 20,0 %), avec une très faible proportion de MAIS 3+ (0,4 % et 4,8 %), alors que la cuisse (hanche comprise), et la jambe sont les deux parties les moins souvent lésées (8,7 % et 3,8 %) avec une proportion de MAIS 3+ élevée (22,5 % et 46,7 %).

Tableau 14 : effectifs et proportions de victimes usagers de 2RM souffrant d'au moins une lésion (AIS 1+) par localisation, et la répartition des MAIS des lésions pour chaque localisation

Région corporelle Structure anatomique spécifique	Toutes victimes (N = 7 981)		Distribution de la gravité (maximale) des lésions par localisation (% par ligne#)		
	Nombre de Victime	%*	MAIS 1	MAIS 2	MAIS 3+
Tête, face, cou	1 524	19,1	70,1	23,6	6,3
Perte de connaissance	637	8,0	52,1	47,6	0,3
Crâne	35	0,4	0,0	14,3	85,7
Lésion intracrânienne	88	1,1	0,0	2,3	97,7
Cuir chevelu	133	1,7	94,7	5,3	0,0
Face	542	6,8	82,1	17,2	0,7
Yeux	9	0,1	100,0	0,0	0,0
Cou (hors colonne)	395	4,9	98,5	1,0	0,5
Thorax (hors colonne)	903	11,3	62,9	9,5	27,6
Cage thoracique	351	4,4	33,0	28,5	38,5
Diaphragme	1	0,0	0,0	0,0	100,0
Lésions intrathoraciques	178	2,2	0,0	0,0	100,0
Autres lésions au thorax	467	5,9	99,8	0,2	0,0
Abdomen	490	6,1	69,2	14,9	15,9
Digestif	67	0,8	0,0	56,7	43,3
Rate	56	0,7	0,0	42,9	57,1
Génito-urinaire	58	0,7	29,3	41,4	29,3
Périnée, organes génitaux externes	51	0,6	90,2	9,8	0,0
Autres lésions à l'abdomen	315	3,9	94,6	1,9	3,5
Colonne vertébrale et moelle épinière	986	12,4	83,6	12,8	3,7
colonne cervicale (moelle et vertèbres)	471	5,9	87,9	7,4	4,7
colonne dorsale (moelle et vertèbres)	233	2,9	62,7	31,8	5,6
colonne lombaire (moelle et vertèbres)	401	5,0	85,3	14,2	0,5
Membre supérieur	3 636	45,6	63,4	30,0	6,6
Épaule, bras	1 402	17,6	54,4	40,7	4,9
Coude et avant-bras	733	9,2	49,1	25,8	25,1
Poignet, main	1 022	12,8	61,2	38,8	0,0
Zone entière	1 067	13,4	97,2	2,7	0,1
Bassin	118	1,5	0,0	47,5	52,5
Membre inférieur	4 958	62,1	75,5	17,2	7,3
Hanche et cuisse	697	8,7	75,2	2,3	22,5
Genou	1 596	20,0	74,1	21,1	4,8
Jambe	306	3,8	26,5	26,8	46,7
Cheville, pied	1 358	17,0	69,7	29,8	0,4
Zone entière	2 468	30,9	93,6	5,8	0,5
Zone externe (sans région précisée)	1 376	17,2	99,5	0,5	0,0

*Une victime peut avoir plusieurs territoires lésés, et au sein d'un territoire plusieurs lésions (la somme des pourcentages des lésions est donc supérieure à 100 %).

#Répartition de la gravité maximale des lésions qui sont présentes dans cette région ou cette localisation donnée parmi les victimes atteintes dans une région corporelle ou une localisation donnée.

19,1 % des victimes ont été lésées à la tête, à la face ou au cou, avec une faible proportion de MAIS 3+ (6,3 %). Concernant la tête, la classification proposée par l'AIS permet d'indiquer une perte de connaissance (8 % des victimes), alors qu'il s'agit d'un symptôme et non d'une lésion. Pour certaines victimes qui n'ont pas de lésion cranio-cérébrale décrite, seule la perte de connaissance est connue, ce qui peut, selon sa durée, être une indication de déficit neurologique.

11,3 % des victimes ont été lésées au thorax, avec une proportion de MAIS 3+ élevée (27,6 %). 12,4 % des victimes avaient au moins une lésion à la colonne vertébrale, et les colonnes cervicale et lombaire ont été plus souvent lésées que la colonne dorsale.

Nature des lésions

Le Tableau 15 présente les lésions des victimes usagers de 2RM selon leur nature. Les natures de lésions les plus fréquentes chez les victimes usagers de 2RM sont des lésions peu graves (AIS 1) telles que les contusions et les abrasions. À noter que les lésions indiquées comme contusions ou abrasions ne sont associées qu'à un code AIS de gravité 1. Les contusions sont présentes chez plus de la moitié des victimes (53,8 %), suivies par les abrasions (33,5 %), les fractures (28,8 %), les entorses (22,7 %) et les plaies (17,0 %) ; des blessures comme les luxations, les lésions aux organes internes, les lésions des vaisseaux sanguins, les brûlures, etc. sont moins fréquentes. Si les fractures sont moins souvent présentes chez les victimes que les contusions et les abrasions, elles sont plus graves en termes d'AIS : 28 % des victimes ayant subi au moins une fracture ont un AIS 3+ et 64 % ont un AIS 2. Comme attendu, la proportion d'AIS 3+ est très élevée chez les victimes souffrant d'au moins une amputation ou un arrachement, d'une lésion à un organe interne ou d'une lésion des vaisseaux sanguins (50,0%, 76,8%, 71,4% respectivement).

Tableau 15 : description de la nature des lésions chez les victimes souffrant d'au moins une lésion (AIS 1+)

Nature des lésions	Toutes victimes (N = 7 981)		Distribution de la gravité (maximale) des lésions par nature (% par ligne)		
	Nombre de victimes	%	MAIS 1	MAIS 2	MAIS 3+
Abrasion	2 673	33,5	100,0	0,0	0,0
Contusion	4 291	53,8	100,0	0,0	0,0
Plaies (peau, tendons, ligaments, muscles, ménisques)	1 357	17,0	81,5	17,2	1,3
Amputation, arrachement	12	0,2	0,0	50,0	50,0
Fracture	2 299	28,8	7,9	64,1	28,1
Luxation	307	3,8	31,6	67,4	1,0
Entorse, étirements	1 815	22,7	87,3	12,7	0,0
Organes internes	367	4,6	10,6	12,5	76,8
Vaisseaux sanguins	21	0,3	14,3	14,3	71,4
Écrasement	1	0,0	0,0	100,0	0,0
Brûlures	43	0,5	83,7	16,3	0,0
Nerfs	29	0,4	10,3	75,9	13,8
Nature non spécifiée	675	8,5	53,8	45,9	0,3
Fracture associée à une lésion d'organe ou vasculaire	109	1,4	0,0	0,0	100,0

5.2.2. Description des lésions chez les blessés graves (MAIS 3+)

Dans cette partie, nous décrivons les lésions subies chez les victimes ayant au moins une lésion AIS de niveau égal ou supérieur à 3 (MAIS 3+), autrement dit les blessés graves. Pour chaque blessé grave, seules les lésions AIS 3+ sont décrites dans les deux tableaux suivants, autrement dit les lésions AIS 1 ou AIS 2 ne sont pas prises en compte. Le principe est de faire clairement ressortir les lésions graves AIS 3+ qui sont à l'origine du classement en blessé grave MAIS 3+.

Tableau 16 : effectifs et proportions de victimes souffrant d'au moins une lésion (AIS 3+) par localisation chez les blessés graves

Région corporelle Structure anatomique spécifique	Blessés graves MAIS 3+ (N = 849)	
	Nombre de blessés	%*
Tête, face, cou	96	11,3
Perte de connaissance	2	0,2
Crâne	30	3,5
Lésion intracrânienne	86	10,1
Cuir chevelu	0	0,0
Face	4	0,5
Yeux	0	0,0
Cou (hors colonne)	2	0,2
Thorax (hors colonne)	249	29,3
Cage thoracique	135	15,9
Diaphragme	1	0,1
Lésions intrathoraciques	178	21,0
Autres lésions au thorax	0	0,0
Abdomen	78	9,2
Digestif	29	3,4
Rate	32	3,8
Génito-urinaire	17	2,0
Périnée, organes génitaux externes	0	0,0
Autres lésions à l'abdomen	11	1,3
Colonne vertébrale et moelle épinière	36	4,2
Colonne cervicale (moelle et vertèbres)	22	2,6
Colonne dorsale (moelle et vertèbres)	13	1,5
Colonne lombaire (moelle et vertèbres)	2	0,2
Membre supérieur	241	28,4
Épaule, bras	69	8,1
Coude et avant-bras	184	21,7
Poignet, main	0	0,0
Zone entière	1	0,1
Bassin	62	7,3
Membre inférieur	361	42,5
Hanche et cuisse	157	18,5
Genou	77	9,1
Jambe	143	16,8
Cheville, pied	6	0,7
Zone entière	13	1,5
Zone externe (sans région précisée)	0	0,0

*Pourcentage des victimes ayant subi une lésion AIS 3+ pour chaque localisation parmi les blessés graves.

D'après le Tableau 16, la région la plus souvent touchée en termes de lésions AIS 3+ est celle des membres inférieurs (42,5 %), en particulier la jambe, la cuisse et la hanche ; le thorax est la deuxième région la plus souvent touchée (29,3 %) en termes de lésions AIS 3+, avec souvent des lésions intrathoraciques et à la cage thoracique ; les membres supérieurs sont lésés avec une lésion AIS 3+ chez 28,4 % des victimes ; 11,4 % des victimes souffrent d'au moins une lésion AIS 3+ à la tête ou au cou,

en particulier de lésions intracrâniennes ; la colonne vertébrale est la région la moins souvent touchée en termes de lésions AIS 3+ (4,2 %).

Tableau 17 : description de la nature des lésions (AIS 3+) chez les blessés graves

Nature des lésions	Blessés graves MAIS 3+ (N=849)	
	Nombre de blessés	%*
Abrasion	0	0,0
Contusion	0	0,0
Plaies (peau, tendons, ligaments, muscles, ménisques)	18	2,1
Amputation, arrachement	6	0,7
Fracture	645	76,0
Luxation	3	0,4
Entorses, étirements	0	0,0
Organes internes	282	33,2
Vaisseaux sanguins	15	1,8
Écrasement	0	0,0
Brûlures	0	0,0
Nerfs	4	0,5
Nature non spécifiée	2	0,2
Fracture associée à une lésion d'organe ou vasculaire	109	12,8

* *Pourcentage des victimes ayant subi une lésion AIS 3+ par nature parmi les blessés graves.*

En termes de nature, les lésions AIS 3+ subies par les blessés graves (MAIS 3+) sont majoritairement des fractures (76,0 %) et des lésions aux organes internes (33,2 %).

5.3. Efficacité des équipements de protection (vestimentaires)

Cette partie est consacrée à l'évaluation de la capacité des vêtements de protection (blouson de moto, pantalon de moto, gants et bottes ou chaussures montantes), ainsi que des protections dorsales, à éviter ou atténuer certaines blessures en cas d'accident pour les conducteurs de deux-roues motorisés. Elle a fait l'objet d'un article: *Effectiveness of protective clothing for motorized two-wheeler riders*, soumis dans le journal *Traffic Injury Prevention*.

5.3.1. Matériel et méthode d'analyse

Population d'étude

Les analyses dans cette partie reposent sur les données lésionnelles des victimes enregistrées dans le Registre du Rhône, couplées aux données de l'enquête SECU2RM (voir la section 2.2 pour les détails). Un questionnaire a été envoyé à 7 148 victimes d'accidents de 2RM identifiées dans le Registre, pour recueillir les informations détaillées sur la configuration de leur accident, le 2RM utilisé et les équipements de protection portés, ainsi que des informations sur les chocs qu'ils ont subis.

970 victimes ont fourni des questionnaires exploitables. 3 victimes sans lésion décrite et 16 victimes sans renseignement sur le port des équipements vestimentaires ont été exclues de l'étude. La population d'étude est donc constituée de 951 victimes ayant eu un accident au guidon d'un 2RM entre 2010 et 2014 dans le département du Rhône.

Définition des zones corporelles considérées et des équipements

L'objectif de cette partie est de déterminer si les équipements portés ont été efficaces pour protéger des atteintes superficielles ou des atteintes plus graves sur les parties du corps correspondant aux différents équipements portés. Les zones corporelles considérées sont : la zone poignet/main, le reste des membres supérieurs (épaule, bras, coude, avant-bras), le thorax, la colonne vertébrale, la zone cheville/pied et le reste des membres inférieurs (cuisse, genou, jambe). Les lésions considérées sont : les lésions cutanées superficielles (de type abrasion, contusion cutanée ou musculaire et plaie cutanée), ainsi que les lésions de type fracture, luxation et entorse. Les contusions osseuses sont distinguées des contusions cutanées ou musculaires, et les plaies aux articulations sont distinguées des plaies cutanées. Dans la suite de cette partie, l'appellation contusion désigne les contusions cutanées ou musculaires, et l'appellation plaie désigne les plaies cutanées.

Les lésions que nous avons étudiées ont été codées selon l' AIS version 1998. Or cette version ne permet pas d'identifier les parties spécifiques des membres atteintes de lésions cutanées superficielles. En raison de cette limite, il est impossible de séparer les lésions cutanées superficielles de la main ou du poignet de celles du reste des membres supérieurs (épaule, bras, coude et avant-bras). De même,

pour les lésions cutanées superficielles aux membres inférieurs, il est impossible de séparer les lésions de la cheville ou du pied de celles du reste des membres inférieurs (cuisse, genou, jambe). Par conséquent, concernant les lésions cutanées superficielles, nous étudions les effets du port des vêtements de moto sur l'ensemble des membres supérieurs et l'ensemble des membres inférieurs, et trois niveaux d'équipements portés sont définis dans chaque cas :

- Pour les membres supérieurs : non équipement (ni blouson de moto, ni gants), équipement partiel (soit un blouson de moto, soit des gants), ou équipement complet (un blouson de moto plus des gants).
- Pour les membres inférieurs : non équipement (ni pantalon de moto, ni bottes ou chaussures montantes), équipement partiel (soit un pantalon de moto, soit des bottes ou des chaussures montantes), ou équipement complet (un pantalon de moto plus des bottes ou des chaussures montantes).

Par ailleurs, les comptes rendus médicaux n'indiquent pas toujours les régions atteintes pour les lésions cutanées superficielles. Ainsi 18 % des victimes ont des lésions superficielles codées R=9 (zone externe), sans précision de la région corporelle lésée. Cela signifie que ces lésions peuvent être soit disséminées sur l'ensemble du corps, soit situées sur une ou plusieurs régions corporelles. En raison de cette incertitude, nous avons choisi de ne pas prendre en compte ces lésions superficielles dans les analyses. Une analyse de sensibilité sur les conséquences de ce choix est présentée à la fin de la section résultats.

Imputation simple pour la vitesse de roulement

La population d'étude contient des valeurs manquantes pour certains facteurs comme le type de moto (1,2 %) et la vitesse de roulement (8 %). Pour simplifier les analyses, les valeurs manquantes pour le type de moto ont été traitées comme une catégorie « inconnu » à part entière, et celles relatives à la vitesse de roulement ont été imputées de façon simple au moyen d'une régression linéaire, en utilisant des variables auxiliaires corrélées à la vitesse de roulement.

Analyses statistiques

Les effets du port des équipements vestimentaires (gants, chaussures, pantalon, blouson) sur la présence de certaines blessures (abrasion, plaie, contusion, fracture, etc.) sont évalués à l'aide d'une régression de Poisson permettant dans le cadre d'une étude transversale d'estimer les risques relatifs (RR). Les RR sont ajustés sur le sexe, l'âge, le type de 2RM, le type d'accident, les objets heurtés par l'utilisateur de 2RM (véhicule tiers, objet fixe, le 2RM lui-même) et la vitesse de roulement. L'éventuel effet d'une protection dorsale a été également étudié. Comme les analyses subséquentes sont basées sur les réponses de l'enquête, les poids de redressement des non-réponses ont été appliqués pour chaque analyse.

5.3.2. Résultats

La description de la population d'étude figure dans le Tableau 18. Près de la moitié des victimes de 2RM sont âgées de 14 à 24 ans et 14 % sont des femmes. Concernant les équipements vestimentaires ou de sécurité, 20 % des usagers n'en portaient pas. Les gants de moto étaient l'équipement le plus porté par les victimes (76 %), suivi par le blouson de moto (59 %) et les bottes ou chaussures montantes (37 %) ; par ailleurs, 23 % des victimes avaient une protection dorsale et seulement 0,3 % avaient un gilet airbag. Les usagers de scooters représentent 47 % des victimes. Environ un tiers des victimes ont eu au moins un choc contre un véhicule tiers, de même contre le 2RM lui-même et 11 % contre au moins un objet fixe (arbre, poteau, mur, glissière, mobilier urbain, etc.) présent sur ou autour de la chaussée. 11 % des victimes sont gravement blessées (MAIS 3+) ; la région des membres inférieurs est la région la plus souvent lésée (62 %), suivie par celle des membres supérieurs (47 %).

Tableau 18 : caractéristiques des conducteurs accidentés en 2RM

Caractéristiques		Effectif N _{obs} = 951	% _w (N _w = 7 740)
Sexe	Femme	124	14,0
	Homme	827	86,0
Âge	14-24	282	48,1
	25-49	432	41,9
	50+	237	10,1
Équipement de protection/sécurité*	Blouson	653	58,9
	Pantalon	200	17,5
	Gants	806	76,3
	Bottes, chaussures montantes	458	37,3
	Protection dorsale	269	23,2
	Airbag	3	0,3
	Rétro-réfléchissant	149	14,6
Type de 2RM	Scooter	338	47,2
	Custom	35	2,1
	Basique/routière	157	10,6
	Roadster	191	18,4
	Sportive	64	6,2
	Trail	119	10,2
	Tout-terrain	34	4,1
	Inconnu	13	1,2
Type d'accident	2RM seul	307	36,0
	Autre	644	64,0
Objet heurté par l'utilisateur de 2RM*	Véhicule tiers	344	35,1
	Objet fixe	93	11,2
	2RM lui-même	331	36,8
Gravité globale des blessures	MAIS 1	525	59,3
	MAIS 2	291	29,9
	MAIS 3	116	9,3
	MAIS 4	15	1,1
	MAIS 5	4	0,4
Régions corporelles lésées*	Tête/face/cou	158	16,5
	Thorax	133	10,2
	Abdomen	66	6,6
	Colonne vertébrale	131	11,7
	Membres supérieurs	467	46,6
	Bassin	15	1,3
	Membres inférieurs	598	62,3
	Zone externe	153	18,1
Vitesse de roulement	Moyenne de la vitesse	45,6 km/h	

N_{obs} : effectif observé ; N_w : effectif pondéré ; %_w : pourcentage pondéré ;

**pour ces variables, la somme des pourcentages ne fait pas 100. Ces pourcentages indiquent les proportions de présence de chaque caractéristique.*

Association entre vêtements de moto portés et occurrence des lésions

Le Tableau 19 décrit le risque de lésion aux membres supérieurs et inférieurs en fonction de l'équipement porté. Plus de la moitié des victimes portaient un équipement complet pour les membres supérieurs lors de l'accident, alors que seulement 14 % avaient un équipement complet pour les membres inférieurs. À peu près un quart avaient un équipement partiel pour les membres supérieurs, autant que pour les membres inférieurs. Les équipements partiels portés sont essentiellement les gants (87 %) et les bottes ou chaussures montantes (88 %). Le risque de subir au moins une lésion aux membres inférieurs est plus faible pour les victimes portant un équipement complet, comparées aux victimes non-équipées, avec un RR ajusté égal à 0,70 (IC 95 % : 0,57-0,87). Le risque de lésion aux membres supérieurs est également plus faible, mais pas statistiquement différent de 1 (RR=0,72 ; IC 95% : 0,51-1,02). Globalement le port des équipements vestimentaires est associé à une moindre fréquence d'atteinte aux membres supérieurs et inférieurs. Contrairement aux membres supérieurs, le risque de subir au moins une lésion au thorax n'est pas différent selon que l'on porte un blouson de moto ou non.

Tableau 19 : risque de lésion aux membres supérieurs et inférieurs, et au thorax en fonction de l'équipement porté

Équipement vestimentaire	Présence de		RR brut (IC 95 %)	RR ajusté* (IC 95 %)
	Victimes N _{obs} (% _w colonne)	lésions N _{obs} (% _w ligne)		
Membres supérieurs				
Non équipement (ni blouson de moto, ni gants)	119 (20,6)	58 (50,9)	Référence	Référence
Équipement partiel (un blouson de moto ou des gants)	205 (23,6)	92 (39,8)	0,78 (0,55-1,10)	0,69 (0,49-0,99)
Équipement complet (un blouson de moto et des gants)	627 (55,8)	317 (47,9)	0,94 (0,70-1,26)	0,72 (0,51-1,02)
Membres inférieurs				
Non équipement (ni pantalon de moto, ni bottes)	469 (59,7)	307 (64,3)	Référence	Référence
Équipement partiel (un pantalon de moto ou des bottes)	306 (25,9)	203 (65,7)	1,02 (0,87-1,19)	0,96 (0,81-1,13)
Équipement complet (un pantalon de moto et des bottes)	176 (14,4)	88 (47,5)	0,74 (0,59-0,93)	0,70 (0,57-0,87)
Thorax				
Pas de blouson de moto	298 (41,1)	36 (7,6)	Référence	Référence
Blouson de moto	653 (58,9)	97 (12,1)	1,60 (0,94-2,71)	0,99 (0,56-1,75)

N_{obs} : effectif observé ; %_w : pourcentage pondéré ;

** RR ajusté sur le sexe, l'âge, le type de 2RM, le type d'accident, les objets heurtés et la vitesse.*

Afin de pouvoir estimer si l'effet des équipements est différent selon la nature des lésions, nous décrivons d'abord ces différentes natures de lésions pour les membres supérieurs et inférieurs et le thorax, ainsi que leurs fréquences d'apparition.

Tableau 20 : description de la nature des lésions aux membres supérieurs et inférieurs, et au thorax

Nature des lésions	Membres supérieurs		Membres inférieurs		Thorax	
	N _{obs}	% _w	N _{obs}	% _w	N _{obs}	% _w
Lésion cutanée superficielle	109	12,9	299	29,1	31	2,6
Abrasion	46	6,1	140	13,3	2	0,2
Contusion	35	4,2	103	11,1	29	2,3
Plaie	30	2,7	80	7,0	0	0,0
Fracture/luxation/entorse	259	24,3	217	24,1	43	2,5
Fracture	185	17,5	139	13,1	43	2,5
Luxation	36	2,3	18	1,8	0	0,0
Entorses	60	5,9	80	11,4	0	0,0
Autre contusion (articulation, os)	143	15,2	219	22,6	32	3,1
Autre plaie (articulation)	4	0,3	11	1,1	0	0,0
Autre/nature non spécifiée	3	0,3	5	0,3	25	2,0

N_{obs} : effectif observé de victimes ; %_w : pourcentage pondéré de victimes ; pour chaque région corporelle, si les victimes présentent n différentes natures des lésions, les victimes sont comptées n fois.

Il y a autant de fractures, luxations ou entorses apparues aux membres inférieurs qu'aux membres supérieurs (24 %). 29 % des victimes ont subi au moins une lésion cutanée superficielle aux membres inférieurs, ce qui est deux fois plus élevé que pour les membres supérieurs (13 %). Environ 3 % des victimes ont eu une fracture au thorax, et 3 % ont eu des lésions cutanées superficielles, qui sont principalement des contusions. En termes de gravité (MAIS), les fractures sont presque toutes de niveau supérieur à 2, alors que les entorses et les luxations sont moins graves (environ un tiers ont un MAIS = 1) ; les abrasions et les contusions sont toutes de niveau égal à 1.

Les analyses subséquentes ont porté sur la présence des différentes natures de lésions en fonction des équipements portés. L'hypothèse que nous allons tester est que le port des vêtements de moto a surtout un effet sur les abrasions et plaies, qui sont le résultat du même mécanisme lésionnel (frottement), alors que les contusions sont le résultat d'un autre mécanisme (choc) a priori moins évitable par l'équipement porté. Les résultats sont exposés dans le Tableau 21, en séparant les contusions des abrasions ou plaies. Le risque d'abrasion ou de plaie aux membres supérieurs est nettement réduit quand les conducteurs de 2RM portent un blouson moto et/ou des gants, avec un RR égal à 0,31 (IC 95 % : 0,12-0,81) pour ceux portant un équipement partiel, et un RR égal à 0,24 (IC 95 % : 0,07-0,78) pour ceux portant un équipement complet. Par contre, le risque de contusion aux membres supérieurs n'apparaît pas significativement diminué. Concernant les membres inférieurs, le risque de subir une lésion cutanée superficielle est inférieur pour les usagers portant un équipement complet, avec un RR égal à 0,60 (IC 95 % : 0,40-0,91), mais les RR associés aux abrasions/plaies et aux contusions ne sont pas significativement différents de 1. Notons cependant que leurs valeurs sont sensiblement les mêmes que pour le RR global (associé aux lésions cutanées superficielles). Aucun effet protecteur du blouson de moto au thorax n'est montré.

Tableau 21 : risque de lésion cutanée superficielle, abrasion/plaie et contusion selon l'équipement porté

Équipement vestimentaire	Lésion cutanée superficielle		Abrasion/plaie		Contusion	
	N _{obs} (% _w)	RR ajusté* (IC 95 %)	N _{obs} (% _w)	RR ajusté* (IC 95 %)	N _{obs} (% _w)	RR ajusté* (IC 95 %)
Membres supérieurs						
Non équipement	27 (24,7)	Référence	24 (17,9)	Référence	3 (6,8)	Référence
Équipement partiel	24 (10,5)	0,36 (0,18-0,75)	17 (7,0)	0,31 (0,12-0,81)	7 (3,5)	0,52 (0,06-4,63)
Équipement complet	58 (9,5)	0,28 (0,12-0,69)	35 (6,3)	0,24 (0,07-0,78)	25 (3,6)	0,46 (0,06-3,74)
Membres inférieurs						
Non équipement	151 (30,8)	Référence	113 (21,1)	Référence	47 (11,4)	Référence
Équipement partiel	105 (30,0)	0,90 (0,67-1,21)	77 (21,8)	1,05 (0,73-1,50)	38 (11,8)	0,81 (0,44-1,51)
Équipement complet	43 (20,1)	0,60 (0,40-0,91)	26 (12,1)	0,58 (0,33-1,03)	18 (8,4)	0,60 (0,29-1,24)
Thorax						
Pas de blouson de moto	8 (1,5)	Référence	0 (0,0)	NA	8 (1,5)	Référence
Blouson de moto	23 (3,4)	1,34 (0,24-7,58)	2 (0,4)		21 (3,0)	1,33 (0,22-7,93)

N_{obs} : effectif observé ; %_w : pourcentage pondéré ; NA : non applicable ;

** RR ajusté sur le sexe, l'âge, le type de 2RM, le type d'accident, les objets heurtés et la vitesse.*

Tableau 22 : risque de fracture, luxation ou entorse selon l'équipement porté

Équipement vestimentaire	Fracture/luxation/entorse		Fracture		Entorse	
	N _{obs} (% _w)	RR ajusté* (IC 95 %)	N _{obs} (% _w)	RR ajusté* (IC 95 %)	N _{obs} (% _w)	RR ajusté* (IC 95 %)
Membres supérieurs (sauf main et poignet)						
Pas de blouson de moto	43 (13,5)	Référence	35 (11,1)	Référence	2 (1,6)	NA
Blouson de moto	136 (19,6)	0,94 (0,52-1,71)	107 (15,7)	0,94 (0,49-1,82)	19(2,7)	
Thorax						
Pas de blouson de moto	13 (2,7)	Référence	13 (2,7)	Référence	0 (0,0)	NA
Blouson de moto	30 (2,3)	0,46 (0,16-1,33)	30 (2,3)	0,46 (0,16-1,33)	0 (0,0)	
Main et poignet						
Pas de gants	11 (7,7)	Référence	5 (4,5)	Référence	6 (3,2)	Référence
Gants	91 (10,7)	0,93 (0,40-2,18)	53 (6,5)	0,96 (0,24-3,75)	33(3,8)	0,78 (0,25-2,45)
Membres inférieurs (sauf pied et cheville)						
Pas de pantalon de moto	71 (10,0)	Référence	47(5,6)	Référence	22(4,3)	NA
Pantalon de moto	23 (14,2)	1,50 (0,81-2,76)	20 (13,1)	2,12 (1,07-4,19)	3 (1,1)	
Pied et cheville						
Pas de bottes	76 (15,6)	Référence	47 (7,7)	Référence	30 (8,3)	Référence
Bottes	59 (12,4)	0,64 (0,41-0,99)	32 (5,6)	0,43 (0,25-0,75)	27 (7,4)	0,98 (0,49-1,97)

N_{obs} : effectif observé ; %_w : pourcentage pondéré ; NA : non applicable ;

** RR ajusté sur le sexe, l'âge, le type de 2RM, le type d'accident, les objets heurtés et la vitesse.*

Le Tableau 22 montre le risque de fracture, luxation ou entorse aux membres supérieurs et inférieurs, et au thorax selon l'équipement porté. Le port d'un blouson de moto et le port des gants ne sont pas associés à un risque plus faible de subir une fracture, une luxation ou une entorse. Néanmoins, le port de bottes ou de chaussures montantes est associé à un risque plus faible de subir une fracture de la cheville ou du pied (RR = 0,43, IC 95 % : 0,25-0,75), mais pas une entorse. Par ailleurs, nous avons trouvé un sur-risque d'avoir une fracture aux membres inférieurs pour les usagers de 2RM portant un pantalon de moto.

Association entre protection dorsale et occurrence de lésions à la colonne vertébrale

Le Tableau 23 indique la répartition des lésions à la colonne vertébrale selon que les usagers portaient ou non une protection dorsale (intégrée dans le blouson ou indépendante).

Tableau 23: risque de lésion aux vertèbres cervicales, dorsales, lombaires en fonction du port de la protection dorsale

Présence de lésion	Sans protection dorsale (N _{obs} = 682) N _{obs} (% _w colonne)	Avec protection dorsale (N _{obs} = 269) N _{obs} (% _w colonne)	RR ajusté* (IC 95 %) (port de la dorsale vs non-port)
Colonne vertébrale	94 (11,4)	37 (12,5)	1,05 (0,67-1,64)
Vertèbres cervicales	35 (4,3)	14 (5,2)	1,14 (0,51-2,55)
Vertèbres dorsales	26 (2,9)	13 (4,5)	1,58 (0,63-3,98)
Vertèbres lombaires	44 (5,4)	15 (4,1)	0,72 (0,39-1,33)

N_{obs} : effectif observé ; %_w : pourcentage pondéré ;

* RR ajusté sur le sexe, l'âge, le type de 2RM, le type d'accident, les objets heurtés et la vitesse.

Près de 12 % des victimes ont subi au moins une lésion de la colonne vertébrale, avec ou sans port de la protection dorsale. L'analyse détaillée pour les régions cervicale, dorsale et lombaire ou pour l'ensemble ne fait pas apparaître de différence de risque de lésions selon le port ou non d'une protection dorsale. Aucun effet protecteur d'une protection dorsale n'est mis en évidence d'après nos analyses.

En détaillant les lésions subies à la colonne vertébrale par les usagers, on note qu'environ trois quarts de ces lésions sont des étirements sans fracture ni luxation et qu'environ 20 % sont des fractures (Tableau 24).

Le Tableau 25 montre le risque de fracture et le risque d'étirement de la colonne vertébrale selon que la protection dorsale est portée ou non. Aucune différence de risque de fracture ou d'étirement n'a été trouvée selon le port ou non d'une protection dorsale.

Tableau 24 : description des lésions à la colonne vertébrale

Lésions	Nombre de lésions observées à la colonne vertébrale	% _w (N _w = 1 063)
Étirement sans luxation ni fracture	114	77,8
Fracture aux vertèbres ou disques	41	20,6
Autre	3	1,6
Total	158	100,0

Tableau 25 : risque de fracture, étirement selon l'équipement porté

Présence de lésions	Sans protection dorsale (N _{obs} = 682) N _{obs} (% _w colonne)	Avec protection dorsale (N _{obs} = 269) N _{obs} (% _w colonne)	RR ajusté (IC 95 %) (port de la dorsale vs non-port)
Fracture	18 (1,5)	8 (2,4)	0,95 (0,36-2,55)
Étirement	76 (9,9)	28 (9,7)	1,02 (0,60-1,74)

Analyse de sensibilité concernant le codage des lésions cutanées superficielles

Comme expliqué dans la section méthode 5.3.1, les lésions codées en zone externe sans précision n'ont pas été intégrées dans l'analyse. Si nous faisons le choix contraire en considérant que l'indication de lésion en zone externe sans précision implique la présence d'une lésion cutanée superficielle à la fois aux membres supérieurs et aux membres inférieurs, les proportions de lésions sont alors plus élevées, 28 % pour les membres supérieurs et 45 % pour les membres inférieurs. Le risque de lésion cutanée superficielle aux membres supérieurs, en cas de port d'un équipement complet, est alors estimé à $RR = 0,55$ (IC 95 % : 0,32-0,94), et le risque aux membres inférieurs, en cas de port d'un équipement complet est estimé à $RR = 0,57$ (IC 95 % : 0,40-0,81). Ainsi, en prenant en compte les lésions cutanées superficielles sans précision de la région, les effets protecteurs sont significatifs comme dans l'analyse précédente, avec un effet moins prononcé pour les membres supérieurs.

Tableau 26 : risque de lésion cutanée superficielle, abrasion/plaie et contusion selon l'équipement porté (les lésions codées en zone externe sont prises en compte)

Équipement vestimentaire	Lésion cutanée superficielle		Abrasion/plaie		Contusion	
	N_{obs} (% _w)	RR ajusté* (IC 95 %)	N_{obs} (% _w)	RR ajusté* (IC 95 %)	N_{obs} (% _w)	RR ajusté* (IC 95 %)
Membres supérieurs						
Non équipement	47 (40,7)	Référence	47 (40,7)	Référence	5 (7,6)	Référence
Équipement partiel	63 (30,2)	0,71 (0,46-1,09)	52 (24,9)	0,56 (0,35-0,88)	13 (5,9)	1,01 (0,17-6,13)
Équipement complet	133 (23,1)	0,55 (0,32-0,94)	109 (18,4)	0,42 (0,24-0,71)	32 (6,9)	1,58 (0,20-12,2)
Membres inférieurs						
Non équipement	230 (50,6)	Référence	186 (39,2)	Référence	57 (14,2)	Référence
Équipement partiel	139 (41,3)	0,81 (0,64-1,04)	115 (33,8)	0,90 (0,67-1,21)	41 (14,7)	0,97 (0,46-2,04)
Équipement complet	55 (27,4)	0,57 (0,40-0,81)	37 (19,0)	0,54 (0,34-0,87)	20 (9,4)	0,69 (0,33-1,46)

N_{obs} : effectif observé ; %_w : pourcentage pondéré ;

* RR ajusté sur le sexe, l'âge, le type de 2RM, le type d'accident, les objets heurtés et la vitesse.

5.3.3. Discussion

Dans le cadre de l'enquête, les usagers ont indiqué s'ils portaient un blouson de moto, un pantalon de moto, des bottes ou chaussures montantes, des gants, une protection dorsale ou un gilet airbag. Nous n'avons pas voulu demander plus de précision sur les équipements, comme par exemple une indication sur la qualité de résistance ou d'éventuels renforts sur les articulations, car le temps de renseignement du questionnaire devait rester raisonnable et que nous avons pensé que peu d'usagers auraient été en mesure ou auraient fait l'effort de fournir ces détails. Malgré cette relative imprécision, les résultats que nous obtenons sont conformes à nos attentes et aux résultats des études antérieures (Brown et al. 2015; Erdogan et al. 2013; de Rome et al. 2011; Schuller et al. 1982).

Lésions cutanées superficielles aux membres supérieurs et inférieurs

13 % des conducteurs blessés ont souffert de lésions cutanées superficielles aux membres supérieurs et 29 % aux membres inférieurs. En cas de port d'un équipement complet, le risque de lésion cutanée

superficielle est significativement diminué pour les membres supérieurs (RR = 0,28 ; IC 95 % : 0,12-0,69), et les membres inférieurs (RR = 0,60 ; IC 95 % : 0,40-0,91). Cet effet protecteur vient surtout de la diminution des abrasions/plaies, avérée pour les membres supérieurs, plutôt que de la diminution des contusions, ce qui correspond bien au mécanisme lésionnel sous-jacent. Il s'agit bien sûr d'un effet moyen, alors que l'effet protecteur doit dépendre de la qualité de résistance des équipements de protection (définie dans les normes EN 13594, 13595 et 13634 concernant les gants, les blousons et pantalons moto et les bottes qui définissent les capacités de résistance à l'abrasion et à l'éclatement), voire de la présence de renforts intégrés aux articulations (norme EN 1621-1), informations dont nous ne disposons pas.

Les résultats obtenus sur les lésions cutanées superficielles sont cohérents avec ceux de l'étude australienne (de Rome et al. 2011). Celle-ci avait de plus permis d'étudier la présence de lésions de type dermabrasion ou plaie cutanée selon leur localisation précise : haut du corps, main/poignet, jambe, cheville/pied. L'effet des renforts intégrés aux articulations avait également pu être évalué, ce que nous n'avons pas pu faire dans notre étude car cette information n'a pas été demandée.

Fractures, luxations et entorses aux membres supérieurs et inférieurs

Contrairement aux lésions cutanées superficielles, notre étude ne montre pas d'effet protecteur concernant les fractures, les luxations et les entorses aux membres supérieurs en cas de port d'un blouson de moto ou de gants. Cependant le risque de fracture de la cheville ou du pied est divisé par plus de 2 en cas de port de bottes ou de chaussures montantes. Cet effet protecteur du port de bottes ou de chaussures montantes contre les fractures n'avait pas été mis en évidence dans l'étude de (de Rome et al. 2011), peut être en raison du faible effectif observé de fractures.

Par ailleurs, un sur-risque de fracture aux membres inférieurs pour les usagers de 2RM portant un pantalon de moto a été trouvé, ce qui n'est pas conforme à notre attente. Si on admet que le port d'un pantalon moto ne peut pas avoir d'effet favorisant l'apparition de fracture, ce résultat signifie sans doute que l'ajustement sur les différentes variables indiquées ne prend pas en compte toutes les différences entre utilisateurs selon l'équipement porté, faute d'information suffisante.

Lésions à la colonne vertébrale

12 % des blessés ont eu une lésion à la colonne vertébrale, mais aucun effet protecteur des protections dorsales n'est mis en évidence, alors que 23 % des conducteurs blessés ont indiqué en porter une. Cette non-efficacité apparente peut être due à l'imprécision de l'information sur la protection dorsale, puisque nous ne savons pas si la protection est intégrée au blouson ou séparée, alors que la plupart des protections intégrées ne sont souvent que de simples mousses offrant un niveau de sécurité insatisfaisant. Elle peut aussi être la conséquence des différences de conditions de choc entre porteurs de protections dorsales et non porteurs, qui n'ont pas été bien prises en compte dans l'analyse. Mais il

est aussi possible que la protection dorsale n'ait effectivement pas ou peu d'effet protecteur pour les mécanismes lésionnels les plus souvent rencontrés dans les accidents de 2RM. En effet, les trois quarts des lésions observées à la colonne vertébrale sont des étirements sans luxation et sans fracture, qui sont le résultat d'un mécanisme de flexion contre lequel la protection dorsale a sans doute peu d'action.

Force de l'étude

L'enquête réalisée a utilisé le Registre comme base de sondage, une base exhaustive qui recense la quasi-totalité des victimes blessées suite à un accident de la circulation routière dans le Rhône. L'accès aux informations sur les blessés peu gravement atteints est indispensable pour pouvoir mettre en évidence l'éventuel effet du port de protections, qui va surtout concerner les lésions cutanées superficielles. De plus, les bilans lésionnels disponibles dans le Registre sont complets, quels que soient le nombre et la gravité des lésions observées.

Le deuxième intérêt d'avoir utilisé le Registre comme base de sondage est de disposer d'informations sur les personnes qui n'ont pas répondu à notre enquête. Nous avons ainsi pu identifier les facteurs jouant sur la non-réponse, et calculer des coefficients de redressement à appliquer sur les 951 répondants inclus dans l'étude. Les estimations finales concernent donc l'ensemble des 7 740 usagers de 2RM victimes corporelles d'un accident dans le département du Rhône entre 2010 et 2014.

Limites de l'étude

La première limite vient du biais d'information inhérent à l'utilisation d'un auto-questionnaire à l'enquête. La validité des réponses aux questions repose en effet sur les souvenirs qu'en ont les répondants. Par rapport au temps écoulé depuis l'accident, le problème peut être plus important pour les usagers qui ont eu leur accident en 2010, soit 7 ans avant la réponse au questionnaire, que pour les "derniers" accidentés en 2014. D'autre part, le temps de renseignement d'un auto-questionnaire doit être relativement court, de qui a obligé à limiter les questions sur les équipements portés (les précisions sur les équipements telles que la qualité de résistance ou l'indication d'éventuels renforts sur les articulations ne sont pas demandées).

La deuxième limite est la probable sous-estimation des blessés en 2RM dans le Rhône par le Registre. Même si le Registre inclut plus de trois fois plus de blessés que le recueil des forces de l'ordre pour le même territoire, il est possible qu'un certain nombre de victimes légèrement blessées, notamment quand elles ne souffrent "que" de dermabrasions et de plaies cutanées, ne soient pas venues consulter dans les hôpitaux et cliniques qui constituent le Réseau médical du Registre. Il est donc vraisemblable que ces blessures soient sous-estimées, sans que l'on puisse connaître l'ampleur de cette éventuelle sous-estimation.

La troisième limite de cette étude vient du système de codage AIS 98, qui ne permet pas d'indiquer la localisation des blessures cutanées et des contusions autrement que globalement, pour une région

corporelle, sans en donner la localisation précise. Par conséquent, nous n'avons pas pu étudier l'effet propre éventuel du port d'un blouson de moto contre ces lésions, de même pour le port de gants, d'un pantalon de moto et des bottes ou des chaussures montantes. Le passage en codification AIS 2005, effectif depuis 2015 dans le Registre, permettra de définir plus précisément les localisations corporelles pour les blessures externes, sous réserve que les comptes rendus médicaux soient suffisamment précis.

Enfin, le manque de précision dans certains comptes rendus médicaux pour des lésions cutanées superficielles peut entraîner un biais dans les estimations des effets protecteurs. En affectant, dans une analyse de sensibilité, les lésions cutanées superficielles sans région précisée à la fois aux membres supérieurs et aux membres inférieurs, les différentes estimations de risque ne sont pas sensiblement modifiées, et les conclusions sur les différents effets protecteurs des équipements portés sont inchangées.

Par ailleurs, le rôle protecteur des gilets airbags n'a pas pu être étudié du fait du nombre très faible d'utilisateurs qui en portaient (3 répondants), alors que la protection offerte par ces gilets paraît a priori plus prometteuse et reste à évaluer.

Conclusion

L'étude confirme la capacité des vêtements dédiés à la moto, tels que blousons, gants, pantalons et bottes ou chaussures montantes, à protéger les usagers des blessures en cas d'accident. Ils sont efficaces pour éviter les dermabrasions et les plaies cutanées, mais ne semblent pas protéger des blessures plus graves telles que fracture, luxation ou entorse, sauf pour les bottes ou chaussures montantes qui réduisent le risque de fracture de la cheville ou du pied. Concernant les protections dorsales, notre étude ne permet pas d'en montrer l'efficacité. Étant donné les mécanismes lésionnels mis en œuvre, il est possible que leur efficacité soit limitée. De futures recherches sont nécessaires.

Cette étude soutient la recommandation du port des équipements vestimentaires par les organismes de sécurité routière, et l'utilisation de ces équipements mériterait d'être plus systématique chez les usagers de 2RM.

5.4. Efficacité relative des différents types de casques

Cette partie est consacrée à l'évaluation de l'efficacité relative des types de casques portés (intégral ou non-intégral) pour les conducteurs de 2RM en cas de choc à la tête et/ou à la face. Il s'agit d'estimer l'effet relatif des deux types de casques sur les lésions à la face et sur les lésions à la tête. L'article : *Helmet type and the risk of facial and head injuries among riders of motorized two-wheelers*, va être soumis au journal *Injury*.

Pour davantage de clarté, nous rappelons que le mot « tête » ne comprend pas la face, sinon nous employons l'expression tête/face.

5.4.1. Matériel et méthode d'analyse

Population d'étude

Comme pour l'étude précédente, cette analyse utilise les données de l'enquête SECU2RM, couplées aux données lésionnelle du Registre. Le questionnaire SECU2RM a recueilli non seulement des informations détaillées sur l'accident, les caractéristiques du conducteur et de son véhicule utilisé, l'utilisation des équipements de protection, notamment l'utilisation du casque et le type de casque (intégral ou non), mais aussi sur la description des collisions, en particulier les chocs à la tête/face reçus par la victime. C'est notamment sur ces dernières informations que vont d'appuyer les analyses qui suivent.

La Figure 4 décrit la sélection de la population d'étude. À partir des 970 réponses exploitables de l'enquête, 3 victimes ont été exclues de l'étude car elles n'avaient aucune lésion décrite. Ensuite, ont été exclues 6 victimes qui ne portaient pas de casque, 10 qui avaient un casque mal attaché lors de l'accident, 10 victimes sans renseignement sur l'utilisation du casque, et 53 victimes sans renseignement sur le type de casque. Parmi les 888 victimes restantes, un peu plus de 45 % d'entre elles (405) ont déclaré qu'elles avaient eu au moins un choc à la tête/face. Partant du principe que l'efficacité d'un casque ne peut être démontrée que si un choc à la tête/face a effectivement eu lieu, la population d'étude s'est limitée uniquement aux victimes portant un casque correctement attaché et ayant déclaré avoir subi un choc à la tête/face lors de l'accident. La population d'étude est ainsi constituée de 405 victimes ($N_w = 3\ 140$, après la prise en compte de la pondération).

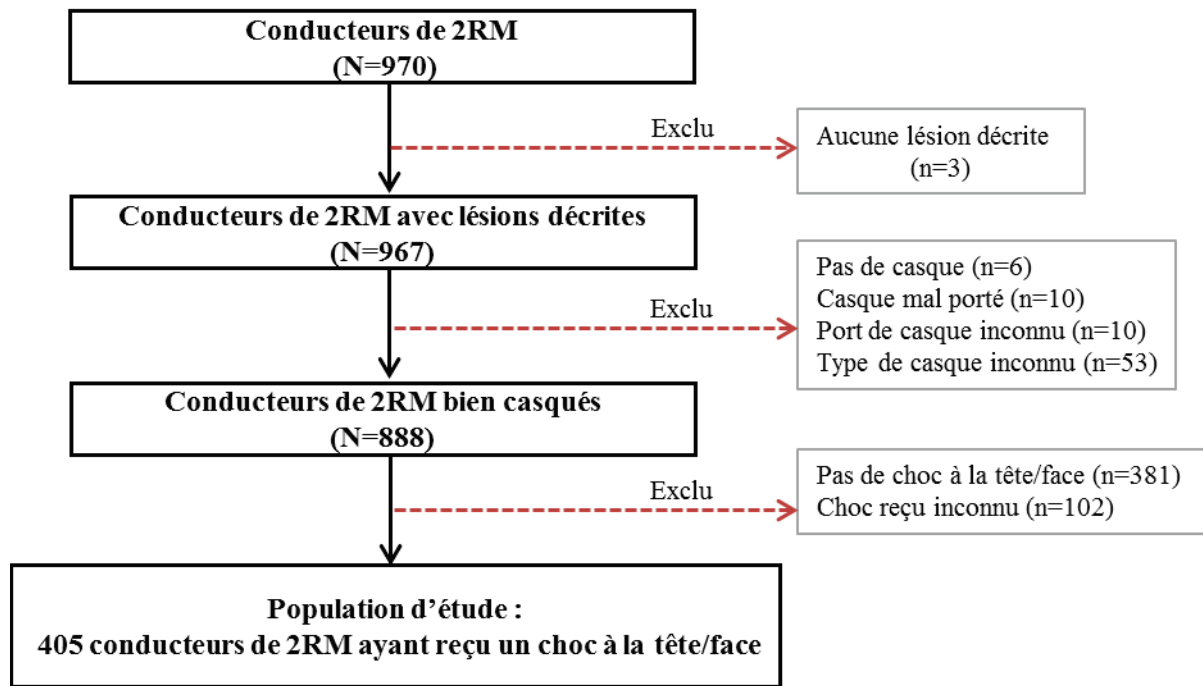


Figure 4 : sélection de la population d'étude (efficacité relative des types de casque)

Définition des lésions d'intérêt

Dans le codage AIS, la région face est identifiée séparément de la région tête (crâne et cerveau). Une lésion à la face se définit comme toute lésion qui touche la bouche, les yeux, le nez, les oreilles, et les os du visage. Une lésion à la tête se définit comme toute lésion au crâne et au cerveau, mais pas à la face. Une lésion à la tête/face se définit comme toute lésion à l'ensemble crâne-cerveau-face.

Approche cas-témoin

L'approche cas-témoin a été employée afin d'estimer l'effet relatif des deux types de casque (intégral ou non) sur les lésions à la face d'une part et sur les lésions à la tête d'autre part. Il s'agit de comparer le groupe des cas constitué des victimes présentant la lésion d'intérêt (lésion de la face ; lésion à la tête) au groupe des témoins constitué des victimes n'ayant pas de lésion à la tête/face. Le groupe témoin est identique dans les deux modélisations présentées. Une autre stratégie d'analyse aurait été de comparer le groupe de blessés à la face au groupe de non blessés à la face, et le groupe de blessés à la tête au groupe de non blessés à la tête. Nous avons privilégié la première stratégie en raison de l'association entre les lésions à la tête et celles de la face décrite dans la littérature (Hurt et al. 1981; Kraus et al. 2003). Le risque de traumatisme crânien est 3,5 fois plus élevé chez les usagers en présence d'une blessure au visage et 6,5 fois plus élevé chez les usagers en présence d'une fracture au visage, comparé aux usagers sans blessure au visage (Kraus et al. 2003).

Facteurs de risque potentiels

Dans la littérature, un certain nombre de facteurs ont été considérés comme facteurs de confusion pour l'association entre le type de casque et les lésions à la tête ou à la face : sexe, âge, consommation d'alcool, vitesse de roulement, type de véhicule, type d'accident, type d'impact à la tête/face, etc. Ces mêmes facteurs seront donc pris en compte dans les analyses.

Analyses statistiques

Les conducteurs portant un casque intégral et ceux portant un casque non-intégral sont comparés en fonction des caractéristiques du conducteur et de son véhicule, et des équipements de protection portés, en utilisant le test du χ^2 . Des analyses univariées ont été réalisées pour tester l'association entre l'occurrence d'une lésion à la face, ou l'occurrence d'une lésion à la tête, et le type de casque, ainsi que d'autres facteurs déjà mentionnés, à l'aide d'une régression logistique. Les variables avec une p -value $< 0,2$ ont été sélectionnées pour les analyses multivariées initiales. Enfin, le risque d'une lésion à la face et celui d'une lésion à la tête ont été évalués en fonction du type de casque, ajusté sur d'autres facteurs significatifs, à l'aide d'une régression logistique multivariée. Comme les analyses sont basées sur les réponses de l'enquête, les poids de redressement des non-réponses ont été appliqués pour chaque analyse.

5.4.2. Résultats

Description des victimes et profil des conducteurs portant un casque intégral

Le Tableau 27 décrit les caractéristiques de l'échantillon. Une grande majorité des victimes ont eu leur accident lors d'un trajet de loisir (48 %) ou d'un trajet travail-domicile/domicile-travail (38 %). Plus d'un tiers des victimes roulaient sur un cyclomoteur. Les scooters étaient le type de 2RM (43 %) le plus souvent utilisé, suivis des roadsters (23 %). La moitié des victimes ont subi une ou plusieurs blessures mineures (MAIS 1) et 15 % ont subi au moins une blessure grave (MAIS ≥ 3). 19 % des victimes ont eu une lésion à la tête/face, 13 % ont eu une lésion à la tête et 9 % une lésion à la face.

Les conducteurs portant un casque intégral sont plutôt des conducteurs de motos lourdes et sont mieux équipés en termes de protection vestimentaire (blouson, pantalon, gants, bottes et protection dorsale) ainsi que d'équipement rétro-réfléchissant. Les conducteurs portant un casque non-intégral sont souvent les usagers de scooters ainsi que de motos telles que trail, supermotard et tout-terrain dont la cylindrée est relativement plus faible.

Tableau 27 : description des victimes en fonction du type de casque porté (intégral ou non)

Caractéristiques	Population N _{obs} (% _w)	Intégral N _{obs} (% _w)	Non-intégral N _{obs} (% _w)	p-value χ^2
Sexe				0,190
Femme	45 (8,5)	32 (7,4)	13 (12,0)	
Homme	360 (91,5)	280 (92,6)	80 (88,0)	
Âge				0,189
14-24	136 (47,7)	109 (47,8)	27 (47,3)	
25-49	179 (43,0)	142 (44,5)	37 (37,9)	
50+	90 (9,3)	61 (7,7)	29 (14,8)	
Consommation d'alcool				0,012
Non	398 (97,9)	311 (99,3)	87 (93,2)	
Oui	7 (2,1)	1 (0,7)	6 (6,8)	
Motif de déplacement				0,259
Trajet domicile-travail/école	182 (37,6)	149 (39,7)	33 (30,7)	
Déplacement professionnel	19 (3,6)	11 (2,6)	8 (7,2)	
Loisirs	163 (48,1)	123 (47,1)	40 (51,6)	
Autre	41 (10,6)	29 (10,6)	12 (10,5)	
Catégorie de 2RM (cylindrée)				< 0,001
Cyclomoteur (< 50 cm ³)	102 (37,1)	69 (31,5)	33 (56,1)	
Motocyclette légère (50-125 cm ³)	67 (15,5)	42 (14,7)	25 (18,3)	
Motocyclette lourde (≥ 125 cm ³)	236 (47,4)	201 (53,8)	35 (25,7)	
Type de 2RM				< 0,001
Scooter	131 (42,6)	75 (34,5)	56 (70,4)	
Basique/routière /custom	75 (10,4)	55 (10,6)	20 (9,8)	
Roadster	99 (23,2)	98 (29,5)	1 (1,8)	
Sportive	32 (8,6)	29 (9,1)	3 (7,2)	
Autre (trail/supermotard/tout-terrain)	68 (15,2)	55 (16,4)	13 (10,9)	
Blouson de moto				< 0,001
Non	116 (36,6)	64 (27,3)	52 (68,5)	
Oui	289 (63,4)	248 (72,7)	41 (31,5)	
Blouson de pantalon				0,002
Non	321 (80,0)	235 (75,9)	86 (93,9)	
Oui	84 (20,0)	77 (24,1)	7 (6,1)	
Bottes, chaussures montantes				< 0,001
Non	199 (57,5)	129 (49,9)	70 (83,6)	
Oui	206 (42,5)	183 (50,1)	23 (16,4)	
Protection dorsale				< 0,001
Non	279 (72,3)	194 (66,6)	85 (91,8)	
Oui	126 (27,7)	118 (33,4)	8 (8,2)	
Gants				< 0,001
Non	49 (17,0)	25 (9,7)	24 (41,8)	
Oui	356 (83,0)	287 (90,3)	69 (58,2)	
Équipement rétro-réfléchissant				0,003
Non	340 (83,2)	254 (79,9)	86 (94,3)	
Oui	65 (16,8)	58 (20,1)	7 (5,7)	
Gravité globale des blessures				0,610
MAIS 1	216 (54,4)	165 (54,2)	51 (55,1)	
MAIS 2	117 (30,4)	89 (29,4)	28 (33,7)	
MAIS 3+	72 (15,2)	58 (16,4)	14 (11,2)	
Lésion à la tête/face				0,007
Non	325 (81,5)	260 (85,0)	65 (69,4)	
Oui	80 (18,5)	52 (15,0)	28 (30,6)	
Lésion à la tête				0,693
Non	347 (86,9)	269 (87,3)	78 (85,4)	
Oui	58 (13,1)	43 (12,7)	15 (14,6)	
Lésion à la face				< 0,001
Non	368 (91,2)	295 (95,0)	73 (78,2)	
Oui	37 (8,8)	17 (5,0)	20 (21,8)	

Protection apportée à la face et à la tête par le port d'un casque intégral

Afin d'évaluer l'efficacité du port d'un casque contre les lésions à la face et les lésions à la tête en fonction du type de casque, deux analyses ont été effectuées, l'une pour estimer les facteurs de risque de lésion à la face, l'autre les facteurs de lésion à la tête. Le Tableau 28 montre le risque de lésion à la face en fonction des facteurs potentiels (type de casque compris), en comparant les cas (victimes avec une lésion à la face) aux témoins (victimes sans lésion à la tête/face).

Tableau 28 : risque de lésion à la face chez les victimes ayant reçu un choc à la tête/face

	Cas Victimes avec une lésion à la face (N _{obs} = 37) % _w	Témoins Victimes sans lésion à la tête/face (N _{obs} = 325) % _w	OR brut (IC 95 %)	OR ajusté (IC 95 %)
Genre			<i>p</i> = 0,889	
Femme	9,7	8,9	1,10 (0,30-3,99)	
Homme	90,3	91,1	Référence	
Âge			<i>p</i> = 0,720	
14-24	42,2	49,2	0,72 (0,29-1,76)	
25-49	49,7	41,5	Référence	
50+	8,1	9,3	0,73 (0,24-2,24)	
Consommation d'alcool			<i>p</i> = 0,366	
Non	98,0	95,6	Référence	
Oui	2,0	4,4	2,31 (0,37-14,33)	
Type de casque			<i>p</i> < 0,001	<i>p</i> = 0,020
Intégral	44,0	80,7	0,19 (0,08-0,44)	0,31 (0,11-0,83)
Non intégral	56,0	19,3	Référence	Référence
Catégorie de 2RM (cylindrée)			<i>p</i> = 0,505	
Cyclomoteur (< 50 cm ³)	32,4	38,0	Référence	
Motocyclette légère (50-125 cm ³)	23,0	14,4	1,88 (0,58-6,14)	
Motocyclette lourde (≥ 125 cm ³)	44,6	47,6	1,1 (0,41-2,98)	
Type de 2RM			<i>p</i> = 0,211	
Scooter	64,3	39,8	Référence	
Basique/custom/routière	7,0	11,2	0,39 (0,11-1,34)	
Roadster	14,3	24,1	0,37 (0,12-1,12)	
Sportive	4,4	8,8	0,31 (0,06-1,60)	
Autre (trail/supermotard/tout-terrain)	10,1	16,1	0,39 (0,11-1,35)	
Type d'accident			<i>p</i> = 0,496	
2RM seul	26,7	33,2	Référence	
Autre	73,3	66,8	1,37 (0,55-3,37)	
Type de heurt de la tête/face			<i>p</i> < 0,001	<i>p</i> < 0,001
Sol/chaussée	23,1	75,6	Référence	Référence
Véhicule	46,4	14,4	10,5 (3,49-31,65)	7,66 (2,38-24,65)
Objet fixe	8,2	2,8	9,55 (1,95-46,85)	9,27 (2,14-40,07)
Inconnu	22,3	7,2	10,1 (2,88-35,35)	7,29 (1,89-28,20)
Vitesse de roulement du 2RM*			<i>p</i> = 0,729	
			1,00 (0,98-1,01)	

* Les 8 % de valeurs manquantes pour la vitesse de roulement ont été imputées de façon simple au moyen d'une régression linéaire, en utilisant des variables auxiliaires corrélées à la vitesse de roulement.

Le risque de lésion à la face n'est pas associé aux variables telles que le sexe, l'âge, la cylindrée du 2RM, le type de 2RM, le type d'accident et la vitesse de roulement. Il est en revanche associé au type de heurt de la tête/face lors du choc, et au type de casque porté. Le risque de lésion à la face apparaît beaucoup plus élevé en cas de heurt d'un véhicule ou d'un objet fixe présent sur ou autour de la chaussée en comparaison avec un heurt sur le sol ou la chaussée. Le risque de subir au moins une lésion à la face est significativement plus faible pour les victimes portant un casque intégral, comparé à celles portant un casque non-intégral, avec un OR ajusté égal à 0,31 (IC 95 % : 0,11-0,83).

Le risque de lésion à la tête a également été étudié en considérant tous les facteurs précédents. Aucune significativité des variables n'a été trouvée (y compris le type de casque) dans l'analyse du risque de lésion à la tête. Le Tableau 29 montre uniquement les résultats concernant le type de casque et le type de heurt de la tête/face.

Tableau 29 : risque de lésion à la tête chez les victimes ayant reçu un choc à la tête/face

	Cas Victimes avec une lésion à la tête (N _{obs} = 58) % _w	Témoins Victimes sans lésion à la tête/face (N _{obs} = 325) % _w	OR brut (IC 95 %)
Type de casque			<i>p</i> = 0,408
Intégral	74,9	80,7	0,71 (0,32-1,60)
Non intégral	25,1	19,3	Référence
Type de heurt de la tête/face			<i>p</i> = 0,161
Sol/chaussée	57,4	75,6	Référence
Véhicule	28,4	14,4	2,59 (1,06-6,32)
Objet fixe	3,9	2,8	1,84 (0,43-7,90)
Inconnu	10,3	7,2	1,88 (0,72-4,96)

Ainsi, selon ces deux analyses séparées, le casque intégral protège mieux le visage de l'utilisateur que le non-intégral, alors qu'on ne met pas en évidence de différence d'effet du type de casque sur la présence de lésions au crâne ou au cerveau.

5.4.3. Discussion

Nous nous sommes intéressés à la protection supplémentaire potentiellement offerte par le casque intégral, sachant que la plupart des utilisateurs (98 %) ont déclaré porter un casque correctement attaché. Dans le cadre de l'enquête, le recueil de l'information sur le type de casque nous a permis de comparer les effets relatifs des casques intégraux et des casques non-intégraux. Cependant pour un casque non-intégral, nous ne savons pas si le casque est de type modulaire, auquel cas son effet pourrait être très proche de celui d'un casque intégral, de type jet (sans mentonnière), ou de type bol (protection faible, non homologué en France). Nous ne savons pas non plus si le casque est toujours présent sur la tête de l'utilisateur à la suite de l'accident. Malgré cette imprécision, les résultats que nous obtenons sont proches des résultats des quelques études antérieures.

Comparaison avec d'autres études

Très peu de recherches ont étudié l'effet relatif des différents types de casque sur la protection des blessures du visage et de la tête lors des accidents de 2RM. Concernant les lésions à la face, des études ont trouvé que les casques intégraux apportaient plus de protection que les casques non intégraux. En cas de port d'un casque intégral, (Vaughan 1977) a montré que le risque de présence d'une lésion à la face est divisé par 2 ou 3 et (Brewer et al. 2013) a montré que la réduction du risque relatif d'avoir une fracture au visage atteint 73 % ; (Whitaker 1980) a trouvé que la proportion de lésion à la face est inférieure chez les porteurs de casque intégral par rapport aux porteurs de casque non-intégral (7 % vs 24 %). Notre étude montre que le casque intégral divise le risque d'être blessé à la face par 3 par rapport au casque non-intégral.

Concernant les lésions à la tête, certaines études ont rapporté que, par rapport aux casques intégraux, d'autres casques étaient associés à un risque plus élevé de lésions à la tête (Brewer et al. 2013; Tsai et al. 1995; Yu et al. 2011), alors que d'autres études n'ont pas trouvé de différence significative d'effet protecteur à la tête lié au type de casque (Ramli et al. 2014; Vaughan 1977). Notre étude ne met pas en évidence de différence du type de casque sur la présence de lésions à la tête.

Forces de l'étude

La principale force de l'étude est l'utilisation d'un échantillon ciblé sur les seules victimes usagers de 2RM ayant reçu un choc à la tête/face lors de l'accident. Les données fournissent des informations sur le type de casque, le type de heurt de la tête et la vitesse de roulement qui sont rarement disponibles. Pour les usagers de 2RM, l'impact direct de la tête contre un objet est la cause la plus évidente d'une blessure de la tête (Cannell et al. 1982), il est donc très important de mesurer l'effet des différents types de casque contre les blessures de la tête ou les blessures du visage, ajusté sur le type d'objet heurté.

De plus, l'enquête réalisée a l'avantage d'utiliser le Registre comme base de sondage, une base exhaustive qui recense la quasi-totalité des victimes accidentées et blessées sur la route dans le Rhône. Cela nous a permis d'inclure des victimes très peu blessées dans la population d'étude, ce qui n'est pas toujours le cas dans d'autres études (Brown et al. 2015; Cannell et al. 1982; Ramli et al. 2014).

Limites

L'étude comporte plusieurs limites. Premièrement, pour ce qui concerne l'enquête par auto-questionnaire, le taux de réponse était relativement faible et le groupe de participants différait du groupe des non-participants. Cela peut biaiser les résultats, mais l'utilisation des poids de redressement de non-réponses nous a permis de minimiser ces éventuels biais. Deuxièmement, les enquêtés ont pu répondre de façon imprécise du fait de l'ancienneté de l'accident et du biais de mémoire susceptible d'en découler (entre 2 et 7 ans avant l'enquête). Troisièmement, il est possible

que certaines personnes n'aient pas bien compris certaines questions, ou aient fourni une réponse inexacte pour des questions pouvant impliquer leur responsabilité dans l'accident (vitesse, consommation d'alcool). Quatrièmement, certaines informations importantes, telles que la zone d'impact de la tête/face et la vitesse de choc, ne sont pas disponibles. Par conséquent, la zone d'impact n'a pas pu être considérée dans l'étude. Même si nous savons que le conducteur a reçu un choc à la tête/face contre un objet et quel type d'objet a été heurté, nous ne connaissons pas la zone précise d'impact sur le casque du pilote. Donc, si l'impact n'impliquait pas la région faciale, l'effet mesuré d'un casque intégral comparé à d'autres types de casque sur les lésions à la face pourrait être biaisé. Par ailleurs, la vitesse de roulement a été utilisée à défaut de la vitesse de choc, car ces deux vitesses sont corrélées.

Enfin, le dernier point à soulever concerne l'existence d'un potentiel biais de sélection du groupe de témoins. N'ayant que des données de victimes blessées à disposition, nos témoins étaient les victimes casquées ayant reçu un choc à la tête/face sans blessure à la tête/face, mais avec au moins une blessure ailleurs. Le groupe de témoins idéal devrait être constitué des victimes casquées ayant reçu un choc à la tête/face sans blessure à la tête/face, qu'ils aient eu une blessure ailleurs ou non. Autrement dit, il manque dans le groupe témoin les victimes casquées ayant reçu un choc à la tête/face, mais ne présentant aucune blessure. En toute rigueur, il n'y a pas de raison que notre groupe de témoins blessés soit représentatif des usagers blessés et non blessés ayant reçu un choc à la tête/face. Il est donc possible qu'il existe un biais de sélection sur les estimations données. De récents résultats théoriques, invoquant les modèles causaux structuraux (Bareinboim et al. 2014; Bareinboim and Pearl 2012), ont démontré formellement l'existence de biais lorsque la sélection dépendait à la fois de l'exposition et de l'événement d'intérêt. Or, ces deux conditions s'appliquent dans le cas de notre étude. D'une part, la sélection sur le fait d'être blessé de manière générale dépend des équipements de protection et donc du type de casque, et d'autre part, le fait d'être blessé dépend également de la blessure à la tête et de la blessure à la face. Ce biais étant avéré, il est intéressant de s'interroger sur le sens et l'ampleur de ce biais comme d'autres auteurs l'ont fait en sécurité routière concernant le biais induit par les analyses en responsabilité (Dufournet 2018; Dufournet et al. 2016). Dans notre cas, si on fait l'hypothèse que les accidentés indemnes le sont effectivement en partie grâce à un meilleur équipement, le taux de port du casque intégral est alors sous-estimé dans notre groupe de témoins, ce qui entraîne une sous-estimation de l'effet protecteur du casque intégral mis en évidence dans notre étude.

Conclusion

Le casque intégral apporte une meilleure protection au visage que le casque non intégral, mais la différence de protection apportée au crâne ou au cerveau selon le type de casque n'est pas mise en évidence, et nécessite des recherches supplémentaires. Nos résultats encouragent clairement l'utilisation d'un casque intégral chez les usagers de 2RM.

Chapitre 6

Discussion générale

En 2016, plus de 20 000 accidents routiers ont impliqué au moins un 2RM, soit presque un tiers des accidents routiers, pour un parc circulant de 2RM estimé à 3,6 millions en 2011. Malgré leur part importante dans le bilan accidentologique, les accidents de 2RM ont été moins étudiés dans la littérature que les accidents de véhicules à quatre roues. Afin de proposer des mesures efficaces contre l'insécurité en 2RM, il est nécessaire de comprendre les difficultés particulières rencontrées par les usagers de 2RM. Ce travail de thèse aborde aussi bien les aspects de sécurité primaire que secondaire, à partir des données du projet VOIESUR, du Registre du Rhône et d'une enquête spécifique SECU2RM.

La richesse des données VOIESUR nous a permis d'étudier les problèmes de détectabilité des 2RM par les automobilistes dans différentes configurations d'accidents, et de quantifier les facteurs de risque de survenue d'accidents PDC, en exploitant les informations telles que l'état de la chaussée, le type de moto ou l'estimation de la vitesse à laquelle les véhicules roulaient avant la situation d'urgence (information très rarement disponible dans les données d'accidents).

Cette base VOIESUR a cependant quelques inconvénients : elle n'inclut que les accidents corporels dont les forces de l'ordre ont eu connaissance et pour lesquels ils ont dressé un PV. Ceci entraîne une sous-estimation de certains accidents, en particulier pour ceux concernant les 2RM, les accidents seuls sans tiers, ou les accidents dans lesquels les usagers de 2RM ne sont que légèrement blessés. De plus, les informations sur les lésions des usagers ne sont pas toujours renseignées, et l'information sur les équipements de protection portés par les usagers est peu souvent présente.

Notre unité de recherche dispose par ailleurs d'un recueil hospitalier des victimes de la circulation routière dans le Rhône (le Registre), qui recense en moyenne 3 fois plus d'accidents que le recueil des forces de l'ordre sur le même territoire. Il contient un bilan lésionnel consolidé pour chaque victime, ainsi qu'un nombre restreint d'informations relatives à leur accident, très limité comparé à la base VOIESUR. À partir du Registre, nous avons pu réaliser l'enquête nommée SECU2RM en sollicitant les 7 148 victimes blessées en 2RM dans le Rhône entre 2010 et 2014, qui a permis de recueillir davantage d'informations notamment sur les circonstances de leur accident (questions inspirées des données VOIESUR), les chocs reçus, les équipements de protection passifs portés par les usagers, etc. L'enquête nous a permis d'évaluer l'efficacité des équipements de protection auprès de 970 répondants et nous a également permis d'étudier les pertes de contrôle à partir des déclarations des

usagers eux-mêmes, puis de comparer ces derniers résultats à ceux obtenus à partir des données de VOIESUR.

6.1. Synthèse des résultats

6.1.1. Survenue d'accidents en moto

Dans ce travail de thèse, nous avons tout d'abord étudié les problèmes d'interaction entre les motocyclistes et les automobilistes. À partir des données VOIESUR, nous avons observé que la moitié des collisions entre les motos et les VL avaient eu lieu dans une intersection, la plupart des motos impliquées en intersection allant tout droit et étant prioritaires par rapport aux VL. La comparaison des accidents moto-VL et VL-VL a fait apparaître que les automobilistes ont davantage été victimes de défaillances de détection face à une moto que face à un VL en intersection. Cette défaillance a surtout été observée lorsque l'automobiliste tournait à gauche et que la moto arrivait en face ou à gauche de l'automobiliste. Ce problème de détection particulier des motos par les automobilistes peut être expliqué par le fait que le système visuel humain a plus de mal à percevoir des objets plus petits et plus étroits. Une autre explication possible est que les motos roulaient plus vite que les VL, mais cette différence de vitesse n'a pas été démontrée par nos résultats. Il serait par ailleurs intéressant d'étudier la relation entre la défaillance de détection des motos par les automobilistes et les couleurs des motos ou des équipements portés par les usagers, informations relatives à la conspécuité de l'ensemble moto-motocycliste dont nous ne disposons pas.

Nous avons ensuite abordé les accidents PDC et les principaux facteurs de leur survenue. Les accidents PDC représentent une part importante de l'accidentalité en moto du fait de la dynamique de ces véhicules et de leur sensibilité à l'infrastructure. La plupart des accidents PDC n'impliquent pas d'autres usagers et sont donc sous-déclarés dans les recueils accidentologiques effectués par les forces de l'ordre : les accidents PDC représentent 16 % des accidents de moto non mortels d'après les données VOIESUR alors que ce chiffre atteint 30 % d'après notre enquête SECU2RM, ce qui corrobore la sous-estimation de ce type d'accident par les forces de l'ordre. Par ailleurs, les accidents PDC représentent environ 45% des accidents mortels de moto. En raison de la part importante des accidents PDC dans le bilan accidentologique des 2RM, nous nous sommes intéressés aux facteurs de risque à l'origine de la survenue de ces accidents PDC, en particulier les facteurs liés à l'infrastructure.

Dans la littérature, les résultats sur la quantification des effets des facteurs de survenue d'accidents sont principalement issus d'études cas-témoins. Les témoins sont rarement constitués d'un groupe de conducteurs non accidentés et sélectionnés au hasard au bord de la route mais sont souvent formés d'un groupe de conducteurs accidentés et non responsables. Ce dernier point a été développé dans la « méthode de l'exposition quasi-induite » qui suppose que seules des conditions fortuites ont conduit

les non responsables à être impliqués dans un accident et que, par conséquent, ils sont représentatifs des conducteurs circulants. Ainsi, nous avons réalisé une étude cas-témoins, dans laquelle les cas sont des motocyclistes ayant perdu le contrôle de leur moto (sans intervention d'autres usagers routiers) et les témoins sont des motocyclistes n'ayant pas perdu le contrôle et non responsables de leur accident. Cette méthodologie permet d'estimer le risque d'accident PDC non seulement en ce qui concerne l'erreur humaine, mais également par rapport aux caractéristiques des motos et de la route.

À partir de deux sources de données aux caractéristiques très différentes, les facteurs suivants ont été trouvés associés à la survenue des accidents PDC : alcool, jour de l'accident, type de moto, sinuosité de la route, profil de la route, adhérence de la route et vitesse. Nous avons observé un risque d'accident PDC très élevé associé à la conduite sous l'influence de l'alcool. Toutefois, étant donnée la très faible prévalence de l'alcool chez nos témoins comparés aux motocyclistes circulants, il convient d'interpréter l'effet de l'alcool avec précaution. Le risque d'accident PDC en moto est environ trois fois plus élevé pendant le weekend qu'en semaine, peut-être parce que les motocyclistes adoptent un comportement plus risqué lors des sorties le weekend, ou parce qu'ils conduisent dans des lieux dans lesquels ils circulent rarement. Le risque d'accident PDC est associé au type de moto. Ainsi, par comparaison aux motos basiques et routières, les tout-terrains ont un risque significativement plus élevé d'être impliqués dans un accident PDC, tout comme les motos sportives (ce dernier résultat est bien montré dans l'étude VOIESUR mais ne l'est pas dans l'étude SECU2RM). Comme attendu, le risque d'accident PDC augmente avec le carré de la vitesse.

Les résultats les plus intéressants concernent les effets de l'alignement, du profil et de l'état de la surface de la route sur la survenue d'accidents PDC qui, bien qu'attendus, sont rarement estimés à partir de données d'accidents. Le risque d'accident PDC pour les motocyclistes est plus élevé en courbe qu'en ligne droite, ainsi qu'en montée ou en descente par comparaison à une route plane. Nous montrons qu'une mauvaise adhérence de la route (chaussée mouillée, déformée ou glissante en raison d'objets glissants), augmente considérablement le risque de perte de contrôle, en particulier lorsque la dégradation de l'adhérence est inattendue pour les motocyclistes en raison de la présence de gravillons, de corps gras, de plaques d'égout, de marquages au sol, etc. sur la route.

Ainsi le risque pour un conducteur de perdre le contrôle de son 2RM est manifeste en virage, sur une chaussée en pente ou au revêtement dégradé. Quatre explications peuvent être avancées : soit les usagers surestiment leur capacité de conduite, soit ils sous-estiment la difficulté de conduite sous ces conditions, soit certains aménagements routiers ne sont pas pleinement adaptés aux 2RM, soit certaines conditions de conduite dégradées sont difficilement prévisibles pour les usagers de 2RM.

Concernant l'efficacité du système ABS, nous n'avons pas pu le mettre en évidence à partir des données disponibles. Il s'agit pourtant d'un système prometteur censé limiter les blocages de roues pouvant donner lieu à des pertes de contrôle, surtout en cas de freinage violent et plus encore quand le

2RM n'est pas en position verticale. Le potentiel de ce dispositif reste donc à évaluer en situation réelle dans de futurs travaux de recherche.

6.1.2. Conséquences lésionnelles des victimes en 2RM et dispositifs de protection passifs

En raison de l'absence de carrosserie, les usagers de 2RM ne peuvent compter que sur leurs équipements portés en cas d'accident. Grâce au recueil des données de l'enquête, couplé aux données lésionnelles des victimes du Registre, l'efficacité de ces équipements a été évaluée.

D'après l'enquête, au moment de l'accident, 20 % des victimes ne portaient aucun équipement vestimentaire spécifique. Les gants de moto étaient l'équipement le plus porté par les usagers (76 %), suivis par le blouson de moto (59 %) et les bottes ou les chaussures montantes (37 %). Par ailleurs, 23 % des usagers disposaient d'une protection dorsale et seulement 0,3 % étaient équipés d'un airbag.

Les lésions aux membres supérieurs et inférieurs, au thorax et à la colonne vertébrale ont été étudiées selon les équipements vestimentaires que portaient les usagers. Le port de vêtements de protection dédiés à la moto (blouson, gants, pantalons et bottes ou chaussures montantes), est associé à un risque plus faible de subir une lésion cutanée superficielle (abrasions, contusions, lacération) aux membres supérieurs et inférieurs. Cet effet protecteur vis-à-vis des lésions cutanées superficielles vient surtout de la diminution des abrasions/plaies plutôt que la diminution des contusions. En revanche, ces équipements ne semblent pas protéger de blessures plus graves telles que fracture, luxation ou entorse, sauf pour les bottes ou chaussures montantes qui réduisent le risque de fracture de la cheville ou du pied. Concernant les lésions à la colonne vertébrale, aucun effet protecteur d'une plaque dorsale n'est mis en évidence.

Nous avons aussi estimé l'efficacité du port du casque selon le type de casque. 98 % des conducteurs de 2RM ont déclaré porter un casque correctement attaché lors de l'accident et trois quarts d'entre eux portaient un casque intégral. Le casque intégral apporte une meilleure protection à la face que les autres types de casque : les victimes portant un casque intégral présentent un risque 3 fois plus faible de lésion à la face, comparées aux victimes portant un casque non-intégral. Aucune différence d'efficacité des casques intégraux et des casques non-intégraux contre les lésions à la tête n'est mise en évidence.

6.2. Perspectives de recherche

6.2.1. Perspectives de recherche avec les données présentes

Dans cette thèse, certains points n'ont pas été abordés ou ont été abordés de façon peu détaillée et pourraient faire l'objet de futurs travaux.

L'enquête SECU2RM a permis de recueillir un grand nombre d'informations importantes mais rarement disponibles dans des données d'accidents : caractéristiques du 2RM (type, puissance, système d'assistance au freinage), manœuvres effectuées par le 2RM lors du pré-accident (dépassement, remontée de file, etc.), état de la chaussée, gêne de vision et erreurs commises par l'usager du 2RM et par l'usager du véhicule tiers. Une description de ces informations a été faite dans l'annexe B, mais toutes ces informations mériteraient une exploitation plus approfondie.

Comme nous avons étudié l'effet de l'ABS sur la survenue d'accident PDC, il serait intéressant d'étudier l'efficacité de l'ABS sur l'ensemble des accidents en utilisant la méthode de l'exposition induite déjà utilisée dans certaines études (Rizzi et al. 2009). Autre dispositif d'aide au freinage, la présence d'un CBS a été questionnée. L'efficacité réelle de ce système serait intéressante à évaluer, puisque, en plus de l'ABS, il assure la répartition du freinage avant/arrière qui, sinon, doit être effectuée par l'usager, ce qui est particulièrement difficile en situation d'urgence.

Enfin, pour le département du Rhône et pour l'année 2011, nous disposons à la fois des données de l'enquête et des données du projet VOIESUR. Il est donc possible d'avoir l'ensemble des informations pour le petit nombre d'individus en commun, environ 50. Ainsi une comparaison entre les informations saisies par les forces de l'ordre et les experts en accidentologie, et les déclarations des conducteurs de 2RM accidentés, pourrait être effectuée. Ceci est particulièrement intéressant concernant les informations sensibles telles que la responsabilité des personnes impliquées, la vitesse de roulement, ou la consommation d'alcool, etc. En raison du faible effectif des individus retrouvés dans les deux bases, les analyses devront se cantonner à une dimension qualitative.

6.2.2. Perspectives de recherche sur la question de la vitesse pratiquée des 2RM

La vitesse des véhicules, 2RM ou pas, joue un rôle central dans la survenue d'un accident et sa gravité. Une sortie de route en virage peut être due à une vitesse excessive par rapport aux capacités du véhicule ou à l'adhérence de la chaussée. Un accident en intersection entre deux véhicules peut provenir d'une vitesse excessive de l'un des deux, qui peut à la fois poser un problème insurmontable de freinage, de temps pour réagir trop bref ou de mauvaise estimation de la vitesse d'approche par l'antagoniste qui s'attend à ce que l'autre usager respecte la limitation de vitesse. En fait, au-delà de ces deux exemples, la vitesse à l'impact est un paramètre essentiel de l'énergie dissipée en cas de collision.

Au cours de ce travail, nous avons pu mettre en regard la vitesse de roulement des 2RM avec le problème de détectabilité des 2RM, et quantifier l'effet de la vitesse sur la survenue d'accidents PDC. Néanmoins, nos résultats sur l'importance de la vitesse dans la survenue d'accidents sont encore limités, à cause de nombreuses valeurs manquantes des vitesses estimées dans l'étude VOIESUR, ainsi qu'en raison de l'imprécision ou de la sous-estimation potentielle des vitesses auto-déclarées par les victimes dans l'enquête. Par ailleurs, à propos du problème de détection, nous avons aussi tenté de comparer les vitesses pratiquées par les motos prioritaires allant tout droit et entrant en collision avec un VL dans des configurations précises en intersection selon le fait que l'automobiliste a eu une défaillance de détection ou non, comme dans l'étude de (Clabaux et al. 2012). Néanmoins, nous n'avons rien pu montrer du fait du peu d'observations restantes après sélection sur une série de critères s'ajoutant à une part importante de vitesses manquantes (les résultats ne sont pas montrés dans ce travail).

Il est clair qu'il est très difficile d'avoir l'information sur la vitesse pratiquée par les véhicules accidentés. Dans un futur pas trop éloigné, on peut espérer disposer de données de vitesse enregistrées par les véhicules accidentés de façon systématique, à la fois vitesse à l'impact (ce qui est déjà récupérable ponctuellement dans les systèmes d'airbag des voitures) et vitesse à laquelle roulait le véhicule dans les phases pré-accidentelles (ce qui suppose un enregistrement en continu).

6.2.3. Perspectives de recherche sur la question de l'ABS

Dans le cadre de la thèse, nous avons aussi tenté de mesurer l'efficacité de l'ABS à l'aide des données SOeS, qui comprennent des données d'exposition des 2RM circulants en 2011 en France ainsi que des indications sur les accidents éventuels des usagers au cours des 24 derniers mois. En tenant compte du kilométrage parcouru, le risque de survenue d'un accident est estimé plus faible chez les usagers de 2RM équipé d'un ABS que chez les usagers de 2RM non équipé (résultat non présenté). Ce résultat va dans le sens attendu, mais nous ne savons pas si cet effet protecteur est dû à l'effet propre de l'ABS ou à la différence de comportements entre les deux groupes d'usagers correspondants. Pour distinguer le pur effet de l'ABS, il serait nécessaire de disposer d'informations sur la perception du risque en 2RM et le comportement de conduite des usagers, informations qui n'ont pas été recueillies dans la base SOeS. Il faudrait de plus avoir des éléments sur les circonstances d'accident pour estimer dans quelle mesure un système ABS a ou aurait pu y jouer un rôle.

6.2.4. Perspectives de recherche sur la question des trois-roues

La difficulté de maîtrise d'un deux-roues en virage et/ou au freinage peut potentiellement être atténuée sur les véhicules disposant de deux roues à l'avant, avec un système pendulaire permettant l'inclinaison en virage comme sur un deux-roues. Ces véhicules à trois roues, apparus il y a quelques années,

représentent actuellement environ un quart des ventes de scooters. Dans notre enquête, nous avons distingué les scooters trois-roues des deux-roues afin d'étudier leurs différences dans le bilan de l'accidentalité. Le nombre trop faible (13 scooters) de trois-roues présents dans le recueil de l'enquête ne nous a pas permis d'analyser les différences entre les circonstances d'accidents de scooters selon qu'ils ont deux ou trois roues. Il est possible que ce faible nombre vienne du fait que ces scooters sont moins souvent accidentés que les scooters à deux roues, mais nous ne pouvons pas calculer les incidences correspondantes, faute de disposer des données d'exposition distinguant ces deux types de scooters. Des recherches devront être menées sur le sujet pour estimer le gain de sécurité éventuel apporté par ces véhicules, en ajustant sur le type d'utilisation qui en sera fait.

Conclusion

Ce travail de thèse met en évidence d'une part le problème de détectabilité d'un 2RM par les automobilistes en intersection et l'importance de l'état et du profil de la route dans les accidents associés à une perte de contrôle du 2RM par son conducteur, d'autre part la protection apportée aux usagers de 2RM en cas d'accident par les équipements de protection portés.

Suite aux résultats que nous avons obtenus, en matière de prévention, plusieurs recommandations peuvent être énoncées :

- Les automobilistes doivent davantage prêter attention aux 2RM à l'approche d'une intersection, surtout quand ils tournent à gauche ; il est souhaitable de mieux faire prendre conscience aux motocyclistes de leur manque de visibilité par les autres usagers de la route en intersection et par conséquent, de la nécessité pour eux d'être très vigilants aux abords d'une intersection, même quand ils sont prioritaires.
- Il serait important de faire comprendre aux usagers de 2RM qu'ils doivent être plus attentifs en virage et, ce qui est sans doute moins connu, quand la chaussée est en pente (y compris en montée). Il est tout aussi important que les endroits où la chaussée est dégradée soient clairement indiqués à une distance adaptée par les services de voirie. Cette recommandation est particulièrement valable pour les chaussées gravillonnées, mais est plus difficile à mettre en œuvre quand il s'agit de corps gras ou de plaques d'égout.
- Il est recommandé pour les usagers de 2RM de porter plus systématiquement des vêtements de moto ainsi qu'un casque intégral.

Références

- AAAM. The Abbreviated Injury Scale 1990 Revision - Update 1998. Des Plaines, IL: AAAM; 1998.
- Aare M, Holst H. Injuries from motorcycle-and moped crashes in Sweden from 1987 to 1999. *Inj. Control Saf. Promot.* 2003;10(3):131–138.
- Aarts L, van Schagen I. Driving speed and the risk of road crashes: A review. *Accid. Anal. Prev.* 2006 Mar 1;38(2):215–24.
- ACEM. MAIDS: in-depth investigations of accidents involving powered two wheelers. Brussels: ACEM-Association des Constructeurs Européens de Motorcycle (the motorcycle industry in Europe); 2009 p. 179.
- Aldman B, Cacciola I, Gustafsson H, Nygren A, Wersall J. The protective effect of different kinds of protective clothing worn by motorcyclists. *J. Traffic Med.* 1981;9(4):57–8.
- AMDM. L'airbag en 2&3-roues enquête : 2-roues Lab' [communiqué de presse] [Internet]. 2017. Available from: <https://www.mutuelledesmotards.fr/espace-presse/lairbag-en-23-roues-lenquete-2-roues-lab>
- Amoros E, Martin J-L, Laumon B. Under-reporting of road crash casualties in France. *Accid. Anal. Prev.* 2006 Jul 1;38(4):627–35.
- Ankarath S, Giannoudis PV, Barlow I, Bellamy MC, Matthews SJ, Smith RM. Injury patterns associated with mortality following motorcycle crashes. *Injury.* 2002 Jul;33(6):473–7.
- Bachulis BL, Sangster W, Gorrell GW, Long WB. Patterns of injury in helmeted and nonhelmeted motorcyclists. *Am. J. Surg.* 1988 May 1;155(5):708–11.
- Bareinboim E, Pearl J. Controlling Selection Bias in Causal Inference. PMLR [Internet]. 2012 [cited 2017 Nov 22]. p. 100–8. Available from: <http://proceedings.mlr.press/v22/bareinboim12.html>
- Bareinboim E, Tian J, Pearl J. Recovering from Selection Bias in Causal and Statistical Inference. Twenty-Eighth AAAI Conf. Artif. Intell. [Internet]. 2014 [cited 2017 Nov 22]. Available from: <https://www.aaai.org/ocs/index.php/AAAI/AAAI14/paper/view/8628>
- Beaumont J. On the use of data collection process information for the treatment of unit nonresponse through weight adjustment. *Surv. Methodol.* 2005;31(2):227.
- Bjørnskau T, Nævestad T-O, Akhtar J. Traffic safety among motorcyclists in Norway: A study of subgroups and risk factors. *Accid. Anal. Prev.* 2012 Nov 1;49:50–7.
- Blaizot S, Papon F, Haddak MM, Amoros E. Injury incidence rates of cyclists compared to pedestrians, car occupants and powered two-wheeler riders, using a medical registry and mobility data, Rhône County, France. *Accid. Anal. Prev.* 2013 Sep;58:35–45.
- Bouaoun L, Haddak MM, Amoros E. Road crash fatality rates in France: A comparison of road user types, taking account of travel practices. *Accid. Anal. Prev.* 2015 Feb;75:217–25.
- Braddock M, Schwartz R, Lapidus G, Banco L, Jacobs L. A population-based study of motorcycle injury and costs. *Ann. Emerg. Med.* 1992 Mar 1;21(3):273–8.
- Brewer BL, Diehl AH, Johnson LS, Salomone JP, Wilson KL, Atallah HY, et al. Choice of motorcycle helmet makes a difference: A prospective observational study. *J. Trauma Acute Care Surg.* 2013 Jul;75(1):88–91.
- Brick JM. Unit Nonresponse and Weighting Adjustments: A Critical Review. *J. Off. Stat.* 2013 Jan 1;29.

- Broughton PS, Fuller R, Stradling S, Gormley M, Kinnear N, O'dolan C, et al. Conditions for speeding behaviour: A comparison of car drivers and powered two wheeled riders. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 2009 Sep;12(5):417–27.
- Brown J, Fitzharris M, Baldock M, Albanese B, Meredith L, Whyte T, et al. Motorcycle in-depth crash study [Internet]. 2015 [cited 2018 Mar 29]. Available from: <https://trid.trb.org/view/1375124>
- van Buuren S. Multiple imputation of discrete and continuous data by fully conditional specification. *Stat. Methods Med. Res.* 2007 Jun 1;16(3):219–42.
- Cannell H, King JB, Winch RD. Head and facial injuries after low-speed motor-cycle accidents. *Br. J. Oral Surg.* 1982;20(3):183–191.
- Carlson BL, Williams S. A comparison of two methods to adjust weights for non-response: propensity modeling and weighting class adjustments. *Proc. Annu. Meet. Am. Stat. Assoc.* 2001. p. 5–9.
- Cavallo V, Ranchet M, Pinto M, Espi e S, Vienne F, Dang N-T. Improving car drivers' perception of motorcycle motion through innovative headlight configurations. *Accid. Anal. Prev.* 2015 Aug;81:187–93.
- Cawich S, Rose R, Harding H, Crandon I, McDonald A, Fearron-Boothe D. Extremity Injuries From Motorcycle Road Traffic Accidents: The Experience From a Tertiary Referral Hospital in Jamaica. *Internet J. Emerg. Med.* 2008;5(1).
- Cercarelli LR, Arnold PK, Rosman DL, Sleet D, Thornett ML. Travel exposure and choice of comparison crashes for examining motorcycle conspicuity by analysis of crash data. *Accid. Anal. Prev.* 1992 Aug 1;24(4):363–8.
- Chichom-Mefire A, Atashili J, Tsiagadigui JG, Fon-Awah C, Ngowe-Ngowe M. A prospective pilot cohort analysis of crash characteristics and pattern of injuries in riders and pillion passengers involved in motorcycle crashes in an urban area in Cameroon: lessons for prevention. *BMC Public Health [Internet]*. 2015 Sep 18 [cited 2018 Apr 25];15. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4575460/>
- Chiu W-T, Kuo C-Y, Hung C-C, Chen M. The effect of the Taiwan motorcycle helmet use law on head injuries. *Am. J. Public Health.* 2000;90(5):793.
- Chung Y, Song T-J, Yoon B-J. Injury severity in delivery-motorcycle to vehicle crashes in the Seoul metropolitan area. *Accid. Anal. Prev.* 2014 Jan;62:79–86.
- Cini MA, Prado BG, Hinnig P de F, Fukushima WY, Adami F. Influence of type of helmet on facial trauma in motorcycle accidents. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* 2014 Nov;52(9):789–92.
- Clabaux N, Brenac T, Perrin C, Magnin J, Canu B, Van Elslande P. Motorcyclists' speed and "looked-but-failed-to-see" accidents. *Accid. Anal. Prev.* 2012;49:73–77.
- Clarke DD, Ward P, Bartle C, Truman W. The role of motorcyclist and other driver behaviour in two types of serious accident in the UK. *Accid. Anal. Prev.* 2007 Sep;39(5):974–81.
- Craig GR, Sleet R, Wood SK. Lower limb injuries in motorcycle accidents. *Injury.* 1983 Nov 1;15(3):163–6.
- Creaser JI, Ward NJ, Rakauskas ME, Shankwitz C, Boer ER. Effects of alcohol impairment on motorcycle riding skills. *Accid. Anal. Prev.* 2009 Sep;41(5):906–13.
- Crompton JG, Bone C, Oyetunji T, Pollack KM, Bolorunduro O, Villegas C, et al. Motorcycle Helmets Associated with Lower Risk of Cervical Spine Injury: Debunking the Myth. *J. Am. Coll. Surg.* 2011 Mar 1;212(3):295–300.
- Crundall D, Humphrey K, Clarke D. Perception and appraisal of approaching motorcycles at junctions. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 2008 May;11(3):159–67.

Dischinger PC, Ryb GE, Ho SM, Braver ER. Injury patterns and severity among hospitalized motorcyclists: a comparison of younger and older riders. *Annu. Proceedings Association Adv. Automot. Med. Association for the Advancement of Automotive Medicine*; 2006. p. 237.

DISR. Gisements de sécurité routière: les deux-roues motorisés. Paris: Documentation française; 2008.

Dufournet M. Magnitude of selection bias in road safety epidemiology, a primer. ArXiv180506399 Stat [Internet]. 2018 May 16 [cited 2018 Oct 5]; Available from: <http://arxiv.org/abs/1805.06399>

Dufournet M, Lanoy E, Martin J-L, Viallon V. Causal inference to formalize responsibility analyses in road safety epidemiology. Eprint ArXiv160703775 [Internet]. 2016 Jul [cited 2017 May 24]; Available from: <https://arxiv.org/pdf/1607.03775v2.pdf>

Ekmejian R, Sarrami P, Naylor JM, Harris IA. A systematic review on the effectiveness of back protectors for motorcyclists. *Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med.* [Internet]. 2016 Dec [cited 2017 Jul 3];24(1). Available from: <http://sjtrem.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13049-016-0307-3>

Elliot M, Baughan C, Broughton J, Chinn B, Grayson G, Knowles J, et al. Motorcycle safety: a scoping study [Internet]. Crowthorne: TRL; 2003 [cited 2017 Feb 20]. Available from: <https://trl.co.uk/reports/TRL581>

Elliott MA, Baughan CJ, Sexton BF. Errors and violations in relation to motorcyclists' crash risk. *Accid. Anal. Prev.* 2007 May;39(3):491–9.

Engel FL. Visual conspicuity, directed attention and retinal locus. *Vision Res.* 1971 Jun 1;11(6):563–75.

Erdogan MO, Sogut O, Colak S, Ayhan H, Afacan MA, Satilmis D. Roles of Motorcycle Type and Protective Clothing in Motorcycle Crash Injuries [Internet]. *Emerg. Med. Int.* 2013 [cited 2018 Mar 26]. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/emi/2013/760205/>

Erhardt T, Rice T, Troszak L, Zhu M. Motorcycle helmet type and the risk of head injury and neck injury during motorcycle collisions in California. *Accid. Anal. Prev.* 2016 Jan;86:23–8.

Eyssartier C, Meineri S, Gueguen N. Motorcyclists' intention to exceed the speed limit on a 90km/h road: Effect of the type of motorcycles. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 2017 Feb;45:183–93.

Faduyile F, Emiogun F, Soyemi S, Oyewole O, Okeke U, Williams O. Pattern of Injuries in Fatal Motorcycle Accidents Seen in Lagos State University Teaching Hospital: An Autopsy-Based Study. *Open Access Maced. J. Med. Sci.* 2017 Feb 18;5(2):112–6.

Feldkamp G, Junghanns K. The Typical Traffic Accidents in Adolescents: The Motorcycle Accident - Some Epidemiologic Features and the Effectiveness of Safety Helmets and Clothing. *Publ. IRCOBI Secr.* [Internet]. 1976 [cited 2018 May 29]. Available from: <https://trid.trb.org/view/67783>

Fredriksson R, Sui B. Powered Two-Wheeler Accidents in Germany with Severe Injury Outcome-Accident Scenarios, Injury Sources and Potential Countermeasures. 2016 IRCOBI Conf. Proc. Zurich, Switzerland; 2016. p. 12p.

Gadegbeku B, Ndiaye A, Chiron M. Séquelles majeures en traumatologie routière, registre du Rhône, 1996-2003. *BEH - Bull. Epidemiol. Hebd.* 2006;p267-74.

Gershon P, Ben-Asher N, Shinar D. Attention and search conspicuity of motorcycles as a function of their visual context. *Accid. Anal. Prev.* 2012 Jan;44(1):97–103.

Giustini M, Cedri S, Tallon M, Roazzi P, Formisano R, Pitidis A. Use of back protector device on motorcycles and mopeds in Italy. *Int. J. Epidemiol.* 2014 Dec;43(6):1921–8.

Goldstein JP. The Effect of Motorcycle Helmet Use On the Probability of Fatality and the Severity of Head and Neck Injuries. *Eval. Rev.* 1986 Jun 1;10:355–75.

- Goslar PW, Crawford NR, Petersen SR, Wilson JR, Harrington T. Helmet use and associated spinal fractures in motorcycle crash victims. *J. Trauma*. 2008 Jan;64(1):190–6; discussion 196.
- Green D. A Comparison of Stopping Distance Performance for Motorcycles Equipped with ABS, CBS and Conventional Hydraulic Brake Systems. *Int. Motorcycle Saf. Conf. Long Beach, California*; 2006.
- Hancock PA, Wulf G, Thom D, Fassnacht P. Driver workload during differing driving maneuvers. *Accid. Anal. Prev.* 1990;22(3):281–290.
- Harrison WA, Christie R. Exposure survey of motorcyclists in New South Wales. *Accid. Anal. Prev.* 2005 May;37(3):441–51.
- Haworth N, Vulcan P, Bowland L, Pronk N. Estimation of risk factors for fatal single vehicle crashes. Victoria: Monash University Accident Research Centre; 1997 p. 137. Report No.: 121.
- HLDI. Evaluation of motorcycle antilock braking systems, alone and in conjunction with combine control braking systems. Arlington, VA: HLDI; 2013.
- 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):589–597.
- Houston DJ, Richardson LE. Motorcyclist fatality rates and mandatory helmet-use laws. *Accid. Anal. Prev.* 2008 Jan 1;40(1):200–8.
- Huang B, Preston J. A Literature Review on Motorcycle Collisions Final Report. Transport Studies Unit Oxford University; 2004 p. 52.
- Hurt HH, Ouellet JV, Thom DR. Motorcycle accident cause factors and identification of countermeasures Volume I: Technical Report. Traffic Saf. Cent. Univ. South. Calif. Los Angel. Contract No DOT HS-5-01160. 1981;
- ITF. Road Safety Annual Report 2017 [Internet]. Paris: OECD Publishing; 2017. Available from: <http://dx.doi.org/10.1787/irtad-2017-en>
- Jevtić V, Vujanić M, Lipovac K, Jovanović D, Pešić D. The relationship between the travelling speed and motorcycle styles in urban settings: A case study in Belgrade. *Accid. Anal. Prev.* 2015 Feb;75:77–85.
- Khor D, Inaba K, Aiolfi A, Delapena S, Benjamin E, Matsushima K, et al. The impact of helmet use on outcomes after a motorcycle crash. *Injury*. 2017 May;48(5):1093–7.
- Koenig J, Berg FA. Powered two-wheeler accidents: first results of the APROSYS SP 4 implying GIDAS 2002 data. 2007 [cited 2018 Mar 29]. Available from: <https://trid.trb.org/view.aspx?id=1154691>
- Koustanai A, Boloix E, Van Elslande P, Bastien C. Statistical analysis of “looked-but-failed-to-see” accidents: Highlighting the involvement of two distinct mechanisms. *Accid. Anal. Prev.* 2008 Mar;40(2):461–9.
- Kraus JF, Peek-Asa C, Cryer HG. Incidence, severity, and patterns of intrathoracic and intra-abdominal injuries in motorcycle crashes. *J. Trauma*. 2002 Mar;52(3):548–53.
- Kraus JF, Rice TM, Peek-Asa C, McArthur DL. Facial trauma and the risk of intracranial injury in motorcycle riders. *Ann. Emerg. Med.* 2003 Jan;41(1):18–26.
- Kraus JF, Riggins RS, Franti CE. Some epidemiologic features of motorcycle collision injuries. I. Introduction, methods and factors associated with incidence. *Am. J. Epidemiol.* 1975 Jul;102(1):74–98.
- Lardelli-Claret P, Jimenez-Moleon JJ, de Dios Luna-del-Castillo J, Garcia-Martin M, Bueno-Cavanillas A, Galvez-Vargas R. Driver dependent factors and the risk of causing a collision for two wheeled motor vehicles. *Inj. Prev.* 2005 Aug 1;11(4):225–31.
- Lateef F. Riding motorcycles: is it a lower limb hazard? *Singapore Med. J.* 2002 Nov;43(11):566–9.

- Laumon B, Amoros E, Boissier G, Debrisay M-C, Gadegbeku B, Haddak M, et al. Le Registre du Rhône des victimes d'accidents de la circulation routière. Rapport UMRESTTE n°1601. 2016 p. 53 p.
- Laumon B, Gadegbeku B, Martin J-L. Stupéfiants et accidents mortels (projet SAM). Paris: OFDT-Observation Français des Drogues et des Toxicomanies; 2011 Apr p. 166.
- Laumon B, Martin JL, Collet P, Chiron M, Verney MP, NDiaye A, et al. A French Road Accident Trauma Registry: First Results. *Publ. Assoc. Adv. Automot. Med.* [Internet]. 1997 [cited 2018 Apr 16]. Available from: <https://trid.trb.org/view/505564>
- Lee YM, Sheppard E, Crundall D. Cross-cultural effects on the perception and appraisal of approaching motorcycles at junctions. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 2015 May;31:77–86.
- Leibowitz HW, Appelle S. The Effect of a Central Task on Luminance Thresholds for Peripherally Presented Stimuli. *Hum. Factors.* 1969 Aug 1;11(4):387–91.
- Lenguerrand E, Martin J-L, Moskal A, Gadegbeku B, Laumon B. Limits of the quasi-induced exposure method when compared with the standard case–control design. *Accid. Anal. Prev.* 2008 May;40(3):861–8.
- Lin M-R, Chang S-H, Huang W, Hwang H-F, Pai L. Factors associated with severity of motorcycle injuries among young adult riders. *Ann. Emerg. Med.* 2003 Jun 1;41(6):783–91.
- Lin M-R, Kraus JF. A review of risk factors and patterns of motorcycle injuries. *Accid. Anal. Prev.* 2009 Jul;41(4):710–22.
- Liu BC, Ivers R, Norton R, Boufous S, Blows S, Lo SK. Helmets for preventing injury in motorcycle riders. In: The Cochrane Collaboration, editor. *Cochrane Database Syst. Rev.* [Internet]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2008 [cited 2017 Jun 28]. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD004333.pub3>
- Liu H-T, Rau C-S, Wu S-C, Chen Y-C, Hsu S-Y, Hsieh H-Y, et al. Obese motorcycle riders have a different injury pattern and longer hospital length of stay than the normal-weight patients. *Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med.* 2016 Apr 14;24:50.
- Mannering FL, Grodsky LL. Statistical analysis of motorcyclists' perceived accident risk. *Accid. Anal. Prev.* 1995 Feb;27(1):21–31.
- Martensen H, Roynard M. MOTAC – Motorcycle accident causation - Analyse approfondie des accidents graves et mortels impliquant des motocyclistes. Bruxelles, Belgique : Institut Belge pour la Sécurité Routière - Centre de Connaissance Sécurité Routière; 2013.
- McCartt AT, Blonar L, Teoh ER, Strouse LM. Overview of motorcycling in the United States: A national telephone survey. *J. Safety Res.* 2011 Jun;42(3):177–84.
- McIntyre A, Nieuwesteeg M, Cockfield S. Motorcyclist injuries and protective clothing: research with TAC clients. 2011 [cited 2018 Mar 27]. Available from: <https://trid.trb.org/view/1131410>
- METLTM. Gisement de sécurité routière. Paris: Documentation française; 2012.
- Michel J-E, Brenac T, Magnin J, Naude C, PERRIN C. Les pertes de contrôle en courbe. Arcueil: INRETS; 2005. Report No.: N° 262.
- Moskal A, Martin J-L, Laumon B. Helmet use and the risk of neck or cervical spine injury among users of motorized two-wheel vehicles. *Inj. Prev.* 2008 Aug 1;14(4):238–44.
- Moskal A, Martin J-L, Laumon B. Risk factors for injury accidents among moped and motorcycle riders. *Accid. Anal. Prev.* 2012 Nov;49:5–11.
- Moskal A, Martin J-L, Lenguerrand E, Laumon B. Injuries Among Motorised Two-Wheelers in Relation to Vehicle and Crash Characteristics in Rhone, France. 20th Int. Tech. Conf. Enhanc. Saf. Veh. [Internet]. Lyon, France; 2007 [cited 2018 Apr 19]. Available from: <https://trid.trb.org/view/1367062>

- NHTSA/MSF. National Agenda For Motorcycle Safety. National Highway Traffic Safety Administration; 2000.
- Olson PL. Motorcycle conspicuity revisited. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 1989;31(2):141–146.
- Olson PL, Halstead-Nussloch R, Sivak M. Development and Testing of Techniques for Increasing the Coispcuity of Motorcycles And Motorcycle Drivers. Ann Arbor, Michigan: Highway Safety Research Institute, University of Michigan; 1979 p. 150. Report No.: Contract DOT-HS-6-01459.
- Olson PL, Halstead-Nussloch R, Sivak M. The Effect of Improvements in Motorcycle/Motorcyclist Conspicuity on Driver Behavior. *Hum. Factors.* 1981 Apr 1;23(2):237–48.
- ONISR. La sécurité routière en France: bilan de l'accidentalité de l'année 2013. Paris: Documentation française; 2015.
- ONISR. La sécurité routière en France: bilan de l'accidentalité de l'année 2016. Paris: Documentation française; 2017a.
- ONISR. Observatoire des comportements (France métropolitaine) Résultats de l'année 2016 [Internet]. 2017b. Available from: <http://www.securite-routiere.gouv.fr/la-securite-routiere/l-observatoire-national-interministeriel-de-la-securite-routiere/comportements-des-usagers/observations-circulation>
- Orsay EM, Muelleman RL, Peterson TD, Jurisic DH, Kosasih JB, Levy P. Motorcycle Helmets and Spinal Injuries: Dispelling the Myth. *Ann. Emerg. Med.* 1994 Apr 1;23(4):802–6.
- Otte D, Middelhaue V. Quantification of Protective Effects of Special Synthetic Protectors in Clothing for Motorcyclists. *Publ. IRCOBI-Secr.* [Internet]. Birmingham; 1987 [cited 2018 Mar 28]. Available from: <https://trid.trb.org/view/309562>
- Ouellet JV, Kasantikul V. The effect of blood alcohol concentration on motorcycle crash characteristics. *Proc. Int. Motorcycle Saf. Conf.* [Internet]. 2006 [cited 2017 May 22]. Available from: http://www.msf-usa.org/downloads/imsc2006/Ouellet-Effect_of_BAC_on_Motorcycle_Crash_Characteristics-Paper.pdf
- Page PS, Wei Z, Brooks NP. Motorcycle helmets and cervical spine injuries: a 5-year experience at a Level 1 trauma center. *J. Neurosurg. Spine.* 2018 Mar 6;1–5.
- Pai C-W. Motorcycle right-of-way accidents—A literature review. *Accid. Anal. Prev.* 2011 May;43(3):971–82.
- Pedder JB, Hagues SB, Mackay GM, Roberts BJ. A Study of Two-Wheeled Vehicle Casualties Treated at a City Hospital. *Salon de Provence, France*; 1981. p. 17. Available from: <http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc1981/default.htm>
- Peek C, Braver ER, Shen H, Kraus JF. Lower extremity injuries from motorcycle crashes: a common cause of preventable injury. *J. Trauma.* 1994 Sep;37(3):358–64.
- Peek-Asa C, McArthur DL, Kraus JF. The prevalence of non-standard helmet use and head injuries among motorcycle riders. *Accid. Anal. Prev.* 1999;31(3):229–233.
- Pegg SP, Mayze TD. Burn injuries associated with motorcycles. *Burns.* 1983;9(4):288–291.
- Perco P. Comparison between Powered Two-Wheeler and Passenger Car Free-Flow Speeds in Urban Areas. *Transp. Res. Rec.* 2008 Jan 1;2074(1):77–84.
- Preusser DF, Williams AF, Ulmer RG. Analysis of fatal motorcycle crashes: crash typing. *Accid. Anal. Prev.* 1995 Dec 1;27(6):845–51.
- Quddus MA, Noland RB, Chin HC. An analysis of motorcycle injury and vehicle damage severity using ordered probit models. *J. Safety Res.* 2002 Dec 1;33(4):445–62.
- Ramli R, Oxley J. Motorcycle helmet fixation status is more crucial than helmet type in providing protection to the head. *Injury.* 2016 Nov;47(11):2442–9.

- Ramli R, Oxley J, Hillard P, Mohd Sadullah AF, McClure R. The effect of motorcycle helmet type, components and fixation status on facial injury in Klang Valley, Malaysia: a case control study. *BMC Emerg. Med.* 2014 Aug 3;14:17.
- Rice TM, Troszak L, Ouellet JV, Erhardt T, Smith GS, Tsai B-W. Motorcycle helmet use and the risk of head, neck, and fatal injury: Revisiting the Hurt Study. *Accid. Anal. Prev.* 2016 Jun;91:200–7.
- Rizzi M, Kullgren A, Tingvall C. The combined benefits of motorcycle antilock braking systems (ABS) in preventing crashes and reducing crash severity. *Traffic Inj. Prev.* 2016 Apr 2;17(3):297–303.
- Rizzi M, Strandroth J, Kullgren A, Tingvall C, Fildes B. Effectiveness of Motorcycle Antilock Braking Systems (ABS) in Reducing Crashes, the First Cross-National Study. *Traffic Inj. Prev.* 2015 Feb 17;16(2):177–83.
- Rizzi M, Strandroth J, Tingvall C. The Effectiveness of Antilock Brake Systems on Motorcycles in Reducing Real-Life Crashes and Injuries. *Traffic Inj. Prev.* 2009 Sep 25;10(5):479–87.
- Robertson A, Giannoudis PV, Branfoot T, Barlow I, Matthews SJ, Smith RM. Spinal Injuries in Motorcycle Crashes: Patterns and Outcomes: *J. Trauma Inj. Infect. Crit. Care.* 2002 Jul;53(1):5–8.
- Roll G, Hoffmann O, König J. Effectiveness evaluation of antilock brake systems (ABS) for motorcycles in real-world accident scenarios. *Proc. 21st Int. Tech. Conf. Enhanc. Saf. Veh. Wash. DC [Internet].* 2009 [cited 2016 Mar 4]. Available from: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/Esv/esv21/09-0254.pdf>
- de Rome E. Planning for motorcycle safety: measures of success. *ARSRPE 2006 Proc. Australas. Road Saf. Res. Polic. Educ. Conf.* 2006 Jan 1;1–10.
- de Rome L, Ivers R, Fitzharris M, Du W, Haworth N, Heritier S, et al. Motorcycle protective clothing: Protection from injury or just the weather? *Accid. Anal. Prev.* 2011 Nov;43(6):1893–900.
- de Rome L, Ivers R, Fitzharris M, Haworth N, Heritier S, Richardson D. Effectiveness of motorcycle protective clothing: Riders' health outcomes in the six months following a crash. *Injury.* 2012 Dec;43(12):2035–45.
- Ross DJ. The prevention of leg injuries in motorcycle accidents. *Injury.* 1983 Sep 1;15(2):75–7.
- Rowland J, Rivara F, Salzberg P, Soderberg R, Maier R, Koepsell T. Motorcycle helmet use and injury outcome and hospitalization costs from crashes in Washington State. *Am. J. Public Health.* 1996 Jan;86(1):41–5.
- Rubin DB. *Multiple imputation for nonresponse in surveys.* New York: Wiley; 1987.
- Sahdev P, Lacqua MJ, Singh B, Dogra TD. Road traffic fatalities in Delhi: Causes, injury patterns, and incidence of preventable deaths. *Accid. Anal. Prev.* 1994 Jun 1;26(3):377–84.
- Schneider W, Savolainen P, Moore D. Effects of Horizontal Curvature on Single-Vehicle Motorcycle Crashes Along Rural Two-Lane Highways. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board.* 2010 Dec;2194:91–8.
- Schuller E, Beier G, Spann W. Effectiveness of Protective Clothing in Munich Area Motorcycle Accidents [Internet]. Warrendale, PA: SAE International; 1982 Feb. Report No.: 821162. Available from: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/821162/>
- Schuller E, Beier G, Spann W. Disability and Impairment of Protected and Unprotected Motorcycle Riders [Internet]. Warrendale, PA: SAE International; 1986 Feb. Report No.: 860498. Available from: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/860498/>
- Seaman SR, Bartlett JW, White IR. Multiple imputation of missing covariates with non-linear effects and interactions: an evaluation of statistical methods. *BMC Med. Res. Methodol.* [Internet]. 2012 Dec [cited 2016 Aug 18];12(1). Available from: <http://bmcmedresmethodol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2288-12-46>
- Serre T, Perrin C, Canu B, Masson C, Llari M, Py M. Étude « EFFIGAM » gilets airbags pour motocyclistes: quelle efficacité réelle pour quelle vitesse ? 2017 p. 31. Report No.: Conventin DSCR n° 2200792115.

- Sexton BF, Baughan CJ, Elliott MA, Maycock G, others. The accident risk of motorcyclists. 2004 [cited 2016 Feb 29]; Available from: <http://strathprints.strath.ac.uk/20274/>
- Shankar V, Mannering F. An exploratory multinomial logit analysis of single-vehicle motorcycle accident severity. *J. Safety Res.* 1996 Sep 1;27(3):183–94.
- Smith L, Knowles J, Cuerden R. Analysis of Police collision files for motorcyclist fatalities in London, 2006–09. Crowthorne: Transport Research Laboratory; 2013 p. 94. Report No.: PPR621.
- SOeS. Les deux-roues motorisés: à chaque âge, son usage et ses dangers [Internet]. 2013a [cited 2016 Feb 29]. Available from: http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Le_Point_Sur/2013/lps156-deux-roues-motorises.pdf
- SOeS. Les deux-roues motorisés au 1er janvier 2012 [Internet]. 2013b [cited 2016 Feb 29]. Available from: http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Chiffres_et_statistiques/2013/chiffres-stats400-deux-roues-motorises-au-01012012-mars2013.pdf
- Stamatiadis N, Deacon JA. Quasi-induced exposure: Methodology and insight. *Accid. Anal. Prev.* 1997;29(1):37–52.
- Sung K-M, Noble J, Kim S-C, Jeon H-J, Kim J-Y, Do H-H, et al. The Preventive Effect of Head Injury by Helmet Type in Motorcycle Crashes: A Rural Korean Single-Center Observational Study. *BioMed Res. Int.* 2016;2016:1–7.
- Teoh ER. Effectiveness of Antilock Braking Systems in Reducing Motorcycle Fatal Crash Rates. *Traffic Inj. Prev.* 2011 Mar 31;12(2):169–73.
- Teoh ER, Campbell M. Role of motorcycle type in fatal motorcycle crashes. *J. Safety Res.* 2010 Dec;41(6):507–12.
- Thollon L, Godio Y, Bidal S, Brunet C. Evaluation of a new security system to reduce thoracic injuries in case of motorcycle accidents. *Int. J. Crashworthiness.* 2010 Jun 28;15(2):191–9.
- Thomson GA. The role frontal motorcycle conspicuity has in road accidents. *Accid. Anal. Prev.* 1980 Sep;12(3):165–78.
- Tsai Y-J, Wang J-D, Huang W-F. Case-Control Study of the Effectiveness of Different Types of Helmets for the Prevention of Head Injuries among Motorcycle Riders in Taipei, Taiwan. *Am. J. Epidemiol.* 1995 Nov 1;142(9):974–81.
- Van Elslande P. L’erreur humaine dans les scénarios d’accident cause ou conséquence? *Rech. - Transp. - Sécurité.* 2000 Jan 1;66:7–31.
- Van Elslande P. Erreurs de conduite et besoins d’aide : une approche accidentologique en ergonomie. *Trav. Hum.* 2003;66(3):197–224.
- Van Elslande P, Elvik R. Powered two-wheelers within the traffic system. *Accid. Anal. Prev.* 2012 Nov;49:1–4.
- Van Elslande P, Fouquet K, Parraud C, Fournier J. Les défaillances d’interaction dans les accidents impliquant un deux-roues motorisé. Rapport scientifique Tâche 1 (R1). INRETS; 2008a p. 81p.
- Van Elslande P, Perrin C, Hermitte T, Page Y, Engel R. Accidentologie, usage et représentations des deux-roues motorisés: Rapport de synthèse final du projet 2RM. 2ème partie : Présentation des travaux. INRETS; ANR; 2008b p. 82p.
- Vaughan RG. Motor cycle helmets and facial injuries. *Med. J. Aust.* 1977 Jan 29;1(5):125–7.

Vlahogianni EI, Yannis G, Golias JC. Overview of critical risk factors in Power-Two-Wheeler safety. *Accid. Anal. Prev.* 2012 Nov;49:12–22.

VOIESUR [Internet]. ANR. 2012 [cited 2017 Jul 20]. Available from: http://www.agence-nationale-recherche.fr/en/anr-funded-project/?solr=run&tx_lwmsuivibilan_pi2%5BCODE%5D=ANR-11-VPTT-0007

Walton D, Buchanan J. Motorcycle and scooter speeds approaching urban intersections. *Accid. Anal. Prev.* 2012 Sep;48:335–40.

Wells S, Mullin B, Norton R, Langley J, Connor J, Lay-Yee R, et al. Motorcycle rider conspicuity and crash related injury: case-control study. *BMJ.* 2004 Apr 10;328(7444):857.

Whitaker J. A Survey of Motorcycle Accidents. Crowthorne: Transport Road Research Laboratory; 1980 p. 45. Report No.: TRRL LR913 Monograph, HS-030 084.

White D, Lang J, Russell G, Tetsworth K, Harvey K, Bellamy N. A comparison of injuries to moped/scooter and motorcycle riders in Queensland, Australia. *Injury.* 2013 Jun;44(6):855–62.

WHO. Global status report on road safety 2015 [Internet]. 2015. Available from: http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/

Williams MJ, Hoffmann ER. Conspicuity of Motorcycles. *Hum. Factors.* 1979 Oct 1;21(5):619–26.

Wong J-T, Chung Y-S, Huang S-H. Determinants behind young motorcyclists' risky riding behavior. *Accid. Anal. Prev.* 2010 Jan;42(1):275–81.

Wu D, Hours M, Martin J-L. Risk factors for motorcycle loss-of-control crashes. *Traffic Inj. Prev.* 2018 May 19;19(4):433–9.

Wulf G, Hancock PA, Rahimi M. Motorcycle conspicuity: An evaluation and synthesis of influential factors. *J. Safety Res.* 1989 Dec;20(4):153–76.

Yu W-Y, Chen C-Y, Chiu W-T, Lin M-R. Effectiveness of different types of motorcycle helmets and effects of their improper use on head injuries. *Int. J. Epidemiol.* 2011 Jun 1;40(3):794–803.

Zulkipli ZH, Mohd Faudzi SA, Abdul Manap AR, Paiman NF. Non-fatal spine injuries resulting from motorcycle crashes. *IATSS Res.* [Internet]. 2017 Oct 13; Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0386111216300772>

Annexes

Annexe A – Lettre d'information et questionnaire

- ❖ Lettre d'information pour les adultes
- ❖ Lettre d'information pour les mineurs
- ❖ Lettre d'information pour les adultes (relance)
- ❖ Lettre d'information pour les mineurs (relance)
- ❖ Questionnaire

Objet : Appel à participation
Étude SECU2RM
(Sécurité des deux/trois-roues motorisés)

L'enquête est déclarée à la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) sous le numéro 1908078.

Les données fournies seront traitées de façon confidentielle sans mention du nom et du prénom. Aucune information individuelle n'apparaîtra dans les résultats de l'étude.

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (article 38), s'applique aux réponses faites à la présente enquête. Elle vous garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant, et le droit d'opposition pour motif légitime. Ce droit peut être exercé auprès de l'Umrestte, Unité de Recherche de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR).

Monsieur,

L'étude SECU2RM a pour objectif de mieux comprendre les raisons de survenue des accidents de deux/trois-roues motorisés (2RM) et les causes des blessures subies par leurs utilisateurs. Cette étude est financée par l'IFSTTAR et la Fondation Sécurité Routière. Nous travaillons en coopération étroite avec l'Association pour le Registre des Victimes d'Accident de la Circulation routière du Rhône. Ce registre recense auprès de tous les services hospitaliers du Rhône les victimes de la circulation routière et leurs blessures.

C'est par ce registre que nous avons connaissance de votre accident en deux/trois roues motorisé du @@@, et que nous sollicitons votre participation à cette enquête. Veuillez nous excuser de raviver des souvenirs sans doute pénibles. Votre participation n'est bien sûr pas obligatoire mais elle est très importante pour avoir des résultats scientifiquement valides s'appuyant sur l'ensemble des accidents.

Nous vous serions très reconnaissants de répondre à ce questionnaire **le plus précisément et le plus sincèrement possible**. Cela vous prendra environ 20 minutes. Vous pouvez participer à cette enquête :

- **Par courrier** en remplissant le questionnaire avec un stylo noir ou bleu (de préférence), puis en le renvoyant à l'aide de l'enveloppe T jointe à ce courrier.
- **Par internet** en répondant directement en ligne sur le site internet secu2rm.ifsttar.fr avec votre code d'invitation : @@@.

Nous vous remercions vivement du temps que vous voudrez bien accorder à cette étude qui contribuera à l'amélioration de la sécurité des déplacements en deux/trois-roues motorisé. Si vous souhaitez des informations complémentaires, vous pouvez nous joindre par e-mail aux adresses indiquées au bas de la page.



Dan Wu
Chargée de l'étude SECU2RM



Jean-Louis Martin
Responsable scientifique

Objet : Appel à participation
Étude SECU2RM
(Sécurité des deux/trois-roues motorisés)

██████████
████████████████████
██

L'enquête est déclarée à la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) sous le numéro 1908078.

Les données fournies seront traitées de façon confidentielle sans mention du nom et du prénom. Aucune information individuelle n'apparaîtra dans les résultats de l'étude.

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (article 38), s'applique aux réponses faites à la présente enquête. Elle vous garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant, et le droit d'opposition pour motif légitime. Ce droit peut être exercé auprès de l'Umrestte, Unité de Recherche de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR).

Monsieur,

L'étude SECU2RM a pour objectif de mieux comprendre les raisons de survenue des accidents de deux/trois-roues motorisés (2RM) et les causes des blessures subies par leurs utilisateurs. Cette étude est financée par l'IFSTTAR et la Fondation Sécurité Routière. Nous travaillons en coopération étroite avec l'Association pour le Registre des Victimes d'Accident de la Circulation routière du Rhône. Ce registre recense auprès de tous les services hospitaliers du Rhône les victimes de la circulation routière et leurs blessures.

C'est par ce registre que nous avons connaissance de votre accident en deux/trois roues motorisé du @@@, et que nous sollicitons votre participation à cette enquête. Veuillez nous excuser de raviver des souvenirs sans doute pénibles. Votre participation n'est bien sûr pas obligatoire mais elle est très importante pour avoir des résultats scientifiquement valides s'appuyant sur l'ensemble des accidents.

Nous vous serions très reconnaissants de répondre à ce questionnaire **le plus précisément et le plus sincèrement possible**. Cela vous prendra environ 20 minutes. Vous pouvez participer à cette enquête :

- **Par courrier** en remplissant le questionnaire avec un stylo noir ou bleu (de préférence), puis en le renvoyant à l'aide de l'enveloppe T jointe à ce courrier.
- **Par internet** en répondant directement en ligne sur le site internet secu2rm.ifsttar.fr avec **votre code d'invitation** : @@@.

Comme vous êtes mineur, il est d'usage de recueillir le consentement écrit d'un de vos parents (voir au verso) et de nous le renvoyer avec le questionnaire.

Nous vous remercions vivement du temps que vous voudrez bien accorder à cette étude qui contribuera à l'amélioration de la sécurité des déplacements en deux/trois-roues motorisé. Si vous souhaitez des informations complémentaires, vous pouvez nous joindre par e-mail aux adresses indiquées au bas de la page.



Dan Wu
Chargée de l'étude SECU2RM



Jean-Louis Martin
Responsable scientifique

Consentement parental pour participation à l'étude SECU2RM

Je soussigné(e), _____, demeurant au _____ autorise mon enfant, à répondre au questionnaire de l'étude SECU2RM. J'ai pris connaissance du fait que ce questionnaire traite de l'accident de la route en deux-roues motorisé subi par mon enfant en #### et que l'IFSTTAR garantit le traitement strictement confidentiel des réponses à ce questionnaire.

Fait à _____, le _____

Objet : Rappel à participation
Étude SECU2RM
(Sécurité des deux/trois-roues motorisés)

██████████
████████████████████
██

L'enquête est déclarée à la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) sous le numéro 1908078.

Les données fournies seront traitées de façon confidentielle sans mention du nom et du prénom. Aucune information individuelle n'apparaîtra dans les résultats de l'étude.

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (article 38), s'applique aux réponses faites à la présente enquête. Elle vous garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant, et le droit d'opposition pour motif légitime. Ce droit peut être exercé auprès de l'Umrestte, Unité de Recherche de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR).

Monsieur,

Nous vous avons contacté par courrier courant novembre pour participer à une recherche dont l'objectif est d'améliorer la sécurité des déplacements en deux-roues motorisés. Vous avez été sélectionné car vous avez consulté un des services hospitaliers du département du Rhône suite à votre accident du @@@.

Sauf erreur de notre part, nous n'avons pas reçu votre réponse. Nous vous sollicitons donc une dernière fois car la valeur de ce travail scientifique dépend en grande partie du taux de participation à l'étude, et à ce jour, ce taux est insuffisant pour représenter toute la diversité des accidents en deux-roues motorisés.

Remplir le questionnaire ne vous prendra qu'une vingtaine de minutes et toutes vos réponses resteront confidentielles. Vous avez le choix de répondre :

- **Par courrier** en remplissant le questionnaire avec un stylo noir ou bleu (de préférence), puis en le renvoyant à l'aide de l'enveloppe T jointe à ce courrier.
- **Par internet** en répondant directement en ligne sur le site internet secu2rm.ifsttar.fr avec **votre code d'invitation : @@@@**

Par avance, nous vous remercions vivement de votre participation. Si vous souhaitez obtenir des informations complémentaires, n'hésitez pas à nous joindre aux coordonnées indiquées au bas de la page.



Dan Wu
Chargée de l'étude SECU2RM



Jean-Louis Martin
Responsable scientifique

Objet : Rappel à participation
Étude SECU2RM
(Sécurité des deux/trois-roues motorisés)

██████████
████████████████████
██

L'enquête est déclarée à la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL) sous le numéro 1908078.

Les données fournies seront traitées de façon confidentielle sans mention du nom et du prénom. Aucune information individuelle n'apparaîtra dans les résultats de l'étude.

La loi n°78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (article 38), s'applique aux réponses faites à la présente enquête. Elle vous garantit un droit d'accès et de rectification pour les données vous concernant, et le droit d'opposition pour motif légitime. Ce droit peut être exercé auprès de l'Umrestte, Unité de Recherche de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR).

Monsieur,

Nous vous avons contacté par courrier courant novembre pour participer à une recherche dont l'objectif est d'améliorer la sécurité des déplacements en deux-roues motorisés. Vous avez été sélectionné car vous avez consulté un des services hospitaliers du département du Rhône suite à votre accident du @@@.

Sauf erreur de notre part, nous n'avons pas reçu votre réponse. Nous vous sollicitons donc une dernière fois car la valeur de ce travail scientifique dépend en grande partie du taux de participation à l'étude, et à ce jour, ce taux est insuffisant pour représenter toute la diversité des accidents en deux-roues motorisés.

Remplir le questionnaire ne vous prendra qu'une vingtaine de minutes et toutes vos réponses resteront confidentielles. Vous avez le choix de répondre :

- **Par courrier** en remplissant le questionnaire avec un stylo noir ou bleu (de préférence), puis en le renvoyant à l'aide de l'enveloppe T jointe à ce courrier.
- **Par internet** en répondant directement en ligne sur le site internet secu2rm.ifsttar.fr avec **votre code d'invitation : @@@**

Comme vous êtes mineur, il est d'usage de recueillir le consentement écrit d'un de vos parents (voir au verso) et de nous le renvoyer avec le questionnaire.

Par avance, nous vous remercions vivement de votre participation. Si vous souhaitez obtenir des informations complémentaires, n'hésitez pas à nous joindre aux coordonnées indiquées au bas de la page.



Dan Wu
Chargée de l'étude SECU2RM



Jean-Louis Martin
Responsable scientifique

Consentement parental pour participation à l'étude SECU2RM

Je soussigné(e), _____, demeurant au _____ autorise mon enfant, à répondre au questionnaire de l'étude SECU2RM. J'ai pris connaissance du fait que ce questionnaire traite de l'accident de la route en deux-roues motorisé subi par mon enfant en #### et que l'IFSTTAR garantit le traitement strictement confidentiel des réponses à ce questionnaire.

Fait à _____, le _____

Questionnaire sur les accidents de DEUX/TROIS-ROUES MOTORISÉS

Merci de remplir le questionnaire au stylo noir ou bleu et de cocher à l'aide d'une croix, la case qui correspond à votre réponse : ☒

Précisions

- 2RM : deux/trois-roues motorisé
- Tiers: un autre véhicule impliqué dans l'accident ou un piéton
- Un vélo est considéré comme un véhicule
- Une personne qui fait du roller ou de la trottinette est considérée comme un piéton

Votre date de naissance (MM/AAAA) : /

Votre taille : cm votre poids : kg

Rubrique 1 : Configuration de l'accident

1. L'accident a-t-il eu lieu en agglomération ? 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

2. L'accident a-t-il eu lieu dans une intersection ? 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

Si oui, quel type d'intersection ?

- 1 Avec feu tricolore
- 2 Avec stop
- 3 Avec cédez-le-passage
- 4 Avec priorité à droite
- 5 Giratoire (rond-point)
- 6 Autre, merci de préciser : _____

Étiez-vous prioritaire à cette intersection ?

1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

3. Dans quelle situation de conduite étiez-vous ?

- | | | |
|---|---|--|
| 1 <input type="checkbox"/> J'étais dans un virage à gauche | 6 <input type="checkbox"/> Je m'insérais dans un giratoire | |
| 2 <input type="checkbox"/> J'étais dans un virage à droite | 7 <input type="checkbox"/> J'étais à l'intérieur d'un giratoire | |
| 3 <input type="checkbox"/> J'allais tout droit dans le sens de la circulation | 8 <input type="checkbox"/> Je sortais d'un giratoire | |
| 4 <input type="checkbox"/> Je tournais à gauche | 9 <input type="checkbox"/> J'allais tout droit en sens interdit | |
| 5 <input type="checkbox"/> Je tournais à droite | 10 <input type="checkbox"/> Autre | 99 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |

4. Étiez-vous en train d'effectuer une des manœuvres suivantes ? (*plusieurs réponses possibles*)

- | | | |
|--|---|---|
| 1 <input type="checkbox"/> Je dépassais par la gauche | 5 <input type="checkbox"/> Je roulais entre deux files de véhicules | |
| 2 <input type="checkbox"/> Je dépassais par la droite | 6 <input type="checkbox"/> Je changeais de voie | |
| 3 <input type="checkbox"/> Je me déportais sur la gauche | 7 <input type="checkbox"/> Je faisais un demi-tour | |
| 4 <input type="checkbox"/> Je me déportais sur la droite | 8 <input type="checkbox"/> Aucune de ces manœuvres | 9 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |

5. Juste avant l'accident, vous étiez :

- | | | |
|--|---|---|
| 1 <input type="checkbox"/> À l'arrêt | 4 <input type="checkbox"/> À vitesse constante | |
| 2 <input type="checkbox"/> En train de démarrer | 5 <input type="checkbox"/> En train de décélérer (sans freiner) | |
| 3 <input type="checkbox"/> En train d'accélérer (hors démarrage) | 6 <input type="checkbox"/> En train de freiner | 9 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |

6. Où s'est produit le premier choc ?

- | | | |
|---|--|---|
| 1 <input type="checkbox"/> Sur la chaussée et sur ma voie | 3 <input type="checkbox"/> Hors de la chaussée, à gauche | |
| 2 <input type="checkbox"/> Sur la chaussée, hors de ma voie | 4 <input type="checkbox"/> Hors de la chaussée, à droite | 9 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |

7. Un piéton a-t-il joué un rôle direct ou indirect dans l'accident ?

1 Oui 2 Non **Si non, ➡ Passez directement à la question 11**

8. Quel était le comportement du piéton ?

- | | |
|--|---|
| 1 <input type="checkbox"/> Il traversait au feu vert pour lui | 5 <input type="checkbox"/> Il se déplaçait le long de la chaussée en vous faisant face |
| 2 <input type="checkbox"/> Il traversait au feu rouge pour lui | 6 <input type="checkbox"/> Il se déplaçait le long de la chaussée en vous tournant le dos |
| 3 <input type="checkbox"/> Il traversait sur passage piéton sans feu | 7 <input type="checkbox"/> Autre, merci de préciser : _____ |
| 4 <input type="checkbox"/> Il traversait hors passage piéton | 9 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |

9. Aviez-vous vu le piéton avant l'accident ?

- 1 Oui, à l'avance 2 Oui, mais au dernier moment 3 Oui (sans précision) 4 Non 9 Je ne sais pas

10. Pensez-vous que le piéton vous avait vu avant l'accident ?

- 1 Oui, je pense 2 Oui, mais au dernier moment 3 Oui (sans précision) 4 Non 9 Je ne sais pas

11. À part votre véhicule, combien de véhicules ont été impliqués dans l'accident :

Si 0, ➡ passez directement à la rubrique 2, page 3

Avertissement : les questions 12 à 20 concernent l'autre véhicule. S'il y avait plusieurs autres véhicules impliqués dans votre accident, choisissez le véhicule qui a joué le rôle le plus important dans la survenue de l'accident.

12. Quel était le type de l'autre véhicule impliqué ?

- 1 Une voiture 3 Un fourgon / une camionnette 5 Un vélo
2 Un autre deux/trois-roues motorisé 4 Un poids lourd 6 Autre 9 Je ne sais pas

13. Comment l'autre véhicule a-t-il interagi avec vous ?

- 1 Il m'a heurté 2 Je l'ai heurté 3 Je l'ai évité 9 Je ne sais pas

14. Aviez-vous vu l'autre véhicule avant l'accident ?

- 1 Oui, à l'avance 2 Oui, mais au dernier moment 3 Oui (sans précision) 4 Non 9 Je ne sais pas

15. Pensez-vous que l'autre véhicule vous avait vu avant l'accident ?

- 1 Oui, je pense 2 Oui, mais au dernier moment 3 Oui (sans précision) 4 Non 9 Je ne sais pas

16. Comment était situé l'autre véhicule par rapport à vous avant la situation d'accident ?

- 1 Il roulait dans le même sens, sur la même voie devant moi 6 Il venait d'une autre rue/route sur ma droite
2 Il roulait dans le même sens, sur la même voie derrière moi 7 Il venait en sens inverse, sur sa voie
3 Il roulait dans le même sens, sur la voie à ma gauche 8 Il venait en sens inverse, sur ma voie
4 Il roulait dans le même sens, sur la voie à ma droite 9 Autre
5 Il venait d'une autre rue/route sur ma gauche 99 Je ne sais pas

17. Dans quelle situation de conduite était-il ?

- 1 Il était dans un virage à gauche 6 Il s'insérait dans un giratoire
2 Il était dans un virage à droite 7 Il était à l'intérieur d'un giratoire
3 Il allait tout droit dans le sens de la circulation 8 Il sortait d'un giratoire
4 Il tournait à gauche 9 Il allait tout droit en sens interdit
5 Il tournait à droite 10 Autre 99 Je ne sais pas

18. Était-il en train d'effectuer une des manœuvres suivantes ? (*plusieurs réponses possibles*)

- 1 Il dépassait par sa gauche 6 Il faisait une marche arrière
2 Il dépassait par sa droite 7 Il changeait de voie
3 Il se déportait sur sa gauche 8 Il faisait un demi-tour
4 Il se déportait sur sa droite 9 Aucune de ces manœuvres
5 Il roulait entre deux files de véhicules 99 Je ne sais pas

19. Juste avant l'accident, il était :

- 1 À l'arrêt 4 À vitesse constante
2 En train de démarrer 5 En train de décélérer (sans freiner)
3 En train d'accélérer (hors démarrage) 6 En train de freiner 9 Je ne sais pas

20. Effectuait-il une manœuvre de stationnement ?

- 1 Oui, entrée de stationnement 2 Oui, sortie de stationnement 3 Non 9 Je ne sais pas

Rubrique 2 : Circonstances de l'accident

21. Quelles étaient les conditions météorologiques au moment de l'accident ? (plusieurs réponses possibles)

- | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|--|---|
| 1 <input type="checkbox"/> Beau temps | 3 <input type="checkbox"/> Pluie | 5 <input type="checkbox"/> Vent fort | 7 <input type="checkbox"/> Autre |
| 2 <input type="checkbox"/> Couvert | 4 <input type="checkbox"/> Brouillard | 6 <input type="checkbox"/> Neige/grêle | 9 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |

- 22. À quel moment l'accident s'est-il produit ?** 1 Jour 2 Nuit 3 Aube ou crépuscule 9 Je ne sais pas
- Si nuit, quelles étaient les conditions d'éclairage public ?** 1 Avec éclairage 2 Sans éclairage 9 Je ne sais pas

- 23. Votre rue/route était-elle à sens unique ?** 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

- 24. Dans votre sens de circulation, combien de voies y-avait-il ?**
- | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--|--|---|
| 1 <input type="checkbox"/> Une voie | 2 <input type="checkbox"/> Deux voies | 3 <input type="checkbox"/> Trois voies | 4 <input type="checkbox"/> Plus de trois voies | 9 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |
|-------------------------------------|---------------------------------------|--|--|---|

- 25. Quelle était la limitation de vitesse réglementaire de la route ?** km/h 9 Je ne sais pas

- 26. Dans votre sens de circulation, la route était :** 1 Plane 2 En montée 3 En descente 9 Je ne sais pas

27. Comment était l'état de la chaussée sur le lieu de l'accident ? (plusieurs réponses possibles)

- | | | |
|---|---|---|
| 1 <input type="checkbox"/> Sec | 4 <input type="checkbox"/> Chaussée déformée (trou, bosse...) | 7 <input type="checkbox"/> Autre |
| 2 <input type="checkbox"/> Mouillé | 5 <input type="checkbox"/> Glissant cause naturelle (flaque, verglas, boue, feuilles, huile...) | 9 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |
| 3 <input type="checkbox"/> Gravillonné (cailloux, graviers ...) | 6 <input type="checkbox"/> Glissant cause infrastructure (marquage au sol, plaque d'égout...) | |

- 28. Y-avait-il des obstacles particuliers sur la chaussée ?** 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

Si oui, (plusieurs réponses possibles)

- | | | |
|--|---|---|
| 1 <input type="checkbox"/> Animal | 3 <input type="checkbox"/> Chargement perdu | 5 <input type="checkbox"/> Autre, merci de préciser : _____ |
| 2 <input type="checkbox"/> Panneaux de travaux | 4 <input type="checkbox"/> Bloc / rocher | 9 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |

- 29. Quelque chose a-t-il gêné votre vision ?** 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

Si oui, (plusieurs réponses possibles)

- | | |
|---|---|
| 1 <input type="checkbox"/> Un autre véhicule en circulation | 4 <input type="checkbox"/> Un objet (matériel urbain, arbre, panneau publicitaire, pile de pont, talus ...) |
| 2 <input type="checkbox"/> Des véhicules stationnés | 5 <input type="checkbox"/> Une lumière éblouissante (soleil, phare) |
| 3 <input type="checkbox"/> Une file de véhicules circulants | 6 <input type="checkbox"/> Autre, merci de préciser : _____ |

Rubrique 3 : Caractéristiques du véhicule

- 30. Étiez-vous le propriétaire du deux/trois-roues motorisé (2RM) accidenté ?** 1 Oui 2 non 9 Je ne sais pas

- 31. Quelle était la marque du 2RM _____ et quel était le modèle du 2RM _____ ?** 9 Je ne sais pas

- Quelle était l'année de 1^{ère} immatriculation du 2RM ?** 9 Je ne sais pas

- 32. De quelle catégorie était le 2RM ?**
- | | | | |
|---|---|--|---|
| 1 <input type="checkbox"/> Cylindrée < 50 cm ³ | 2 <input type="checkbox"/> 50 ≤ cylindrée ≤ 125 cm ³ | 3 <input type="checkbox"/> Cylindrée > 125 cm ³ | 9 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |
|---|---|--|---|

- Si la cylindrée du 2RM était supérieure à 125 cm³, merci de préciser ?** cm³ 9 Je ne sais pas

- 33. Quelle était la puissance maximale du moteur ?** chevaux ou KW 9 Je ne sais pas

- 34. Quel était le poids à vide du 2RM ?** kg (indiqué à la rubrique G.1 de votre carte grise) 9 Je ne sais pas

35. De quel type était le 2RM ?

- | | | |
|--|--|--|
| 1 <input type="checkbox"/> Scooter deux-roues | 4 <input type="checkbox"/> Classique | 7 <input type="checkbox"/> Sportive |
| 2 <input type="checkbox"/> Scooter trois-roues | 5 <input type="checkbox"/> Roadster | 8 <input type="checkbox"/> Trail/supermotard |
| 3 <input type="checkbox"/> Custom | 6 <input type="checkbox"/> Routière/GT | 9 <input type="checkbox"/> Tout-terrain (enduro, trial...) |
| | | 10 <input type="checkbox"/> Autre |
| | | 99 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |

36. Le 2RM était-il équipé d'un système d'assistance au freinage ?

- | | | | | | |
|-------------------------------------|---|--|---------------------------------------|--------------------------------|---|
| 1 <input type="checkbox"/> Oui, ABS | 2 <input type="checkbox"/> Oui, freinage couplé | 3 <input type="checkbox"/> Oui, ABS et freinage couplé | 4 <input type="checkbox"/> Oui, autre | 5 <input type="checkbox"/> Non | 9 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas |
|-------------------------------------|---|--|---------------------------------------|--------------------------------|---|

37. Quel était l'état des pneus du 2RM ? 1 Bon 2 Moyen 3 Mauvais 9 Je ne sais pas

38. Les feux du 2RM étaient-ils allumés ? 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

Rubrique 4 : Vous-même et votre équipement de protection

39. Aviez-vous un permis de conduire valable pour 2RM au moment de l'accident ? 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

Si oui, cochez le type de votre permis et précisez en quelle année vous l'avez obtenu (AAAA) : *(plusieurs réponses possibles)*

1 BSR/AM 3 A1 5 B

2 A 4 A2 6 C/D 9 Je ne sais pas

40. Quelle était votre fréquence de passage sur le lieu de l'accident ?

1 Quotidienne 3 Plusieurs fois par mois 5 Premier passage
2 Plusieurs fois par semaine 4 Rarement 9 Je ne sais pas

41. Quel était votre motif de déplacement au moment de l'accident ?

1 Trajet domicile-travail 4 Loisir (activités, balades, vacances...)
2 Trajet domicile-école, lycée, université 5 Autre, merci de préciser : _____
3 Déplacement professionnel 9 Je ne sais pas

42. Portiez-vous un casque ? 1 Oui, correctement attaché 2 Oui, mal/non attaché 3 Non 9 Je ne sais pas

Si oui, le casque était-il de type intégral ? 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

43. Portiez-vous un des équipements conçus pour l'usage des 2RM ? *(plusieurs réponses possibles)*

1 Blouson de moto 4 Protection dorsale 7 Équipement rétro-réfléchissant
2 Pantalon de moto 5 Gants 8 Non, aucun équipement
3 Bottes, chaussures montantes 6 Gilet airbag 9 Je ne sais pas

Rubrique 5 : Informations supplémentaires sur l'accident

44. Aviez-vous consommé de l'alcool ? 1 Oui, un peu 2 Oui, beaucoup 3 Non 9 Je ne sais pas

45. À quelle vitesse environ rouliez-vous avant l'accident ? km/h 9 Je ne sais pas

46. Avez-vous perdu le contrôle du 2RM avant le premier choc ? 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

Si oui, selon vous qu'est ce qui a causé la perte de contrôle ? *(plusieurs réponses possibles)*

1 Blocage de roue avant au freinage 6 Chaussée déformée
2 Blocage de roue arrière au freinage 7 Obstacle imprévisible
3 Perte d'adhérence 8 Défaut mécanique
4 Vitesse excessive/inadaptée 9 Autre, merci de préciser : _____
5 Guidonnage 99 Je ne sais pas

Si vous avez perdu le contrôle dans un virage, c'était :

1 À l'entrée du virage 2 Au milieu du virage 3 À la sortie du virage 9 Je ne sais pas

47. Qu'avez-vous tenté pour éviter l'accident ? *(plusieurs réponses possibles)*

1 J'ai freiné 4 J'ai modifié ma trajectoire
2 J'ai décéléré (sans freiner) 5 Rien, par manque de temps / d'espace
3 J'ai accéléré 6 Rien, par non perception du danger 9 Je ne sais pas

Si vous avez freiné ou accéléré, le 2RM était : 1 Droit 2 Incliné 9 Je ne sais pas

48. Pensez-vous que l'état de la chaussée est en partie à l'origine de l'accident ? 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas

49. Quel élément votre 2RM a-t-il heurté lors du premier choc ? <i>(une seule réponse)</i>		50. Avec quels éléments avez-vous eu un contact corporel et dans quel ordre ? <i>(plusieurs réponses possibles)</i>		Ordre
		0	<input type="checkbox"/> Votre propre véhicule	
Tiers	1 <input type="checkbox"/> Véhicule tiers (décrit page 2)	1	<input type="checkbox"/> Véhicule tiers (décrit page 2)	
	2 <input type="checkbox"/> Un autre véhicule	2	<input type="checkbox"/> Un autre véhicule	
	3 <input type="checkbox"/> Piéton	3	<input type="checkbox"/> Piéton	
Obstacle fixe	4 <input type="checkbox"/> Sol/chaussée	4	<input type="checkbox"/> Sol/chaussée	
	5 <input type="checkbox"/> Trottoir	5	<input type="checkbox"/> Trottoir	
	6 <input type="checkbox"/> Véhicule stationné	6	<input type="checkbox"/> Véhicule stationné	
	7 <input type="checkbox"/> Obstacle étroit (arbre, poteau...)	7	<input type="checkbox"/> Obstacle étroit (arbre, poteau...)	
	8 <input type="checkbox"/> Glissière	8	<input type="checkbox"/> Glissière	
	9 <input type="checkbox"/> Fossé/talus	9	<input type="checkbox"/> Fossé/talus	
	10 <input type="checkbox"/> Bâtiment/mur/muret/barrière	10	<input type="checkbox"/> Bâtiment/mur/muret/barrière	
	11 <input type="checkbox"/> Mobilier urbain (arrêt de bus, ilot, refuge...)	11	<input type="checkbox"/> Mobilier urbain (arrêt de bus, ilot, refuge...)	
	12 <input type="checkbox"/> Autre	12	<input type="checkbox"/> Autre	
	99 <input type="checkbox"/> Je ne sais pas	99	<input type="checkbox"/> Je ne sais pas	

51. Quelle partie du véhicule (voiture, fourgon, poids lourd) votre 2RM a-t-il heurté lors du premier choc ? 0 Non concerné
- 1 Avant 2 Côté avant 3 Côté central 4 Côté arrière 5 Arrière 9 Je ne sais pas
52. Avez-vous reçu un choc à la tête (avec ou sans casque) ? 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas
- Si oui, avec quoi, merci de préciser : _____

Rubrique 6 : Votre rôle et celui de l'éventuel tiers

53. Pensez-vous avoir fait une erreur ? 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas
- Pensez-vous que le tiers a fait une erreur ? 0 Non concerné 1 Oui 2 Non 9 Je ne sais pas
- Si oui, pour vous-même et/ou pour le tiers, merci de préciser : *(plusieurs réponses possibles)*

	Vous-même	Tiers
Dépassement risqué	1 <input type="checkbox"/>	1 <input type="checkbox"/>
Conduite interfile	2 <input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
Vitesse trop élevée/ inadaptée	3 <input type="checkbox"/>	3 <input type="checkbox"/>
Conduite sous l'influence de l'alcool	4 <input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
Refus de priorité	5 <input type="checkbox"/>	5 <input type="checkbox"/>
Passage au feu rouge	6 <input type="checkbox"/>	6 <input type="checkbox"/>
Ralentissement violent surprenant	7 <input type="checkbox"/>	7 <input type="checkbox"/>
Accélération surprenante	8 <input type="checkbox"/>	8 <input type="checkbox"/>
Changement de direction non indiqué	9 <input type="checkbox"/>	9 <input type="checkbox"/>
Utilisation du téléphone en conduisant	10 <input type="checkbox"/>	10 <input type="checkbox"/>
Autre manque d'attention	11 <input type="checkbox"/>	11 <input type="checkbox"/>
Distance de sécurité insuffisante	12 <input type="checkbox"/>	12 <input type="checkbox"/>
Pas de feux de croisement allumés	13 <input type="checkbox"/>	13 <input type="checkbox"/>
Contresens	14 <input type="checkbox"/>	14 <input type="checkbox"/>
Freinage trop fort	15 <input type="checkbox"/>	15 <input type="checkbox"/>
Autre, merci de préciser : _____	16 <input type="checkbox"/>	16 <input type="checkbox"/>

54. Quelle responsabilité vous attribuez-vous dans l'accident ?
- 1 Totalemnt responsable 3 Responsabilité partagée 5 Pas du tout responsable
- 2 Plutôt responsable 4 Plutôt non responsable 9 Je ne sais pas
55. Pensez-vous que le tiers est responsable de l'accident ? 0 Non concerné
- 1 Oui, totalement responsable 3 Oui, responsabilité partagée 5 Non, pas du tout responsable
- 2 Oui, plutôt responsable 4 Non, plutôt non responsable 9 Je ne sais pas

Rubrique 7 : Usage habituel de votre 2RM

56. À l'époque de l'accident, combien de kilomètres par an réalisiez-vous avec votre 2RM ?

| | | | | | | | | | | | kilomètres

Je ne sais pas

Avec quel pourcentage de kilomètres parcourus en ville ? | | | | | %

Je ne sais pas

57. Pour quels motifs utilisiez-vous votre 2RM à l'époque de l'accident ?

Trajet domicile-travail

1

Trajet domicile-école, lycée, université

2

Déplacement professionnel

3

Loisir (activités, balade, vacances...)

4

Autre: _____

5

**Cochez ici tous
les motifs d'usage
(plusieurs réponses
possibles)**

1

2

3

4

5

**Cochez ici l'usage principal
en termes de kilomètres
parcours
(une seule réponse)**

58. À quelle période de l'année utilisiez-vous votre 2RM, à l'époque de l'accident ?

1 Toute l'année, quelle que soit la météo

3 Uniquement en période estivale

9 Je ne sais pas

2 Toute l'année, en fonction des conditions météorologiques

4 Autre, merci de préciser : _____

59. Quelle était la fréquence d'utilisation de votre 2RM, à l'époque de l'accident ?

1 Tous les jours ou presque

3 1 à 3 jours par semaine

5 Rarement

2 4 à 5 jours par semaine

4 Seulement le week-end

9 Je ne sais pas

60. Conduisiez-vous également une voiture à l'époque de l'accident ?

1 Oui

2 Non

9 Je ne sais pas

61. Avez-vous plus de craintes à conduire un 2RM par rapport à avant l'accident ?

1 Oui

2 Non

62. Conduisez-vous toujours un 2RM depuis l'accident ?

1 Oui

2 Non

Si oui, avez-vous modifié votre pratique de conduite ?

1 Oui

2 Non

Merci de décrire le déroulement de votre accident de manière chronologique

Nous vous remercions de votre participation.

Merci d'envoyer le questionnaire avec l'enveloppe T ci-jointe.

Si vous l'avez perdue, utilisez une enveloppe classique que vous adresserez à :

Dan WU, IFSTTAR-UMRESTTE, 25 Avenue François Mitterrand, case 24, F-69675 Bron Cedex

Annexe B – Résultats de l'enquête SECU2RM

Cette partie décrit les résultats principaux et descriptifs des réponses de l'enquête, qui a fait l'objet d'un livrable « Causes des accidents de deux/trois-roues motorisés – résultats d'une enquête réalisée auprès des blessés accidentés dans le Rhône entre 2010 et 2014 » dans le cadre du projet SECU2RM.

B-1. Résultats : comparaison des répondants et non-répondants

Les non-réponses sont un grand problème dans toute opération de collecte de données d'enquêtes non obligatoires. Les taux de réponses des enquêtes sont souvent très bas, c'est également le cas dans notre enquête, ce qui peut rendre douteuse la représentativité de l'ensemble des répondants. L'utilisation du Registre comme base de sondage permet d'effectuer une comparaison des caractéristiques entre les répondants et les non-répondants, ce qui permet l'évaluation des éventuels biais dus aux non réponses.

Étant donné que les deux causes de non-réponse à l'enquête sont que les personnes n'ont pas pu être contactées (défaut d'adresse, adresse erronée, ou adresse qui n'est plus valable), ou bien qu'elles ont refusé de répondre, nous avons effectué deux comparaisons : comparaison des caractéristiques des enquêtés avec ou sans adresse postale valide et comparaison des répondants et des non-répondants sachant que le contact avec le sujet a été établi.

B-1.1. Comparaison des caractéristiques des enquêtés avec ou sans adresse postale valide

Une comparaison des taux de non-contact entre les sous-groupes en fonction de l'année de l'accident, du département de résidence, du sexe et de l'âge de la victime a été effectuée et les résultats sont montrés dans les quatre figures suivantes. Plus les accidents sont anciens, moins les adresses des victimes sont valides. Les non-contacts se trouvent un peu plus élevés chez les victimes non domiciliées dans le département du Rhône et chez les femmes. Le taux de non-contact atteint une valeur maximum pour les jeunes entre 25 et 34 ans (52 %).

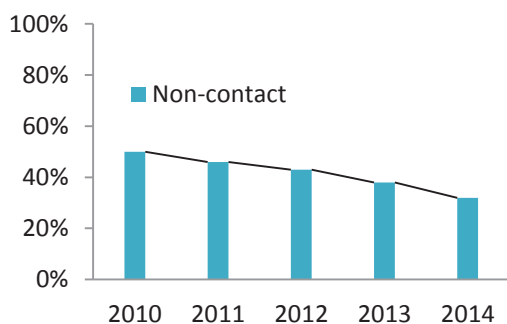


Figure B-2 : taux de non-contact en fonction de l'année de l'accident

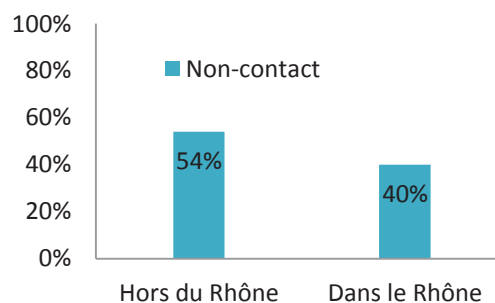


Figure B-1 : taux de non-contact en fonction du département de résidence

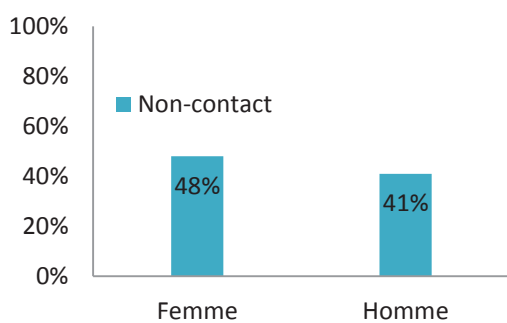


Figure B-4 : taux de non-contact en fonction du sexe

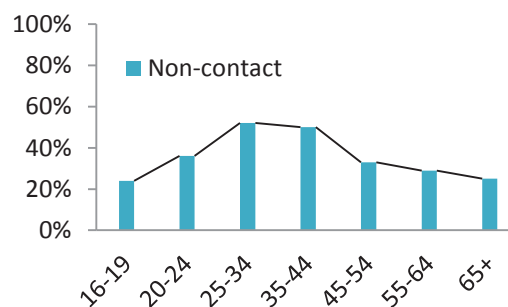


Figure B-3 : taux de non-contact en fonction de l'âge de la victime

B-1.2. Comparaison des répondants et des non-répondants

Le groupe des répondants comprend 970 sujets qui ont répondu au questionnaire, soit par courrier soit en ligne et le groupe des non-répondants est formé des sujets qui ont reçu le questionnaire et n'y ont pas répondu (les NPAI et les cas spéciaux ne sont pas comptés). La comparaison entre les répondants et les non-répondants est décrite dans le Tableau B-1.

- Le taux de réponse est stable pour les accidents de 2010-2013 (environ 20 %), mais atteint 25 % pour les accidents de 2014. La distribution du sexe chez les répondants est légèrement différente de celle chez les non-répondants et le taux de réponse est un peu plus élevé chez les femmes, mais pas significativement.
- Les jeunes de 20 à 24 ans ont moins souvent participé avec un taux de réponse de 13 % alors que les âgés de 65 ans et plus ont un taux de réponse de 43 %. La proportion de sujets de 25 à 34 ans est plus importante parmi les non-répondants (30 % contre 18 %).
- Le taux de réponse est un peu moins élevé chez les sujets habitant dans le département du Rhône.
- Les usagers de scooters répondent au questionnaire deux fois moins que ceux de non scooters.
- Les usagers ne portant pas de casque sont plus fréquents chez les non-répondants que chez les répondants (10 % contre 4 %).
- Les usagers qui n'ont qu'une ou des blessures légères (MAIS = 1) sont ceux qui ont le moins répondu à l'enquête. La proportion des usagers non hospitalisés est plus élevée chez les non-répondants que chez les répondants. Il semble que plus la blessure était de gravité élevée, plus la victime a eu envie de participer à notre enquête, sauf quand la victime était très gravement blessée.
- Les sujets victimes d'accidents dans lesquels aucun tiers n'était impliqué, ou d'accidents qui n'ont pas été saisis par les forces de l'ordre, ont eu moins envie de répondre à notre questionnaire (le taux de réponse étant 18 % contre 25 % chez les victimes avec un tiers ; 19 % contre 27 % chez les victimes enregistrées dans les BAAC).
- Le taux de réponse varie en fonction du réseau où a eu lieu l'accident. Le taux de réponse est le plus élevé chez les sujets accidentés sur une autoroute ou une route nationale (38 %), suivi de ceux accidentés sur une route départementale, sur une voie communale et sur un parking ; autrement dit, plus la limitation de vitesse est grande, plus le taux de réponse est élevé. Le taux de réponse est minimum chez les sujets accidentés sur un réseau inconnu (9 %). Si à l'époque de l'accident beaucoup d'information était déjà manquante dans le Registre, on peut imaginer que ces victimes ont moins de volonté de participer à cet auto-questionnaire quelques années après l'accident. C'est aussi le cas pour le motif du trajet des victimes. Le taux de réponse atteint également un minimum chez les victimes avec un motif du trajet inconnu.

En résumé, les conducteurs qui constituent notre échantillon sont en moyenne un peu plus âgés que la population de départ (l'ensemble des blessés du Rhône de 2010 à 2014), les 25-34 ans étant ceux qui ont le moins répondu. Les utilisateurs de scooter et les plus légèrement blessés ont moins souvent répondu au questionnaire. Ces différents facteurs sont bien sûr liés, les plus jeunes conduisant plus souvent des cyclomoteurs qui sont des scooters pour une grande majorité.

Ainsi comme dans toute enquête, les répondants ont quelques caractéristiques différentes de l'échantillon de départ. Les écarts significatifs mis en évidence ne sont cependant pas d'une grande ampleur.

Tableau B-1 : taux de réponse en fonction des caractéristiques, profils des répondants et non-répondants et tests du χ^2

Caractéristiques	Taux de réponse (20,9 %)	Non-répondants (N = 3 664) %	Répondants (N = 970) %	p-value (χ^2)
Année de l'accident				0,016
2010	20,0	18,1	17,1	
2011	18,9	19,6	17,2	
2012	19,4	19,2	17,5	
2013	20,9	20,5	20,5	
2014	24,5	22,5	27,6	
Sexe				0,090
Femme	23,7	11,1	13,1	
Homme	20,6	88,9	86,9	
Âge au moment de l'étude				< 0,001
16-19	16,8	6,6	5,1	
20-24	13,1	26,6	15,2	
25-34	13,6	30,1	17,8	
35-44	21,1	15,1	15,3	
45-54	32,4	13,2	23,8	
55-64	41,5	6,6	17,5	
65+	43,3	1,9	5,4	
Département de résidence				0,001
Hors du Rhône	26,6	9,9	13,4	
Dans le Rhône	20,3	90,1	86,6	
Type d'usager				< 0,001
Scooter	14,9	42,1	27,8	
2RM (non scooter)	27,1	38,2	53,6	
2RM sans précision	19,9	19,8	18,6	
Port de casque				< 0,001
Non	10,2	9,6	4,1	
Oui	22,5	80,9	88,9	
Inconnu	16,4	9,5	7,0	
MAIS				< 0,001
1	18,9	62,6	55,1	
2	23,4	26,7	30,7	
3	27,2	8,5	12,0	
≥ 4	24,4	1,6	2,0	
Inconnu	12,0	0,6	0,3	
Hospitalisation				< 0,001
Non	19,6	81,1	74,6	
Oui	26,3	18,9	25,4	
Tiers impliqué				< 0,001
Non	17,8	59,3	48,5	
Oui	25,1	40,7	51,5	
Accident dans les BAAC				< 0,001
Non	19,3	79,5	71,9	
Oui	26,7	20,5	28,1	
Réseau de l'accident				< 0,001
Autoroute/RN/voie rapide	38,3	3,2	7,4	
RD	28,2	8,8	13,0	
Voie communale	22,6	62,3	68,7	
Parking/voie privée/hors réseau	14,0	4,2	2,6	
Inconnu	9,3	21,6	8,4	
Accident de travail				< 0,001
Non	19,9	66,3	62,1	
Oui, domicile-travail	26,5	21,7	29,6	
Oui, mission	20,3	2,6	2,5	
Inconnu	14,2	9,4	5,9	

B-2. Résultats descriptifs de l'enquête

970 victimes d'un accident en 2RM ont participé à l'enquête. La plupart des questionnaires sont très bien remplis. Certaines questions ne sont pas renseignées, ce qui correspond à un refus de l'enquêté de répondre à certaines questions, à l'oubli de certains détails ou à une difficulté de compréhension.

Le taux de non-réponse partielle varie de 0 à 51 % selon les différentes questions. Il est le plus élevé pour les questions concernant la puissance maximale du moteur (51 %), et le poids à vide du 2RM (47 %). En utilisant d'autres caractéristiques du 2RM renseignées dans le questionnaire telles que la marque et le modèle, la puissance et le poids du 2RM ont pu être renseignés pour un certain nombre d'observations. Les pourcentages de valeurs manquantes pour la puissance et le poids sont finalement de 30 % et 26 % respectivement. Les questions concernant l'année de l'obtention du permis BSR/AM (32 %), l'année de la première immatriculation du 2RM (27 %) et le kilométrage parcouru par an à l'époque de l'accident (23 %) sont également mal renseignées.

B-2.1. Types d'accidents

D'après le Tableau B-2, 32 % des accidents de 2RM sont des accidents à 2RM seul, et plus de 60 % sont des accidents à deux véhicules (un 2RM contre un autre véhicule). 3 % des accidents de 2RM ont impliqué un ou plusieurs piétons.

Tableau B-2 : répartition des accidents selon les impliqués

	Effectif (N = 970)	%
Accident de 2RM seul	310	32,0
Accident de 2RM vs un véhicule tiers	593	61,1
Accident de 2RM vs plusieurs véhicules	41	4,2
Accident de 2RM vs piéton(s)	9	0,9
Accident de 2RM vs piéton(s) vs véhicule(s)	17	1,8

Nous définissons six types d'accidents selon le schéma indiqué Figure B-5 : accident de 2RM en « perte de contrôle » (accident PDC) (voir la section 4.1 pour la définition), accident de 2RM seul sans PDC, accident de 2RM vs piéton(s), accident de 2RM vs véhicule(s) en intersection, accident de 2RM vs véhicule(s) hors intersection avec une manœuvre de stationnement et accident de 2RM vs véhicule(s) hors intersection sans manœuvre de stationnement.

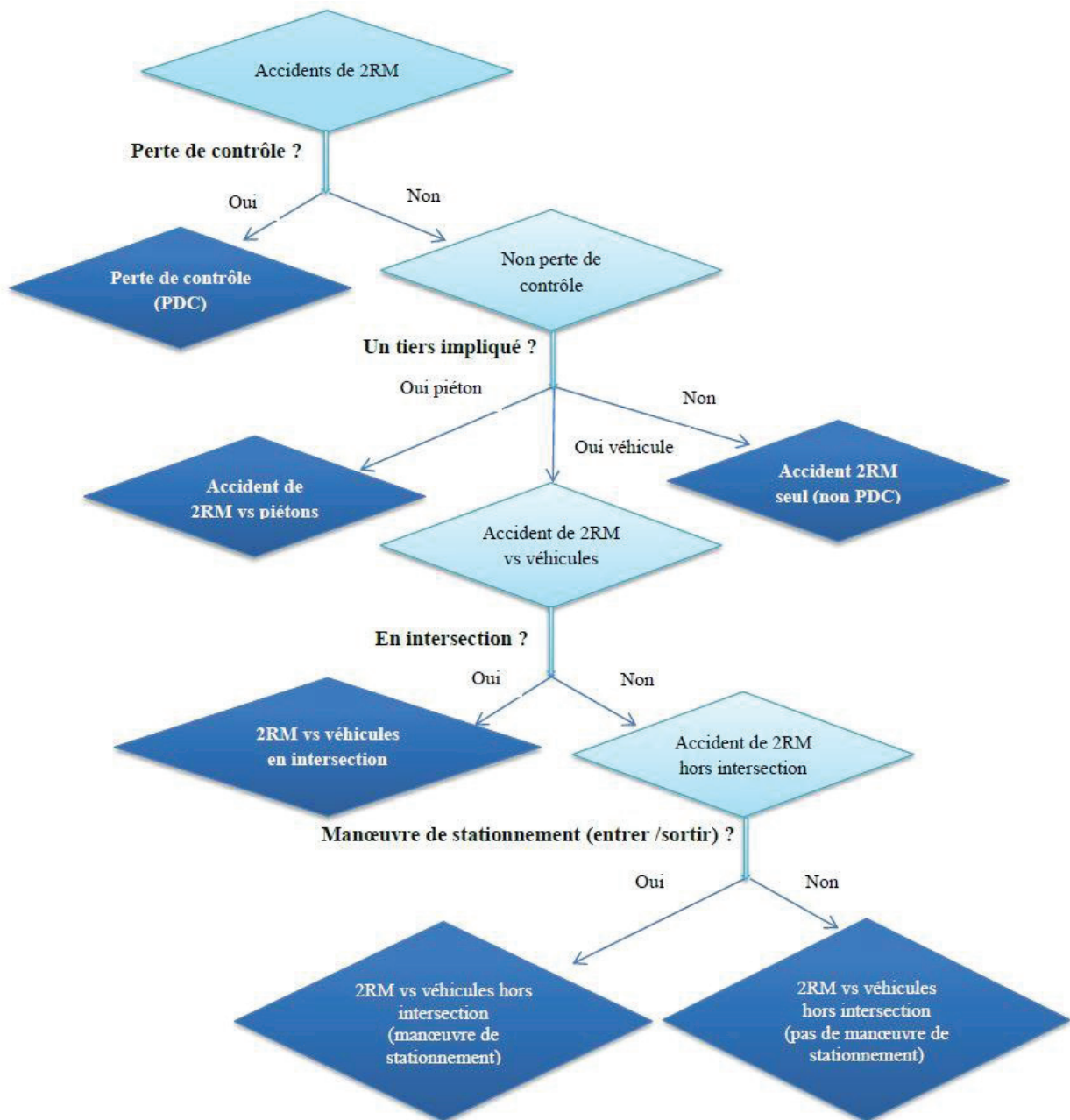


Figure B-5 : processus de la construction des six types d'accidents

Les effectifs correspondant aux six types d'accidents de 2RM sont indiqués dans le Tableau B-3.

Tableau B-3 : types d'accidents de 2RM

	Types d'accidents	Effectif (N = 970)	%
T1	Accident PDC	300	30,9
T2	Accident de 2RM seul sans perte de contrôle	50	5,2
T3	Accident de 2RM vs piéton(s) (au moins un piéton impliqué, un véhicule tiers peut être aussi impliqué)	23	2,4
T4	Accident de 2RM vs véhicule(s) en intersection (sans perte de contrôle du 2RM)	313	32,2
T5	Accident de 2RM vs véhicule(s) hors intersection, quittant/entrant en stationnement/garage/voie privée	99	10,2
T6	Accident de 2RM vs véhicules hors intersection, hors stationnement	185	19,1

Environ 31 % des accidents se caractérisent par une perte de contrôle du 2RM (dont 87 % sans tiers). La majorité des accidents de 2RM ont lieu en interagissant avec un autre usager de la route et pour la plupart avec un autre véhicule (61 %). Les types T4 « accident de 2RM vs véhicule(s) en intersection » (32,2 %) et T1 « accident PDC » (30,9 %) sont les types les plus fréquents, représentant près de 63 % des accidents de 2RM. On peut également noter que si le type T6 « accident de 2RM vs véhicule(s) hors intersection, hors stationnement » arrive en troisième position quant à sa fréquence, les accidents hors intersection avec un véhicule tiers quittant son stationnement, étant en stationnement ou entrant/sortant d'une voie privée, d'un garage ou d'un parking (T5), représentent environ 10 % des accidents de 2RM, soit une part non négligeable des accidents impliquant des 2RM.

Manœuvre d'urgence avant l'accident

Le Tableau B-4 décrit les manœuvres d'urgence tentées par le conducteur du 2RM pour éviter l'accident (en vain dans ce cas) selon les six types retenus.

Tableau B-4 : manœuvres d'urgence tentées selon six types d'accidents (effectifs et % par ligne)

	Freinage	Décélération	Accélération	Modification de la trajectoire	Rien, manque de temps/d'espace	Rien, non perception du danger	Ne sait pas ou non renseigné (NSP/NR)
T1	83 (27,7)	36 (12,0)	2 (0,7)	48 (16,0)	104 (34,7)	48 (16,0)	27 (9,0)
T2	16 (32,0)	5 (10,0)	0 (0,0)	8 (16,0)	8 (16,0)	15 (30,0)	6 (12,0)
T3	13 (56,5)	2 (8,7)	1 (4,3)	9 (39,1)	3 (13,0)	2 (8,7)	1 (4,3)
T4	143 (45,7)	18 (5,8)	10 (3,2)	98 (31,3)	69 (22,0)	59 (18,8)	13 (4,2)
T5	64 (64,6)	4 (4,0)	1 (1,0)	44 (44,4)	12 (12,1)	9 (9,1)	2 (2,0)
T6	110 (59,5)	15 (8,1)	7 (3,8)	70 (37,8)	27 (14,6)	17 (9,2)	5 (2,7)
Total	429 (44,2)	80 (8,2)	21 (2,2)	277 (28,6)	223 (23,0)	150 (15,5)	54 (5,6)
	Freiner ou décélérer : 482 (49 ,7)						
	Au moins une de ces quatre manœuvres : 572 (59,0)				Rien : 344 (35,5)		54 (5,6)

La moitié des victimes ont soit freiné, soit décéléré pour éviter l'accident et un peu plus d'un tiers des victimes n'ont rien fait, soit par manque de temps/d'espace, soit par non perception du danger. Un tiers des usagers qui ont perdu le contrôle de leur véhicule n'ont pas eu le temps ou l'espace de tenter une action pour éviter l'accident. Cette proportion est beaucoup plus élevée comparée à celles des autres types d'accidents. On peut également noter que le freinage d'urgence a surtout été tenté en cas de conflit avec un autre usager, beaucoup moins souvent en cas de perte de contrôle du 2RM (survenant très majoritairement sans tiers impliqué).

B-2.2. Configurations d'accidents

62 configurations ont été construites à partir des questions posées dans la première rubrique « configuration de l'accident » du questionnaire (voir pages 190-191), en partant des configurations définies dans le cadre du projet VOIESUR.

Configurations d'accidents PDC (T1)

Plus d'un tiers des accidents PDC ont eu lieu dans un virage, dont 16 % à gauche et 21 % à droite. Cette proportion est à peu près similaire à celle des PDC en ligne droite. À noter également la proportion assez élevée (15 %) de PDC dans un giratoire.

Tableau B-5 : sept configurations d'accidents PDC (effectifs et pourcentages)

	Accidents PDC	Effectif (N = 300)	%
101	Dans un virage à gauche	48	16,0
102	Dans un virage à droite	64	21,3
103	En ligne droite sans tourner	104	34,7
104	En ligne droite en tournant*	18	6,0
105	Dans un giratoire	44	14,7
106	À l'arrêt ou au démarrage	7	2,3
107	Autre perte de contrôle lors d'une sortie sur un chemin de terre (loisir)	15	5,0

* perte de contrôle survenue dans une ligne droite lors d'un changement de direction du 2RM

Le Tableau B-6 détaille les facteurs associés à ces pertes de contrôle, que ce soit un blocage de roue au freinage, une perte d'adhérence, une vitesse trop élevée, un guidonnage (guidon entrant en résonance mécanique et devenant incontrôlable pour un temps court), ou un défaut mécanique, une chaussée déformée ou la présence d'un obstacle imprévisible. Plusieurs facteurs de perte de contrôle peuvent être signalés.

Tableau B-6 : facteurs associés à la perte de contrôle selon les sept configurations d'accidents : effectifs (% ligne, plusieurs facteurs possibles par configuration)

Configuration	Blocage roue avant	Blocage roue arrière	Perte d'adhérence	Vitesse élevée /inadaptée	Guidonnage	Chaussée déformée	Obstacle imprévisible	Défaut mécanique	Autre*	NSP
101	10 (20,8)	5 (10,4)	26 (54,2)	4 (8,3)	3 (6,3)	6 (12,5)	2 (4,2)	2 (4,2)	8 (16,7)	0 (0,0)
102	5 (7,8)	3 (4,7)	48 (75,0)	7 (10,9)	7 (10,9)	11 (17,2)	3 (4,7)	1 (1,6)	6 (9,4)	1 (1,6)
103	27 (26,0)	5 (4,8)	53 (51,0)	10 (9,6)	16 (15,4)	14 (13,5)	8 (7,7)	2 (1,9)	9 (8,7)	7 (6,7)
104	1 (5,6)	0 (0,0)	12 (66,7)	2 (11,1)	0 (0,0)	2 (11,1)	0 (0,0)	0 (0,0)	3 (16,7)	2 (11,1)
105	2 (4,5)	0 (0,0)	28 (63,6)	4 (9,1)	1 (2,3)	4 (9,1)	2 (4,5)	1 (2,3)	5 (11,4)	2 (4,5)
106	1 (14,3)	0 (0,0)	1 (14,3)	0 (0,0)	1 (14,3)	1 (14,3)	0 (0,0)	0 (0,0)	3 (42,9)	0 (0,0)
107	3 (20,0)	0 (0,0)	6 (40,0)	3 (20,0)	2 (13,3)	3 (20,0)	1 (6,7)	1 (6,7)	2 (13,3)	1 (6,7)
Total	49 (16,3)	13 (4,3)	174 (58,0)	30 (10,0)	30 (10,0)	41 (13,7)	16 (5,3)	7 (2,3)	36 (12,0)	13 (4,3)

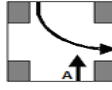
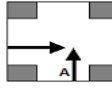
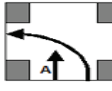
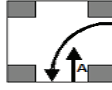
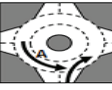
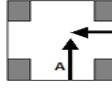
* Autre facteur signalé alors qu'aucun des facteurs proposés n'a été indiqué

Comme attendu, la perte d'adhérence est le facteur de perte de contrôle le plus fréquemment indiqué. Le blocage de la roue avant est plus souvent indiqué que le blocage de la roue arrière comme facteur de perte de contrôle. Le phénomène de guidonnage est indiqué pour 15 % des pertes de contrôle en ligne droite.

Configurations d'accidents de 2RM avec un antagoniste en intersection (T4)

Le Tableau B-7 liste les six configurations d'accidents en intersection les plus fréquentes, qui représentent environ deux tiers des accidents en intersection.

Tableau B-7 : six configurations les plus fréquentes d'accidents en intersection

Pictogramme ¹	Accidents en intersection	Effectif (N = 313)	%	% priorité pour le 2RM (% priorité en excluant les inconnus)
 406	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule tiers venant du sens inverse tourne à gauche	49	15,7	87,8 (93,5)
 401	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule tiers venant de sa gauche va tout droit	36	11,5	88,9 (94,1)
 407	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule tiers venant de la même direction à sa droite tourne à gauche	32	10,2	62,5 (83,3)
 404	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule tiers venant de sa droite tourne à gauche	29	9,3	86,2
 442	Accident sur giratoire, un véhicule tiers s'insère sur le giratoire alors que le 2RM prioritaire arrive à sa gauche	29	9,3	100,0
 403	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule tiers venant de sa droite va tout droit	28	9,0	67,9 (73,1)
Total		203	64,9	82,8 (89,4)

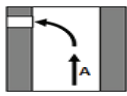
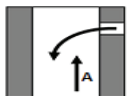
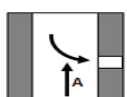

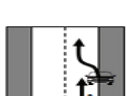
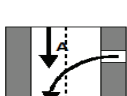
La configuration 406 avec le véhicule tiers qui, en tournant sur sa gauche, coupe la route au 2RM qui allait tout droit, est la configuration la plus fréquente dans les accidents en intersection, suivie par la configuration 401 où un 2RM allant tout droit est heurté ou heurte un véhicule tiers venant de la gauche sans respecter la priorité du 2RM. Il faut noter que le 2RM va tout droit dans les six configurations présentées, et qu'il est presque toujours prioritaire sauf dans la dernière (403) configuration où le véhicule tiers vient à la droite du 2RM : le refus de priorité est le fait du conducteur du 2RM dans environ un quart des cas.

¹ Le pictogramme est une représentation simplifiée d'une configuration d'accident. La lettre A indique le 2RM.

Configurations d'accidents de 2RM hors intersection, avec véhicule tiers quittant ou entrant sur la chaussée à partir d'un stationnement/garage/voie privée (T5)

Le Tableau B-8 détaille les accidents de type 5, qui sont très majoritairement des situations de conflit entre un 2RM et une voiture.

Tableau B-8 : cinq configurations les plus fréquentes d'accidents hors intersection avec véhicule tiers quittant ou entrant sur la chaussée à partir d'un stationnement/garage/voie privée



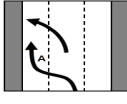
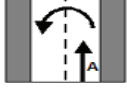

Pictogramme	Accidents hors intersection	Effectif (N = 99)	%
 501	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule tiers venant du même sens tourne à gauche	19	19,2
 503	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule tiers sortant d'une voie privée ou d'un garage à sa droite tourne à gauche	19	19,2
 502	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule tiers venant du sens inverse tourne à gauche pour entrer dans une voie privée ou dans un garage	18	18,2
 599	Autre cas	14	14,1
 505	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule stationné à droite quitte son stationnement	13	13,1
 507	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule sortant d'une voie privée ou d'un garage à sa gauche tourne à gauche	6	6,1
Total		89	89,9

La répartition est assez égale selon que le véhicule tiers tournait sur sa gauche, débouchait d'un stationnement sur la gauche du 2RM ou lui coupait la route pour s'insérer dans la circulation. Pour plus de la moitié des configurations, le véhicule tiers a coupé la trajectoire suivie par le 2RM (configurations 503, 502, 505 et 507).

Configurations d'accidents de 2RM hors intersection, avec antagoniste sans quitter ou entrer en stationnement/garage/voie privée (T6)

Le Tableau B-9 montre les situations observées hors intersection entre un 2RM et un autre véhicule motorisé.

Tableau B-9 : cinq configurations les plus fréquentes d'accidents hors intersection avec véhicule tiers sur la chaussée

Pictogramme	Accidents hors intersection	Effectif (N = 185)	%
 601	Le 2RM heurte l'arrière du véhicule tiers précédent qui maintient son allure ou ralentit	46	24,9
 603	Le véhicule tiers roule ou se déporte sur la voie adverse alors que le 2RM arrive en sens inverse	20	10,8
 631	Le véhicule tiers se déporte à gauche ou tourne à gauche alors que le 2RM le dépasse par la gauche	20	10,8
 607	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule tiers qui le précède fait un demi-tour	17	9,2
 609	Lorsque le 2RM va tout droit, le véhicule tiers dans le même sens à gauche se rabat sur la voie à sa droite	15	8,1
Total		118	63,8

La situation la plus fréquente est celle où le 2RM heurte l'arrière d'un véhicule roulant sur la même voie et dans le même sens. Les 4 autres configurations correspondent à une non prise en compte (ou une mauvaise prise en compte) du 2RM par le véhicule tiers. On peut aussi noter que, comme pour les accidents hors intersection avec le véhicule entrant ou sortant de la chaussée, le véhicule tiers coupe la trajectoire du 2RM dans près de la moitié des configurations (603, 631, 607).

B-2.3. Circonstances des accidents

Cette partie détaille les conditions dans lesquelles circulait le 2RM au moment de l'accident, telles que l'environnement (les conditions météorologiques, la luminosité du site, la vision) et l'infrastructure (le régime de circulation, le nombre de voies, la limitation de vitesse, l'état de la chaussée et les obstacles particuliers sur la chaussée).

Conditions météorologiques

80 % des accidents ont eu lieu quand il faisait beau ou couvert, et 15 % des accidents se sont produits alors qu'il pleuvait.

Tableau B-10 : conditions météorologiques au moment de l'accident

Météo	Effectif (N = 970)	%
Beau temps	600	63,8
Couvert	159	16,9
Pluie	136	14,5
Brouillard	18	1,9
Vent fort	7	0,7
Neige, grêle	12	1,3
Autre	50	5,3
Ne sait pas (NSP) ou non renseigné (NR)	30	3,1

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Luminosité du lieu

Trois quarts des accidents ont eu lieu dans la journée, 10 % la nuit avec éclairage.

Tableau B-11 : luminosité du lieu au moment de l'accident

Luminosité	Effectif (N = 970)	%
Jour	728	75,3
Nuit avec éclairage	96	9,9
Nuit sans éclairage	29	3,0
Nuit, on ne sait pas pour l'éclairage	15	1,6
Aube ou crépuscule	99	10,2
Total	967	100,0
NSP/NR	3	0,3

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

La proportion très élevée des accidents de 2RM de jour, comme celle des accidents par temps sec, signifie d'abord que les usagers de 2RM roulent la plupart du temps de jour et par temps sec, soit par choix, soit parce que cela correspond à leur besoin de déplacement.

Gêne de la vision

Le Tableau B-12 indique la présence éventuelle d'une gêne de la vision qui a eu un rôle dans la survenue de l'accident, et détaille les 5 grandes raisons de cette gêne.

Tableau B-12 : présence de la gêne de vision et les types de gêne

Gêne de la vision	Effectif (N = 970)	%
Oui	164	18,8
Non	707	81,2
Total	871	100,0
NSP/NR	99	10,2
Type de gêne <i>(plusieurs réponses possibles par observation)</i>	Effectif (N = 164)	%
Un autre véhicule en circulation/arrêté	41	25,0
Des véhicules stationnés	18	11,0
Une file de véhicules circulants/arrêtés	21	12,8
Un ou des objets (matériel urbain, panneau, arbre, mur, talus, haie, ...)	39	23,8
Une lumière éblouissante	23	14,0
Autre	25	15,2

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Près de 19 % des victimes ont déclaré qu'elles avaient eu au moins une gêne de la vision au moment de l'accident. Parmi celles-ci, 25 % ont été gênées au moins par un autre véhicule en circulation ou arrêté, 24 % par des objets proches de la chaussée tels que mur, arbre, panneau, haie, etc. et 14 % par une lumière éblouissante.

Régime de la circulation et nombre de voie de circulation

Plus d'un quart des accidents ont eu lieu sur une route à sens unique, parmi lesquels 40 % sont survenus sur une route à une seule voie de circulation. Un peu plus de la moitié des accidents sont survenus sur une route à 2x1 voie, c'est le type de route le plus fréquent, suivi par les routes à 2x2 voies (16 %).

Tableau B-13 : régime du réseau routier

Sens unique	Effectif (N = 970)	%	Nombre de voies dans le sens de circulation du 2RM (% par ligne)				
			1	2	3	4+	NSP/NR
Oui	260	27,7	39,2	38,1	17,7	3,9	1,2
Non	679	72,3	75,2	21,8	1,0	0,3	1,6
Total	939	100	65,3	26,3	5,6	1,3	1,5
NSP/NR	31	3,2	25,8	16,1	3,2	0	54,8

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Vitesse réglementaire et vitesse pratiquée

Presque trois quarts des accidents sont survenus sur des routes avec limitation de vitesse réglementaire à 50 km/h ou moins, et à peine 1 % avec une limitation de 110 ou 130 km/h. 11 % des usagers ont déclaré rouler à une vitesse supérieure à la vitesse réglementaire.

Tableau B-14 : vitesse réglementaire et vitesse pratiquée

Vitesse réglementaire (km/h)	Effectif (N = 970)	%	Vitesse pratiquée		
			% NSP/NR	Vitesse moyenne	% vitesse en excès
10/15/20/30	44	4,9	6,8	27	17,1
40/45/50	612	68,2	8,2	40	10,1
60/70	76	8,5	9,2	49	7,3
80/90	159	17,7	5,7	72	13,3
110/130	7	0,8	14,3	127	33,3
Total	898	100,0	7,8	46	11,0
NSP/NR	72	7,4	25,0	37	NSP

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Profil en long de la route

Un quart des victimes étaient sur une route en montée (11 %) ou en descente (15 %).

Tableau B-15 : profil en long de la route

Profil en long de la route	Effectif (N = 970)	%
Plane	701	74,2
En montée	104	11,0
En descente	140	14,8
Total	945	100,0
NSP/NR	25	2,6

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

État de la chaussée

Les 2RM sont plus sensibles à l'infrastructure que les autres usagers de la route, du fait de la très faible surface de contact roue/sol. Le mauvais état de la chaussée (mouillé, déformé, glissant) peut facilement conduire à la perte de contrôle d'un 2RM, due à la baisse de niveau d'adhérence de la chaussée. Les tableaux suivants montrent les fréquences d'accidents de 2RM selon l'état de la chaussée.

Tableau B-16 : état de la chaussée

Sec ou mouillé	Effectif (N = 970)	%
Sec	747	79,6
Mouillé	193	20,4
Total	945	100,0
NSP/NR	25	1,7
Présence d'un objet glissant (plusieurs réponses possibles par observation)	Effectif (N = 970)	%
Gravillonné (cailloux, graviers...)	85	9,0
Chaussée déformée (trou, bosse...)	86	9,1
Glissant cause naturelle (flaque, verglas, boue, huile, feuilles)	126	13,3
Glissant cause infrastructure (marquage au sol, plaque d'égout...)	71	7,5
Autre	16	1,7
Au moins un des 5 états	316	32,6
NSP/NR	25	2,6

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

20 % des victimes roulaient sur une chaussée mouillée lors de leur accident (Tableau B-16). Un tiers des victimes ont été accidentées sur une route soit gravillonnée, soit déformée, soit glissante en raison d'une flaque, de verglas, d'huile, etc., soit glissante en raison du marquage au sol, d'une plaque d'égout, soit présentant d'autres difficultés.

Tableau B-17 : chaussée glissante en raison de causes naturelles

Cause naturelle	Effectif (N = 126)	%
Corps gras, huile	35	52,2
Verglas	16	23,9
Feuilles	5	7,5
Flaque d'eau	2	3,0
Autre	9	13,4
Total	67	100,0
NSP/NR	59	46,8

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Dans les cas où les accidents ont eu lieu sur une chaussée glissante en raison de causes naturelles, les différentes causes renseignées sont les suivantes : de l'huile ou un autre corps gras pour la moitié des cas ; une plaque de verglas dans un quart des cas (Tableau B-17).

Tableau B-18 : chaussée glissante en raison de l'infrastructure

Cause infrastructure	Effectif (N = 71)	%
Marquage au sol	19	48,7
Plaque d'égout	6	15,4
Autre	14	35,9
Total	39	100,0
NSP/NR	32	45,1

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Dans les cas où les accidents ont eu lieu sur une chaussée glissante en raison de l'infrastructure, les causes renseignées sont les suivantes : la moitié des victimes accidentées en 2RM ont glissé sur un marquage au sol (passage piéton, bande blanche) et 6 fois sur 39 sur une plaque d'égout (Tableau B-18).

Tableau B-19 : état de la chaussée et son rôle dans l'accident

État de la chaussée (combiné)	Effectif (N = 970)	%	L'état de la chaussée a-t-il joué un rôle dans l'accident ? % Oui (NSP/NR exclus) (N = 892)
Normal (bon)	540	57,2	2,8
Sec + gravillonné	51	5,4	70,8
Sec + gravillonné + chaussée déformée	19	2,0	88,2
Sec + gravillonné + chaussée déformée + glissant cause naturelle	3	0,3	100,0
Sec + gravillonné + glissant cause infrastructure	1	0,1	100,0
Sec + gravillonné + glissant cause naturelle	3	0,3	100,0
Sec + chaussée déformée	42	4,5	50,0
Sec + chaussée déformée + glissant cause infrastructure	2	0,2	100,0
Sec + chaussée déformée + glissant cause naturelle	3	0,3	100,0
Sec + glissant cause infrastructure	30	3,2	80,8
Sec + glissant cause naturelle	36	3,8	85,3
Sec + glissant cause naturelle + glissant cause infrastructure	6	0,6	100,0
Mouillé	89	9,4	32,0
Mouillé + gravillonné	2	0,2	50,0
Mouillé + gravillonné + chaussée déformée	3	0,3	100,0
Mouillé + gravillonné + glissant cause naturelle	3	0,3	100,0
Mouillé + chaussée déformée	4	0,4	66,7
Mouillé + chaussée déformée + glissant cause infrastructure	3	0,3	100,0
Mouillé + chaussée déformée + glissant cause naturelle	6	0,6	100,0
Mouillé + chaussée déformée + glissant cause naturelle + glissant cause infrastructure	1	0,1	100,0
Mouillé + glissant cause infrastructure	19	2,0	87,5
Mouillé + glissant cause naturelle	55	5,8	80,8
Mouillé + glissant cause naturelle + glissant cause infrastructure	8	0,9	62,5
Autre	15	1,6	16,7
Total	944	100,0	28,7
NSP/NR	26	2,7	

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Le Tableau B-19 décrit l'état de chaussée d'une autre manière et son rôle dans la survenue de l'accident d'après l'utilisateur. 57 % des usagers de 2RM ont eu un accident sur une route en bonne condition/condition normale, c'est-à-dire que la route n'était ni mouillée, ni déformée et qu'il n'y avait aucune présence d'objet glissant sur la route. 9 % des accidents sont survenus sur une route mouillée sans présence d'objet glissant et environ 10 % sur une route gravillonnée ou sur une chaussée déformée sans présence d'objet glissant.

Globalement, 29 % des accidentés en 2RM pensent que l'état de la chaussée était en partie à l'origine de l'accident. Presque un tiers des victimes accidentées sur une route mouillée déclarent que l'état de la chaussée a joué un rôle sur la survenue de l'accident, 50 % le déclarent quand l'accident a eu lieu sur une chaussée déformée et plus de 70 % le déclarent quand elles ont rencontré des objets glissants sur la chaussée tels que gravillons, huile, feuilles, marquage au sol, etc.

Le Tableau B-20 différencie l'état de la chaussée selon que l'usager de 2RM a perdu ou pas le contrôle. Seulement 20 % des pertes de contrôle se font sur une chaussée sèche et en bon état. La chaussée est dans un état dégradé (déformée ou glissante) pour 69 % des pertes de contrôle sur le sec et 79 % sur le mouillé. Autrement dit les pertes de contrôle sont avant tout observées quand la chaussée est dans un état dégradé, que la chaussée soit sèche ou humide.

Tableau B-20 : état de la chaussée et perte de contrôle

État de la chaussée	Perte de contrôle		Pas de perte de contrôle	
Sec	58	20 %	482	75 %
Sec + état dégradé	129	45 %	67	10 %
Mouillé	21	7 %	68	11 %
Mouillé + état dégradé	79	28 %	25	4 %
Total	287	100 %	642	100 %

Obstacles sur la chaussée

Le Tableau B-21 montre la fréquence d'accidents avec présence sur la chaussée d'un obstacle tel que des panneaux de travaux, un chargement perdu, des rochers ou un autre obstacle. La présence d'un animal est également notée dans cette rubrique. 4 % des victimes ont déclaré qu'il y avait un obstacle particulier sur la chaussée. Parmi les obstacles possibles précisés, les plus fréquents sont la présence d'un animal ou d'un bloc/rocher.

Tableau B-21 : présence d'un obstacle particulier sur la chaussée

Présence d'un obstacle sur la chaussée	Effectif (N = 970)	
		%
Oui	40	4,2
Non	904	95,8
Total	944	100,0
NSP/NR	26	2,7
Obstacles particuliers	Effectif (N = 40)	
		%
Animal	9	24,3
Panneaux de travaux	3	8,1
Chargement perdu	3	8,1
Bloc/rocher	9	24,3
Autre	13	35,1
Total	37	100,0
NSP/NR	3	7,5

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

B-2.4. Caractéristiques des usagers et de leurs protections

87 % des victimes usagers de 2RM sont des hommes. La moyenne d'âge des accidentés en 2RM est de 37 ans. Le motif du déplacement au cours duquel l'accident a eu lieu a également fait l'objet d'une question. Presque la moitié des accidents ont eu lieu soit au cours du trajet domicile-travail/école soit au cours d'une mission professionnelle, et plus d'un tiers des usagers faisaient du 2RM pour le loisir (Tableau B-22).

Tableau B-22 : motif de déplacement de l'utilisateur au moment de l'accident

Motif de déplacement	Effectif (N = 970)	%
Trajet domicile-travail/travail-domicile	388	40,5
Trajet domicile-école, université / école, université-domicile	36	3,8
Déplacement professionnel	61	6,4
Loisir (activités, balades, vacances,...)	379	39,6
Autre	93	9,7
Total	957	100,0
NSP/NR	13	1,3

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Tableau B-23 : fréquence de passage sur le lieu de l'accident

Fréquence de passage sur le lieu de l'accident	Effectif (N = 970)	%
Quotidienne	341	35,6
Plusieurs fois par semaine	197	20,6
Plusieurs fois par mois	189	19,8
Rarement	161	16,8
Premier passage	69	7,2
Total	957	100,0
NSP/NR	13	1,3

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

La plupart des accidents se sont produits dans un lieu où les usagers passaient souvent, soit quotidiennement soit plusieurs fois par semaine ou par mois. 24 % des accidents sont survenus dans un lieu où la victime passait rarement ou pour la première fois.

Permis de conduire et expérience de la conduite

Près de 95 % des répondants ont déclaré qu'ils avaient un permis valable au moment de l'accident. 10 % d'entre eux n'ont pas saisi leur type de permis ; sinon la moitié des répondants avaient un permis A et un peu moins d'un quart avaient un permis BSR/AM.

Tableau B-24 : permis valable au moment de l'accident

Présence d'un permis valable	Effectif (N = 970)	%
Oui	900	94,4
Non	53	5,6
Total	951	100,0
NSP/NR	17	1,8
Type de permis <i>(plusieurs réponses possibles par observation)</i>	Effectif (N = 900)	%
BSR/AM	208	23,1
A	434	48,2
A1 (125 cm ³)	233	25,9
A2 (moto moins de 35 kw)	101	11,2
B	423	47,0
C/D	73	8,1
NSP/NR	91	10,1

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Équipements de protection (sécurité)

Le port du casque et des autres équipements de protection est décrit dans les deux tableaux suivants.

Tableau B-25 : port du casque et type de casque

Casque porté	Effectif (N = 970)	%	Type de casque (% par ligne)		
			Intégral	Autre	NSP/NR
Oui, correctement attaché	944	97,3	73,4	21,0	5,6
Oui, mal/non attaché	10	1,0	50,0	20,0	30,0
Non	6	0,6			
Total	960	100,0			
NSR/NR	10	1,0			

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Presque tous les usagers de 2RM (98 %) portaient un casque correctement attaché au moment de l'accident, ce qui est plus élevé que la proportion observée dans les données nationales. Plus de trois quarts (78 %) des usagers portaient un casque intégral, en excluant les valeurs manquantes pour le type du casque porté.

Tableau B-26 : équipements de protection portés par les usagers

Équipements de protection <i>(plusieurs réponses possibles par observation)</i>	Effectif (N = 970)	%
Blouson de moto	655	68,6
Pantalon de moto	201	21,1
Bottes, chaussures montantes	460	48,2
Protection dorsale	271	28,4
Gants	809	84,8
Gilet airbag	3	0,3
Équipement rétro-réfléchissant	150	15,7
Aucun équipement	116	12,2
NSP/NR	16	1,6

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

12 % des usagers ont déclaré ne pas porter d'équipement de protection (hors casque) au moment de l'accident. Autrement dit, 88 % des usagers portaient au moins un des équipements conçus pour l'usage des 2RM décrits ci-dessus dans le Tableau B-26. Les gants de moto sont l'équipement le plus porté par les usagers du 2RM (85 %), suivi par le blouson de moto (69 %) et les bottes ou les chaussures montantes (48 %). 28 % des usagers avaient une protection dorsale. Comparé aux autres équipements, le pantalon de moto était beaucoup moins porté : seulement un usager sur cinq en portait un. Le gilet airbag n'a été noté que pour 3 conducteurs de 2RM.

B-2.5. Véhicules 2RM

Catégories de 2RM

La moitié des 2RM accidentés sont des motos lourdes (dont la cylindrée est supérieure ou égale à 125 cm³), alors que les cyclomoteurs représentent un quart des 2RM accidentés (Tableau B-27). La proportion des 2RM accidentés n'appartenant pas à leur conducteur est d'environ 9 %. Elle est différente selon la catégorie de 2RM, la proportion est plus grande pour les cyclomoteurs et plus faible pour les motos lourdes.

Tableau B-27 : catégorie de 2RM et appartenance du véhicule

Catégorie de 2RM	Effectif (N = 970)	%	Appartenance du véhicule (% par ligne)	
			Oui	Non
Cyclomoteur (cylindrée < 50 cm ³)	237	25,0	82,3	17,7
Motocyclette légère (50 ≤ cylindrée < 125 cm ³)	197	20,7	91,4	8,6
Motocyclette lourde (cylindrée ≥ 125 cm ³)	516	54,3	95,0	5,0
Total	950	100,0	91,0	9,0
NSP/NR	20	2,1		

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Types de 2RM

Les scooters deux-roues sont le type de 2RM le plus fréquent (35 %), dont la moitié sont des cyclomoteurs, suivis par les roadsters qui sont les motos (supérieures à 125 cm³) les plus vendues actuellement en France (Tableau B-28). 13 % des conducteurs de 2RM ne savent pas si leur 2RM est équipé d'un système d'assistance au freinage, la proportion la plus élevée étant chez les usagers de scooters deux-roues (24 %) et la moins élevée étant chez les usagers des routières/GT (à peine 2 %), qui connaissent bien leur véhicule. À peine 23 % des 2RM accidentés sont équipés d'un système d'assistance au freinage, alors que ces dispositifs pour les 2RM existent depuis les années 90. Les scooters trois-roues et les routières/GT sont les 2RM les plus équipés (plus de 50 %).

Tableau B-28 : type de 2RM et présence d'un système d'assistance au freinage

Type de 2RM	Effectif (N = 970)	%	Système d'assistance au freinage (% par ligne)		
			Oui	Non	NSP/NR
Scotter deux-roues	333	34,8	22,5	53,8	23,7
Scotter trois-roues	13	1,4	61,5	30,8	7,7
Custom	35	3,7	17,1	71,4	11,4
Basique /classique	56	5,9	10,7	76,8	12,5
Roadster	193	20,2	18,7	72,0	9,3
Routière/GT	101	10,6	50,5	47,5	2,0
Sportive	64	6,7	9,4	85,9	4,7
Trail/supermotard	121	12,7	22,3	67,8	9,9
Tout-terrain (enduro, trial)	34	3,6	11,8	79,4	8,8
Autre	6	0,6	0	100,0	0,0
Total	953	100,0	22,9	63,6	13,5
NSP/NR	14	1,4	0,0	21,4	78,6

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

La Figure B-6 montre la répartition du type de 2RM selon les trois catégories de 2RM : cyclomoteur, moto légère et moto lourde. Trois quarts des cyclos sont des scooters et les 25 % restants se partagent entre les basiques, sportives, trails et tout-terrains. Concernant les motos lourdes, un tiers sont des roadsters, qui sont le type de 2RM le plus fréquent, suivis par les routières autour de 20 %.

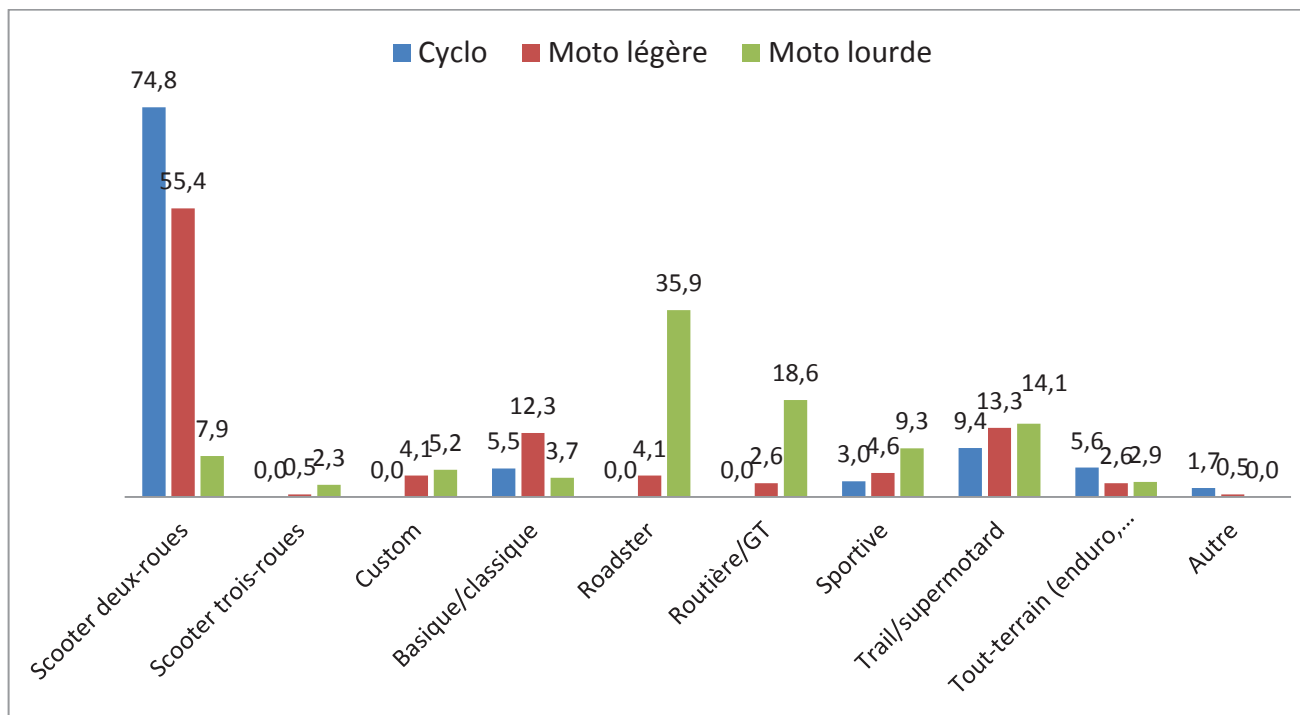


Figure B-6 : répartition du type de 2RM accidentés en fonction de la catégorie du 2RM (%)

Motos lourdes : système de freinage, poids, puissance et rapport poids/puissance

Un système d'assistance au freinage est indiqué pour 30 % des motos lourdes. Il est intéressant de noter que plus d'un scooter (de 125 cm³ ou plus) sur deux en est équipé, ainsi qu'une routière/GT sur deux. Les customs sont les motos les plus lourdes, avec une moyenne de poids de presque 300 kg. À l'exception des tout-terrains, les scooters deux-roues (191 kg) et les sportives (206 kg) sont les motos

les plus légères. Les sportives sont les motos les plus puissantes, avec 134 chevaux en moyenne, suivies par les routières/GT et les roadsters ; les sportives ont le rapport poids/puissance le plus petit (1,7 kg/ch), alors que les scooters ont le plus élevé.

Tableau B-29 : type de 2RM pour les motos lourdes

Type de 2RM	Effectif (N = 516)	%	Assistance au Freinage		Poids		Puissance		Rapport poids/puissance	
			Oui %	NSP %	NSP %	Moyen (kg)	NSP %	Moyen (ch)	NSP %	Moyen (kg/ch)
Scooter deux-roues	41	8,0	53,7	4,9	31,7	191	34,1	32	34,1	7,2
Scooter trois-roues	12	2,3	66,7	8,3	0,0	267	0,0	35	0,0	7,9
Custom	27	5,3	22,2	11,1	7,4	294	11,1	70	11,1	4,3
Basique/classique	19	3,7	15,6	5,3	15,8	214	15,8	63	15,8	3,6
Roadster	185	35,8	18,4	9,2	1,1	216	1,6	92	1,6	2,6
Routière/GT	96	18,7	51,0	1,0	1,0	255	1,0	101	1,0	2,8
Sportive	48	9,3	12,5	2,1	0,0	206	0,0	134	0,0	1,7
Trail/supermotard	73	14,2	34,3	4,1	2,7	209	1,4	76	2,7	3,0
Tout-terrain (enduro, trial)	15	2,7	13,3	6,7	26,7	120	20,0	49	26,7	2,5
Total	516	100,0	30,0	5,8	5,2	223	5,4	88	5,8	3,1

B-2.6. Collisions (heurts du 2RM et de son conducteur)

Les deux tableaux suivants détaillent séparément les heurts du 2RM et ceux de l'usager du 2RM. À noter que cette distinction est rarement possible à partir des données d'accidents, alors qu'elle est déterminante quant aux conséquences corporelles.

Tableau B-30 : heurts du 2RM lors du premier choc

Heurts du 2RM	Tous les accidents % (N = 970)	Accident de 2RM seul % (N = 310)	Accident de 2RM vs un véhicule tiers % (N = 593)
Véhicule tiers	55,4	0,0	83,4
Un autre véhicule	1,1	0,0	0,0
Piéton	0,2	0,0	0,0
Sol/chaussée	29,1	64,4	12,4
Trottoir	4,0	8,8	1,9
Véhicule stationné	0,5	1,0	0,2
Obstacle étroit (arbre, poteau...)	1,9	4,9	0,5
Glissière	1,0	3,3	0,0
Fossé/talus	3,1	6,9	1,5
Bâtiment/mur/muret/barrière	0,5	1,6	0,0
Mobilier urbain (arrêt de bus, îlot, refuge...)	0,9	2,6	0,2
Autre	2,2	6,5	0,0
Total	100,0	100,0	100,0
NSP/NR	1,0	1,2	0,7

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

En cas d'accident, plus de la moitié des 2RM ont heurté un véhicule tiers et 29 % sont tombés au sol ou ont glissé sur la chaussée lors de leur premier choc. Concernant les accidents de 2RM seuls, 64 % des 2RM accidentés ont heurté (ou glissé sur) la chaussée lors du premier choc, 9 % ont heurté le trottoir et 7 % ont percuté un fossé ou un talus. Concernant les accidents de 2RM avec un véhicule tiers, la majorité des 2RM (83 %) ont eu leur premier choc avec le véhicule tiers, et 12 % ont glissé sur la chaussée, sans heurter le véhicule tiers pour 80 % d'entre eux.

Tableau B-31 : heurts de l'usager du 2RM

Heurts de l'usager du 2RM (plusieurs réponses possibles par observation)	Tous les accidents % (N = 970)	Accident de 2RM seul % (N = 310)	Accident de 2RM vs un véhicule tiers % (N = 593)
Son propre véhicule 2RM	36,0	37,3	35,2
Véhicule tiers	36,1	0,0	54,4
Un autre véhicule	2,2	0,3	1,1
Piéton	0,3	0,0	0,2
Sol/chaussée	92,5	90,3	93,6
Trottoir	12,0	11,3	13,0
Véhicule stationné	1,2	1,0	1,1
Obstacle étroit (arbre, poteau...)	3,6	6,3	2,5
Glissière	2,4	5,0	1,1
Fossé/talus	7,0	13,0	4,6
Bâtiment/mur/muret/barrière	1,9	2,3	1,6
Mobilier urbain (arrêt de bus, ilot, refuge...)	1,6	1,7	1,6
Autre	1,4	2,0	1,2
NSR/NR	4,1	3,2	5,1

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Pour les usagers de 2RM la sévérité des conséquences corporelles en cas d'accident est fortement liée aux heurts subis. En moyenne, les usagers ont reçu deux chocs différents. Comme attendu, le sol (ou la chaussée) est le heurt le plus fréquent parmi les victimes de 2RM puisque les usagers finissent sur le sol dans la très grande majorité des cas. Les heurts les plus souvent observés sont ensuite contre un véhicule tiers (36 %), son propre véhicule 2RM (36 %) ou le trottoir (12 %). À noter que la notification du trottoir est difficile à interpréter : il est possible que cela soit surtout noté quand l'usager a heurté le bord du trottoir (ce qui présente potentiellement plus de danger de provoquer une blessure que la partie plane du trottoir), mais cette information n'est pas disponible. Les usagers de 2RM impliqués dans un accident avec un véhicule tiers ont eu un contact avec le véhicule tiers une fois sur deux, ce qui a des conséquences lésionnelles comparé à un heurt avec le sol.

B-2.7. Responsabilité et erreur des impliqués, et rôle de l'état de la chaussée

Tableau B-32 : répartition de la responsabilité de l'usager de 2RM et du tiers en fonction du type d'accident

Responsabilité	Tous les accidents % (N = 970)	Accident de 2RM seul % (N = 310)	Accident de 2RM vs un véhicule tiers % (N = 593)	
	Resp. du sujet	Resp. du sujet	Resp. du sujet	Resp. du tiers
Responsable	25,5	53,8	13,0	79,0
Responsabilité partagée	9,9	9,1	10,0	7,2
Non responsable	64,6	37,1	77,0	13,8
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
NSP/NR	5,0	11,3	1,9	2,2

Resp. : Responsable ; % : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Près de 65 % des victimes se sont déclarées non responsables de l'accident, et trois quarts pour les victimes impliquées dans les accidents avec un tiers. 37 % des victimes qui ont chuté seules se sont déclarées non responsables de l'accident.

Tableau B-33 : répartition du rôle de l'état de de la chaussée sur la survenue de l'accident en fonction du type d'accident

Rôle de l'état de la chaussée	Tous les accidents % (N = 970)	Accident de 2RM seul % (N = 310)	Accident de 2RM vs un véhicule tiers % (N = 593)
Oui	28,5	63,6	12,0
Non	71,5	36,4	88,0
Total	100,0	100,0	100,0
NSP/NR	5,9	8,7	4,5

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Le Tableau B-33 montre que l'état de la chaussée est considéré comme ayant joué un rôle dans la survenue de l'accident dans 29 % des cas, 64 % pour les accidents de 2RM seul et 12 % pour les accidents de 2RM avec un véhicule tiers.

Tableau B-34 : répartition du rôle de l'état de de la chaussée sur la survenue de l'accident en fonction du type d'accident pour tous les usagers de 2RM non responsables

Rôle de l'état de la chaussée	Tous les accidents % (N = 596)	Accident de 2RM seul % (N = 102)	Accident de 2RM vs un véhicule tiers % (N = 448)
Oui	20,4	74,0	8,8
Non	79,6	26,0	91,2
Total	100,0	100,0	100,0
NSP/NR	3,7	5,9	3,6

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Parmi toutes les victimes se déclarant non responsables, dans le cas des accidents de 2RM seuls, trois quarts ont pensé que l'état de la chaussée avait joué un rôle dans l'accident (Tableau B-34).

Tableau B-35 : répartition de l'erreur de l'usager de 2RM et du tiers en fonction du type d'accident

Erreur	Tous les accidents % (N = 970)	Accident de 2RM seul % (N = 310)	Accident de 2RM avec un véhicule tiers % (N = 593)	
	Erreur du sujet	Erreur du sujet	Erreur du sujet	Erreur du tiers
Oui	35,5	53,5	26,8	89,0
Non	64,5	46,5	73,2	11,0
Total	100,0	100,0	100,0	100,0
NSP/NR	5,0	8,4	3,2	3,7

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Concernant les erreurs commises, le Tableau B-35 montre des résultats qui correspondent bien à ce qu'on a trouvé sur la responsabilité. La Figure B-7 détaille les différentes erreurs commises par l'usager de 2RM et par le tiers.

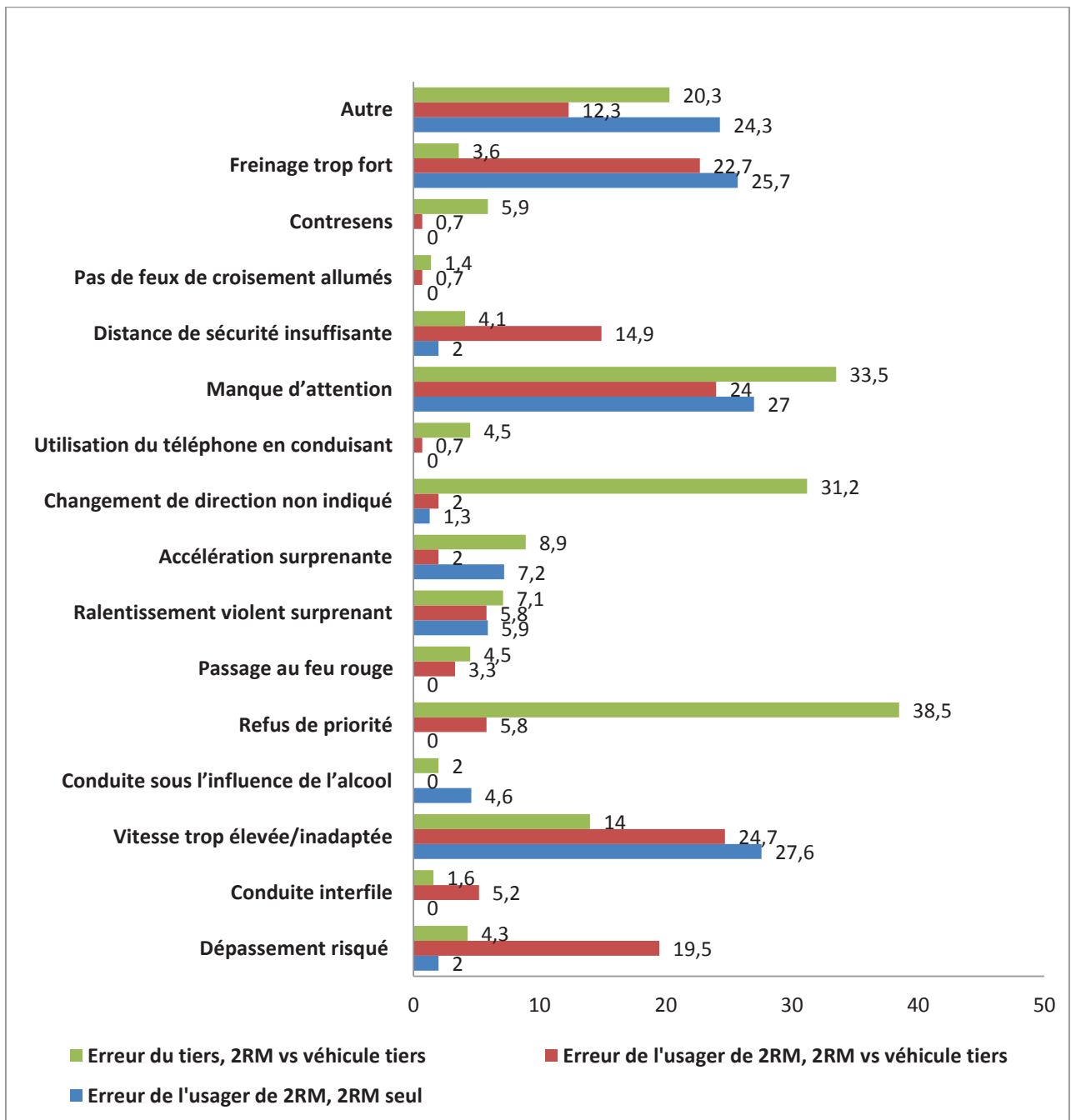


Figure B-7 : type d'erreur de l'usager de 2RM et du tiers en fonction des types d'accidents (%)

En cas d'accident seul, les erreurs commises par les conducteurs de 2RM sont une vitesse trop élevée ou inadaptée, un freinage trop intense (sans doute occasionnant un blocage de roue et une perte de contrôle) et un manque d'attention (chacune citée dans 25 % des cas environ). Concernant les accidents avec tiers, les mêmes erreurs sont déclarées, avec en plus, à des fréquences moindres, un dépassement risqué ou une distance de sécurité insuffisante.

Quant aux tiers impliqués, ils sont plus souvent accusés par le conducteur de 2RM d'avoir refusé la priorité (39%), d'avoir changé de direction sans l'indiquer (31%) ou d'avoir manqué d'attention (34%).

B-2.8. Usage habituel du 2RM

Les tableaux suivants portent sur l'usage du 2RM en termes de kilométrage annuel parcouru, de motif de déplacement et de fréquence d'utilisation à l'époque de l'accident.

Tableau B-36 : répartition des kilomètres parcourus par catégorie de 2RM

Catégorie de 2RM	Kilométrage annuel parcouru (km)	Pourcentage en ville (%)
Cyclo	4 508	59,8
Moto légère	5 087	72,4
Moto lourde	8 563	48,0
Ensemble	7 097	55,6

Comme attendu, le kilométrage annuel parcouru est le plus faible pour les usagers de cyclomoteurs, et est plus élevé pour les motos lourdes que pour les motos légères. À noter que parmi les usagers de 2RM accidentés, ce sont les usagers de motos légères qui roulent le plus en ville.

Tableau B-37 : motif de déplacement de l'utilisateur à l'époque de l'accident

Motif de déplacement <i>(plusieurs réponses possibles par observation)</i>	Effectif (N = 970)	
		%
Trajet domicile-travail/travail-domicile	620	65,3
Trajet domicile-école, université / école, université-domicile	131	13,8
Déplacement professionnel	142	14,9
Loisir (activités, balades, vacances,...)	760	80,0
Autre	50	5,3
NSP/NR	20	2,1

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

80 % des usagers accidentés utilisaient leur 2RM pour des déplacements dans le cadre des loisirs, et 65 % pour effectuer leur déplacement domicile-travail (Tableau B-37). Le tableau suivant montre les motifs de déplacement principaux, les deux premiers en proportion étant les mêmes que ceux cités précédemment.

Tableau B-38 : motif de déplacement principal de l'utilisateur à l'époque de l'accident

Motif de déplacement principal	Effectif (N = 970)	
		%
Trajet domicile-travail/travail-domicile	378	43,6
Trajet domicile-école, université / école, université-domicile	53	6,1
Déplacement professionnel	45	5,2
Loisir (activités, balades, vacances,...)	369	42,6
Autre	22	2,5
Total	867	100,0
NSP/NR	103	10,6

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

Tableau B-39 : période d'utilisation du 2RM à l'époque de l'accident

Période d'utilisation du 2RM	Effectif	
	(N = 970)	%
Toute l'année, quelle que soit la météo	424	44,8
Toute l'année, en fonction des conditions météorologiques	409	43,1
Uniquement en période estivale	90	9,5
Autre	24	2,5
Total	947	100,0
NSP/NR	23	2,4

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

La majorité des usagers accidentés utilisaient leur 2RM toute l'année, dont la moitié en tenant compte des conditions météorologiques.

Tableau B-40 : fréquence d'utilisation du 2RM à l'époque de l'accident

Fréquence d'utilisation du 2RM	Effectif	
	(N = 970)	%
Tous les jours ou presque	450	47,8
4 à 5 jours par semaine	164	17,4
1 à 3 jours par semaine	199	21,1
Seulement le week-end	76	8,1
Rarement	53	5,6
Total	942	100,0
NSP/NR	28	2,9

% : NSP/NR sont exclus du dénominateur (sauf pour le pourcentage de NSP/NR)

La moitié des usagers utilisaient leur 2RM tous les jours, alors que 14 % ne l'utilisaient que le week-end ou rarement.

B-3. Discussion

L'objectif de ce travail est d'identifier les facteurs qui expliquent la survenue des accidents dans lesquels au moins un usager de 2RM a été blessé. L'utilisation d'un questionnaire auprès des conducteurs de 2RM blessés présente ainsi l'avantage de connaître l'analyse des principaux intéressés sur les causes de leur accident. En cas d'accident survenant sans tiers, cette approche permet en particulier de mettre en évidence l'éventuel rôle de l'infrastructure, alors que cela est plus difficile à partir d'une analyse externe de l'accident (notamment à partir des recueils des forces de l'ordre). En cas d'accident avec tiers, le rôle du tiers dans la survenue de l'accident est soit déduit de la configuration de l'accident telle que décrite par l'usager de 2RM, soit basé sur l'appréciation de ce même usager. Il est donc possible que l'analyse des facteurs expliquant la survenue des accidents de 2RM avec tiers soit biaisée par le fait que nous ne disposons que du point de vue du seul conducteur du 2RM.

B-3.1. Les accidents corporels impliquant un 2RM : qui, où, quand, avec quel 2RM?

Les usagers de 2RM qui ont été blessés dans un accident et ont répondu au questionnaire ont une moyenne d'âge de 37 ans, et sont très majoritairement des hommes (87 %). Pratiquement tous les conducteurs avaient un permis valable au moment de l'accident.

80 % des accidents ont eu lieu quand il faisait beau ou couvert et 15 % des accidents se sont produits alors qu'il pleuvait. Trois quarts des accidents ont eu lieu dans la journée, 10 % la nuit avec éclairage.

Environ trois quarts des accidents sont survenus sur des routes avec limitation de vitesse réglementaire à 50 km/h ou moins, et à peine 1 % avec une limitation de 110 ou 130 km/h. Les usagers accidentés en 2RM se déplaçaient pour moitié pour effectuer un trajet entre leur domicile et leur lieu d'activité, ou pour une mission professionnelle, et pour un tiers dans le cadre de leurs loisirs.

La moitié des 2RM accidentés sont des motos lourdes, un quart des motos légères et un quart des cyclomoteurs. Les scooters deux-roues sont le type de 2RM le plus fréquent (35 %). Un peu moins d'un quart des 2RM accidentés sont équipés d'un système d'assistance au freinage. Les scooters trois-roues et les routières/GT sont les 2RM les plus équipés (plus de 50 %). Trois quarts des cyclomoteurs sont des scooters. Un tiers des motos lourdes sont des roadsters, suivi par les routières autour de 20 %. Un système d'assistance au freinage est indiqué pour 30 % des motos lourdes. Il est intéressant de noter que plus d'un scooter sur deux (de 125 cm³ ou plus) en est équipé, ainsi qu'une routière/GT sur deux.

Presque tous les usagers du 2RM portaient un casque correctement attaché au moment de l'accident, et plus des trois quarts portaient un casque intégral. 85 % portaient des gants, 69 % un blouson de moto et la moitié des chaussures montantes. La proportion des usagers portant une protection dorsale est relativement élevée (28 %), ce qui comprend les protections séparées ou intégrées au blouson. Seul un usager sur cinq portait un pantalon moto. Le gilet airbag n'a été noté que par 3 conducteurs de 2RM.

Comme attendu, le kilométrage annuel parcouru est le plus faible pour les usagers de cyclomoteurs, et le plus élevé pour les motos lourdes. À noter que parmi les usagers de 2RM accidentés, ce sont les usagers de motos légères qui roulent le plus en ville. 80 % des usagers accidentés utilisaient habituellement leur 2RM pour des déplacements dans le cadre des loisirs, et 65 % pour effectuer aussi leur déplacement domicile-travail. La majorité des usagers accidentés utilisaient leur 2RM toute l'année, dont la moitié en tenant compte des conditions météorologiques.

B-3.2. Comment l'accident s'est-il produit?

Plus de 60 % des accidents de 2RM sont des accidents à deux véhicules (un 2RM avec un autre véhicule), dont la moitié sont survenus en intersection. La configuration la plus fréquente dans les accidents en intersection est celle où un véhicule tourne sur sa gauche et coupe la route du 2RM qui traversait l'intersection en allant tout droit. Cette configuration semble caractéristique des accidents entre un 2RM et un autre véhicule, très majoritairement une voiture. Quant aux accidents hors intersection, le véhicule tiers coupe la trajectoire du 2RM dans plus de la moitié des configurations d'accident.

Environ un tiers des accidents de 2RM n'impliquent aucun tiers, et la majorité de ces accidents de 2RM seuls se caractérisent par une perte de contrôle du 2RM. 37 % de ces pertes de contrôle se produisent en virage, et près de 15 % dans des giratoires.

Un tiers des victimes ont été accidentées sur une route soit gravillonnée, soit déformée, soit glissante en raison d'une flaque, de verglas, d'huile, etc., soit glissante en raison du marquage au sol, d'une plaque d'égout, soit présentant d'autres difficultés.

Un quart des accidents se sont produits dans un lieu inhabituel pour le conducteur. Seuls 11 % des usagers ont déclaré rouler à une vitesse au-dessus de la vitesse réglementaire au moment de l'accident.

Tous accidents confondus, le 2RM a d'abord heurté un véhicule tiers dans plus d'un accident corporel sur deux. Il a d'abord heurté la chaussée dans 29 % des accidents, et un obstacle autre dans 14 % des accidents. Quant au conducteur de 2RM blessé, il a toujours heurté le sol, le trottoir, un talus ou un fossé. Il a heurté son propre véhicule plus d'une fois sur trois, et, en cas d'accident avec un tiers, heurté le véhicule tiers plus d'une fois sur deux. Enfin, il a heurté un obstacle dur environ une fois sur dix. Parmi ces obstacles, les glissières ne sont notées que pour 2,4 % des heurts.

B-3.3. Pourquoi l'accident s'est-il produit?

Les raisons d'un accident 2RM-voiture peuvent être que le conducteur de la voiture n'a pas vu le 2RM, ou a mal évalué sa vitesse d'approche (éventuellement excessive), sachant que le système visuel humain perçoit mal ce qui est étroit et rapide. Ces deux raisons peuvent en partie expliquer un grand nombre des configurations d'accidents se produisant en intersection avec un 2RM : celle, la plus fréquente en intersection, où un véhicule tourne sur sa gauche et coupe la route du 2RM qui traversait l'intersection en allant tout droit ; celle où le 2RM traverse une intersection en ligne droite et l'autre véhicule ne respecte pas la priorité, ceci pour les trois quarts de ces configurations d'accident. On peut supposer que les deux mêmes raisons sont également présentes dans plus de la moitié des accidents hors intersection, que le véhicule tiers roule sur la chaussée ou qu'il en sorte ou y pénètre.

Concernant les accidents avec perte de contrôle, un tiers des conducteurs de 2RM déclarent ne pas avoir eu le temps ou l'espace nécessaire pour tenter une action pour éviter l'accident, soit beaucoup plus que pour les autres types d'accidents. Le risque de perte de contrôle apparaît nettement plus élevé en virage puisque presque une perte de contrôle sur deux se produit en virage ou dans un giratoire, alors que, pour un trajet donné, on peut supposer que la distance parcourue en virage (ou dans un giratoire) est en moyenne nettement inférieure à celle parcourue en ligne droite. Ce risque plus élevé traduit la difficulté de maîtrise d'un 2RM en courbe. Alors qu'en moyenne les nombres de virages à gauche et à droite sont forcément égaux, la proportion un peu plus élevée de pertes de contrôle en virage à droite peut être une conséquence d'un rayon de courbure inférieur en moyenne.

Globalement, 29 % des accidentés en 2RM pensent que l'état de la chaussée était en partie à l'origine de l'accident. Presque un tiers des victimes accidentées sur une route mouillée déclarent que l'état de la chaussée a joué un rôle sur la survenue de l'accident, 50 % le déclarent quand l'accident a eu lieu sur une chaussée déformée et plus de 70 % le déclarent quand elles ont rencontré des objets glissants sur la chaussée tels que gravillons, huile, feuille, marquage au sol, etc. Ces fortes proportions traduisent la difficulté pour un conducteur de maîtriser son 2RM du fait de la faible surface de contact roue/sol, spécialement quand les conditions d'adhérence de la chaussée sont dégradées. Ceci est confirmé par nos résultats, puisque 73 % des pertes de contrôle se produisent sur chaussée dégradée.

Comme attendu, la perte d'adhérence est le facteur de perte de contrôle le plus fréquemment indiqué, sans que l'on sache si elle est due à une vitesse excessive, à un revêtement dégradé, à une chaussée glissante ou au manque de performance des pneumatiques. Le fait que le blocage de la roue avant soit plus souvent indiqué que le blocage de la roue arrière est à relever, car il traduit le fait que le 2RM est plus difficile à maîtriser dans la première situation, alors que, en raison du transfert de masse vers l'avant en cas de freinage, le blocage de la roue arrière se produit forcément plus souvent.

Le phénomène de guidonnage est cité pour 15 % des pertes de contrôle en ligne droite. Il peut survenir en raison d'une combinaison de facteurs (vitesse inadaptée ou accélération trop forte sur chaussée dégradée par exemple), et des solutions techniques pour y remédier existent depuis longtemps.

Près de 65 % des victimes se sont déclarées non responsables de l'accident, et trois quarts pour les victimes impliquées dans les accidents avec un tiers. 37 % des victimes qui ont chuté seules se sont déclarées non responsables de l'accident. L'état de la chaussée est considéré comme ayant joué un rôle dans 64 % pour les accidents de 2RM seuls et 12 % pour les accidents de 2RM avec un véhicule tiers. Autrement dit la plupart des victimes ayant chuté seules et qui se considèrent non responsables incriminent l'état de la chaussée.

En cas d'accident seul, les erreurs reconnues par les conducteurs de 2RM sont une vitesse trop élevée ou inadaptée, un freinage trop intense (sans doute occasionnant un blocage de roue et une perte de contrôle) et un manque d'attention (citées dans 25 % des cas environ). Il est intéressant de noter que ce sont les mêmes erreurs qui sont déclarées pour les accidents avec tiers, avec en plus, à des fréquences moindres, un dépassement risqué ou une distance de sécurité insuffisante.

Quant aux tiers impliqués, ils sont plus souvent accusés par le conducteur de 2RM d'avoir refusé la priorité (39 %), d'avoir changé de direction sans l'indiquer (31 %) ou d'avoir manqué d'attention (34 %).

Conclusion

Obtenus à partir d'un questionnaire dédié aux conducteurs de 2RM ayant subi un accident corporel, les résultats de cette enquête mettent en avant l'importance des accidents en interaction avec les automobilistes, qu'ils se produisent en intersection ou non, et qui paraissent être souvent liés à une mauvaise analyse de la situation par l'automobiliste. Plusieurs raisons, non exclusives, peuvent expliquer cela, comme une non-détection du 2RM, une mauvaise appréciation de la vitesse d'approche de celui-ci, ou plus généralement un manque d'attention. Les récentes tentatives d'amélioration de la détectabilité des deux-roues motorisés représentent ainsi un véritable enjeu. La baisse de ce type d'accident doit également passer par une amélioration du comportement des automobilistes, qui doivent être plus attentifs aux 2RM, et du comportement des conducteurs de 2RM qui doivent mieux anticiper les éventuels conflits en prenant mieux conscience des difficultés qu'ils peuvent poser aux

autres usagers, ces difficultés pouvant être particulièrement difficiles à gérer s'ils roulent au-delà des vitesses autorisées.

Nos résultats mettent aussi en évidence l'importance de l'état de la chaussée dans les accidents associés à une perte de contrôle du 2RM par son conducteur. Ces accidents, qui se produisent dans leur grande majorité sans tiers impliqué, sont très souvent dus, d'après les conducteurs, à une chaussée dont l'adhérence est dégradée. Si la conduite sur chaussée mouillée est plus délicate, c'est surtout ce qui la rend glissante ponctuellement qui pose problème, car la détérioration de l'adhérence est alors souvent plus difficile à anticiper et à prendre en compte correctement par le conducteur du 2RM. L'amélioration de l'état de la chaussée ou sinon la signalisation adaptée représentent ainsi un enjeu fort pour la sécurité des usagers de 2RM.

Pictogramme de configuration accidentelle

Le pictogramme se définit comme une représentation simplifiée et imagée d'une configuration accidentelle.

A : 2RM ; antagoniste : le véhicule tiers

Types d'accidents de 2RM

Type 1 : accident de 2RM seul en cause (perte de contrôle)

Type 2 : accident de 2RM seul sans perte de contrôle

Type 3 : accident de 2RM vs piéton(s)

Type 4 : accident de 2RM vs véhicule(s) en intersection (sans perte de contrôle du 2RM)

Type 5 : accident de 2RM vs véhicule(s) hors intersection, quittant/entrant en stationnement/garage/voie privée

Type 6 : accident de 2RM vs véhicule(s) hors intersection, sans manœuvre de stationnement

Type 1 : accident de 2RM seul en cause (perte de contrôle)

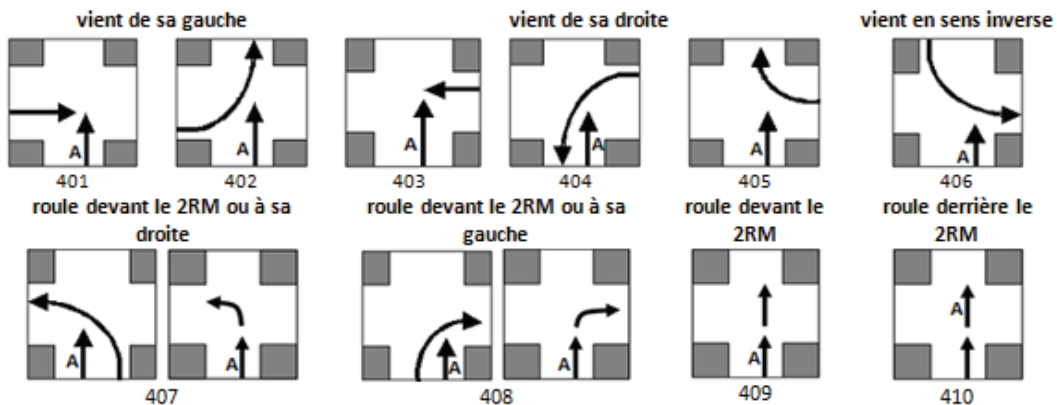
101 Perte de contrôle dans un virage à gauche	102 Perte de contrôle dans un virage à droite	103 Perte de contrôle en ligne droite sans tourner	104 Perte de contrôle en ligne droite en tournant	105 Perte de contrôle dans un giratoire	106 À l'arrêt ou au démarrage	107 Autre (loisir)
---	---	--	---	---	---	------------------------------

Type 2 : accident de 2RM seul sans perte de contrôle : 200

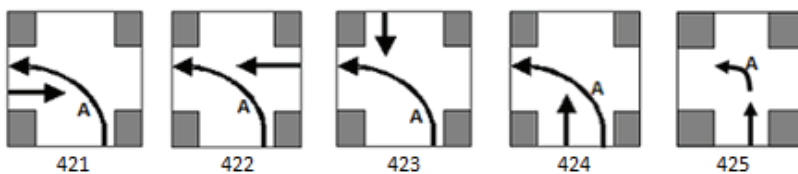
Type 3 : accident de 2RM vs piéton(s) : 300

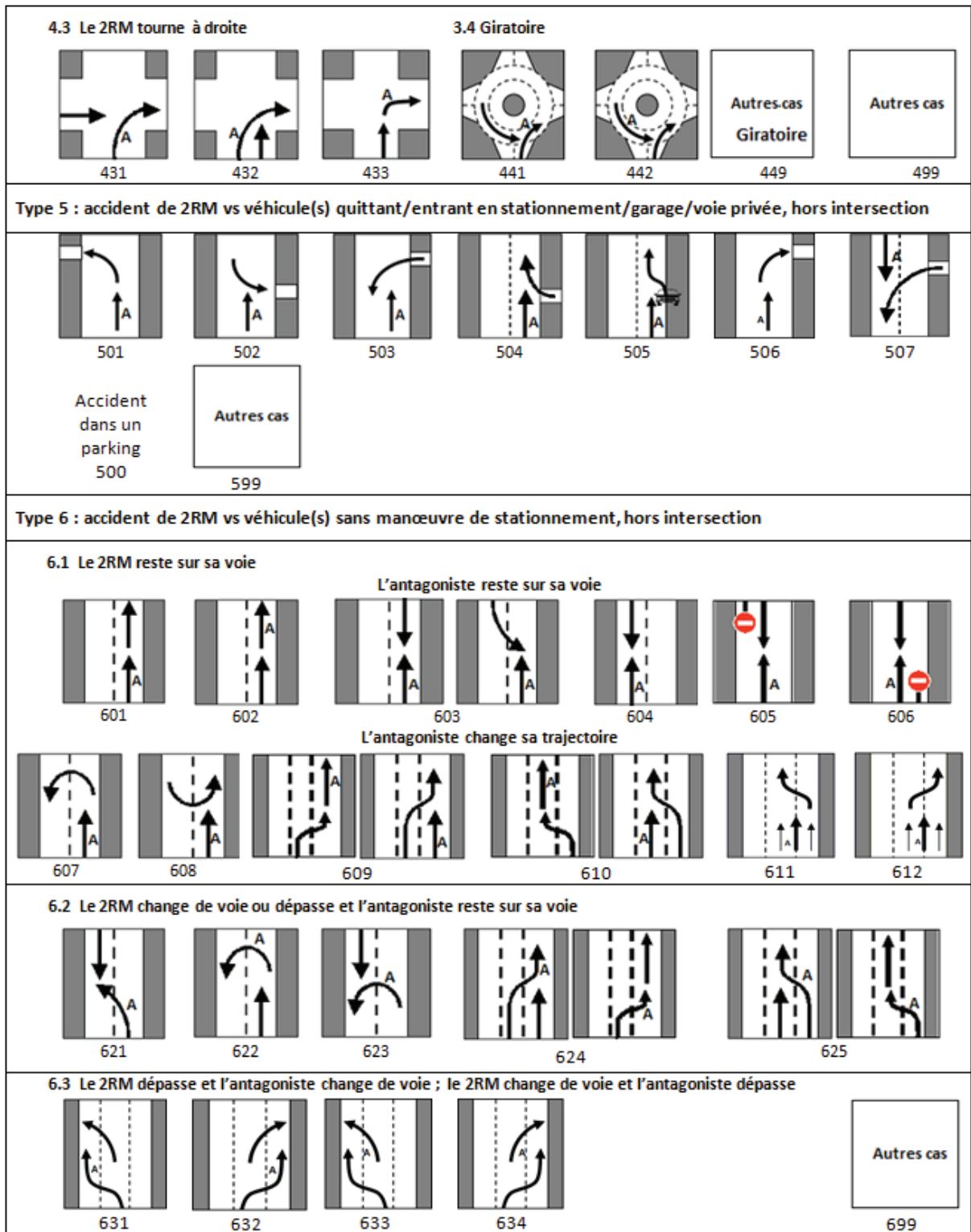
Type 4 : accident de 2RM vs véhicule(s) en intersection (sans perte de contrôle du 2RM)

4.1 Le 2RM va tout droit et l'antagoniste...



4.2 Le 2RM tourne à gauche





Annexe C – Article publié

Risk factors for motorcycle loss-of-control crashes (version preprint)

Risk factors for motorcycle loss-of-control crashes

Authors

Dan Wu ^a

Martine Hours ^a

Jean-Louis Martin ^a

a: Univ Lyon, Université Lyon 1, IFSTTAR, UMRESTTE UMR_T 9405, F-69675, LYON, France

Corresponding author:

Dan WU

IFSTTAR/UMRESTTE, 25 Avenue François Mitterrand, 69675 Bron Cedex, France

Tel.: +33 4 78 65 68 63;

E-mail: dan.wu@ifsttar.fr

Abstract

Objective: The present paper identifies and assesses the effect of critical factors on the risk of motorcycle loss-of-control (LOC) crashes.

Method: Data come from a French project on road crashes, which comprises all fatal road crashes and a random sample of 1/20th of non-fatal crashes in France in 2011, based on police reports. A case-control study was carried out on a sample of 903 crashes for 444 LOC motorcycle riders (case) and 470 non-LOC and non-responsible motorcycle riders (control). The sample was weighted due to the randomization of non-fatal crashes. Missing values were imputed using multiple imputation.

Results: Road alignment and surface conditions, human factors and motorcycle type played important roles in motorcycle LOC crashes. Riding in a curve was associated with a 3-fold greater risk of losing control of motorcycle than riding in a straight line. Poor road adhesion significantly increased the risk of losing control; the risk increased more than 20-fold when deteriorated road adhesion was encountered unexpectedly, due to loose gravel, ice, oil, bumps, road-marking, metal plates, etc. For motorcyclists, riding with a positive blood alcohol concentration (over or equal to the legal limit of 0.5g/l) was very dangerous, often resulting in losing control. The risk of LOC crash varied for different types of motorcycle: riders of roadsters and sports bikes were more likely to have a LOC crash than riders of basic or touring motorcycles. In addition, LOC risk increased with speed; a model using the square of the traveling speed showed better fit than one using speed itself.

Conclusion: The LOC crash factors related to riders, vehicles and road infrastructure identified here were expected, but were rarely identified and taken simultaneously into account in previous studies. They could be targeted by countermeasures to improve motorcyclist safety.

Key-words: motorcycle, LOC, curve, road adhesion, motorcycle type, traveling speed

INTRODUCTION

In France, the number of motorcycle fatalities is steadily decreasing, from 947 in 2000 to 625 in 2014. This significant decline of 34% for motorcycle riders, however, is less than for car users, which was 69% over the same period. Although motorcycles account for only 1.5% of overall road traffic, they are particularly at risk of crash injury, associated with 24% of crashes in 2014 (ONISR 2016). According to recent research in France, the risk of death or injury per kilometer was 20-30 times greater for powered two-wheeler riders than for car drivers (Blaizot et al. 2013; Bouaoun et al. 2015; SOeS 2013a).

Over 50% of serious motorcycle crashes in the UK resulted from right-of-way violations or losing control on curves (38% and 15%, respectively) (Clarke et al. 2007). In a recent study in Germany, loss-of-control (LOC) crashes were the most common scenario (26%) in powered two-wheeler crashes with severe injury (Fredriksson and Sui 2016). In Belgium, the MOTAC (Motorcycle Accident Causation) study showed that motorcyclists had lost control in 32% of the cases studied (Martensen and Roynard 2013). Similar results were previously reported by Preusser in 1995, with LOC crashes accounting for 48% of fatal motorcycle crashes: 41% “ran-off-road” and 7% “motorcycle down” (Preusser et al. 1995).

In short, although LOC crashes are not the most frequent type of motorcycle crash overall, when they happen they tend to be serious and are one of the most common motorcycle crash types leading to fatal or serious injury. Prevention of LOC crashes is imperative, to reduce the risk of motorcyclists being killed or seriously injured. That is one reason why the present paper focuses on this point. Also, few studies of motorcycle crashes focused on this specific crash type.

Some articles reported that motorcycle crashes were often due to risky rider behavior: riding under the influence of alcohol, fast driving, unlicensed driving, etc. Preusser reported that alcohol and excessive speed were common factors associated with motorcycle crashes (Preusser et al. 1995). Alcohol can impair the skills involved in motorcycle control (Creaser et al. 2009). Ouellet showed that motorcyclists riding under the influence of alcohol were more likely to be involved in a LOC crash, especially at night (Ouellet and Kasantikul 2006). According to Horswill, motorcyclists drive faster than motorists (Horswill and Helman 2003). Excessive or inappropriate speed is a very common rider-related factor in motorcycle crashes (Elliott et al. 2007; Hurt et al. 1981; Lardelli-Claret et al. 2005; Van Elslande and Elvik 2012). At excessive speed, motorcycles are more difficult to maneuver especially on curves and riders do not have time to handle urgent situations well (obstacles or slippery objects such as ice or oil on the road surface), resulting in loss of control. A strong effect of motorcycle type was found for risky driving behavior in fatal crashes, due to motorcycle design and performance; sports bikes in particular were associated with elevated risk taking (Teoh and Campbell 2010).

The literature stresses the risk associated with curves, with a high frequency of LOC crashes on curves (Clarke et al. 2007; Hurt et al. 1981; Sexton et al. 2004; Van Elslande et al. 2008). Schneider’s study suggested that a curve with a decreasing radius caused a significant increase in crash frequency and that the longer the curve the greater the crash risk (Schneider et al. 2010).

Road surface deterioration, damaged bitumen or the presence of some small objects on the roadway (gravel, ice, oil, etc.) was reported in 30% of powered two-wheeler crashes in the in-depth MAIDS (Motorcycle Accidents In Depth Study), but their actual implication in the accidents was not detailed (ACEM 2009). Poor road conditions were closely related to motorcycle LOC and were considered causal in 6.5% of single-vehicle

crashes (Hurt et al. 1981). Likewise in France degraded road condition was identified as causal in 7% of motorcycle and 18.5% of moped LOC crashes (Van Elslande et al. 2008).

The present case-control study aimed to identify critical risk factors for motorcycle LOC crashes, and assess their effects. These factors, related to riders, vehicles and road infrastructure, will then be targeted for countermeasures to reduce the rate of motorcycle LOC crashes.

MATERIAL AND METHODS

Our analyses relied on data from the VOIESUR project (Véhicule Occupant Infrastructure Etudes de la Sécurité des Usagers de la Route) (VOIESUR 2012), which were coded in detail for all fatal road crashes and for a random sample of 1/20th of non-fatal crashes in France in 2011, based on the police reports. For each crash, at least 350 variables were coded in the database, including general crash characteristics based on the police reports and some other important information extracted by accidentology experts using the elements available concerning the crash: for instance, loss of control, responsibility, human functional failure, collision, traveling speed, impact speed, etc.

The database comprised 1,420 motorcycle crashes: 725 fatal, 695 non-fatal; these included 441 motorcycle LOC crashes in which at least one rider lost control of a motorcycle: 327 fatal and 114 non-fatal. Thus, motorcycle LOC concerned about 45% of fatal and 16% of non-fatal motorcycle crashes in France in 2011.

Before considering the study sample and analysis method, two concepts need to be defined: “motorcycle LOC crash” and “expert responsibility”.

Motorcycle LOC Crashes

Motorcycle LOC crashes are defined by loss of control of the motorcycle alone causing the crash, without involvement of other road users (vehicles, pedestrians) contributing to the loss of control. This definition comes from a French report (Michel et al. 2005) and was used in some previous studies (Van Elslande et al. 2008).

Expert Responsibility

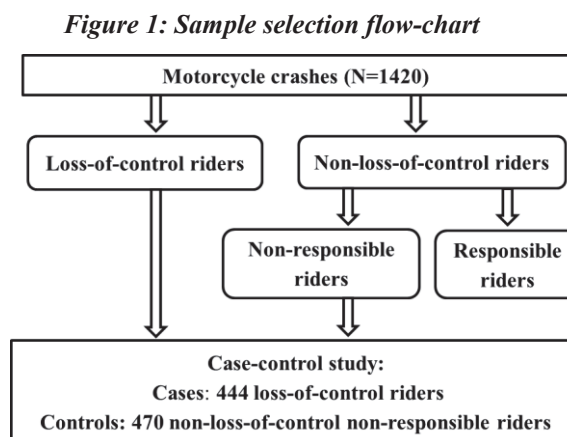
Within the project VOIESUR, the responsibility of users involved in a crash, so-called "expert responsibility", was determined by accidentology experts using all elements available concerning the crash. "Expert responsibility" is not intended in a legal sense, but in the sense that a responsible agent contributed to or triggered the crash by maneuvering inappropriately. It is scaled at 5 decreasing levels: totally responsible, rather responsible, shared responsibility, rather non-responsible, and not responsible at all. In the present study, the first three levels were counted as “responsible” and the other two as “non-responsible”.

Method: Case-Control Study of Motorcycle LOC Crashes

To assess motorcycle LOC crash factors, a case-control study was conducted, comparing LOC motorcycle riders with a control group supposed to be representative of the general population of motorcycle riders on the road. Initially, we considered comparing LOC riders with a control group of crash-involved riders who did not lose control of the motorcycle (non-LOC riders). We then decided to exclude "responsible" riders from the control group, to have a sample that was more representative of the population of riders, according to the "quasi-induced exposure method" developed by epidemiological researchers, on the assumption that non-responsible

drivers are involved in crashes fortuitously and can constitute a representative sample of the population of drivers (Lardelli-Claret et al. 2005; Lenguerrand et al. 2008; Moskal et al. 2012; Stamatidis and Deacon 1997).

Thus, the study sample comprised 903 motorcycle crashes (485 fatal, 418 non-fatal), involving 914 motorcyclists: 444 LOC riders (cases) and 470 non-LOC non-responsible riders (controls). The selection process is shown in Figure 1.



Potential Risk Factors

Potential risk factors were grouped as:

- rider-related (gender, age, blood alcohol concentration, driving license and experience, trip purpose, traveling speed);
- vehicle-related (engine displacement, motorcycle type);
- environment-related (weekend vs. weekday, light conditions, weather conditions);
- or infrastructure-related (urban/non-urban area, type of road, posted speed limit, roadway alignment, road adhesion).

In the absence of any official or consensual definition, different types of motorcycle were defined as in a 2012 survey of powered two-wheeled vehicles in France (SOeS 2013b), in 8 categories in the database: basic, roadster, cruiser, scooter, tourer/grand tourer, sports bike, dual-purpose, and off-road (definition of these eight categories is given in appendix Text A1); basic and touring motorcycles were combined in a single category for the study. For road adhesion, two types of deterioration were distinguished: 1) “predictable poor adhesion”: wet, snowy or deformed roads, which are predictable for riders, who can then adapt their driving; and 2) “unpredictable poor adhesion”: mud, gravel, ice, oil, bumps, road markings or metal plates, etc., which are difficult to foresee or detect, and thus difficult to manage.

Missing Data

The study sample contained missing data on certain potential risk factors. Blood information was missing in 15.2% of records, motorcycle type in 5.0%, road adhesion in 3.8% and traveling speed in 56.6%. It is often difficult to collect enough information about crashes to evaluate the traveling speed of a vehicle, particularly when the outcome was not serious, therefore traveling speed was less often estimated in non-fatal (34%) against than fatal crashes (51%).

Missing values were imputed using multiple imputation with a Fully Conditionally Specification (FCS) method (Van Buuren 2007), separately for fatal and non-fatal crashes. The imputation models included the

outcome variable (loss of control) and all variables of interest (blood alcohol concentration, motorcycle type, road alignment, road adhesion, weekend vs. weekday, and traveling speed). Some auxiliary variables associated with the missing mechanism or correlated with traveling speed were also included in the imputation model for traveling speed: severity of injury, posted speed limit, weather conditions, lighting conditions, and compliance with traffic rules. In addition, time of day (day/night) was added to the imputation model for blood alcohol concentration.

Fifty imputed data sets were created using SAS software version 9.4 (procedure proc mi). In subsequent analyses, estimates were calculated for each imputed data set, and then combined to assess final estimates and variance matrix (proc mianalyze).

Data Weighting

As described above, the VOIESUR database includes all fatal crashes and 1/20th of non-fatal crashes, therefore a weighting of 1 for fatal crashes and 20 for non-fatal crashes was applied in the present study. All analyses took account of this weighting, using SAS software (procedures surveymeans, surveyfreq, surveylogistic).

Statistical Analysis

Analyses were carried out in two steps. Firstly, cases were compared to controls with observed data (taking account of the weighting), using the Wald test (t-test for speed), to select risk factors for motorcycle LOC crashes. Variables with p-value <0.2 were selected. Secondly, crude and adjusted odds ratios (OR) were estimated according to selected variables, using univariate logistic regression and multivariate logistic regression on the weighted, imputed data.

RESULTS

Analysis covered 914 motorcyclists: 444 LOC (cases) and 470 non-LOC non-responsible riders (controls). Taking weighting into consideration, 2,629 cases and 6,284 controls were covered.

Step 1: Factors Associated with Motorcycle LOC Crashes

Table A1 shows the distribution of cases and controls according to potential risk factors for motorcycle LOC crashes. 5% of LOC riders were between 16 and 17 years old. 86% were tested for blood alcohol; about 16% of tests were positive (over or equal to the legal limit of 0.5g/l). Apart from 34% missing data for trip purpose, 40% of LOC riders lost control of their motorcycle on a leisure trip. More than 40% lost control at weekends, about 15% at night without light or with light off, and 12% in bad weather conditions. Over half lost control on a curve. More than 30% lost control on a road with poor adhesion; in particular, 14% concerned slippery objects on the road.

According to Wald tests, blood alcohol concentration, motorcycle type, weekend vs. weekday, lighting conditions, weather conditions, urban/non-urban area, road type, road alignment, road adhesion, posted speed limit and traveling speed could potentially influence LOC crashes. These factors were selected for subsequent analyses, except for some which were strongly associated with our variables of interest: weather conditions associated with road adhesion, and urban/non-urban area, road type and posted speed limit associated with

traveling speed. Corresponding associations are shown in Table 1 as well as associations among other risk factors, which will be examined in the discussion section.

Table 1: Association between certain risk factors in the control group

		Statistic	P-value
Blood alcohol concentration	Age*	$\chi^2=3.91$	0.27
	Day of week	$\chi^2=0.15$	0.69
Motorcycle type*	Age*	$\chi^2=38.1$	0.0015
	Validity of driving license	$\chi^2=5.06$	0.75
Traveling speed	Age	F=5.66	<.0001
	Blood alcohol concentration	F=1.20	0.27
	Motorcycle type	F=3.49	0.0027
	Day of week	F=5.10	0.025
	Road alignment	F=11.5	0.0008
	Road adhesion	F=8.81	0.0034
	Area	F=76.8	<.0001
	Type of road	F=25.9	<.0001
Posted speed limit	F=25.0	<.0001	
Road adhesion	Weather	$\chi^2=26.9$	<.0001

*Some categories were grouped for doing statistical tests due to small numbers in the control group.

The risk of LOC crashes was higher on rainy day than sunny or cloudy days: OR=2 (Table A1). Bad weather conditions may lead to loss of control due to loss of adhesion on a wet or slippery road, implying a strong association between weather and road adhesion; only road adhesion was therefore taken into account for subsequent analyses.

Concerning variables strongly associated with traveling speed (urban/non-urban area, road type and posted speed limit), LOC risk was greater in non-urban areas, with speed limits above 50 km/h and on motorways. However, these variables were not selected for subsequent analyses as, despite some missing data, traveling speed was known and was an essential factor in LOC crashes.

Comparing traveling speed between cases and controls, LOC riders rode significantly faster than controls: respectively, 68.4 km/h and 53.3 km/h. To determine the best model explaining the LOC outcome by the traveling speed, several models were fitted to observations with known speed with a linear, quadratic, quadratic polynomial or cubic polynomial relation. The quadratic polynomial model was best in terms of minimizing information loss (Akaike Information Criterion (AIC) =3,455), followed by the model using the square of the speed (AIC=3,465). However, once the square of the traveling speed was included in the model, the linear term of speed had only a very small contribution; so, for simplicity, we chose the model with only the square of the speed.

Step 2: Risk of Losing Control

Multiple imputation was implemented at this step. Table 2 shows the distribution of cases and controls according to LOC crash risk factors, with corresponding crude and adjusted OR, using imputed data and taking weighting into account.

Table 2: Distribution of cases and controls according to risk factors for motorcycle loss-of-control crash involvement, crude and adjusted OR and 95% CI (Column percentages were weighted and averaged from 50 independent imputations)

Risk factors		Case N=2,629	Control N=6,284	Univariate analysis	Multivariate analysis
Blood alcohol concentration	Negative	84.1	99.8	1.0	1.0
	Positive	15.9	0.2	114 [41 ; 322]	103.3 [30 ; 351]
Motorcycle type	Scooter	21.5	37.1	0.8 [0.4 ; 1.4]	1.2 [0.5 ; 2.8]
	Basic/tourer	17.8	23.6	1.0	1.0
	Cruiser	4.8	3.0	2.2 [0.7 ; 6.5]	2.5 [0.6 ; 10.1]
	Roadster	25.9	20.6	1.7 [0.9 ; 3.1]	2.4 [1.04 ; 5.4]
	Sports bike	14.9	6.6	3.0 [1.4 ; 6.3]	3.9 [1.3 ; 11.5]
	Dual-purpose	11.5	8.4	1.8 [0.8 ; 4.0]	2.7 [0.96 ; 7.4]
	Off-road	3.6	0.7	7.2 [1.3 ; 39.6]	7.5 [1.3 ; 44.7]
Day of week	Weekdays	56.7	81.1	1.0	1.0
	Weekends	43.3	18.9	3.3 [2.1 ; 5.0]	2.7 [1.5 ; 4.8]
Road alignment	Straight line	43.3	79.3	1.0	1.0
	Curve	56.7	20.7	5.0 [3.3 ; 7.7]	3.5 [2.0 ; 6.1]
Road adhesion	Normal adhesion	67.9	87.4	1.0	1.0
	Predictable poor adhesion	18.0	11.6	2.0 [1.1 ; 3.5]	4.6 [2.2 ; 9.6]
	Unpredictable poor adhesion	14.1	1.0	18.1 [5.2 ; 62.3]	28.4 [8.1 ; 100]
Square of speed				1.0002[1.0001; 1.0003]	1.0002[1.00002; 1.0003]

Six major factors for LOC crashes were significant. Risk of LOC crash was extremely high in case of positive blood alcohol concentration (OR=103). Motorcycle type also affected LOC risk: roadsters, sports bikes, dual-purpose sports bikes and off-road motorcycles were associated with higher risk than basic or touring motorcycles; off-road motorcycles were the highest-risk type, with OR=7.5. Riding at weekends showed greater LOC risk than riding on weekdays. Concerning road infrastructure, risk of losing control was higher in curves than in straight sections (OR=3.5). Predictable poor adhesion could disturb normal riding, increasing LOC risk 4.6-fold, but unpredictable poor adhesion was much more dangerous, with OR=28. As expected, LOC crash risk increased significantly with the square of the speed ($p < 0.03$).

DISCUSSION

The present case-control study analyzed the association between LOC crashes and potential risk factors related to rider, motorcycle, environment and road infrastructure. Risk of losing control of the motorcycle was strongly associated with riding under the influence of alcohol, the square of the speed, motorcycle type, weekend vs. weekdays, road alignment and road surface conditions.

Road Alignment and Road Surface Conditions

The most important findings were the effects of road alignment and of road surface conditions on loss of control, which were expected but seldom estimated from real-life crash data. As is well known, motorcyclists have to pay more attention to all road conditions than vehicle drivers, since motorcycles are more sensitive to environmental disturbances, because of physical specificities of motorcycles: small, light, unstable with two wheels. Due to the small contact surface between wheel and road, loss of adhesion is a problem on slippery or deformed roads or with slippery objects on the road, etc. It was therefore important that these factors emerged in our study. Riding in a curve was associated with a 3-fold higher LOC risk than riding in a straight line. Poor road adhesion significantly increased LOC risk, particularly (OR=28) when deterioration of road adhesion was encountered unexpectedly due to loose gravel, oil, potholes or bumps on the road. LOC risk was 4 times higher on a wet, snowy or deformed road than on a dry road in good condition: although motorcyclists were aware of

the deterioration of road adhesion and rode with more caution, they still risked skidding out, either underestimating the risk or overestimating their skill.

As shown in Table 1, road adhesion was strongly associated with weather conditions. Since road adhesion was partially determined from weather conditions, the latter was not considered alone as a risk factor for LOC crashes, even though wet weather could reduce the rider's visibility, which potentially could change the rider's judgment about the driving environment and lead to a LOC crash.

Motorcycle Type

Motorcycles vary in design and performance; riders often select their bike according to riding preferences, price, trip purposes, etc. Eyssartier highlighted the difference between motorcyclists according to the type of motorcycle they ride (Eyssartier et al. 2017). Certain papers studied death/crash rates according to motorcycle type. Supersport motorcycles were associated with higher rider death rates (Teoh and Campbell 2010); in a 2004 exposure survey of motorcyclists, crash rate was found to be highest for trail and dual-use motorcycles, and more than the double of that for sports bikes (Harrison and Christie 2005).

In the present study, roadster riders had a greater risk of losing control than basic or touring motorcycle riders, and riding a sports bike was more risky than riding a roadster. This could not be due to road holding, which is as good or better for these motorcycles than for basic or touring motorcycles, but rather was likely due to rider behavior or characteristics to these types of motorcycle.

Associations between motorcycle type and both age of rider and validity of driving license were tested. No significant association was found between motorcycle type and validity of driving license, but one was found between motorcycle type and age of rider ($\chi^2=38.1$, $p=0.0015$). Riders less than 35 years-old had a preference for roadsters and sports bikes, while those more than 55 years-old had rather scooters, basic or touring bikes. However, age was not associated with the outcome of LOC crashes. Thus, age could not explain the effect of motorcycle type on LOC crashes.

Weekend/Weekday

More than 40% of riders lost control at weekends; LOC risk was 2-fold greater at weekends than on weekdays. A possible explanation is that riders more often drive in a risky way for leisure purposes at weekends, or more often ride in places that are new to them, etc.

Traveling speed

Although it is well known that speeding increases the risk of losing vehicle control, the functional relationship is not so well known. The present study provides estimates of LOC risk in relation to traveling speed for the motorcycle population. Several models were tested with different forms for speed; finally, the square of the traveling speed was used to model LOC outcome. The effect was not obvious, with a coefficient of 0.000164. Although LOC risk increased only 1.2-fold when traveling speed increased from 50 to 60 km/h, it increased 3-fold when traveling speed increased from 50 to 100 km/h, and 8-fold from 100 to 150 km/h.

The traveling speed of a motorcycle is the result of many factors such as rider behavior, characteristics of motorcycles, road conditions, etc. Hence, to test associations among those factors can help to understand the effect of traveling speed on LOC crashes. No association was found between traveling speed and blood alcohol

concentration; however, traveling speed was found associated with age, motorcycle type, day of week, road alignment and road adhesion (respectively, $F=5.66$, $p<0.0001$; $F=3.49$, $p=0.0027$; $F=5.1$, $p=0.025$; $F=11.5$, $p=0.0008$; $F=8.81$, $p=0.034$). Young motorcyclists aged between 18 and 24 were the fastest riding group. Roadster riders were more likely to speed than other riders and scooter riders had the lowest speed. Motorcyclists rode faster at weekends than on weekdays and faster on a dry road in good condition than on a road with poor adhesion. These factors were included in the multivariate final model, except age due to its lack of association to LOC.

Furthermore, the traveling speed correlates with the severity of injuries, which was considered in four categories: 1) injured, not hospitalized or hospitalized less than 24h; 2) injured, no precision about hospital stay; 3) injured, hospitalized more than 24h; 4) death. We found that higher speed was associated with more severe injury, with respective average speeds of 50 km/h, 54 km/h, 63 km/h and 86 km/h corresponding to these four injury categories. Although the severity of injuries was not addressed in the present paper, this correlation was expected and suggests a correct estimate of the traveling speed.

Alcohol

A very high LOC risk was found in riders with a positive blood alcohol concentration, with $OR=103$. This OR may be too high and may overestimate the risk of alcohol consumption: OR provides a good approximation of relative risk only for values close to 1; above a certain level of risk, the value has to be taken with caution. However, the strong effect of alcohol consumption on the likelihood of a LOC crash is undoubted, due to the well-known impairment of skills and reactions caused by alcohol. A very high proportion of drivers under influence of alcohol has been reported for single vehicle crashes in many studies: 20% of riders involved in single-vehicle crashes were under the influence of alcohol (Schneider et al. 2010); half of drivers and riders involved in fatal single-vehicle crashes had a blood alcohol concentration over 0.5 g/l (Laumon et al. 2011).

Study Limitations

The study was subject to several limitations. The first came from the study sample. Although there were 444 cases and 470 controls, numbers were actually rather small in the control group for certain categories of studied factors, such as positive blood alcohol concentration, off-road motorcycle and unpredictable poor road adhesion, creating some uncertainty about the results, which thus need to be interpreted with caution. A weighting method was used because of the 1/20 non-fatal crashes, in order to have valid estimates, but with consequently wide variance and thus wide confidence intervals. The best study design for assessing risk factors for LOC crashes would be to sample 1/10th of injury crashes, instead of all fatal crashes and 1/20th of non-fatal crashes. Hence, for the same total number of crashes, subsequent analyses would not require any weighting, leading to smaller variance estimates. This might explain why not having a valid driving license was not found to be significant. Despite the richness and good quality of the data set, traveling speed was nevertheless missing in 55% of cases due to lack of sufficient information to estimate speed. A multiple imputation technique was used, taking account of all available relevant factors associated with the missing mechanism or correlated with the traveling speed. This technique generally provides more accurate estimates than a complete-case analysis (Rubin 1987), but can generate larger confidence intervals. This might create bias in the effect of the square of the speed. Another possible bias comes from the fact that some estimated traveling speeds are grounded on the judgement of accidentology experts based on all relevant elements available in the police report, including crash

configuration, posted speed limit or witness testimonies when informative (for example when a driver knowing his travelling speed was overtaken by the rider just before the crash).

Secondly, it should be noted that crashes without third party in non-urban areas are not always the subject of a police procedure, particularly when there is no serious outcome, and are therefore not reported systematically in national data (Amoros et al. 2006). This leads to an underestimation of not-fatal LOC motorcycle crashes and may give rise to some bias.

Thirdly, certain potential LOC risk factors, such as fatigue and sleepiness, were not available and thus not considered in the present study; drugs use was not considered either because of too many missing values and also because drug tests are usually performed by the police in certain specific cases. We had no data regarding ABS equipment and were not able to evaluate the possible efficiency of ABS, while ABS device could help avoid some LOC by keeping the wheels from locking. Tire pressure and tire wear could also play a role in LOC crashes but this information is also missing in our data.

The last limitation was the representativeness of our control group. The case-control approach is traditionally used to estimate the risk of crash involvement by comparing crash-involved versus non-crash-involved drivers, selected at random from the population of drivers. As available data only include crash data, we chose to compare LOC motorcycle riders with a control group of crash-involved riders who did not lose control of the motorcycle, and we excluded from the latter group responsible riders. This exclusion was supposed to constitute a better representative sample of riders on the road, but this (reasonable) assumption is difficult to verify (Dufournet et al. 2016).

Despite the shortcoming of the control group, the method used allowed LOC risk to be estimated not only in relation to human error but also in relation to vehicles and road surface conditions.

CONCLUSION

This study confirms that many factors are associated with LOC crashes for motorcycles, such as riding while intoxicated, speeding or riding curves. These effects were expected, but were rarely identified and quantified in previous studies. Poor road adhesion is also shown to significantly increase the risk of losing control, particularly when deterioration of road adhesion was encountered unexpectedly (OR=28). This means that much attention has to be paid by authorities in charge of road maintenance to avoid the presence of gravel, oil, potholes on the carriageway, or otherwise to install appropriate signs systematically. Besides, the higher risk of LOC crash while riding a roadster or even more so a sports bike, which have in general a better road handling than other types of motorcycle, must be drawn to the attention of those riders as it suggests they have a tendency to over-estimate their ability or the capacity of their bikes. Other factors concerning the motorcycles such as tire condition, ABS devices, or associated with the rider behavior, such as fatigue or distraction were impossible to study from our data collection and need further investigations.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was based on data collected as part of the Voiesur project. Particular thanks are due to the project leader, Cyril Chauvel (LAB), and the Methodology Officer in charge of determining speed, Vuthy Phan (Ceasar).

REFERENCES

- ACEM. *MAIDS, in-depth investigations of accidents involving powered two wheelers*. Brussels; 2009:179.
- Amoros E, Martin J-L, Laumon B. Under-reporting of road crash casualties in France. *Accid. Anal. Prev.* 2006;38(4):627–635.
- Blaizot S, Papon F, Haddak MM, Amoros E. Injury incidence rates of cyclists compared to pedestrians, car occupants and powered two-wheeler riders, using a medical registry and mobility data, Rhône County, France. *Accid. Anal. Prev.* 2013;58:35–45.
- Bouaoun L, Haddak MM, Amoros E. Road crash fatality rates in France: A comparison of road user types, taking account of travel practices. *Accid. Anal. Prev.* 2015;75:217–225.
- Clarke DD, Ward P, Bartle C, Truman W. The role of motorcyclist and other driver behaviour in two types of serious accident in the UK. *Accid. Anal. Prev.* 2007;39(5):974–981.
- Creaser JJ, Ward NJ, Rakauskas ME, Shankwitz C, Boer ER. Effects of alcohol impairment on motorcycle riding skills. *Accid. Anal. Prev.* 2009;41(5):906–913.
- Dufournet M, Lanoy E, Martin J-L, Viallon V. Causal inference to formalize responsibility analyses in road safety epidemiology. *eprint arXiv:1607.03775*. <https://arxiv.org/pdf/1607.03775v2.pdf>. Published July 2016. Accessed May 24, 2017.
- Elliott MA, Baughan CJ, Sexton BF. Errors and violations in relation to motorcyclists' crash risk. *Accid. Anal. Prev.* 2007;39(3):491–499.
- Eyssartier C, Meineri S, Gueguen N. Motorcyclists' intention to exceed the speed limit on a 90km/h road: Effect of the type of motorcycles. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 2017;45:183–193.
- Fredriksson R, Sui B. Powered Two-Wheeler Accidents in Germany with Severe Injury Outcome-Accident Scenarios, Injury Sources and Potential Countermeasures. In: *2016 IRCOBI Conference Proceedings*. Zurich, Switzerland; 2016:12p.
- Harrison WA, Christie R. Exposure survey of motorcyclists in New South Wales. *Accid. Anal. Prev.* 2005;37(3):441–451.
- 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):589–597.
- Hurt HH, Ouellet JV, Thom DR. Motorcycle accident cause factors and identification of countermeasures Volume I: Technical Report. *Traffic Saf. Cent. Univ. South. Calif. Contract No DOT HS-5-01160*. 1981.
- Lardelli-Claret P, Jimenez-Moleon JJ, de Dios Luna-del-Castillo J, Garcia-Martin M, Bueno-Cavanillas A, Galvez-Vargas R. Driver dependent factors and the risk of causing a collision for two wheeled motor vehicles. *Inj. Prev.* 2005;11(4):225–231.
- Laumon B, Gadegbeku B, Martin J-L. *Stupéfiants et accidents mortels (projet SAM)*. Paris: OFDT; 2011:166.
- Lenguerrand E, Martin J-L, Moskal A, Gadegbeku B, Laumon B. Limits of the quasi-induced exposure method when compared with the standard case-control design. *Accid. Anal. Prev.* 2008;40(3):861–868.
- Martensen H, Roynard M. *MOTAC – Motorcycle accident causation - Analyse approfondie des accidents graves et mortels impliquant des motocyclistes*. Bruxelles, Belgique : Institut Belge pour la Sécurité Routière - Centre de Connaissance Sécurité Routière; 2013.
- Michel J-E, Brenac T, Magnin J, Naude C, PERRIN C. *Les pertes de contrôle en courbe*. Arcueil: INRETS; 2005.

- Moskal A, Martin J-L, Laumon B. Risk factors for injury accidents among moped and motorcycle riders. *Accid. Anal. Prev.* 2012;49:5–11.
- ONISR. *La sécurité routière en France: bilan de l'accidentalité de l'année 2014*. Paris: La documentation française; 2016.
- Ouellet JV, Kasantikul V. The effect of blood alcohol concentration on motorcycle crash characteristics. In: *Proceedings of the international motorcycle safety conference.*; 2006. Available at: http://www.msf-usa.org/downloads/imsc2006/Ouellet-Effect_of_BAC_on_Motorcycle_Crash_Characteristics-Paper.pdf. Accessed May 22, 2017.
- Preusser DF, Williams AF, Ulmer RG. Analysis of fatal motorcycle crashes: crash typing. *Accid. Anal. Prev.* 1995;27:845–851.
- Rubin DB. *Multiple imputation for nonresponse in surveys*. New York: Wiley; 1987.
- Schneider W, Savolainen P, Moore D. Effects of Horizontal Curvature on Single-Vehicle Motorcycle Crashes Along Rural Two-Lane Highways. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board.* 2010;2194:91–98.
- Sexton BF, Baughan CJ, Elliott MA, Maycock G, others. The accident risk of motorcyclists. 2004. Available at: <http://strathprints.strath.ac.uk/20274/>. Accessed February 29, 2016.
- SOeS. Les deux-roues motorisés: à chaque âge, son usage et ses dangers. 2013a. Available at: http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Le_Point_Sur/2013/lps156-deux-roues-motorises.pdf. Accessed February 29, 2016.
- SOeS. Les deux-roues motorisés au 1er janvier 2012. 2013b. Available at: http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Chiffres_et_statistiques/2013/chiffres-stats400-deux-roues-motorises-au-01012012-mars2013.pdf. Accessed February 29, 2016.
- Stamatiadis N, Deacon JA. Quasi-induced exposure: Methodology and insight. *Accid. Anal. Prev.* 1997;29(1):37–52.
- Teoh ER, Campbell M. Role of motorcycle type in fatal motorcycle crashes. *J. Safety Res.* 2010;41(6):507–512.
- Van Buuren S. multiple imputation of discrete and continuous data by fully conditional specification. *Stat. Methods Med. Res.* 2007;16(219–242).
- Van Elslande P, Elvik R. Powered two-wheelers within the traffic system. *Accid. Anal. Prev.* 2012;49:1–4.
- Van Elslande P, Perrin C, Hermitte T. *Rapport de synthèse final du projet "2RM"(R 7.2)*. France; 2008.
- VOIESUR. ANR. 2012. Available at: http://www.agence-nationale-recherche.fr/en/anr-funded-project/?solr=run&tx_lwmsuivibilan_pi2%5BCODE%5D=ANR-11-VPTT-0007. Accessed July 20, 2017.

Appendix

Text A1: Types of motorcycles

Scooter:

Scooters are characterized by small wheels and a comfortable driving position that allows riders to place their feet on a platform. They usually have small engines and are used in the city for a short distance trip.

Basic:

Basic motorcycles are characterized by their simple design conception with few styling frills. They have an upright riding position which is similar to that of a roadster and a cruiser. They are simple to ride and to maintain, more adaptable for daily trips and cheaper than other types.

Roadster:

Roadsters are characterized by the absence of fairing and have a design between basic and sport bike. They have a simple design with certain esthetic and showy frills, and with a sportive engine. The majority of roadsters have an engine displacement between 600 and 1200 cm³.

Cruiser:

Cruisers are characterized by no fairing coverage and a specific riding position with the feet forward to the front and high and wide-set handlebars.

Tourer/grand tourer:

Touring or grand touring motorcycles are designed for comfortable, long distance travels. They are equipped with high-displacement engines, luggage and wind protection.

Sports bike:

Sports bikes are derived from the road-racing motorcycles. They are equipped with high-displacement engines and full fairing. They are lighter and smaller than touring motorcycles, with a forward-leaning riding position. So they are capable of high speed, acceleration, cornering.

Dual-purpose:

Dual-purpose motorcycles can be used both off-road and on-road. They are similar to off-road motorcycles, with some added equipments designed to adapt to the road.

Off-road:

As the name suggests, they are designed for off-road use. They are characterized by no fairing, long travel suspension and knobby tires designed to provide more grip on surfaces not paved. They are light weight and typically equipped with small-displacement engines.

Table A1: Distribution of cases and controls according to potential risk factors for motorcycle loss-of-control crash involvement, crude OR and 95% CI (observed frequency and weighted column percentage)

Risk factors		Case		Control		Crude OR and 95% C.I.	Wald Chi ² P-value
		N _{obs} =444	%w	N _{obs} =470	%w		
Gender	Female	16	7.1	28	7.4	Ref	0.9
	Male	428	92.9	442	92.6	1.0 [0.5 ; 2.3]	
Age (years)	16-17	10	5.4	7	2.2	2.4 [0.8 ; 7.1]	0.6
	18-24	81	16.1	83	17.0	0.9 [0.5 ; 1.6]	
	25-34	134	30.4	129	29.3	Ref	
	35-44	104	23.5	120	24.0	0.9 [0.6 ; 1.6]	
	45-54	80	16.8	89	19.6	0.8 [0.5 ; 1.5]	
	>=55	35	7.8	42	7.9	1.0 [0.4 ; 2.1]	
Blood alcohol concentration	Negative (<0.5 g/l)	258	72.0	382	84.4	Ref	<.0001
	Positive (≥0.5g/l)	128	14.3	7	0.1	150 [63.2 ; 356]	
	Unknown	58	13.8	81	15.5	1.0 [0.6 ; 1.8]	
Validity of driving license	No valid license	49	6.9	18	3.6	2.1 [0.9 ; 5.0]	0.25
	Valid, held for <2 years	150	31.7	138	27.6	1.3 [0.8 ; 2.0]	
	Valid, held for ≥2 years	189	53.4	250	58.7	Ref	
	Unknown	56	7.9	64	10.1	0.9 [0.4 ; 1.7]	
Trip purpose	Home-work/home-school	56	18.8	120	26.7	Ref	0.20
	Business trip	10	4.7	27	7.4	0.9 [0.3 ; 2.4]	
	Leisure or recreational riding	145	26.5	92	19.9	1.9 [1.1 ; 3.4]	
	Other (vacation, shopping/errands, visiting family/friends, personal, etc.)	106	16.3	94	14.2	1.6 [0.9 ; 3.1]	
	Unknown	127	33.7	137	31.8	1.5 [0.9 ; 2.6]	
Engine displacement	≤125 cm ³	91	31.6	133	34.8	Ref	0.8
	>125 cm ³	350	66.8	328	63.6	1.2 [0.8 ; 1.8]	
	Unknown	3	1.6	9	1.7	1.0 [0.2 ; 5.3]	
Motorcycle type	Scooter	57	20.2	130	34.4	0.8 [0.4 ; 1.4]	0.002
	Basic/tourer	82	16.9	95	21.8	Ref	
	Cruiser	20	4.4	16	2.7	2.1 [0.7 ; 6.4]	
	Roadster	133	24.6	107	18.9	1.7 [0.9 ; 3.1]	
	Sports bike	86	14.1	53	6.3	2.9 [1.4 ; 6.1]	
	Dual-purpose	38	10.8	34	7.8	1.8 [0.8 ; 3.9]	
	Off-road	15	3.5	2	0.6	7.0 [1.3 ; 38.6]	
	Unknown	13	5.6	33	7.5	1.0 [0.4 ; 2.5]	
Day of week	Weekdays	236	56.7	366	81.1	Ref	<.0001
	Weekends	208	43.3	104	18.9	3.3 [2.1 ; 5.0]	
Lighting	Daylight	303	69.3	354	75.2	Ref	0.008
	Sunrise or sunset	21	4.4	31	6.2	0.8 [0.3 ; 1.9]	
	Night with light on	61	11.7	53	13.5	0.9 [0.5 ; 1.7]	
	Night with light off	59	14.5	32	5.0	3.1 [1.6 ; 6.2]	
Weather	Normal weather (clear, cloudy)	412	87.9	444	93.2	Ref	0.06
	Bad weather (rain, snow, etc.)	32	12.1	26	6.8	1.9 [1.0 ; 3.7]	
Area	Non-urban	265	44.8	168	20.2	3.2 [2.1 ; 4.9]	<.0001
	Urban	179	55.2	302	79.8	Ref	
Type of road	Motorway	33	7.8	13	3.8	2.4 [1.0 ; 5.8]	0.13
	Trunk road	34	9.2	34	6.9	1.6 [0.8 ; 3.4]	
	County road	243	36.0	220	32.5	1.3 [0.9 ; 2.0]	
	Street	134	47.0	203	56.7	Ref	
Alignment	Straight line	150	43.3	369	79.3	Ref	<.0001
	Curve	294	56.7	101	20.7	5.0 [3.3 ; 7.7]	
Road adhesion	Normal adhesion	343	64.4	402	82.6	Ref	<.0001
	Predictable poor adhesion	54	17.2	44	11.3	2.0 [1.1 ; 3.5]	
	Unpredictable poor adhesion	33	13.5	3	1.0	18.2 [5.2 ; 63.1]	
	Unknown	14	4.9	21	5.2	1.2 [0.5 ; 3.0]	
Posted speed limit (km/h)	Less than 50	189	54.2	293	77.8	Ref	<.0001
	60-70	40	6.6	32	2.9	3.2 [1.3 ; 7.9]	
	80-90	189	32.5	134	15.7	3.0 [1.9 ; 4.7]	
	110-130	26	6.8	11	3.5	2.8 [1.1 ; 6.8]	
Traveling speed		N _{obs}	Mean speed (km/h)	N _{obs}	Mean speed (km/h)		T-test P-value
		189	68.4	207	53.3		0.0004

* N_{obs}: number of observations; N_{obs} known speed: number of observations with non-missing speed

Productions scientifiques

Article publié

Wu D, Hours M, Martin J-L. Risk factors for motorcycle loss-of-control crashes. *Traffic Inj. Prev.* 2018 May 19;19(4):433–9.

Article en révision

Wu D, Hours M, Nadiaye A, Coquillat A, Martin J-L. Effectiveness of protective clothing for motorized two-wheeler riders (*Traffic Injury Prevention*).

Article en cours

Wu D, Dufournet M, Hours M, Martin J-L. Does a full-face helmet effectively protect against facial injuries?

Communication orale

Wu D, Hours M, Martin J-L. Enquête auprès de 1000 accidentés en deux/trois-roues motorisés - premiers résultats. 3^{ème} séminaire scientifique des deux-roues motorisés COSMOS, Paris, France, 2017.

Communication par affiche

Wu D, Hours M, Martin J-L. Risk factors for motorcycle loss-of-control crashes. 6th IRTAD conference: Better Road Safety Data for Better Safety Outcomes, Marrakesh, Morocco, 2017.

Livrables

Wu D., Martin J-L. Livrable tache 1.1. : Causes des accidents de deux/trois-roues motorisés. Résultats d'une enquête réalisée auprès des blessés accidentés dans le Rhône entre 2010 et 2014. Projet SECU2RM, 2018.

Wu D., Martin J-L. Livrable tache 2.2. : Protection apportée par les vêtements et les équipements de sécurité portés. Projet SECU2RM, 2018.

Participation à d'autres publications

Martin J-L, Wu D. Pedestrian fatality and impact speed squared: Cloglog modeling from French national data. *Traffic Inj. Prev.* 2018 Jan 2;19(1):94–101.

Martin J-L, Gadegbeku B, Wu D, Viallon V, Laumon B. Cannabis, alcohol and fatal road accidents. *PLOS ONE.* 2017 Nov 8;12(11):e0187320.