

Incidents rencontrés au volant : liens entre données auto-rapportées et données enregistrées automatiquement. Quels enseignements retenir ? - Rapport final

Département Aménagement, mobilités et environnement (AME)
Laboratoire de psychologie des comportements et des mobilités (LPC)

DELHOMME Patricia
Directrice de recherche HDR
Responsable du projet MEDOC
Téléphone : 01 30 84 39 65
patricia.delhomme@ifsttar.fr

Date : 20/10/2017

Auteurs :

Patricia Delhomme, IFSTTAR, AME, LPC
Blazej Palat, IFSTTAR, AME, LPC
Guillaume Saint Pierre, CEREMA, DTerSO, DALETT, ESAD-ZELT

Nomenclature d'activité :

MassE de DONnées de Conduite pour modélisation d'un
feed-back incitant à la conduite favorisant la sécurité
selon les déplacements des automobilistes (Projet
MEDOC)

Référence sur Numéro de contrat* :

RP4-F14140-Convention d'aide à la recherche 2014-
Ifsttar-ETS et Fondation MAIF

Confidentialité :

Confidentiel

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR)

14-20 Boulevard Newton
Cité Descartes, Champs sur Marne
77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 81 66 80 00
Fax : 01 81 66 80 01

Centre d'études et d'expertise sur le risque, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA)

Cerema Sud-Ouest
Rue Pierre Ramond - CS 60013
33166 Saint-Médard-en-Jalles cedex
Téléphone : 05 56 70 66 33
Télécopie : 05 56 70 67 33

Remerciements

Les auteur-e-s d'un projet mènent rarement leurs travaux de recherche seul-e-s. Ces travaux sont généralement le fruit de nombreuses collaborations, les auteur-e-s ont donc de nombreuses personnalités à remercier.

Les auteur-e-s remercient Caroline LECOCQ et son équipe le PPRC de TOURS (MAIF Solutions Financières) qui ont contacté, selon des critères d'âge et de genre, les sociétaires MAIF pour leur proposer de prendre part à l'étude.

Les auteur-e-s remercient Samy BARZIN et Sacha PARADA, étudiants de Master 1, en stage au laboratoire de Psychologie des Comportements et des Mobilités, qui ont prétesté les premiers outils de recueil de données du projet MEDOC ainsi que Xinran LI qui a participé, en tant que post doc à l'Ifsttar au LIVIC, à l'analyse de données enregistrées automatiquement.

Les auteur-e-s remercient tous les participant-e-s, volontaires pour prendre part au projet MEDOC. Ils/elles ont accepté d'accorder beaucoup de leur temps pour faire avancer les connaissances sur les incidents en indiquant, pendant deux mois, les événements dangereux qu'ils/elles ont rencontrés au volant et comment ces événements -ou incidents- ont été gérés à temps pour éviter l'accident.

Les auteur-e-s remercient également le groupe de suivi du projet MEDOC pour leurs remarques éclairantes.

Enfin, les auteurs remercient Céline ARDIN, Pascale DUPEYRAT, Brigitte INISAN, Jean-Louis MONDET et Philippe TOUZE de l'Ifsttar pour leur aide précieuse tout au long de ce projet.

SOMMAIRE

1	Résumé.....	5
2	Introduction	9
3	Étude empirique	12
3.1	Méthode.....	12
3.1.1	Participant-e-s.....	12
3.1.2	Instruments de mesure.....	12
3.1.2.1	Plateforme Micro-iBB	12
3.1.2.2	Modèles de voitures incompatibles avec le Micro-iBB.....	13
3.1.2.3	Fiches.....	13
3.1.3	Procédure.....	15
3.2	Résultats	16
3.2.1	Analyse des données auto-rapportées.....	16
3.2.1.1	Analyse des incidents selon des éléments de contexte.....	17
3.2.1.1.1	Types d'infrastructure	17
3.2.1.1.2	Responsabilité déclarée des incidents.....	17
3.2.1.1.3	Usagers impliqués.....	18
3.2.1.1.4	Motifs du déplacement.....	18
3.2.1.1.5	Familiarité avec le trajet	19
3.2.1.1.6	Moment de la survenue de l'incident par rapport au trajet.....	21
3.2.1.1.7	Présence de passagers	22
3.2.1.1.8	Conditions d'éclairage	23
3.2.1.1.9	Antécédent stressant	24
3.2.1.1.10	Conditions météorologiques	25
3.2.1.2	Analyse détaillée des incidents.....	25
3.2.1.2.1	Causes de l'incident	25
3.2.1.2.2	Vitesse à laquelle est survenu l'incident.....	28
3.2.1.2.3	Les actions d'évitement de l'incident.....	28
3.2.1.2.4	Types de risque de collision.....	30
3.2.1.3	Catégorisation des incidents	31

3.2.1.4	Caractéristiques psychologiques des automobilistes.....	34
3.2.1.5	Éléments qui auraient pu aider à éviter l’incident selon les participant-e-s ...	36
3.2.1.6	Actions envisagées par les participant-e-s pour réduire le risque d'accident .	37
3.2.2	Analyse des données automatiques	37
3.2.3	Liens entre données auto-rapportées et automatiques pour mieux identifier les participant-e-s plus ou moins à risque	44
3.2.3.1	Echantillon de 131 participant-e-s	44
3.2.3.1.1	Sélection de variables	44
3.2.3.1.2	Exploration des liens linéaires et non-linéaires entre variables	48
3.2.3.2	Echantillon de 73 incidents	59
4	Conclusions finales et recommandations.....	67
4.1	Conclusions finales selon le type de données.....	67
4.1.1	Données auto-rapportées	67
4.1.2	Données automatiques.....	69
4.1.3	Liens entre données auto-rapportées et données automatiques	70
4.2	Recommandations.....	71
4.3	Synthèse des conclusions sur des points clés tant opérationnels que théoriques	73
5	Principales références.....	75
6	Annexes.....	77

1 Résumé

Le projet MEDOC se focalise sur les incidents¹ pour accroître la compréhension des situations de conduite critiques susceptibles de converger vers l'accident. Ce projet a été mené par l'Ifsttar en collaboration avec l'École de Technologie Supérieure (ÉTS). Le rôle de l'ÉTS a été de fournir des boîtiers Micro-iBB que des participant-e-s au projet ont accepté d'installer sur la prise OBDII de leur voiture afin d'enregistrer les comportements des voitures avec une fréquence suffisante pour l'étude des incidents (au minima 1Hz).

Les objectifs du projet MEDOC sont :

- d'apporter un éclairage sur les incidents se produisant au volant des automobilistes à l'aide de variables 1) liées à la dynamique du véhicule et aux actions de conduite, et 2) recueillies à partir des déclarations des participant(e)s sur les conditions dans lesquelles ces incidents surviennent et la gestion de ces incidents selon la méthode du carnet de bord ainsi que sur les attitudes, la personnalité des participant-e-s et l'expérience de conduite ;
- d'accroître la fiabilité de la méthode de détection des incidents à l'aide de l'enregistrement des données auto-rapportées et des données du véhicule et de sa dynamique ;
- d'examiner les liens entre incidents et accidents de la route ;
- et d'effectuer des recommandations pour réduire l'occurrence des incidents.

Un échantillon de 154 automobilistes (53,2 % d'hommes) a pris part au projet MEDOC. Ces automobilistes ont le permis B depuis 18,9 ans (min = 3, max = 49) et parcourent en voiture environ 16 368 km par an (min = 1 000, max = 60 000). Ils/elles ont en moyenne 39,2 ans (min = 23, max = 77) et peuvent se répartir en trois classes d'âge : 19-30 ans, 31-50 ans et plus de 50 ans.

Venons-en maintenant aux principaux résultats.

1. Incidents rapportés par les participant-e-s

Au total, les automobilistes ont déclaré avoir rencontré, au cours de deux mois de conduite environ, 439 incidents, soit en moyenne 2,7 par automobiliste (min = 0, max = 17). Les automobilistes ayant entre 19 et 30 ans ont rapporté le plus d'incidents (M = 3,21), suivi par les plus de 50 ans (M = 3,21) tandis que les 31-50 ans en ont rapportés le moins (M = 2,44). Ce nombre d'incidents semble peu dépendre du kilométrage annuel que les participant-e-s déclarent effectuer au volant.

Où ont lieu les incidents ? Principalement ...

- En ligne droite (210 incidents, 47,9 %)
- En intersections sans feux tricolores (89 incidents, 20,3 %)
- En intersections avec feux tricolores (59 incidents, 13,4 %)
- Dans les ronds-points (47 incidents, 10,7 %)
- Dans les virages (23 incidents, 5,2 %)
- Dans les parkings (9 incidents, 2,1 %)
- Dans d'autres types d'infrastructure (2 incidents, 0,5 %)

¹ Un incident au volant est un événement dangereux qui, sans action corrective entreprise par soi-même ou par un-e autre usager de la route, aboutirait à un accident. L'action corrective peut être un freinage brusque, une accélération importante et/ou un mouvement de volant plus ou moins grand. Soi-même et/ou un-e autre usager de la route peut être à l'origine de l'incident.

Ainsi, presque la moitié des incidents est survenue en ligne droite où apparemment il n'y a aucune difficulté particulière pour les automobilistes.

Quels usagers étaient responsables des incidents ?

Parmi les 439 incidents rapportés, les automobilistes ont déclaré qu'autrui est responsable de l'incident pour 71,3 % d'entre eux, être à l'origine ou en partie responsables de l'incident pour 23,5 % d'entre eux, être incapables d'attribuer la responsabilité à chacun des usagers impliqués dans l'incident pour 3,6 % d'entre eux, que l'origine de l'incident provient d'un problème d'infrastructure pour 1,4 % d'entre eux ou de voiture (un seul cas, 0,2 %).

La probabilité de provoquer un incident au volant est d'autant plus grande que l'automobiliste est jeune, qu'il/elle sous-estime le risque d'être impliqué-e dans un accident dans un futur proche et dans la mesure où son attention est facilement détournée par autre chose que la conduite (soit qu'il/elle est sensible à la distraction au volant).

Quels usagers étaient impliqués dans les incidents ? Principalement ...

- Deux automobilistes (285 incidents, 64,9 %)
- Plus de deux automobilistes (78 incidents, 17,8 %)
- Un-e automobiliste et un ou plusieurs usagers vulnérable-s (piétons, cyclistes ou conducteurs de 2 roues à moteur) (37 incidents, 8,4 %)
- Plusieurs automobilistes et un ou plusieurs usagers vulnérable-s (22 incidents, 5 %)
- Participant-e tout-e seul-e (17 incidents, 3,9 %)

A quels événements attribuer l'origine des incidents ?

- Queue de poisson (115 incidents, 26,2 %)
- Non respect des règles de priorités (112 incidents, 25,5 %)
- Freinage intempestif d'un véhicule (88 incidents, 20 %)
- Traversée de piétons ou d'animaux (34 incidents, 7,7 %)
- Déviation de trajectoire (21 incidents, 4,8 %)
- Erreur lors d'un dépassement (11 incidents, 2,5 %)
- Interaction entre deux automobilistes se croisant sur une route étroite (8 incidents, 1,8 %)
- Dépassement par la droite (6 incidents, 1,4 %)
- Objet sur la voie (6 incidents, 1,4 %)
- Perte de visibilité soudaine (6 incidents, 1,4 %)
- Faire des appels de phare ou klaxonner pour passer en force (5 incidents, 1,1 %)
- Franchissement d'une ligne continue (5 incidents, 1,1 %)
- Mauvaise utilisation du clignotant (5 incidents, 1,1 %)
- Ouverture d'une portière à l'approche d'un véhicule (4 incidents, 0,9 %)
- Usager en sens interdit (4 incidents, 0,9 %)
- Vitesse excessive (4 incidents, 0,9 %)
- Autre comportement (5 incidents, 1,1 %)

Identification de deux grandes catégories d'incidents à partir des mesures recueillies auprès des participant-e-s

• D'un côté, se trouvent les incidents survenus hors intersection ou hors rond-point, à vitesse élevée, engendrant un risque de collision arrière ou éventuellement latéral qui a été évité sans qu'aucun des usagers impliqués ne s'arrête totalement. Ces incidents ont souvent pour origine un freinage brusque, une queue de poisson ou une autre interaction (hors refus de priorité), impliquent plusieurs voitures et sont provoqués sur des trajets non habituels. Les participant-e-s, qui ont provoqué ce type d'incidents, ont tendance à sous-estimer leur risque d'être impliqué-

e-s dans un accident au volant et à surestimer leurs compétences de conduite par rapport à celles d'un automobiliste moyen.

- De l'autre côté, se trouvent les incidents survenus à une vitesse inférieure ou égale à 30 km/h, en intersection ou dans un rond-point, engendrant un risque de collision latérale ou frontale qui a été évité grâce à un arrêt total d'au moins un usager impliqué. Ces incidents, impliquant deux automobilistes, ont souvent pour origine un refus de priorité, et sont souvent provoqués sur des trajets habituels.

Quels éléments auraient pu empêcher la survenue des incidents ?

Pour 119 incidents sur les 439 rapportés, les éléments les plus fréquemment cités ...

- Ajout de panneaux routiers (20 incidents, 15,8 %) indiquant par exemple les règles de priorité ou de limitations de vitesse
- Utilisation correcte et à temps du clignotant par un des usagers impliqués (14 incidents, 11 %)
- Visibilité améliorée (par exemple : suppression d'arbres, ajout de miroirs, etc.) (11 incidents, 8,7 %)
- Alertes de conduite indiquant un obstacle dans l'angle mort (7 incidents, 5,5%), augmentant l'attention des usagers (6 incidents, 4,7 %), prônant le maintien des distances de sécurité (6 incidents, 4,7 %), indiquant que le feu tricolore est rouge ou clignotant (3 incidents, 2,4 %), enfin l'activation automatique des feux de détresse (3 incidents, 2,4 %)
- Différents aménagements de l'infrastructure (uniformiser la configuration des ronds-points, rallonger une voie d'insertion, élargir la chaussée, etc.) (6 incidents, 4,7 %).

2. Méthode de détection automatique d'incidents

La détection automatique d'incidents est fondée sur la recherche de dépassement de seuils critiques en termes de dynamique du véhicule. La détection mise en œuvre a recherché les situations entraînant des valeurs excessives selon trois critères, soit en termes de décélération, de variation de décélération (jerk), ou de changements rapides de direction.

Les événements détectés automatiquement ne sont pas équivalents dans la mesure où certains incidents sont plus « flagrants » car ils sont détectés par plusieurs critères alors que d'autres incidents sont détectés par un seul des trois critères. Parmi les différentes approches testées, nous avons sélectionné la plus stricte, consistant à ne conserver que les incidents ayant été détectés par au moins le critère combiné de la décélération et de sa variation.

3. Liens entre incidents auto-rapportés et incidents détectés automatiquement

Suite à quelques dysfonctionnements des boîtiers enregistreurs, l'information sur le nombre de dépassements de différents seuils critiques est disponible uniquement pour 131 participant-e-s. Pour chacun-e de ces participant-e-s, ce nombre a été ensuite pondéré par 100 km parcourus. En outre, des enregistrements automatiques sont disponibles uniquement pour 73 incidents déclarés. La comparaison entre ces incidents déclarés et ceux qui ont été détectés automatiquement a permis d'apporter un éclairage sur les liens entre les informations auto-rapportées et celles qui ont été enregistrées de façon automatique.

Identification des automobilistes plus ou moins à risques ?

Les stratégies de détection automatique d'incidents ont fait preuve de performances insuffisantes pour permettre de repérer un incident déclaré avec suffisamment de confiance. Néanmoins, la fréquence d'occurrence de ces incidents automatiquement détectés, semble parfois associée à une conduite risquée. Une analyse statistique a permis de mettre en évidence des liens entre une fréquence élevée d'occurrence d'un certain type d'incident (freinages

Brusques) et un groupe particulier d'automobilistes déclarant adopter des comportements à risque au volant (dépassements importants des limitations de vitesse, sensibilité à la distraction, etc.).

Quelle typologie des incidents à partir des déclarations des automobilistes et des caractéristiques dynamiques du véhicule ?

Les déclarations des participant-e-s ont permis de construire une typologie des incidents en trois groupes. Seul un de ces groupes contient des incidents susceptibles d'être correctement identifiés par des méthodes automatiques : le groupe des incidents survenus hors intersection au cours d'un trajet non-habituel, et faisant suite au freinage intempestif d'un-e autre automobiliste. Ces incidents sont en outre perçus comme étant les plus dangereux. Les autres types d'incidents déclarés sont d'une nature différente, rendant très difficile leur détection par des approches automatiques simples.

Mots clefs : incidents, données auto-rapportées, carnets de bord, données automatiques.

2 Introduction

Si de nombreux travaux sont menés sur l'analyse des accidents de la route, rares sont ceux qui sont consacrés aux incidents alors même qu'ils pourraient apporter des informations précieuses sur les comportements à risque entrepris notamment par les automobilistes lors de la gestion d'interactions avec l'environnement routier. Ces informations pourraient être utiles à l'apprentissage du code de la route et de la conduite ainsi qu'aux actions dont l'objectif est de soutenir un changement de comportement ou de changer un comportement pour obtenir une mobilité plus sûre et plus verte (aides à la conduite, messages de prévention, etc.).

Les incidents sont des dangers, plus ou moins prévisibles, qui sans action corrective de la part de l'automobiliste ou de la part des autres usagers de la route aboutiraient à un accident. L'action corrective peut être un freinage brusque, une accélération importante et(ou) un mouvement de volant. Les incidents peuvent provenir, par exemple, d'une défaillance de la voiture (panne de moteur, crevaison), de l'environnement (éblouissement, chute de pierre), de l'infrastructure routière (nid-de-poule, rétrécissement de la chaussée), de l'automobiliste lui-même/elle-même ou des autres usagers (refus de priorité, dépassement des limitations de vitesse, distance insuffisante par rapport au véhicule devant). Le projet MEDOC se focalise sur les incidents pour accroître la compréhension des situations de conduite critiques susceptibles de converger vers l'accident.

Détection automatique des incidents

Dans le but d'accroître les connaissances sur les incidents, le projet de recherche MEDOC est mené par l'Ifsttar en collaboration avec l'École de Technologie Supérieure (ÉTS). Le rôle de l'ÉTS a été de fournir 40 boîtiers Micro-iBB que des automobilistes, résidant en Ile de France², ont accepté d'installer sur la prise OBDII de leur voiture. Cet équipement permet d'enregistrer les comportements des voitures avec une fréquence suffisante pour l'étude des incidents (au minima 1Hz). La richesse de ces données est telle qu'il devrait être possible de mieux comprendre de nombreux comportements de conduite pour lesquels très peu d'informations étaient disponibles jusqu'à maintenant. Un changement de paradigme est alors envisageable concernant la mobilité plus sûre et plus éco-compatible des automobilistes. De l'étude de l'accidentologie, il devient possible de passer à une étude de l'incidentologie.

La détection automatique des événements potentiellement précurseurs d'accidents est cependant complexe lorsque l'on dispose des données issues du seul véhicule en l'absence du contexte de conduite. Ainsi, les données recueillies par le boîtier de l'ÉTS ne renseignent pas précisément sur la nature des incidents qui ont donné lieu à une détection car les boîtiers n'enregistrent pas l'origine des situations de conduite. Ainsi, un freinage brusque, une vive accélération, un changement de file, une distance plus ou moins grande entre des véhicules par exemple, peuvent être entrepris pour différentes raisons telles que prendre un risque ou à l'inverse éviter un danger ou encore s'arrêter car l'on vient de se rendre compte d'avoir commis un oubli (par exemple, avoir filé tout droit au lieu de tourner à droite). Ce sont donc des stratégies non dénuées d'ambiguïté dont on ignore cependant l'importance. En l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de méthode fiable de détection automatique des événements à risque pour la conduite. Les résultats les plus récents nous apprennent que les méthodes automatiques les plus simples identifient correctement moins de 10 % des incidents.

² Du fait de la proximité géographique des auteur-e-s du projet.

Principaux objectifs du projet MEDOC

Un premier objectif général du projet MEDOC est d'apporter un éclairage sur les incidents se produisant au volant des automobilistes à l'aide de variables 1) liées à la dynamique du véhicule et aux actions de conduite, et 2) recueillies à partir des déclarations des participant(e)s sur les conditions dans lesquelles ces incidents surviennent (origine de l'incident, usagers impliqués, infrastructure, attribution de responsabilité par les participant-e-s eux-mêmes/elles-mêmes, contexte personnel des participant-e-s) et la gestion de ces incidents selon la méthode du carnet de bord ainsi que sur les attitudes, la personnalité des participant-e-s et l'expérience de conduite.

Un second objectif général est d'accroître la fiabilité de la méthode de détection des incidents à l'aide de l'enregistrement de ces deux types de données, c'est-à-dire des données auto-rapportées et données du véhicule et de sa dynamique.

Un troisième objectif général est d'examiner les liens entre incidents et accidents de la route. Peu d'études ont renseigné ces liens.

Un quatrième et dernier objectif général est d'effectuer des recommandations pour réduire l'occurrence des incidents.

Méthode du carnet de bord

La plupart des recherches menées dans le champ de la conduite automobile, à de rares exceptions près, ont recours quasi-systématiquement à des mesures rétrospectives auto-rapportées par questionnaire. Bien que cette méthode de recueil de données ait largement fait ses preuves et que de nombreuses études aient mis en évidence des relations positives entre les comportements que les automobilistes déclarent adopter et les comportements qu'ils pratiquent réellement lorsqu'ils sont au volant (pour une synthèse voir Delhomme, 2002), cette méthode n'est pas sans présenter certaines limites. La limite la plus fréquemment évoquée concerne la confiance (fidélité) à accorder dans certains cas à des données rétrospectives. En effet, dans la grande majorité des recherches, les automobilistes sont interrogés sur leurs comportements de conduite passés. Il arrive alors que l'intervalle de temps qui s'est écoulé entre la manifestation d'un comportement donné et la description qui en est faite par son auteur soit relativement important et donc que celle-ci soit entachée d'erreurs. L'utilisation de questionnaires et le recours à des données rétrospectives, il est vrai assez commode pour enregistrer des comportements de conduite, n'est pourtant pas l'unique moyen. Une autre méthode, celle du carnet de bord présente une alternative pertinente notamment lorsque l'observation directe de certains comportements demeure difficile (Delhomme & Meyer, 2002). Cette méthode, encore trop peu employée dans le domaine de la conduite automobile, est souvent utilisée dans d'autres champs de recherche notamment dans les études sur les comportements addictifs (consommation d'alcool, de drogues, de tabac) ou de santé où le recueil des comportements est enregistré de manière régulière et ce, à des moments précis.

Underwood, Chapman, Wright et Crundall (1999) ont été parmi les premiers à utiliser la méthode du carnet de bord pour étudier les facteurs situationnels associés à la colère au volant et les conséquences de celle-ci sur la conduite et les accidents afin de remédier au problème méthodologique lié à l'utilisation du questionnaire car les accidents sont des événements qui ont tendance à être oubliés rapidement ce d'autant qu'ils n'engendrent pas de blessures physiques ou de tués. Un autre avantage de la méthode du carnet de bord est alors d'analyser l'activité de conduite en croisant différentes méthodes telles les carnets de bord et des facteurs de personnalité pour étudier les conséquences de la colère au volant sur les comportements de conduite en fonction de l'environnement routier et des buts du déplacement (Delhomme & Villieux, 2005). Le point de vue ici adopté est de considérer la conduite automobile comme une activité qui consiste à gérer des interactions avec les différents systèmes de transport terrestres

comprenant des éléments fixes (aménagement tels que les intersections, les virages, les lignes droites), les éléments mobiles (tous les usagers de la route, ayant des niveaux de protection très contrastés, qui partagent des espaces communs au cours de leurs déplacements effectués à des vitesses différentes) et entre ces deux types d'éléments, des éléments temporaires/transitoires tels un véhicule qui stationne en double file ou encore des travaux sur la chaussée (Delhomme, 1994; Delhomme, 2015). Comme les incidents sont des événements que les automobilistes reconnaissent rencontrer rarement lors de leur conduite, d'autant plus rarement qu'ils/elles sont expérimenté-e-s (Causse, Delhomme & Kouabenan, 2005 a et b), nous préférons nous focaliser sur les incidents en tant que problèmes que les automobilistes disent avoir rencontrés au volant à la fin de leur trajet.

Les trajets sont habituels pour nombre d'entre eux alors que d'autres sont le plus souvent peu connus voire nouveaux pour les automobilistes. Comparés aux autres types de trajet, lorsque le trajet est habituel, les automobilistes peuvent davantage anticiper les problèmes qui peuvent surgir ou encore mieux gérer les incidents s'ils sont liés aux aménagements de l'infrastructure. Ces événements routiers peuvent toutefois varier selon les conditions de circulation. De plus, l'anticipation de ces problèmes et la gestion des incidents dépendront de l'état de l'automobiliste (être pressé(e), stress, fatigue, etc.) et des buts du déplacement (travail, loisirs, courses, etc.). A l'évidence lorsque les trajets ne sont pas habituels, des problèmes plus nombreux, dont certains différents, pourront apparaître plutôt que lorsqu'ils sont habituels. Il est donc important d'identifier les incidents que les participant-e-s déclarent rencontrés au volant en les distinguant selon qu'ils sont liés ou non aux aménagements de l'infrastructure, à la circulation mais aussi de savoir comment ils/elles les ont gérés.

Données enregistrées pendant deux mois et taille de l'échantillon envisagée

La richesse des données, telles qu'elles sont enregistrées automatiquement et couplées à celles recueillies dans les carnets de bord et autres données auto-rapportées comme des attitudes et facteurs de personnalité, devrait permettre d'identifier les comportements de conduite à l'origine des incidents. Ainsi dans le projet MEDOC, d'un côté les données auto-rapportées seront enrichies des données automatiques pour mieux identifier les participants à risque et d'un autre côté, les données auto-rapportées pourront apporter des précisions aux comportements du véhicule et expliquer par exemple pourquoi l'automobiliste a pilé ou à l'inverse a accéléré et d'émettre des conclusions sur la fiabilité des indicateurs automatiques.

Il est envisagé que ces informations soient disponibles pour l'ensemble des trajets de chacun-e des 200 automobilistes, volontaires pour prendre part à cette étude pour une durée de deux mois. Toutefois, même si ces automobilistes, adhérent-e-s de la MAIF, ont reçu 50 euros pour prendre part à l'étude, ils/elles sont libres d'arrêter à tout moment d'y participer et comme les boîtiers sont des prototypes, on peut s'attendre à ce qu'au moins 25 % de l'échantillon ne participe pas entièrement à l'étude.

Plan du rapport final

Nous présentons tout d'abord dans l'étude empirique la méthode que nous avons utilisée avec les participant(e)s, les instruments de mesures et la procédure avant de livrer les résultats. L'analyse des données auto-rapportées sera résumée car elle a fait l'objet du rapport intermédiaire (Delhomme & Palat, 2017) tout comme l'analyse des données automatiques (Saint Pierre, 2017). Nous nous focaliserons sur les liens entre données auto-rapportées et données automatiques pour mieux d'une part identifier les participant-e-s plus ou moins à risque, d'autre part savoir pourquoi un incident rapporté par les participant-e-s a été détecté automatiquement ou non. Puis dans une conclusion finale, nous ferons le point sur les principaux résultats obtenus selon le type de données enregistré avant d'émettre quelques recommandations permettant de répondre aux objectifs que nous nous étions fixé dans l'introduction de ce rapport final.

3 Étude empirique

3.1 Méthode

3.1.1 Participant-e-s

Les mesures auto-rapportées ont été fournies par un échantillon de 154 sociétaires MAIF, composé de 53,2 % d'hommes, volontaires pour prendre part à l'étude. En moyenne, ils/elles sont âgé-e-s de 39,2 ans ($\sigma = 13,58$, $min = 23$, $max = 77$), ont le permis B depuis 18,9 ans ($\sigma = 13,11$, $min = 3$, $max = 49$) et parcourent au volant 16 367,8 km par an ($\sigma = 8 806,69$, $min = 1 000$, $max = 60 000$). Le Tableau 1 représente la structure de l'échantillon selon le genre et les trois classes d'âge 19-30 ans, 31-50 ans et plus de 50 ans que nous avons utilisées pour le recrutement des participant-e-s. La répartition des participant-e-s selon le genre est équilibrée dans les trois classes d'âge ($\chi^2 = 0,74$, $p < 0,69$, non significatif). Néanmoins, et comme il est classiquement observé dans le domaine de la conduite automobile, il existe un effet significatif du genre sur le plan de kilométrage annuel ($F(1, 148) = 8,99$, $p < 0,004$) dans la mesure où les hommes déclarent parcourir davantage de kilomètres par an ($M = 18 338,9$, $\sigma = 8 546,35$) que les femmes ($M = 14 123$, $\sigma = 8 614,4$).

Tableau 1. Nombre de participant(e)s selon le genre par classe d'âge.

	[19-30]	[31-50]	50+	Total
F	27	31	14	72
H	36	33	13	82
Total	63	64	27	154

3.1.2 Instruments de mesure

3.1.2.1 Plateforme Micro-iBB

Le boîtier Micro-iBB (cf. Graphique 1a), appareil d'enregistrement du comportement de la voiture des participant-e-s, a environ les dimensions suivantes : 86 x 69 x 54 mm. Il permet de collecter des données de capteurs inertiels OBD-II. Comme cette version n'est pas dotée de système sans-fil pour la transmission des données, elles sont donc enregistrées en binaire sur une carte micro-SD de 16 Go avec un total d'enregistrement théorique d'approximativement 2 000 heures (un logiciel permettant de convertir les données binaires en fichiers CSV, directement utilisables par logiciels tels que *Matlab*, est enregistré sur chaque carte). Le boîtier est alimenté par le port OBD-II de la voiture et est doté d'une mise en veille de la plateforme avec réveil par l'accéléromètre. La mise en veille s'effectue dès 2 à 5 minutes d'inactivité de la voiture. Le boîtier est également doté d'un bouton ON/OFF, permettant de couper complètement son alimentation provenant du port OBD-II. Un bouton « événement » est relié au boîtier par un câble de 1,5 m. Le dispositif est fixé à l'aide d'un tapis antidérapant permettant de le coller sur le tableau de bord (cf. Graphique 1b).



Graphique 1. a) boîtier enregistreur Micro-iBB, fourni par l'ÉTS, et b) boîtier collé sur un tapis antidérapant sur le tableau de bord

3.1.2.2 Modèles de voitures incompatibles avec le Micro-iBB

Lors des pré-tests et de l'étude, nous avons constaté que le boîtier est incompatible avec plusieurs modèles de voitures. Premièrement, le mode de connexion du boîtier à la prise OBD-II : pour certains modèles de voiture, la prise est au-dessus des pédales et le câble qui relie le boîtier à la prise gêne les mouvements du pied lorsque l'automobiliste appuie sur les pédales. Deuxièmement, le mode de fixation du boîtier : dans un modèle très populaire (Renault Clio III), la surface du tableau de bord n'est pas suffisamment lisse pour permettre au tapis antidérapant de fixer le boîtier d'une façon efficace. Troisièmement, une consommation excessive par le boîtier de l'énergie de la batterie de la voiture, due à un mauvais fonctionnement de la mise en veille du boîtier a été observée (un boîtier qui ne se met pas en veille ou qui re-fonctionne d'une façon incontrôlée sans que la voiture soit effectivement en mouvement). Cette dernière cause concerne surtout les modèles avec une capacité réduite de la batterie : de petites voitures effectuant essentiellement des trajets très courts, ce qui ne permet pas à la batterie de se recharger pleinement, ou bien des voitures dotées de systèmes électroniques sophistiqués qui consomment eux-mêmes beaucoup d'énergie de la batterie de la voiture. Ainsi, les automobilistes utilisant le plus souvent les modèles de voiture suivants ne pouvaient pas prendre part au projet MEDOC : Nissan Qashqai et Juke, Volkswagen Tiguan, Citroën C1, C2, C3 Picasso et C4 Picasso, Peugeot 107 et 208, Dacia Duster, Renault Clio III. De plus, nous n'avons pas accepté les voitures électriques, hybrides ou à boîte de vitesses automatique. La liste des voitures qui ont été utilisées dans cette étude est indiquée en Annexe I.

3.1.2.3 Fiches

Les informations auto-rapportées étaient fournies par les participant-e-s dans quatre fiches ou questionnaires :

1) Fiche habitudes

Elle était destinée à recueillir les informations concernant les caractéristiques socio-démographiques des participant-e-s (âge, genre, ancienneté du permis B, enfants et leur âge, profession, etc.), les habitudes de déplacement (kilomètres, motifs des déplacements, fréquence des trajets en voiture, etc.) et les caractéristiques de leur voiture (marque, modèle, année de mise en circulation, type de carburant, etc.). Cette fiche devait être remplie dès le début de la période de participation.

2) Fiche hebdomadaire

A la fin de chaque semaine de participation à l'étude, des informations concernant les déplacements effectués avec la voiture équipée du boîtier (kilomètres parcourus pour différents motifs, jours de conduite) étaient à fournir dans la fiche hebdomadaire. De plus, les participant-e-s y précisaient si d'autres personnes avaient conduit la voiture pendant la semaine,

quand et combien de kilomètres ils/elles avaient parcouru. Enfin, le/la participant-e déclarait à quelles sources de stress il/elle avait été exposé-e au cours de la semaine écoulée.

3) Fiche incident ou carnet de bord

Cette fiche était à remplir une fois que le/la participant-e était arrivé-e à destination et s'il/elle avait rencontré un incident lors de son trajet (et appuyé sur le bouton « événement » après avoir géré l'incident). Elle permettait de recueillir des informations concernant les facteurs suivants :

- Contexte temporel de la survenue de l'incident : date, heure, moment selon la durée et selon la distance parcourue dans le trajet, etc.
- Contexte personnel : but(s) du déplacement, s'il/elle était à l'heure ou en retard, d'éventuels antécédents stressants, nombre de passagers dans le véhicule, etc.
- Lieu où s'est produit l'incident : en ligne droite, en intersection, en virage, etc.
- Usager-s impliqué-s et type d'interaction
- Incident : type et description de la situation (avec possibilité d'un schéma), cause perçue et responsabilité perçue de l'incident
- Ce que faisait le/la participant-e au moment de la survenue de l'incident (vitesse, activités concurrentes, etc.)
- Dangerosité perçue de l'incident
- Comment l'incident a été géré : quelles actions ont été réalisées et par quels usagers

4) Fiche finale

Cette fiche, qui était à remplir par les automobilistes à la fin de leur participation à l'étude, contenait les mesures et échelles psychométriques suivantes :

- Transgressions (Reason, Manstead, Stradling, Baxter, & Campbell, 1990) – 12 items
- Engagement au volant dans des activités distrayantes - échelle en 12 items - et échelle de sa propre sensibilité à la distraction provenant de ces activités – échelle en 13 items (adaptées de SDDQ, Feng, Marulanda, & Donmez, 2014)
- Expressions de la colère au volant – 49 items (DAX, Deffenbacher, Kemper, & Richards, 2007; adaptation en français de Villieux & Delhomme, 2008)
- Jugements comparatifs sur le plan du risque d'accident et de sanction (Delhomme, Verliac, & Martha, 2009) et sur le plan des compétences de conduite (Delhomme, 1995) – 10 items
- Stress du conducteur (Gulian, Matthews, Glendon, Davies, & Debney, 1989) – 16 items
- Recherche des sensations au volant (Taubman, Mikulincer, & Iram, 1996 cité dans Yagil, 2001; adaptation en français de Delhomme, 2002) – 7 items
- Fréquence estimée de sa propre conduite en étant pressé-e et non pressé-e - un item
- Ecart moyen pratiqué par rapport aux limitations de vitesse – 12 items

Les réponses des participant-e-s aux échelles psychométriques vont de 1 à 5 dans le sens croissant de l'intensité d'une caractéristique mesurée par l'échelle, sauf pour les jugements comparatifs et l'écart moyen par rapport aux limitations de vitesse qui peuvent prendre des valeurs négatives ou positives. Pour le score de jugement comparatif des compétences, un score négatif indique la perception d'une infériorité, alors qu'un score positif indique un jugement de supériorité de ses propres compétences par rapport à un conducteur moyen. A l'inverse, pour les scores de jugement comparatif du risque d'accident et de sanction, des scores négatifs indiquent une surestimation, alors que des scores positifs indiquent une sous-estimation des risques par rapport à un conducteur moyen. Un écart négatif indique qu'un-e automobiliste a déclaré

conduire généralement au-dessous des limitations de vitesse, alors qu'un écart positif indique qu'un-e automobiliste a déclaré conduire généralement au-dessus des limitations de vitesse. Enfin, les participant-e-s étaient également invité-e-s à s'exprimer au sujet de l'étude, des incidents qu'ils ont rencontrés au volant, la conduite des autres usagers de la route et leur propre conduite sous forme de réponses libres.

3.1.3 Procédure

Cinq étapes ont été nécessaires pour le recueil de données :

1) Phase de préparation

Demandes d'autorisation. Avant son lancement, le projet de recherche a été validé par le Comité d'éthique pour les recherches biomédicales (CERB) de l'Ifsttar. Une autorisation a également été nécessaire de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés (CNIL).

Critères d'exclusion. Afin d'exclure de notre échantillon les automobilistes susceptibles d'adopter des profils de comportement très différents par rapport à la majorité (très jeunes et inexpérimentés, seniors, conducteurs occasionnels, etc.), nous avons décidé de ne pas faire appel à des automobilistes présentant les caractéristiques suivantes :

- Ayant moins de 19 ans ou ayant plus de 80 ans
- Effectuant en moyenne moins de deux trajets par semaine

2) Prise de contact

Tout d'abord, des représentants de la MAIF contactaient les sociétaires par téléphone pour les informer du projet de recherche et leur demander s'ils seraient intéressés pour y prendre part. A l'issue de cette première prise de contact, des listes d'automobilistes potentiellement motivé-e-s pour y participer étaient constituées puis transmises au responsable du projet. A partir de ces listes, les chercheurs du LPC contactaient les sociétaires, afin de leur présenter l'étude plus en détail et, une fois l'accord pour participer définitivement confirmé, prendre rendez-vous pour commencer la participation à l'étude. Suite à la prise du rendez-vous, le formulaire « Fiche habitudes » était adressé à la/au participant-e par courriel.

3) Rendez-vous initial

Selon que l'automobiliste ait exprimé la volonté de se déplacer sur le site de l'Ifsttar à Versailles ou pas, les rendez-vous se déroulaient soit sur le site de l'institut, soit à un endroit choisi par le participant (près de son domicile ou près de son lieu de travail). Lors du rendez-vous, le/la participant-e recevait des consignes détaillées concernant les tâches à accomplir dans le cadre du projet, un lot de formulaires « Fiche incident », destinés à décrire les incidents rencontrés au volant pendant la période de sa participation et signait un formulaire de consentement libre et éclairé. Enfin, un boîtier MiBB était installé dans l'habitacle de la voiture du/de la participant-e. Après le rendez-vous, les chercheurs envoyaient à la/au participant-e par courriel le formulaire « Fiche hebdomadaire », destiné essentiellement à recueillir les informations concernant les kilométrages effectués pour différents motifs au cours de la semaine écoulée.

4) Phase de recueil des données

Pendant une période de deux mois, l'automobiliste conduisait sa voiture comme d'habitude, et signalait les incidents qui survenaient lors de la conduite :

- appuyait sur un bouton rouge connecté au boîtier une fois que le danger avait été géré,
- décrivait l'incident à l'aide du formulaire « Fiche incident » dès lors qu'il/elle arrivait à destination.

De plus, chaque semaine, le/la participant-e remplissait et renvoyait aux chercheurs du LPC la « Fiche hebdomadaire », qu'il/elle ait rencontré ou non des incidents au cours de la semaine passée.

5) Rendez-vous final

A la fin de la phase de recueil des données, les chercheurs prenaient un second rendez-vous avec le/la participant-e afin de :

- récupérer le dispositif d'enregistrement automatique,
- faire remplir la « Fiche finale », destinée à recueillir des mesures psychométriques ainsi que d'autres informations permettant de décrire le comportement au volant du/de la participant-e,
- transmettre à la/au participant-e le chèque de 50 €. Il leur était également indiqué qu'il/elle recevrait une synthèse (2 pages) de la typologie des incidents, de leurs causes et des actions d'évitement en fin de projet.

La plupart des participant-e-s remplissaient la « Fiche finale » à l'occasion du dernier rendez-vous. Les participant-e-s qui se déclaraient pressé-es emmenaient la fiche pour la remplir à un moment qui leur convenait. Ils la renvoyaient ensuite aux chercheurs du LPC soit par courriel (scanné), soit sous forme papier (à l'aide d'une enveloppe pré-timbrée). Graphique 2 représente le schéma de la procédure.



Graphique 2. Procédure des cinq étapes suivies dans le projet MEDOC. Les éléments répétés pour chaque participant-e sont représentés par des ellipses.

3.2 Résultats

3.2.1 Analyse des données auto-rapportées

Dans un premier temps, nous présentons le nombre d'incidents que les participant(e)s déclarent avoir rencontré au cours des deux mois de conduite. Nous exposons ensuite une analyse descriptive des incidents selon le contexte à partir de leurs réponses aux questions fermées et ouvertes dans les fiches incident. Nous examinons les liens entre plusieurs variables contextuelles en réalisant des tests de χ^2 d'indépendance (les modalités occasionnant un nombre trop faible d'observations ne seront pas prises en compte dans ces tests). L'analyse descriptive aboutit à une typologie des incidents. Ensuite, à partir des incidents provoqués par les participant-e-s eux-mêmes/elles-mêmes, nous dressons un répertoire de causes psychologiques des incidents. Enfin, nous analysons quelles caractéristiques personnelles des automobilistes sont particulièrement associées au risque d'être impliqué-e dans un incident. Nous détaillons les éléments qui, selon les participant-e-s, aurait pu les aider à éviter l'incident et les moyens qu'ils envisagent de mettre en œuvre, dans un futur proche, pour réduire le risque d'être impliqué-e dans un accident au volant.

Nombre d'incidents

Au total au cours de deux mois de conduite, les participant-e-s ont rapporté avoir rencontré au volant 439 incidents, soit en moyenne 2,7 (*min* = 0, *max* = 17) par participant-e. Une analyse approfondie, menée à l'aide d'un modèle linéaire généralisé, adapté aux variables dépendantes suivant la loi de Poisson, indique que ce nombre varie significativement selon les catégories d'âge ($LR\chi^2 = 6,93$, $p < 0,04$). Un test post-hoc permettant d'effectuer des comparaisons entre la

moyenne d'incidents de chaque catégorie d'âge et la moyenne des deux autres catégories n'a pas permis de trouver de résultat significatif. Tandis qu'un test post-hoc, comparant les moyennes d'incidents des trois catégories d'âge une à une, a indiqué que les participant-e-s ayant entre 19 et 30 ans ont rapporté davantage d'incidents ($M = 3,21$, $\sigma = 3,59$) que les 31-50 ans ($M = 2,44$, $\sigma = 2,69$, $z = -2,57$, $p < 0,03$). Le nombre d'incidents rapporté par les participant-e-s ayant plus de 50 ans ($M = 3$, $\sigma = 2,57$) n'est significativement différent des 19-30 ans ($z = -0,51$, $p < 0,9$) ou des 31-50 ans ($z = 1,52$, $p < 0,3$). Le nombre d'incidents ne varie pas d'une façon significative selon le genre ($LR\chi^2 = 2,27$, $p < 0,14$) dans la mesure où, en moyenne, les femmes ont rapporté 3,07 incidents ($\sigma = 3,35$) et les hommes en ont rapportés 2,66 ($\sigma = 2,82$). Le kilométrage annuel déclaré par les participant-e-s n'est pas non plus significativement corrélé avec le nombre d'incidents rapportés ($b = -0,01$, $p < 0,8$).

3.2.1.1 Analyse des incidents selon des éléments de contexte

3.2.1.1.1 Types d'infrastructure

Où ont lieu les incidents ? Nous présentons leur fréquence d'occurrence selon les types d'infrastructure suivants :

- Ligne droite
 - Vitesse limitée à 50 km/h ou moins (100 incidents, 22,8 %)
 - Vitesse limitée au-delà de 50 km/h (110 incidents, 25,1 %)
- Intersections sans feux tricolores
 - Vitesse limitée à 50 km/h ou moins (69 incidents, 15,7 %)
 - Vitesse limitée au-delà de 50 km/h (20 incidents, 4,6 %)
- Intersections avec feux tricolores (59 incidents, 13,4 %)
- Ronds-points (47 incidents, 10,7 %)
- Virages
 - Vitesse limitée à 50 km/h ou moins (15 incidents, 3,4 %)
 - Vitesse limitée au-delà de 50 km/h (8 incidents, 1,8 %)
- Parkings (9 incidents, 2,1 %)
- Autre type d'infrastructure (2 incidents, 0,5 %)

Ainsi, presque la moitié des incidents (47,9 %) est survenue en ligne droite où apparemment il n'y a aucune difficulté particulière pour les automobilistes.

3.2.1.1.2 Responsabilité déclarée des incidents

Parmi les 439 incidents rapportés, les automobilistes ont déclaré qu'autrui est responsable de l'incident pour 71,3 % d'entre eux, être à l'origine ou en partie responsables de l'incident pour 23,5 % d'entre eux, être incapables d'attribuer la responsabilité à chacun des usagers impliqués dans l'incident pour 3,6 % d'entre eux, que l'origine de l'incident provient d'un problème d'infrastructure pour 1,4 % d'entre eux ou de voiture (un seul cas, 0,2 %).

Lorsque nous analysons la proportion d'incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie à la/au participant-e elle/lui-même, selon différents types d'infrastructure (voir Tableau 2), les proportions d'incidents restent comparables pour chacun des types d'infrastructure ($\chi^2 = 4,62$, $p < 0,33$). Toutefois, faute d'un nombre d'observations suffisant, le test de χ^2 ne prend pas en compte les virages, les intersections sans feux tricolores avec une

limitation de vitesse au-delà de 50 km/h, les parkings et les types d'infrastructure classés dans la catégorie « autre ».

Tableau 2. Infrastructure sur laquelle sont survenus les incidents selon l'attribution de la responsabilité de l'incident.

Respon- sable		Droit e ≤50 km/h	Droite >50 km/h	Virage ≤50 km/h	Virage >50 km/h	Inter. ≤50 km/h	Inter. >50 km/h	Inter. avec feux	Rond -point	Par- king	Autre	Tot.li.
Autrui/non précisé	n	82	84	11	7	47	18	43	35	7	2	336
	contr.	0,55	0,01	-	-	0,51	-	0,06	0,01	-	-	
	χ^2											
	%lign	24,4	25	3,3	2,1	14	5,4	12,8	10,4	2,1	0,6	
	%col	82	76,4	73,3	87,5	68,1	90	72,9	74,5	77,8	100	76,5
	%tota	18,7	19,1	2,5	1,6	10,7	4,1	9,8	8	1,6	0,5	
Participant-e	n	18	26	4	1	22	2	16	12	2	0	103
	contr.	1,69	0,03	-	-	1,58	-	0,18	0,02	-	-	
	χ^2											
	%lign	17,5	25,2	3,9	1	21,4	1,9	15,5	11,7	1,9	0	
	%col	18	23,6	26,7	12,5	31,9	10	27,1	25,5	22,2	0	23,5
	%tota	4,1	5,9	0,9	0,2	5	0,5	3,6	2,7	0,5	0	
Total col.	n	100	110	15	8	69	20	59	47	9	2	439
	%	22,8	25,1	3,4	1,8	15,7	4,6	13,4	10,7	2,1	0,5	

3.2.1.1.3 Usagers impliqués

Quels usagers sont d'avanatge impliqués dans les incidents ? Les participant-e-s ont déclaré que les incidents qu'ils ont rencontrés au volant ont impliqué :

- Deux voitures (285 incidents, 64,9 %)
- Plusieurs voitures (78 incidents, 17,8 %)
- Une voiture et un ou plusieurs usagers vulnérable-s (piétons, cyclistes ou 2RMs) (37 incidents, 8,4 %)
- Plusieurs voitures et un ou plusieurs usagers vulnérable-s (22 incidents, 5 %)
- Participant-e seul-e (17 incidents, 3,9 %)

3.2.1.1.4 Motifs du déplacement

Pour quels motifs les participant-e-s se déplaçaient-ils/elles lorsqu'ils/elles ont rencontré au volant un incident ?

- Déplacement domicile-travail (ou travail-domicile) (174 incidents, 39,6 %)
- Courses diverses (96 incidents, 21,9 %)
- Visites à la famille (63 incidents, 14,4 %)
- Loisirs (58 incidents, 13,2 %)
- Visites d'ami-e-s (34 incidents, 7,7 %)
- Autres déplacements professionnels (14 incidents, 3,2 %)

L'analyse de la proportion des incidents (voir Tableau 3) indique qu'il n'y a pas de lien entre la responsabilité estimée des incidents et le motif de déplacement ($\chi^2 = 2,08$, $p < 0,72$). Faute d'un nombre d'observations suffisant, la modalité « autres déplacements professionnels » n'a pas été prise en compte dans le test de χ^2 .

Tableau 3. Motifs des déplacements selon l'attribution de responsabilité de l'incident.

Responsable		Dépl. domicile -travail	Autres dépl. profes.	Courses diverses	Loisirs	Visites à la famille	Visites d'amis	Tot.lign.
Autrui/non précisé	n	138	8	71	43	51	25	336
	contr.	0,1	-	0,1	0,1	0,1	0,1	
	χ^2							
	%lign	41,1	2,4	21,1	12,8	15,2	7,4	
	%col	79,3	57,1	74	74,1	81	73,5	76,5
Participant-e	n	36	6	25	15	12	9	103
	contr.	0,3	-	0,4	0,2	0,4	0,2	
	χ^2							
	%lign	35	5,8	24,3	14,6	11,7	8,7	
	%col	20,7	42,9	26	25,9	19	26,5	23,5
Total col.	n	174	14	96	58	63	34	439
	%	39,6	3,2	21,9	13,2	14,4	7,7	

3.2.1.1.5 Familiarité avec le trajet

La plupart des trajets où sont survenus les incidents sont des trajets habituels (237 incidents, 54 %) ou occasionnels (150 incidents, 34,2 %) et plus rarement des trajets nouveaux (47 incidents, 10,7 %). Pour cinq trajets (1,1 %), les participant-e-s n'ont pas renseigné le niveau de connaissance qu'ils/elles ont du trajet. L'analyse de la proportion d'incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie à la/au participant-e elle/lui-même, selon le degré de familiarité du trajet (voir Tableau 4), ne semble pas indiquer que ce niveau de familiarité soit lié à la probabilité de provoquer un incident ($\chi^2 = 4,77$, $p < 0,1$).

Tableau 4. Niveau de familiarité du trajet où est survenu l'incident selon l'attribution de responsabilité de l'incident.

Responsable		Habituel	Occasionnel	Nouveau	Non précisé	Tot.lign.
Autrui/non précisé	n	189	111	31	5	336
	contr.	0,4	0,1	0,7	-	
	χ^2					
	%lign	56,2	33	9,2	1,5	
	%col	79,7	74	66	100	76,5
	%tota	43,1	25,3	7,1	1,1	
Participant-e	n	48	39	16	0	103
	contr.	1,2	0,3	2,1	-	
	χ^2					
	%lign	46,6	37,9	15,5	0	
	%col	20,3	26	34	0	23,5
	%tota	10,9	8,9	3,6	0	
Total col.	n	237	150	47	5	439
	%	54	34,2	10,7	1,1	

3.2.1.1.6 Moment de la survenue de l'incident par rapport au trajet

Une proportion plus faible d'incidents est survenue vers la fin du trajet comparée au début et au milieu du trajet ($\chi^2 = 14,84$, $p < 0,006$, résultat d'un test χ^2 d'ajustement, réalisé pour tester les différences de proportions entre les modalités). Néanmoins la proportion d'incidents, dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie à la/au participant-e elle/lui-même, reste stable selon le moment de sa survenue par rapport au trajet ($\chi^2 = 4,76$, $p < 0,4$). Ainsi, le moment de la survenue de l'incident ne semble pas liée au trajet selon la responsabilité estimée de l'incident (voir Tableau 5). Pour neuf incidents, les participant-e-s n'ont pas renseigné le moment de la survenue de l'incident, ces observations ont été exclues des tests de χ^2 .

Tableau 5. Moment de la survenue des incidents par rapport au trajet selon l'attribution de responsabilité de l'incident. La contribution indiquée est celle au test χ^2 d'indépendance.

Responsable		Tout début	Après le début	Milieu	Vers la fin	Tout à la fin	Non précisé	Tot.lign.
Autrui/non précisé	n	75	68	80	58	47	8	336
	contr.	0,4	0,3	0	0,2	0,2	-	
	χ^2							
	%lign	22,3	20,2	23,8	17,3	14	2,4	
	%col	82,4	71,6	76,2	71,6	81	88,9	76,5
	%tota	17,1	15,5	18,2	13,2	10,7	1,8	
Participant-e	n	16	27	25	23	11	1	103
	contr.	1,4	0,9	0	0,7	0,6	-	
	χ^2							
	%lign	15,5	26,2	24,3	22,3	10,7	1	
	%col	17,6	28,4	23,8	28,4	19	11,1	23,5
	%tota	3,6	6,2	5,7	5,2	2,5	0,2	
Total col.	n	91	95	105	81	58	9	439
	%	20,7	21,6	23,9	18,5	13,2	2,1	

3.2.1.1.7 Présence de passagers

Davantage d'incidents sont survenus lorsque le/la participant-e est seul-e dans sa voiture (293 incidents, 66,7 %) que lorsqu'il/elle transporte des passagers (146 incidents, 33,3 %). La proportion d'incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie à la/au participant-e elle/lui-même est très similaire selon que des passagers sont présents dans la voiture ou pas ($\chi^2 = 1,58$, $p < 0,3$, voir Tableau 6). La présence de passagers ne nous permet pas de conclure sur le fait qu'elle soit une source de distraction ou un facteur incitant à la prudence, ce qui va dans le sens de la note de synthèse de Delhomme (2008) qui montre que l'effet de passagers dépend de l'âge de l'automobiliste, des passagers et du comportement étudié.

Tableau 6. La présence de passagers dans la voiture selon l'attribution de responsabilité de l'incident.

Responsable		Avec passagers	Sans passagers	Tot.lign.
Autrui/non précisé	n	117	219	336
	contr.	0,2	0,1	
	χ^2			
	%lign	34,8	65,2	
	%col	80,1	74,7	76,5
	%tota	26,7	49,9	
Participant-e	n	29	74	103
	contr.	0,8	0,4	
	χ^2			
	%lign	28,2	71,8	
	%col	19,9	25,3	23,5
	%tota	6,6	16,9	
Total col.	n	146	293	439
	%	33,3	66,7	

3.2.1.1.8 Conditions d'éclairage

La plupart des incidents sont survenus dans les conditions diurnes (350 incidents, 79,7 %) et seulement une petite proportion dans les conditions nocturnes (80 incidents, 18,2 %). La proportion d'incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie à la/au participant-e elle/lui-même est plutôt similaire selon que l'incident est survenu dans les conditions diurnes ou nocturnes ($\chi^2 = 3,03$, $p < 0,09$). Les conditions d'éclairage ne contribueraient donc pas à augmenter le risque de provoquer un incident au volant (voir Tableau 7). Ce test ne tient pas compte d'une faible proportion (9 incidents, 2,1 %) d'incidents pour lesquels les conditions d'éclairage n'ont pas été renseignées.

Tableau 7. Les conditions d'éclairage selon l'attribution de responsabilité de l'incident.

Responsable		Jour	Nuit	Non précisé	Tot.ligne
Autrui/non précisé	n	261	67	8	336
	contr.	0,1	0,6	-	
	χ^2				
	%lign	77,7	19,9	2,4	
	%col	74,6	83,8	88,9	76,5
	%tota	59,5	15,3	1,8	
Participant-e	n	89	13	1	103
	contr.	0,4	1,9	-	
	χ^2				
	%lign	86,4	12,6	1	
	%col	25,4	16,2	11,1	23,5
	%tota	20,3	3	0,2	
Total col.	n	350	80	9	439
	%	79,7	18,2	2,1	

3.2.1.1.9 Antécédent stressant

Pour seulement 60 incidents (13,7 %), les participant-e-s ont déclaré avoir vécu un événement qui les avait perturbé avant la survenue de l'incident (avant de prendre le volant ou au cours du trajet). La proportion des incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie à la/au participant-e elle/lui-même est plus importante en présence d'un antécédent stressant (46,7 %, voir Tableau 8 pour la contribution de cette proportion à la valeur du χ^2) qu'en son absence (19,8 %). Ainsi, un antécédent stressant survenant avant de prendre le volant ou lors de la conduite augmente le risque de provoquer un incident au volant ($\chi^2 = 20,84$, $p < 0,001$).

Tableau 8. La présence d'un antécédent stressant selon l'attribution de responsabilité de l'incident.

Responsable		Sans antécédent stressant	Avec antécédent stressant	Tot.lign.
Autrui/non précisé	n	304	32	336
	contr.	0,7	4,2	
	χ^2			
	%lign	90,5	9,5	
	%col	80,2	53,3	76,5
	%tota	69,2	7,3	
Participant-e	n	75	28	103
	contr.	2,2	13,8	
	χ^2			
	%lign	72,8	27,2	
	%col	19,8	46,7	23,5
	%total	17,1	6,4	
Total col.	n	379	60	439
	%	86,3	13,7	

3.2.1.1.10 Conditions météorologiques

La majorité des incidents est survenue en absence de pluie (375 incidents, 85,4 %). De plus, la proportion d'incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie à la/au participant-e elle/lui-même est similaire selon que l'incident est survenu en présence de précipitations ou en son absence ($\chi^2 = 0,41$, $p < 0,6$, voir Tableau 9). A la lumière de ce résultat, il semblerait que les conditions météorologiques augmentent peu le risque d'incident.

Tableau 9. Présence de précipitations selon l'attribution de responsabilité de l'incident.

Responsable		Sans précipitations	Avec précipitations	Tot.lign.
Autrui/non précisé	n	285	51	336
	contr.	0	0,1	
	χ^2			
	%lign	84,8	15,2	
	%col	76	79,7	76,5
	%total	64,9	11,6	
Participant-e	n	90	13	103
	contr.	0	0,3	
	χ^2			
	%lign	87,4	12,6	
	%col	24	20,3	23,5
	%total	20,5	3	
Total col.	n	375	64	439
	%	85,4	14,6	

3.2.1.2 Analyse détaillée des incidents

3.2.1.2.1 Causes de l'incident

Niveau global

Une typologie en quatre grands facteurs rend compte des causes des incidents :

- Interactions entre véhicules (393 incidents, 89,5 %)
- Obstacles en mouvement non motorisés (34 incidents, 7,7 %)
- Perte de visibilité (6 incidents, 1,4 %)
- Objet sur la voie (6 incidents, 1,4 %)

Niveau plus détaillé

- Nous avons distingué les comportements suivants identifiés à l'origine des incidents :
- « Queue de poisson » – trajectoire d'un véhicule coupée par un autre véhicule, en l'absence de règles de priorité strictes qui puissent être appliquées à la situation d'interaction en question (115 incidents, 26,2 %)
- Non respect des règles de priorités (112 incidents, 25,5 %)
- Freinage intempestif d'un véhicule (88 incidents, 20 %)

- Traversée de piétons ou d'animaux (34 incidents, 7,7 %)
- Déviation de la trajectoire (21 incidents, 4,8 %)
- Erreur lors d'une manœuvre de dépassement (11 incidents, 2,5 %)
- Interaction entre deux véhicules allant dans le sens opposé sur une route étroite (8 incidents, 1,8 %)
- Dépassement par la droite (6 incidents, 1,4 %)
- Objet sur la voie (6 incidents, 1,4 %)
- Perte de visibilité momentanée (6 incidents, 1,4 %)
- Passage forcé avec une utilisation de signaux (klaxons, phares) (5 incidents, 1,1 %)
- Franchissements d'une ligne blanche continue (5 incidents, 1,1 %)
- Mauvaise utilisation d'un clignotant (5 incidents, 1,1 %)
- Autre interaction difficilement catégorisable (5 incidents, 1,1 %)
- Ouverture d'une portière à l'approche d'un véhicule (4 incidents, 0,9 %)
- Usager en sens interdit (4 incidents, 0,9 %)
- Vitesse excessive (4 incidents, 0,9 %)

L'analyse de la proportion des incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie à la/au participant-e elle/lui-même, selon différentes interactions identifiées à l'origine des incidents (voir Tableau 10), permet de constater qu'une proportion plus importante de participant-e-s a déclaré avoir provoqué un incident lorsque l'origine de l'incident avait été attribuée à un freinage intempestif d'un véhicule (dans ce cas, il est plausible qu'ils estiment ne pas avoir gardé une distance de sécurité suffisante). Cependant, les participant-e-s se jugent plus rarement responsables des incidents ayant pour origine une queue de poisson ($\chi^2 = 18,68$, $p < 0,001$). Seules les interactions suivantes ont une fréquence suffisante pour réaliser un test de χ^2 : queue de poisson, déviation de la trajectoire, freinage intempestif d'un véhicule et non respect des règles de priorités.

Tableau 10. Interactions identifiées à l'origine des incidents selon l'attribution de responsabilité de l'incident.

Responsable		Queue de poi.	Déviat. traject.	Dépas. droite	Erreur dépas.	Pass. forcé	Frein. intem.	Dépas. lign.bl.	Clign.	Objet voie	Ouv. port.	Perte visib.	Refus priorit.	Route étroite	Sens Interd.	Trave.	Vite. exce.	Autre	Tot. lign.
Autrui/non précisé	n	99	17	6	5	4	53	5	4	4	4	3	86	5	3	33	2	3	336
	contr.	1,6	0,1	-	-	-	2,8	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	
	χ^2																		
	%lign	29,5	5,1	1,8	1,5	1,2	15,8	1,5	1,2	1,2	1,2	0,9	25,6	1,5	0,9	9,8	0,6	0,9	
	%col	86,1	81	100	45,5	80	60,2	100	80	66,7	100	50	76,8	62,5	75	97,1	50	60	76,5
	%tota	22,6	3,9	1,4	1,1	0,9	12,1	1,1	0,9	0,9	0,9	0,7	19,6	1,1	0,7	7,5	0,5	0,7	
Participant-e	n	16	4	0	6	1	35	0	1	2	0	3	26	3	1	1	2	2	103
	contr.	5	0,2	-	-	-	9	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	
	χ^2																		
	%lign	15,5	3,9	0	5,8	1	34	0	1	1,9	0	2,9	25,2	2,9	1	1	1,9	1,9	
	%col	13,9	19	0	54,5	20	39,8	0	20	33,3	0	50	23,2	37,5	25	2,9	50	40	23,5
	%tota	3,6	0,9	0	1,4	0,2	8	0	0,2	0,5	0	0,7	5,9	0,7	0,2	0,2	0,5	0,5	
Total.col.	n	115	21	6	11	5	88	5	5	6	4	6	112	8	4	34	4	5	439
	%	26,2	4,8	1,4	2,5	1,1	20	1,1	1,1	1,4	0,9	1,4	25,5	1,8	0,9	7,7	0,9	1,1	

3.2.1.2.2 Vitesse à laquelle est survenu l'incident

Nous pouvons déduire de la valeur du troisième quartile de la vitesse à laquelle les participant-e-s ont déclaré rouler, lors de la survenue des incidents, que la majorité des incidents est survenue sur des routes en agglomération, à des vitesses inférieures ou égales à 70 km/h (voir Tableau 11). Pour seulement 21 incidents (4,8 %), les participant-e-s ont reconnu avoir roulé au-dessus de la limitation de vitesse.

Tableau 11. Statistiques descriptives des vitesses déclarées lors de la survenue de l'incident

Minimum	1 ^{er} Quartile	Médiane	Moyenne	3 ^e Quartile	Maximum
0	30	40	48,81	70	140

3.2.1.2.3 Les actions d'évitement de l'incident

Les actions d'évitement de l'incident sont les suivantes :

- Arrêt total d'au moins un usager impliqué dans la situation (205 incidents, 46,7 %)
- Ajustement de la vitesse sans arrêt total d'au moins un usager (117 incidents , 26,7 %)
- Ajustement de la vitesse d'au moins un usager et un ajustement de trajectoire effectué par au moins un usager (58 incidents, 13,2 %)
- Arrêt total d'au moins un usager et un ajustement de trajectoire effectué par au moins un usager (37 incidents, 8,4 %)
- Ajustement de trajectoire effectuée par au moins un usager sans qu'aucun usager impliqué n'ait effectué d'ajustement de vitesse ni se soit arrêté (19 incidents, 4,3 %)
- Autres actions : sans ajustements de la vitesse, arrêts ou ajustements de trajectoire ; non précisées (3 incidents, 0,7 %)

De plus, dans 159 des incidents (36,2 %), des signaux sonores (klaxons) ou lumineux (appels de phare) ont été utilisés en réaction au danger. Il semblerait que les signaux ont été émis plus rarement lorsque l'incident a été géré par un arrêt total d'au moins un usager impliqué dans l'incident sans qu'aucun des autres usagers impliqués n'effectue d'ajustements de trajectoire ($\chi^2 = 16,97$, $p < 0,001$, voir Tableau 12). Toutefois, les conditions où l'incident a été géré par un ajustement de trajectoire effectué par au moins un usager, sans qu'aucun usager impliqué n'ait effectué d'ajustement de vitesse ni ne se soit arrêté, et modalité « autre action » n'ont pas été prises en compte dans le test de χ^2 faute de fréquence suffisante.

Tableau 12. Réactions au danger qui ont permis d'éviter l'accident selon l'utilisation de signaux.

Signal émis		Arrêt+ ajust. traj.	Arrêt sans ajust. traj.	Ajust.vit.+ ajust. traj.	Ajust. vit. sans ajust. traj.	Ajust. traj. sans ajust. vit	Autres	Tot. lign.
Non	n	19	151	30	67	11	2	280
	contr.	0,9	3	1,4	0,8	-	-	
	χ^2							
	%lign	6,8	53,9	10,7	23,9	3,9	0,7	
	%col	51,4	73,7	51,7	57,3	57,9	66,7	63,8
	%tota	4,3	34,4	6,8	15,3	2,5	0,5	
Oui	n	18	54	28	50	8	1	159
	contr.	1,7	5,3	2,4	1,5	-	-	
	χ^2							
	%lign	11,3	34	17,6	31,4	5	0,6	
	%col	48,6	26,3	48,3	42,7	42,1	33,3	36,2
	%tota	4,1	12,3	6,4	11,4	1,8	0,2	
Total.col	n	37	205	58	117	19	3	439
	%	8,5	46,5	13,6	26,4	4,4	0,7	

Lorsque nous analysons la proportion d'incidents selon les actions effectuées en réaction au danger, nous observons que les incidents dont les participant-e-s se sont estimé-e-s au moins en partie responsables n'ont pas été gérés différemment de ceux dont la responsabilité a été attribuée à autrui ($\chi^2 = 1,96$, $p < 0,6$, voir Tableau 13). Toutefois, les conditions où l'incident a été géré par une manœuvre effectuée par au moins un usager, sans qu'aucun usager impliqué n'ait effectué d'ajustement de vitesse ni ne se soit arrêté-e, et modalité « autre action » n'ont pas été prises en compte dans le test de χ^2 faute de fréquence suffisante.

Tableau 13. Réactions au danger qui ont permis d'éviter l'accident selon l'attribution de responsabilité.

Respon- sable		Arrêt+ ajust. traj.	Arrêt sans ajust. traj.	Ajust.vit.+ ajust. traj.	Ajust. vit. sans ajust. traj.	Ajust. traj. sans ajust. vit	Autres	Tot. lign.
Autrui/non précisé	n	31	153	46	92	12	2	336
	contr.	0,2	0,2	0	0	-	-	
	χ^2							
	%lign	9,2	45,5	13,7	27,4	3,6	0,6	
	%col	83,8	74,6	79,3	78,6	63,2	66,7	76,5
	%tota	7,1	34,9	10,5	21	2,7	0,5	
Participant-e	n	6	52	12	25	7	1	103
	contr.	0,7	0,6	0,1	0,1	-	-	
	χ^2							
	%lign	5,8	50,5	11,7	24,3	6,8	1	
	%col	16,2	25,4	20,7	21,4	36,8	33,3	23,5
	%tota	1,4	11,8	2,7	5,7	1,6	0,2	
Total.col	n	37	205	58	117	19	3	439
	%	8,4	46,7	13,2	26,7	4,3	0,7	

3.2.1.2.4 Types de risque de collision

Outre les caractéristiques que nous venons de décrire dans les sections précédentes, les incidents qui se sont déroulés impliquent au moins deux véhicules peuvent être classés selon que le risque de collision est :

- Latéral/arrière (134, 35 %) – lorsque deux véhicules, allant dans la même direction, poursuivent des trajectoires plus ou moins parallèles (par exemple, sur des files adjacentes, y compris lors de la manœuvre de dépassement) et un d'entre eux se rabat avec l'intention de rejoindre ou couper la trajectoire de l'autre (= queue de poisson)
- Latéral (122, 31,9 %) – lorsque les trajectoires de deux véhicules se recoupent sous un angle plus ou moins droit (par exemple, dans une intersection en croix)
- Arrière (94, 24,5 %) – lorsque deux véhicules poursuivent la même trajectoire et celui qui précède l'autre ralentit ou freine brusquement
- Frontal (33, 8,6 %) – lorsque les trajectoires de deux véhicules allant dans le sens opposé se recoupent (typiquement, lors d'une manœuvre de dépassement sur une route à double sens avec deux files, une seule dans chaque sens de circulation, le véhicule qui effectue la manœuvre doit momentanément rejoindre la file adjacente où il risque d'entrer en collision avec les véhicules arrivant d'en face).

L'analyse de la proportion des incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie à la/au participant-e elle/lui-même, selon le risque de collision, montre que les participant-e-s s'estiment plus rarement responsables des incidents débouchant sur un risque de collision latéral/arrière tandis qu'ils/elles s'estiment plus souvent responsables de ceux débouchant sur un risque de collision arrière ($\chi^2 = 17,51$, $p < 0,001$, voir Tableau 14).

Tableau 14. Types de risque de collision selon l'attribution de responsabilité.

Responsable		Latéral	Latéral/arrière	Frontal	Arrière	Tot.lign.
Autrui/non précisé	n	88	119	25	63	295
	contr.	0,4	2,4	0	1,2	
	χ^2					
	%lign	29,8	40,3	8,5	21,4	
	%col	72,1	88,8	75,8	67	77
	%tota	23	31,1	6,5	16,4	
Participant-e	n	34	15	8	31	88
	contr.	1,3	8,1	0	4,1	
	χ^2					
	%lign	38,6	17	9,1	35,2	
	%col	27,9	11,2	24,2	33	23
	%tota	8,9	3,9	2,1	8,1	
Total.col	n	122	134	33	94	383
	%	31,9	35	8,6	24,5	

3.2.1.3 Catégorisation des incidents

Afin d'établir une typologie des incidents à partir des variables décrites dans les sections précédentes, nous avons mené une analyse factorielle de correspondances multiple (AFCM, Le Roux & Rouanet, 2004). Le principe de cette méthode consiste à illustrer l'ensemble de relations qui existent entre plusieurs variables qualitatives (ici, les caractéristiques des incidents) dans un espace euclidien avec un nombre réduit de dimensions. Ainsi, chaque modalité d'une variable et chaque observation (incident) peuvent être représentées en tant que points ayant des coordonnées définies sur les dimensions obtenues dans l'analyse. Les modalités ou observations dont les coordonnées sur une dimension sont proches, devraient également être considérées comme liées. L'analyse débouche généralement sur plusieurs dimensions ; ne sont retenues que celles qui expliquent une part significative de la variabilité (appelée « inertie ») d'un jeu de données analysé. Les parts d'inertie expliquées par les dimensions retenues peuvent être additionnées pour obtenir le pourcentage d'inertie totale expliquée par l'analyse. L'avantage de la méthode est d'illustrer deux types de variables : variables principales, qui contribuent à la construction des dimensions, et variables supplémentaires (qualitatives et/ou quantitatives), projetées a posteriori dans l'espace défini par les dimensions obtenues.

Choix et recodage des variables

Si elles font partie des variables principales, les modalités dont la fréquence est trop faible sont susceptibles de devenir des « outliers », c'est-à-dire qu'elles contribuent à la création de dimensions définies presque uniquement par ces mêmes modalités à faible fréquence, en biaisant les résultats de l'analyse. Pour éviter les outliers et, en général obtenir un résultat intelligible, nous avons regroupé des modalités de certaines variables pour obtenir des catégories moins fines, ou encore d'inclure certaines variables en tant que variables supplémentaires. Les variables suivantes ont été incluses en tant que variables principales. Dans tous les cas, leurs modalités ont été regroupées en deux modalités :

- Type d'infrastructure (intersection ou rond-point vs. hors intersection)
- Vitesse à laquelle est survenu l'incident (inférieure ou égale à 30 km/h vs. supérieure à 30 km/h)
- Action d'évitement (arrêt total vs. sans arrêt total)
- Type de collision qui a été évitée (latérale ou frontale vs. arrière ou latérale/arrière)

D'autres variables ont été incluses en tant que variables supplémentaires. Plusieurs ont été re-codées :

- Usagers impliqués (deux voitures vs. plusieurs voitures vs. incident impliquant des usagers vulnérables)
- Interaction à l'origine de l'incident (quatre modalités : freinage brusque vs. non respect de la priorité vs. queue de poisson vs. modalité « autre », regroupant l'ensemble d'interactions moins fréquentes)
- Conditions d'éclairage (diurnes vs. nocturnes)
- Utilisation de signaux sonores ou lumineux (avec signaux vs. sans signaux)
- Conditions météorologiques (présence vs. absence de précipitations)
- Responsabilité attribuée (participant-e vs. autre)

Enfin, l'analyse n'a pas pris en compte d'incidents ayant pour origine une traversée brusque de piétons ou d'animaux et des incidents n'impliquant que le/la participant-e.

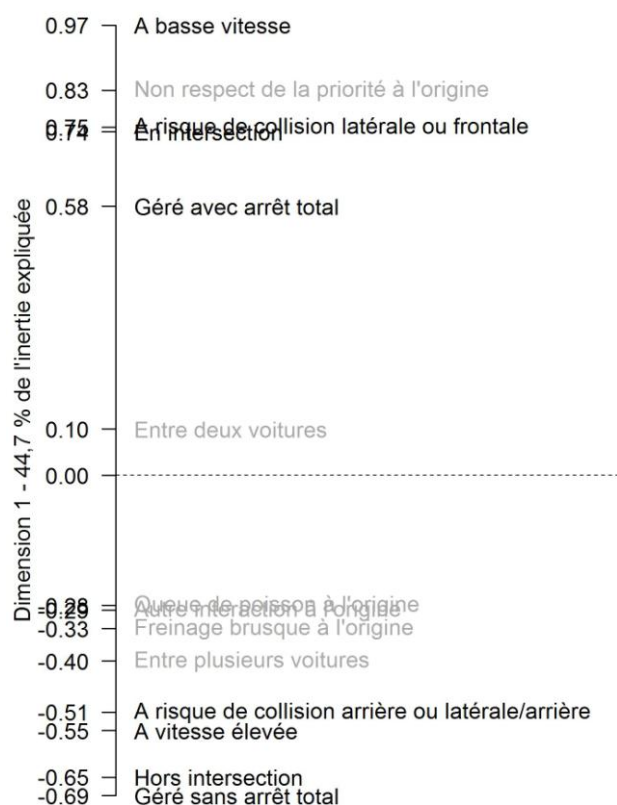
Au total, cette analyse concerne donc 383 incidents, soit 87,2 % de l'ensemble des incidents rapportés.

Description des catégories d'incident

L'analyse a permis de distinguer uniquement une seule dimension significative, expliquant 44,7 % d'inertie totale (voir Graphique 3). Ainsi, deux catégories d'incidents ont pu être décrites :

- *Type 1* - Incidents survenus hors intersection ou hors rond-point, à vitesse élevée, engendrant un risque de collision arrière ou latéral/arrière, évité sans qu'aucun des usagers impliqués ne s'arrête totalement. Ces incidents ont souvent à l'origine un freinage brusque d'un véhicule, une queue de poisson ou une autre interaction (excepté un refus de priorité) et impliquent plusieurs voitures.
- *Type 2* - Incidents survenus à une vitesse inférieure ou égale à 30 km/h, en intersection ou rond-point, engendrant un risque de collision latérale ou frontale, évitée grâce à un arrêt total d'au moins un usager impliqué. Ces incidents ont souvent à l'origine un refus de priorité et impliquent seulement deux voitures.

La proportion des incidents de Type 1 et de Type 2 n'est significativement pas différente selon l'attribution de responsabilité de l'incident ($\chi^2 = 2,1$, $p < 0,4$, voir Tableau 15).



Graphique 3. Modalités de variables corrélées significativement ($p < 0,05$) à l'unique dimension significative issue de l'AFCM. Les variables supplémentaires sont en gris.

Tableau 15. Types d'incident selon l'attribution de responsabilité.

Responsable		Type 1	Type 2	Autre	Tot.lign.
Autrui/non précisé	n	68	33	194	295
	contr.	0,4	0	0,1	
	χ^2				
	%lign	23,1	11,2	65,8	
	%col	82,9	76,7	75,2	77
	%tota	17,8	8,6	50,7	
Participant-e	n	14	10	64	88
	contr.	1,2	0	0,4	
	χ^2				
	%lign	15,9	11,4	72,7	
	%col	17,1	23,3	24,8	23
	%tota	3,7	2,6	16,7	
Total.col	n	82	43	258	383
	%	21,4	11,2	67,4	

3.2.1.4 Caractéristiques psychologiques des automobilistes

Tout d'abord, nous avons examiné la variabilité sur le plan des dimensions psychologiques, mesurées à l'aide d'échelles psychométriques contenues dans la fiche finale. Dans ce but, pour chaque échelle, nous avons réalisé une analyse à l'aide du modèle linéaire général, afin de tester si le score varie selon le genre, les catégories d'âge et le kilométrage annuel parcouru. Lorsqu'une dimension psychologique varie significativement selon les catégories d'âge (trois modalités) ou l'interaction entre l'âge et le genre (aboutissant à six modalités), un test post-hoc a été réalisé pour savoir quelle-s catégorie-s a/ont un score différent des autres. Les résultats significatifs des analyses sont présentés dans les paragraphes suivants.

Jugement comparatif du risque de sanction

Les participant-e-s, comparés à un conducteur moyen, s'estiment davantage exposés au risque d'être sanctionné(e)s pour des infractions au code de la route, ce d'autant que leur kilométrage annuel est important ($b = -0,01$, $p < 0,004$). Le genre interagit significativement avec les catégories d'âge ($F(2, 147) = 3,11$, $p < 0,05$). Cependant, parmi les six groupes de participant-e-s définis selon le genre et la catégorie d'âge, aucun n'a un score moyen de jugement comparatif du risque significativement différent de celui des cinq autres groupes.

Recherche de sensations

Comme attendu, le score à cette échelle varie significativement selon le genre ($F(1, 147) = 6,08$, $p < 0,02$) dans la mesure où les hommes recherchent davantage de sensations au volant ($M = 2,13$, $\sigma = 0,57$) que les femmes ($M = 1,83$, $\sigma = 0,64$). Ce score varie également selon le kilométrage annuel ($b = 0,01$, $p < 0,05$) : les participant-e-s ont tendance à rechercher des sensations au volant ce d'autant qu'ils/elles parcourent beaucoup de kilomètres par an en voiture.

Transgressions au volant

Le score à l'échelle de transgressions varie significativement selon les catégories d'âge ($F(2, 147) = 3,82$, $p < 0,03$). Le test post-hoc a montré que les participant-e-s ayant entre 19 et 30 ans déclarent commettre plus fréquemment d'infractions ($M = 1,83$, $\sigma = 0,42$, $t = 2,79$, $p < 0,02$) que les 31-50 ans ($M = 1,68$, $\sigma = 0,38$) et les plus de 50 ans ($M = 1,59$, $\sigma = 0,34$).

Engagement dans des activités distrayantes au volant

Le score à l'échelle varie significativement selon les catégories d'âge ($F(2, 147) = 5,55$, $p < 0,005$) dans la mesure où les participant-e-s ayant entre 19 et 30 ans s'engagent significativement plus fréquemment dans des activités distrayantes au volant ($M = 2,55$, $\sigma = 0,56$, $t = 3,02$, $p < 0,009$) que les 31-50 ans ($M = 2,45$, $\sigma = 0,49$) et les plus de 50 ans ($M = 2,15$, $\sigma = 0,45$). Les participant-e-s ayant plus de 50 ans s'engagent significativement moins fréquemment ($t = -3,16$, $p < 0,006$) dans ce type d'activités que les deux autres catégories d'âge. De plus, les participant-e-s s'engagent fréquemment dans des activités distrayantes au volant ce d'autant qu'ils/elles parcourent beaucoup de kilomètres par an en voiture ($b = 0,01$, $p < 0,02$).

Sensibilité à la distraction provenant des activités concurrentes au volant

Les participant-e-s apparaissent d'autant plus sensibles à la distraction qu'ils/elles parcourent beaucoup de kilomètres par an en voiture ($b = 0,01$, $p < 0,008$).

DAX : sous-échelle de l'utilisation de son propre véhicule pour exprimer la colère

Le score de la sous-échelle de l'utilisation de son propre véhicule pour exprimer la colère varie significativement selon les catégories d'âge ($F(2, 147) = 3,51$, $p < 0,04$). Les participant-e-s ayant entre 19 et 30 ans expriment davantage leur colère au moyen de leur voiture ($M = 1,76$, $\sigma = 0,55$, $t = 2,48$, $p < 0,04$) que les 31-50 ans ($M = 1,63$, $\sigma = 0,44$) et les plus de 50 ans ($M = 1,46$, $\sigma = 0,31$).

DAX : sous-échelle de l'expression adaptative/constructive de la colère

Le score à cette sous-échelle de la DAX varie significativement selon les catégories d'âge ($F(2, 147) = 5,09, p < 0,008$). Les participant-e-s ayant entre 19 et 30 ans savent significativement le moins bien contrôler leur colère ($M = 2,75, \sigma = 0,68, t = -2,85, p < 0,02$) et les plus de 50 ans ($M = 3,24, \sigma = 0,68, t = 2,99, p < 0,01$) savent significativement le mieux contrôler leur colère que les des deux autres groupes (le score moyen des 31-50 ans est de $M = 2,9, \sigma = 0,6$).

Ecart moyen de la vitesse adoptée par rapport aux limitations de vitesse

L'écart moyen dépend de la catégorie d'âge ($F(2, 147) = 5,23, p < 0,007$) dans la mesure où les participant-e-s ayant entre 19 et 30 ans déclarent davantage dépasser les limitations de vitesse ($M = 5,35, \sigma = 3,98, t = 3,09, p < 0,007$) et les plus de 50 ans ($M = 2,45, \sigma = 3,89, t = -2,4, p < 0,05$) déclarent moins les dépasser par rapport aux deux autres groupes (le score moyen des 31-50 ans est de $M = 3,85, \sigma = 3,77$). L'écart moyen est élevé ce d'autant que les participant-e-s parcourent beaucoup de kilomètres par an ($b = 0,01, p < 0,007$).

Caractéristiques des automobilistes prédictives du risque de provoquer un incident au volant

Afin d'identifier les caractéristiques d'automobilistes associées aux risque de provoquer un incident au volant, nous avons réalisé une analyse à l'aide d'un modèle linéaire généralisé, adapté aux variables dépendantes suivant la distribution Poisson. Nous avons régressé le nombre d'incidents provoqué au volant sur l'ensemble des caractéristiques démographiques et psychologiques des automobilistes. Pour assurer une puissance maximale à l'analyse, les scores aux sous-échelles d'expression physique d'agressivité, d'utilisation de la voiture pour exprimer la colère et d'expression verbale de l'agressivité de la DAX ont été agrégés (la valeur d'alpha de Cronbach pour les trois scores, $\alpha = 0,66$, peut être considérée comme suffisante pour effectuer l'agrégation). La probabilité de provoquer un incident au volant d'une voiture a été négativement associée à l'âge de l'automobiliste ($b = -0,03, p < 0,01$), positivement associée à la sous-estimation du risque d'être impliqué-e dans un accident dans un futur proche ($b = 0,24, p < 0,05$) et à la sensibilité à la distraction au volant ($b = 0,7, p < 0,002$). Nous venons de trouver une association entre cette sensibilité et le kilométrage annuel. Néanmoins, puisqu'en l'absence de toute autre variable indépendante, le kilométrage annuel n'est pas significativement associé au nombre d'incidents provoqués ($b = -0,01, p < 0,8$), la sensibilité à la distraction ne peut pas être considérée comme un médiateur de la relation entre le kilométrage annuel et la probabilité de provoquer un incident au volant.

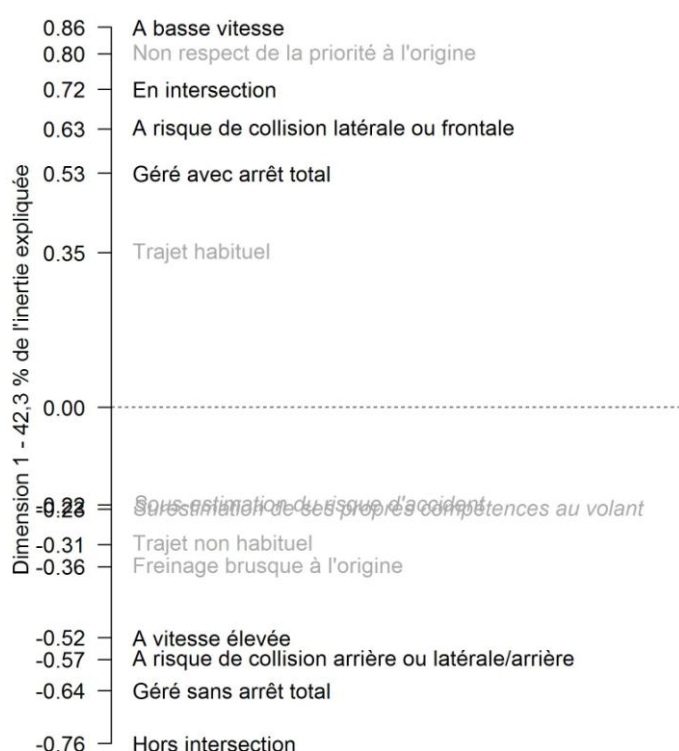
Caractéristiques des automobilistes et éléments du contexte personnel associés à différents types d'incident

La fréquence d'incidents de Type 1 (hors intersection ou hors rond-point, à vitesse élevée, engendrant un risque de collision arrière ou latérale/arrière, évitée sans qu'aucun des usagers impliqués ne s'arrête totalement) et Type 2 (en intersection ou au rond-point, à une vitesse inférieure ou égale à 30 km/h, engendrant un risque de collision latérale ou frontale, évitée grâce à un arrêt total d'au moins un usager impliqué) reste faible dans le sous-ensemble d'incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie à la/au participant-e. Il n'est donc pas possible d'utiliser un modèle de régression linéaire généralisé mixte pour examiner le lien entre les caractéristiques des automobilistes, ou encore certains éléments du contexte personnel de l'automobiliste, et la probabilité de provoquer un incident de Type 1 ou de Type 2. Néanmoins, l'association entre ces éléments stables ou transitoires peut être étudiée à l'aide de l'AFCM (voir section 3.2.1.3). Il est possible de mener cette analyse en se refocalisant sur l'ensemble des incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie au/à la participant-e. Outre les variables prises en considération dans l'analyse précédente, cette nouvelle analyse tient compte des caractéristiques psychométriques des automobilistes et des variables suivantes, liées au contexte personnel de l'automobiliste :

- Antécédent stressant (présence vs. absence d'un événement stressant)
- Réaction de colère suite à l'incident (présence de réaction de colère vs. absence de réaction de colère)

- Motifs du déplacement (courses diverses vs. loisirs ou visites vs. déplacements professionnels)
- Niveau de familiarité du trajet (habituel vs. non habituel)
- Moment par rapport à la durée du trajet (vers le début vs. le milieu vs. la fin du trajet)
- Passagers (présence vs. absence de passagers).

La solution obtenue est similaire à celle présentée dans la section 3.2.1.3 (expliquant cette fois-ci 42,3 % de la variabilité). De plus, les incidents de Type 1 seraient faiblement, mais significativement associés à la sous-estimation du risque d'avoir un accident et à la perception de la supériorité de ses propres compétences au volant par rapport à celles d'un conducteur moyen (voir le Graphique 4). Les incidents de Type 1 ont été souvent provoqués lors de trajets non habituels, contrairement aux incidents de Type 2, associés à des trajets habituels.



Graphique 4. Modalités de variables corrélées significativement ($p < 0,05$) à l'unique dimension significative issue de l'AFCM focalisée sur les incidents dont la responsabilité a été attribuée au moins en partie au/à la participant-e. Les variables supplémentaires sont en gris, et lorsqu'elles sont quantitatives, elles sont en italiques.

3.2.1.5 Éléments qui auraient pu aider à éviter l'incident selon les participant-e-s

Pour 119 incidents sur les 439 rapportés, les éléments les plus fréquemment cités ...

- Ajout de panneaux routiers (20 incidents, 15,8 %) indiquant par exemple les règles de priorité ou de limitations de vitesse
- Utilisation correcte et à temps du clignotant par un des usagers impliqués (14 incidents, 11 %)
- Visibilité améliorée (par exemple : suppression d'arbres, ajout de miroirs, etc.) (11 incidents, 8,7 %)
- Alertes de conduite indiquant un obstacle dans l'angle mort (7 incidents, 5,5 %), augmentant l'attention des usagers (6 incidents, 4,7 %), prônant le maintien des distances de sécurité (6 incidents, 4,7 %), indiquant que le feu tricolore est rouge ou clignotant (3 incidents, 2,4 %), enfin l'activation automatique des feux de détresse (3 incidents, 2,4 %)
- Différents aménagements de l'infrastructure (uniformiser la configuration des ronds-points, rallonger une voie d'insertion, élargir la chaussée, etc.) (6 incidents, 4,7 %).

3.2.1.6 Actions envisagées par les participant-e-s pour réduire le risque d'accident

Dans la fiche finale, 85 participant-e-s de l'échantillon ont indiqué avoir l'intention de modifier leur comportement au volant ou d'effectuer d'autres actions au cours des trois prochaines années pour réduire le risque d'être impliqué-e dans un accident au volant. Leurs réponses ont été regroupées en 12 catégories :

- Etre vigilant-e sur la route (35 automobilistes, 22,7 %)
- Mieux anticiper les interactions pour adapter sa propre conduite aux autres usagers (20 automobilistes, 13 %)
- Réduire/mieux adapter la vitesse (17 automobilistes, 11 %)
- Réduire l'usage du téléphone au volant ou utiliser des interfaces (kit mains libres, bluetooth) mieux adaptées à la conduite pour téléphoner (8 automobilistes, 5,2 %)
- Eviter de conduire dans des conditions difficiles (nuit, heures d'affluence, routes chargées, fatigue, etc.) impliquant de changer ses habitudes de conduite (horaires, trajets) (8 automobilistes, 5,2 %)
- Respecter le code de la route (6 automobilistes, 3,9 %)
- Réduire les émotions négatives (stress, colère) au volant (6 automobilistes, 3,9 %)
- Respecter les distances de sécurité (4 automobilistes, 2,6 %)
- Moins utiliser la voiture (4 automobilistes, 2,6 %)
- Suivre des formations complémentaires à la conduite (2 automobilistes, 2 %)
- Acheter une voiture mieux équipée pour réguler plus facilement la vitesse et gérer les situations à risque (2 automobilistes, 2 %)
- Contrôler les angles morts (2 automobilistes, 2 %).

3.2.2 Analyse des données automatiques

Certaines mesures sont enregistrées dans le véhicule et proviennent du bus CAN, d'autres concernant le recueil des informations de la dynamique de conduite proviennent du boîtier micro-IBB fourni par le boîtier de l'ETS, d'autres enfin proviennent des carnets de bord (lorsqu'ils/elles ont rencontré un incident) et de questionnaires remplis par les automobilistes réelle lors d'une phase pilote ayant été menée de janvier à mars 2015 sans qu'aucun défaut de fonctionnement ne soit détecté.

Néanmoins, après réception de l'ensemble des boîtiers et équipement des véhicules des participant-e-s, le retour d'analyse des données a montré la détection d'un certain nombre de dysfonctionnements.

- Les températures élevées pendant les périodes d'été, et plus généralement les variations de températures auxquels ont été soumis les boîtiers, ont provoqué le dysfonctionnement de certains capteurs, ainsi que la fonte des plastiques constituant le boîtier lui-même.
- Certains boîtiers ont été déplacés, ou détachés de leurs supports, puis vraisemblablement mal repositionnés. Après visualisation des données et entretien avec le participant concerné, il est apparu que certains boîtiers avaient été laissés au sol sans fixation. Les enregistrements concernés ont été corrompus.
- Certains interrupteurs d'alimentation du boîtier ont subi des défaillances, menant à un dysfonctionnement : bouton inutilisable (allumé en permanence) ou cassé. Cela a pu parfois provoquer le vidage de la batterie du véhicule concerné, et une mise à l'écart du boîtier concerné.

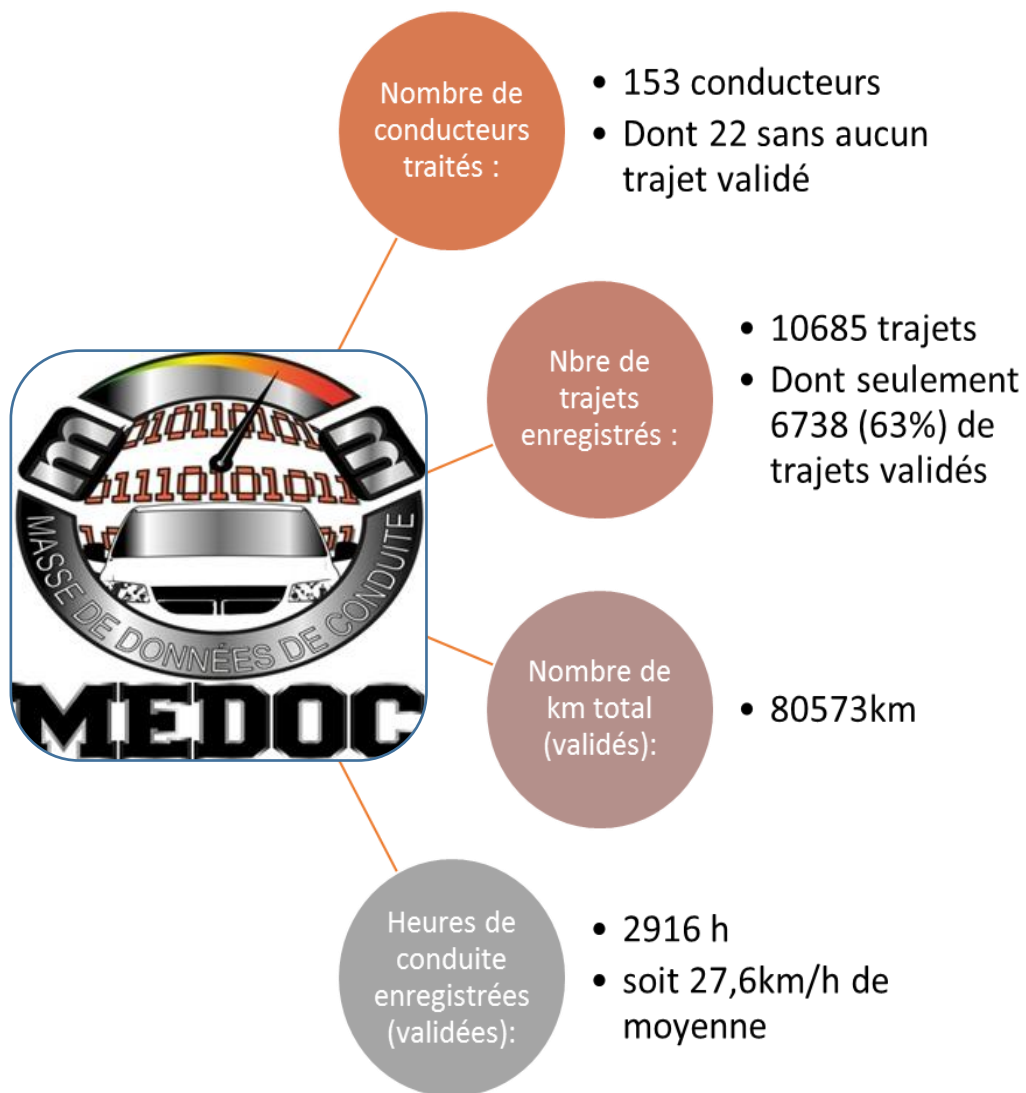
- Suite à l'observation du problème précédent (vidage de la batterie du véhicule), la demande a été faite aux automobilistes d'éteindre les boîtiers la nuit pour éviter ce problème. Cela a pu entraîner l'oubli de son rallumage, et a donc engendré la perte de quelques trajets.

En termes de recueil de données, cela a provoqué la présence d'un certain nombre d'anomalies d'enregistrement qu'il a fallu identifier, qualifier, et exclure de l'analyse le cas échéant. La liste des problèmes d'enregistrements identifiés est donnée ci-dessous :

- Anomalie OBDII : Aucune information n'est enregistrée sur le bus OBDII du véhicule, vraisemblablement car elles sont absentes.
- Anomalie GPS : Le signal GPS est absent sur certains trajets. Ce phénomène est observé pour 1/3 des automobilistes. Certains boîtiers n'ont enregistré aucune donnée GPS pendant les 2 mois de collecte.
- Anomalie bouton : On observe parfois une fréquence d'appuis sur le bouton anormalement élevé. Le bouton reste vraisemblablement bloqué, ce qui induit une série d'appuis continus pendant une période de plusieurs minutes.
- Anomalie d'enregistrement : Certains boîtiers ne se mettent pas en veille correctement après l'arrêt du véhicule, et génèrent des trajets fictifs de moins d'une minute de manière répétée. De manière similaire, certains trajets sont fictifs (pas de déplacement du véhicule enregistré) mais présentent des durées de plusieurs heures et remplissent la mémoire de stockage avec des valeurs aberrantes.

L'ensemble de ces problèmes lors de la récolte des données a amené l'équipe projet à réaliser une évaluation de la performance des boîtiers, afin d'identifier les boîtiers potentiellement défectueux et de les retirer de l'expérimentation. Néanmoins, ces défaillances techniques ont eu un impact important sur la quantité et la qualité des données recueillies lors du projet MEDOC. Les opérations automatiques ayant été menées sur ces données sont listées ci-dessous :

- Pré-traitement (voir Graphique 5 pour la représentation graphique des opérations):
 - Synchronisation des différents fichiers.
 - Importation des données dans une base.
 - Identification des données corrompues.
 - Interpolation des signaux pour les données non corrompues.
- Traitement :
 - Identification des incidents selon la méthodologie utilisée dans le cadre du SHRP2 (USA).
 - Calcul d'indicateurs associés à la fréquence de ces incidents



Graphique 5. bilan des opérations de pré-traitement.

Le traitement de l'ensemble de ces trajets a consisté à tout d'abord identifier les incidents selon plusieurs critères rappelés dans l'encadré 1.

Encadré 1 : Définitions des algorithmes de détection automatique appliqués dans le projet MEDOC

Accélération

Il y a 3 conditions indépendantes

- Accélération longitudinale ≤ -0.65 g.
- Accélération longitudinale ≤ -0.3 g si la vitesse du véhicule >64 km/h pendant au moins 20 millisecondes.
- Accélération latérale ≤ -0.75 g ou accélération latérale ≥ 0.75 g.

Chacune de ces trois conditions est complétée par l'application de la règle suivante : si plusieurs détections sont observées dans le même intervalle de 2 secondes, on ne retient qu'une seule détection, soit la première.

Jerk

- Jerk ≤ -1 g/s & vitesse instantanée > 18 km/h pendant au moins 1 seconde.

Cette condition est complétée par l'application de la règle suivante : si plusieurs détections sont observées dans le même intervalle de 2 secondes, on ne retient qu'une seule détection, soit la première.

Yaw Rate

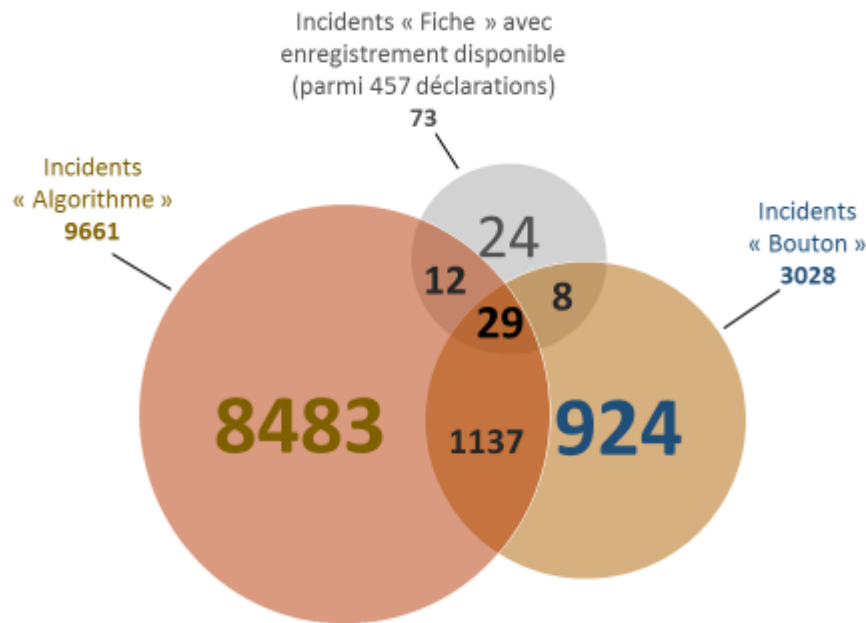
- Variation de yaw-rate de -8° à $+8^\circ$ ou de $+8^\circ$ à -8° sous 0,75 seconde quand la vitesse du véhicule est supérieure à 48 km/h.

Cette condition est complétée par l'application de la règle suivante : si plusieurs détections sont observées dans le même intervalle de 2 secondes, on ne retient qu'une seule détection, soit la première.

Le résultat de l'application de ces algorithmes aux données du projet MEDOC a conduit à détecter un grand nombre d'incidents candidats, dont les effectifs peuvent être consultés au Tableau 16.

Tableau 16. Répartition des incidents détectés automatiquement selon chacun des trois critères.

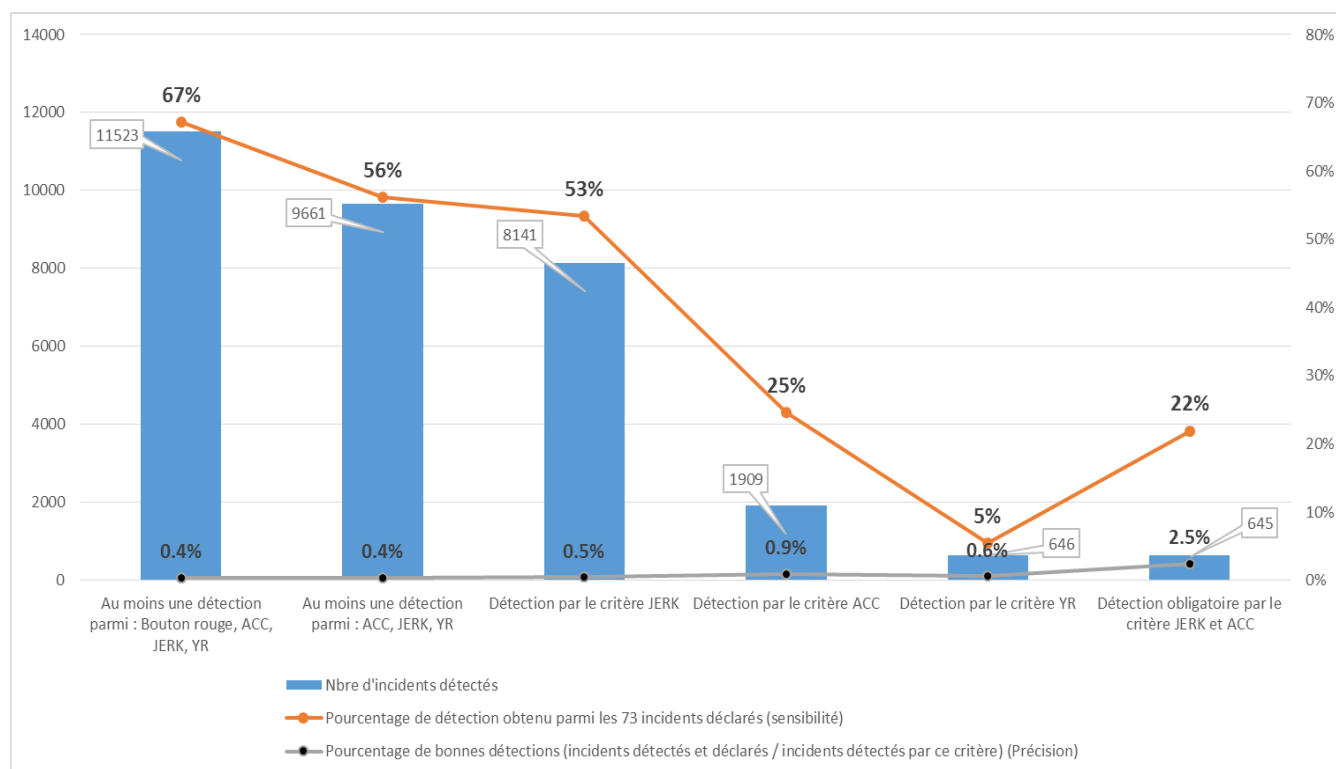
ACC	JERK	YR	Total
1909	8141	646	10696 (soit 9661 évènements uniques)



Graphique 6. Résumé de la répartition des incidents détectés automatiquement, déclarés par les automobilistes, et signalés par un appui sur le bouton rouge.

Comme détaillé plus haut, l'usage du bouton rouge a été corrompu par différents dysfonctionnements techniques. Malgré les pré-traitements effectués sur l'information collectée par le bouton rouge, il n'a semble-t-il pas été possible de reconstituer une information pertinente et utilisable. En effet, les 3028 appuis sur le bouton n'ont pas de rapport direct avec les 457 incidents. En réalité, il faudrait même comparer ces appuis boutons aux seuls 73 incidents déclarés pendant des périodes où le recueil de données était actif (cf. Graphique 6). L'information du bouton rouge ne semble donc pas correspondre aux déclarations des participant-e-s. De même seuls un bon tiers des appuis boutons rouge correspondent à des incidents détectés automatiquement. Cette information n'étant pas fiable, nous avons décidé de l'exclure des analyses futures.

Comme on peut le constater sur la base de ces résultats, le nombre d'incidents détectés automatiquement est très grand. Cependant, toutes les détections ne sont pas équivalentes : certains incidents sont plus « flagrants » que d'autres, dans la mesure où ils sont détectés par plusieurs critères comparativement à d'autres incidents détectés par un seul des trois critères. De même, certaines situations peuvent générer plusieurs alertes répétées, ce qui peut permettre de renforcer l'hypothèse d'un incident « remarquable ». On peut dès lors, se poser la question de savoir si les incidents détectés automatiquement ET déclarés par les participant-e-s, sont associés à des incidents détectés de manière multiple (plusieurs alertes selon différents critères, voir Graphique 7). De même, on peut chercher à évaluer la performance de chaque critère pris séparément, ainsi que leurs combinaisons par paires.



Graphique 7. Évolution du nombre de détections et du taux de détection des incidents déclarés selon la stratégie de conservation des candidats.

La stratégie de détection des incidents repose sur des algorithmes relativement simples, ayant pour principal défaut de retenir un grand nombre de candidats peu représentatifs des situations réellement à risque.

Une stratégie de détection efficace doit minimiser le taux de mauvaises détections, tout en maximisant le taux de bonne identification. Dans notre cas, le taux de bonne identification est très faible (autour de 0.5 % des candidats sont des incidents déclarés) mais il semble possible de minimiser le taux de mauvaises détections en « durcissant » la règle de conservation des incidents candidats avec le critère du Jerk.

Les différentes stratégies de détection étudiées dans ce travail sont les suivantes :

- Au moins une détection parmi : Bouton rouge, ACC, JERK, YR.
- Au moins une détection parmi : ACC, JERK, YR.
- Détection par le critère JERK.
- Détection par le critère ACC.
- Détection par le critère YR.
- Détection obligatoire par le critère JERK et ACC.

Les définitions précises sont rappelées dans l'encadré 1 (cf. page 40).

Le Graphique 7 permet de comparer le taux de bonnes détections pour les différentes stratégies étudiées, le taux de bonnes détections étant défini comme le rapport entre le nombre total d'incidents détectés par cette stratégie et ayant aussi été déclarés par les participant-e-s, et le nombre total d'incidents détectés par cette stratégie. Ce Graphique 7 permet aussi d'observer l'évolution du nombre

d'incidents détectés automatiquement parmi les 73 incidents déclarés, ainsi que le nombre total d'incidents détectés par la stratégie étudiée. Le taux maximal d'incidents correctement détectés parmi les 73 incidents déclarés, décroît à mesure que l'on durcit les règles de détection. Néanmoins, le taux de bonnes détections, rapporté à l'ensemble des incidents détectés, est alors très faible et rend la stratégie inopérante en pratique. En effet, il ne semble pas pertinent d'opter pour une stratégie amenant à identifier presque 10 000 incidents candidats dont seuls 0.4 % d'entre eux sont pertinents (au sens où ils ont été déclarés par les participant-e-s). Il semble donc plus pertinent de s'orienter vers une stratégie plus sévère, permettant d'identifier un nombre d'incidents candidats moins élevé, mais avec un meilleur taux de réussite. Parmi les différentes stratégies proposées au Graphique 7, le meilleur pourcentage de bonnes détections est de 2.5 obtenu en combinant une détection par le critère du Jerk et celui de la décélération (ACC). Cette stratégie permet d'obtenir un nombre relativement réduit d'incidents candidats (645), tout en identifiant correctement 22 % des 73 incidents déclarés.

Au vu de ces résultats, il nous semble intéressant de suggérer l'application de la règle suivante pour sélectionner les incidents candidats :

Conserver uniquement les incidents candidats ayant déclenchés au moins une fois, le critère de décélération (ACC) ainsi que celui du jerk (JERK), tels que définis dans l'encadré 1 (cf. page 40).

Il nous paraît cependant hasardeux d'aller plus loin dans l'identification précise des incidents sans moyens supplémentaires : Des études plus poussées équipent les véhicules de caméras et de radars, ce qui permet l'application d'algorithmes plus complexes, et analysent chaque incident candidat manuellement pour en valider la pertinence. Malgré cette méthodologie coûteuse et complexe, le taux de reconnaissance de situations réellement « à risque » (sensibilité) reste peu satisfaisant, de l'ordre de 62 % (cf. Perez et al., 2017), à comparer au taux de 22 % obtenu dans notre projet avec la stratégie proposée. En l'absence de tels moyens, il serait illusoire de prétendre construire un algorithme automatique capable de performances similaires à partir des seules informations d'un GPS. Mais le but de la recherche menée dans MEDOC n'est pas tant l'identification précise de certaines situations, que l'étude de la fréquence d'occurrence de ces situations. En d'autres termes, même si une approche simple ne permet pas d'identifier de manière fiable des situations à risque, leur fréquence d'occurrence peut renseigner sur le style de conduite d'un-e automobiliste, et peut-être aussi sur son niveau de risque individuel.

Le nombre d'incidents de chaque type (Accélération, jerk, ou yaw rate) peut être comptabilisé pour chacun-e des participant-e-s à l'expérience. Le nombre d'incidents enregistré pour chaque automobiliste doit être ramené aux kilomètres parcourus. Nous proposons de ramener ce nombre aux 100 km parcourus et de construire ainsi 4 indicateurs par automobiliste :

- ACCP100 : Nombre d'incidents par automobiliste de type "accélération" rapportés aux 100 km parcourus.
- JERKP100 : Nombre d'incidents par automobiliste de type "jerk" rapportés aux 100 km parcourus.
- YRP100 : Nombre d'incidents par automobiliste de type "yaw rate" rapportés aux 100 km parcourus.

On peut faire l'hypothèse que ces indicateurs sont liés au risque individuel d'un-e automobiliste, cette notion de risque faisant ici référence à l'accidentologie avérée de l'automobiliste (par exemple, le nombre d'accidents constatés). Cette hypothèse sera testée dans les sections suivantes.

3.2.3 Liens entre données auto-rapportées et automatiques pour mieux identifier les participant-e-s plus ou moins à risque

3.2.3.1 Echantillon de 131 participant-e-s

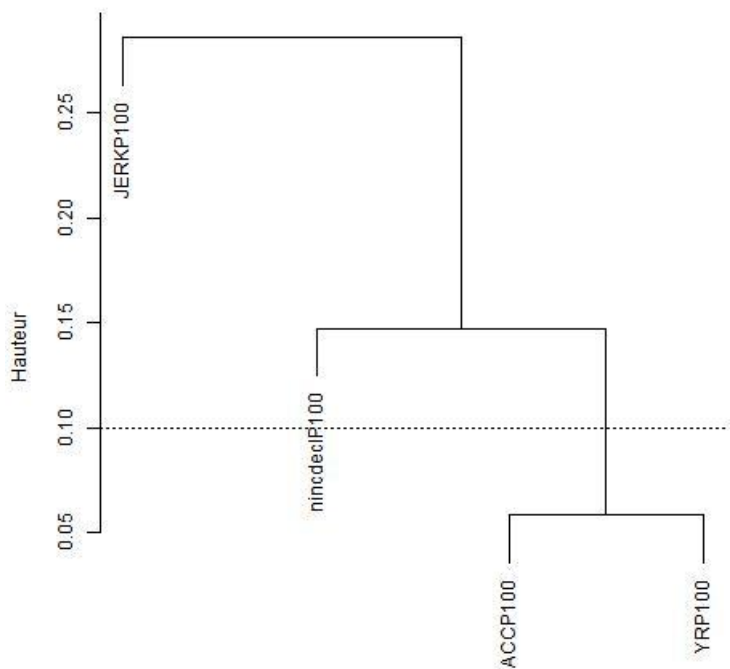
Afin d'identifier ces liens, nous avons réalisé plusieurs analyses à l'aide de la classification hiérarchique selon la méthode de Ward. Adaptée aux variables quantitatives, cette méthode permet de regrouper les observations proches selon une matrice de distances utilisée comme entrée de l'analyse. L'analyse procède d'une façon itérative identifiant des ensembles de plus en plus larges d'observations proches. Ainsi, son résultat peut être représenté à l'aide d'un dendrogramme résumant les étapes consécutives d'agrégation. A l'issue d'une classification hiérarchique, il est possible de regrouper les observations à partir du dendrogramme d'une façon arbitraire en le « coupant » à une hauteur choisie selon le nombre de groupes souhaités. Dans ce cas, les observations se trouvant plus haut sur un embranchement (correspondant à un groupe de variables) peuvent être considérées comme plus représentatives par rapport aux autres observations sur le même embranchement.

3.2.3.1.1 Sélection de variables

Tout d'abord, nous avons groupé les variables quantitatives d'une façon arbitraire selon le caractère des phénomènes mesurés. Ensuite, nous avons réalisé une classification hiérarchique par groupe de variables avec, en entrée, une matrice de corrélations entre celles-ci. Cette démarche avait comme objectif d'identifier les variables fortement corrélées, pouvant éventuellement être considérées comme redondantes. Parmi ces variables redondantes, nous avons retenu celles qui nous semblaient pertinentes pour les étapes suivantes de l'analyse des liens entre les données auto-rapportées et automatiques. Les critères de sélection étaient basés sur la valeur diagnostique d'une variable ou la facilité de son enregistrement dans le contexte de l'assurance automobile.

Dans l'ensemble de variables objectives, liées à l'incidentologie – ACCP100, JERKP100, YRP100 et le nombre d'incidents auto-rapportés par 100 km (nincdeclP100) – deux variables fortement corrélées ont été identifiées (hauteur d'agglomération 0,1, voir Graphique 8). Parmi celles-ci, ACCP100 a été préférée à YRP100 pour sa plus grande facilité technique d'enregistrement. Par conséquent, YRP100 a été éliminée des analyses postérieures. Les variables retenues pour ce groupe sont donc les suivantes :

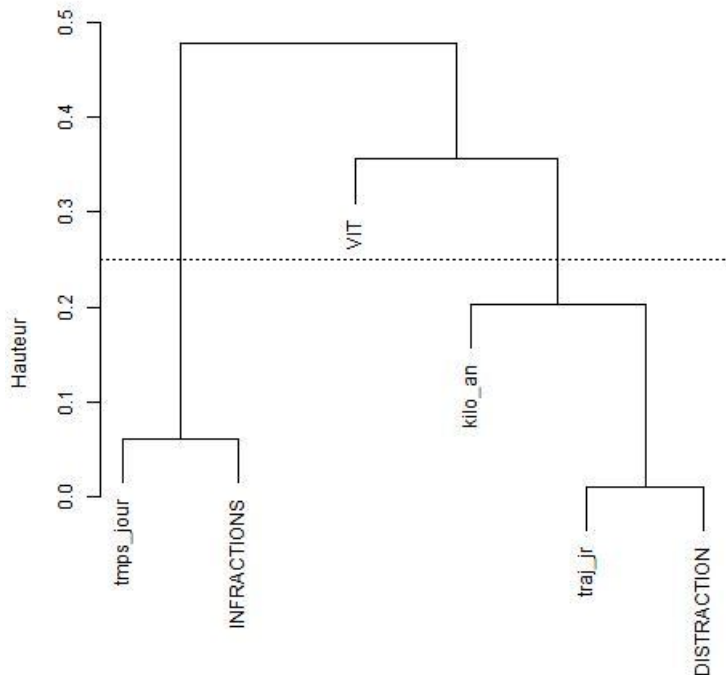
- JERKP100 (Nombre d'incidents de type “jerk” par 100 km)
- ACCP100 (Nombre d'incidents de type “accélération” par 100 km)
- nincdeclP100 (nombre d'incidents auto-rapportés par 100 km)



Graphique 8. Dendrogramme de la classification hiérarchique des variables objectives, issues d'enregistrements automatiques selon leurs corrélations.

Dans l'ensemble de variables auto-rapportées, liées à la conduite de la voiture – nombre moyen de trajets effectués par jour (traj_jr), temps moyen passé au volant par jour (tmps_jour), kilométrage annuel (kilo_an), écart moyen pratiqué par rapport aux limitations de vitesse (VIT), score à l'échelle de transgressions (INFRACTIONS), score d'engagement au volant dans des activités distrayantes (DISTRACTION) – deux groupes de variables fortement corrélées ont été identifiés (hauteur d'agglomération 0,25, voir Graphique 9). Dans le premier groupe, tmps_jour a été préféré à INFRACTIONS pour sa plus grande facilité de mesure et pour son caractère plus objectif. Dans le second groupe, kilo_an pouvait être considéré comme le plus représentatif du groupe. Par conséquent, INFRACTIONS, traj_jr et DISTRACTION ont été éliminés des analyses postérieures. Les variables retenues pour ce groupe sont donc les suivantes :

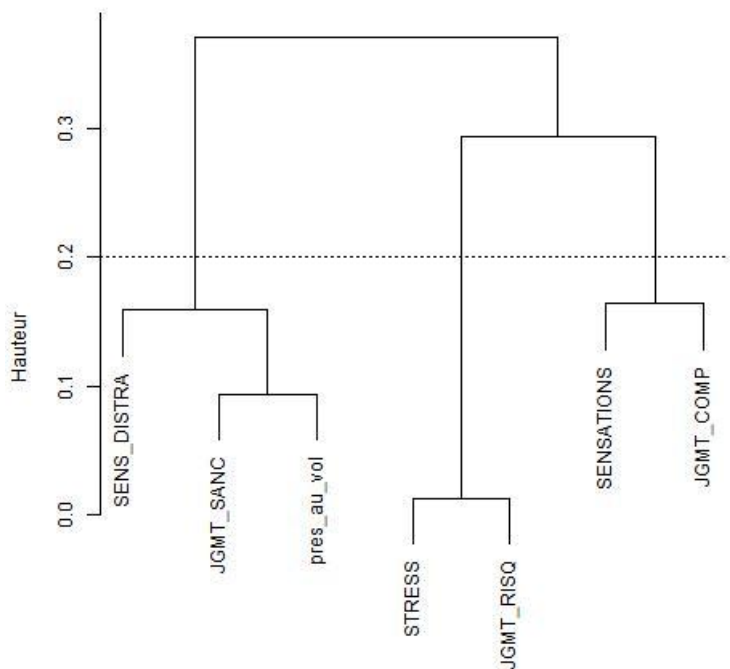
- VIT (écart moyen pratiqué par rapport aux limitations de vitesse)
- tmps_jour (temps moyen passé au volant par jour)
- kilo_an (kilométrage annuel)



Graphique 9. Dendrogramme de la classification hiérarchique des variables auto-rapportées, liées à la conduite de la voiture selon leurs corrélations.

Dans l'ensemble de variables liées aux émotions et autres caractéristiques psychologiques – score à l'échelle de recherche des sensations au volant (SENSATIONS), score à l'échelle de stress du conducteur (STRESS), score à l'échelle de sensibilité à la distraction (SENS_DISTRA), jugements comparatifs sur le plan du risque d'accident (JGMT_RISQ), de sanction (JGMT_SANC) et des compétences de conduite (JGMT_COMP), fréquence estimée de sa propre conduite en étant pressé-e et non pressé-e (pres_au_vol) – trois groupes de variables fortement corrélées ont été identifiés (hauteur d'agglomération 0,2, voir Graphique 10). Dans le premier groupe, SENS_DISTRA pouvait être considéré comme la variable la plus représentative. Dans le deuxième groupe, JGMT_RISQ a été préféré à STRESS pour sa plus grande facilité de mesure. Dans le troisième groupe, SENSATIONS a été préférée à JGMT_COMP pour sa valeur prédictive de comportements à risque au volant. Par conséquent, JGMT_SANC, pres_au_vol, STRESS et JGMT_COMP ont été éliminés des analyses postérieures. Les variables retenues pour ce groupe sont donc les suivantes :

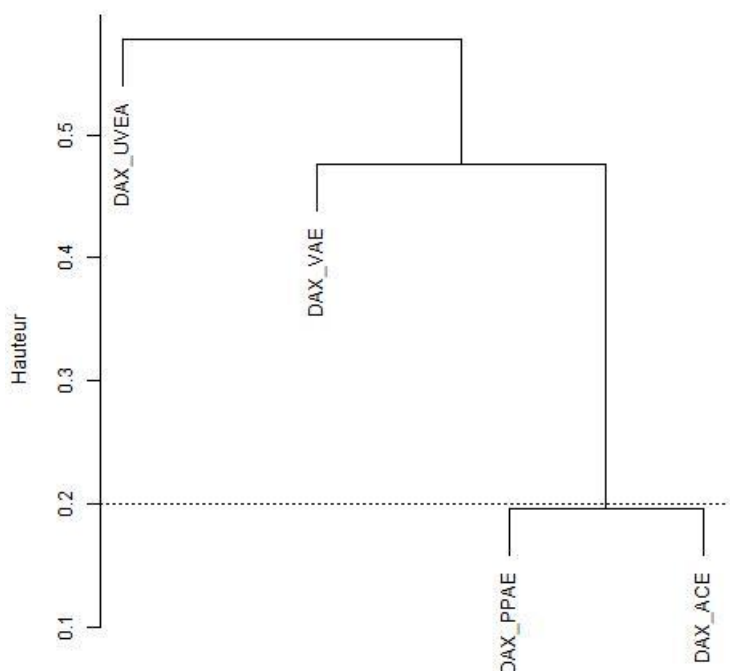
- SENS_DISTRA (score à l'échelle de sensibilité à la distraction)
- JGMT_RISQ (jugements comparatifs sur le plan du risque d'accident)
- SENSATIONS (score à l'échelle de recherche de sensations au volant)



Graphique 10. Dendrogramme de la classification hiérarchique des variables liées aux émotions et autres caractéristiques psychologiques selon leurs corrélations.

Parmi les sous-échelles de la DAX – fréquence d'expression physique d'agressivité (DAX_PP AE), d'utilisation du véhicule pour exprimer la colère (DAX_UVEA), d'expression verbale de l'agressivité (DAX_VAE) et d'expression adaptative constructive de la colère (DAX_ ACE) – deux scores fortement corrélés ont été identifiés (hauteur d'agglomération 0,2, voir Graphique 11). DAX_ ACE a été préféré à DAX_PP AE pour sa plus grande variance dans l'échantillon ($V_{DAX_ACE} = 0,41$ vs. $V_{DAX_PPAE} = 0,04$). Par conséquent, DAX_PP AE a été éliminée des analyses postérieures. Les variables retenues pour ce groupe sont donc les suivantes :

- DAX_UVEA (fréquence d'utilisation du véhicule pour exprimer la colère)
- DAX_VAE (fréquence d'expression verbale de l'agressivité)
- DAX_ ACE (fréquence d'expression adaptative constructive de la colère)



Graphique 11. Dendrogramme de la classification hiérarchique des sous-échelles de la DAX selon leurs corrélations.

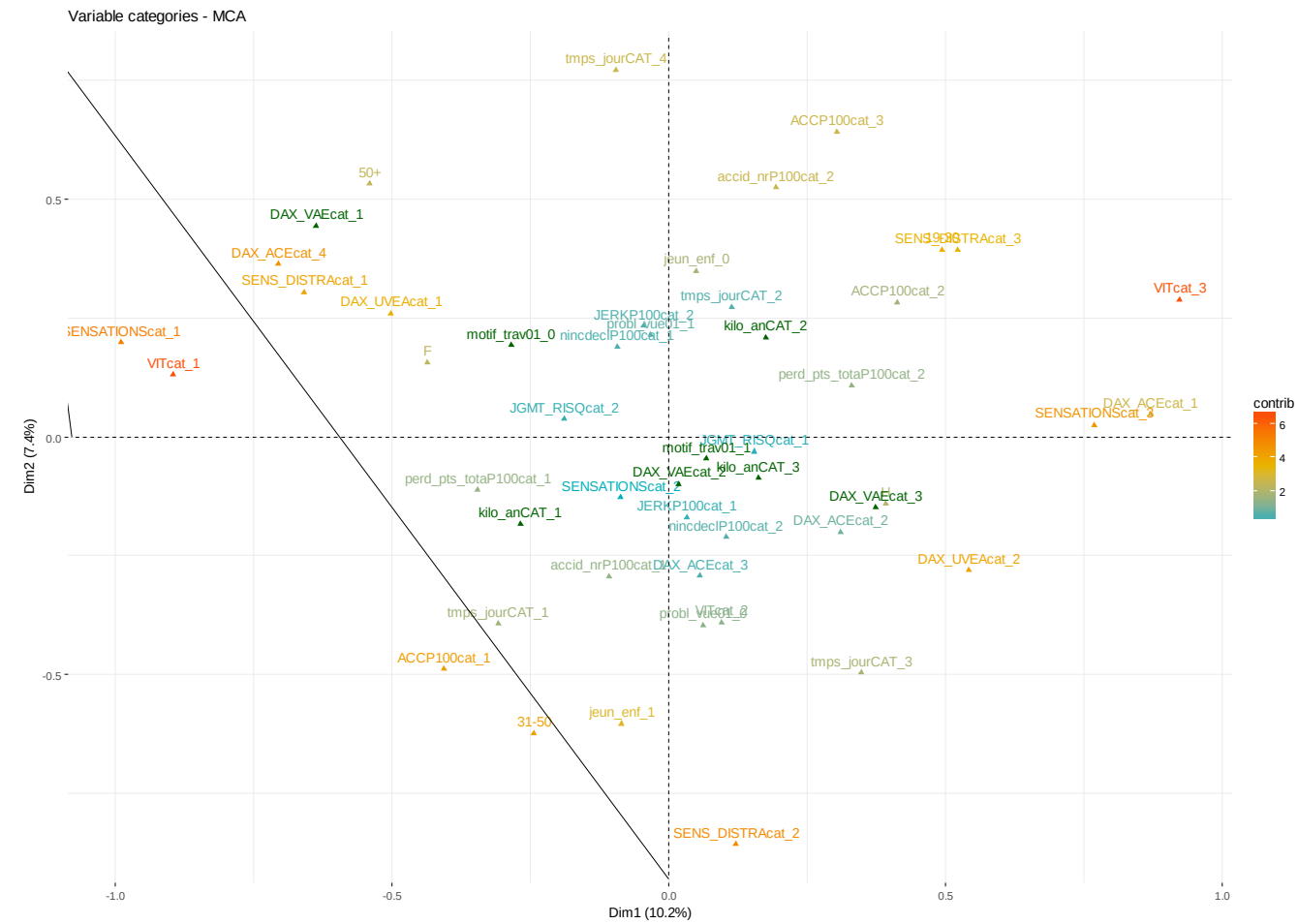
3.2.3.1.2 Exploration des liens linéaires et non-linéaires entre variables

Afin de pouvoir identifier ces différents types de liens, les variables quantitatives, mentionnées dans le paragraphe précédent, ainsi que les variables objectives, liées à l'accidentologie (le nombre d'accidents déclarés [accid_nrP100] et le nombre de points retirés sur le permis [perd_pts_totaP100] au cours des trois dernières années) ont été transformées en variables qualitatives par regroupement de valeurs proches en plusieurs catégories (de 2 à 4, selon la distribution des variables, voir Tableau 17). Ensuite, nous avons réalisé une AFCM (pour la description de la méthode, voir la section 3.2.1.3) impliquant, en plus des variables transformées, les trois classes d'âge (ageFA), le genre (sexe), des variables binaires indiquant si l'automobiliste vit avec de jeunes enfants (moins de 18 ans) au sein de son foyer ou attend un enfant (jeun_enf), s'il/elle a des problèmes de vue (probl_vue01) et s'il/elle utilise le véhicule où était installé le boîtier enregistreur pour se déplacer sur son lieu de travail (motif_trav01). Après avoir testé plusieurs solutions, les variables transformées kilo_an, DAX_VAE et la variable binaire motif_trav01 ont été identifiées comme « outliers » et incluses en tant que variables supplémentaires dans la solution définitive de cette AFCM, dont nous avons retenu quatre dimensions significatives, expliquant au total 30,31 % de l'inertie. Enfin, nous avons réalisé une classification hiérarchique sur la matrice des distances euclidiennes entre les coordonnées des observations (automobilistes participant-es). Ainsi, nous avons pu identifier les groupes d'automobilistes partageant un ensemble de caractéristiques selon les variables issues de la recherche. Enfin, nous avons réalisé une seconde AFCM focalisée uniquement sur les variables liées à l'incidentologie et l'accidentologie afin d'examiner les liens entre l'occurrence d'incidents et le risque d'accident et de sanction.

Tableau 17. Liste des variables sélectionnées et découpage des valeurs des variables quantitatives en modalités de variables qualitatives.

Groupe de variables	Variable quantitative	Variable qualitative	Modalité de la Variable qualitative	Etendue de la Variable quantitative
Accidentologie	accid_nrP100	accid_nrP100cat	1	0 – 0,0006
			2	0,0007 – 0,01
	perd_pts_totaP100	perd_pts_totaP100cat	1	0 – 0,0006
			2	0,0007 - 0,04
Incidentologie	ACCP100	ACCP100cat	1	0 – 0,99
			2	1 – 2,72
			3	2,73 – 10,45
	JERKP100	JERKP100cat	1	0 - 9,78
			2	9,79 - 53,87
	nincdeclP100	nincdeclP100cat	1	0 - 0,08
2			0,09 - 1,44	
Conduite de la voiture	kilo_an	kilo_anCAT	1	1000 - 13500
			2	13501 - 20000
			3	20001 - 60000
	tmps_jour	tmps_jourCAT	1	6 - 50
			2	51 - 80
			3	81 - 100
			4	101 - 420
	VIT	VITcat	1	-6,04 - 2,08
			2	2,09 - 5,83
3			5,84 - 15	
Emotions et autres caractéristiques psychologiques	SENSATIONS	SENSATIONScat	1	1 - 1,43
			2	1,44 - 2
			3	2,01 - 3,71
	SENS_DISTRA	SENS_DISTRAcat	1	1 - 1,77
			2	1,78 - 2,23

			3	2,24 - 3,85
	JGMT_RISQ	JGMT_RISQcat	1	-2 - 0
			2	0,01 - 4
Expression de la colère au volant	DAX_ACE	DAX_ACEcat	1	1,33 - 2,13
			2	2,14 - 2,8
			3	2,81 - 3,13
			4	3,14 - 4,6
	DAX_UVEA	DAX_UVEAcat	1	1 - 1,55
			2	1,56 - 3,18
	DAX_VAE	DAX_VAEcat	1	1 - 1,75
			2	1,76 - 2,58
			3	2,59 - 4,58

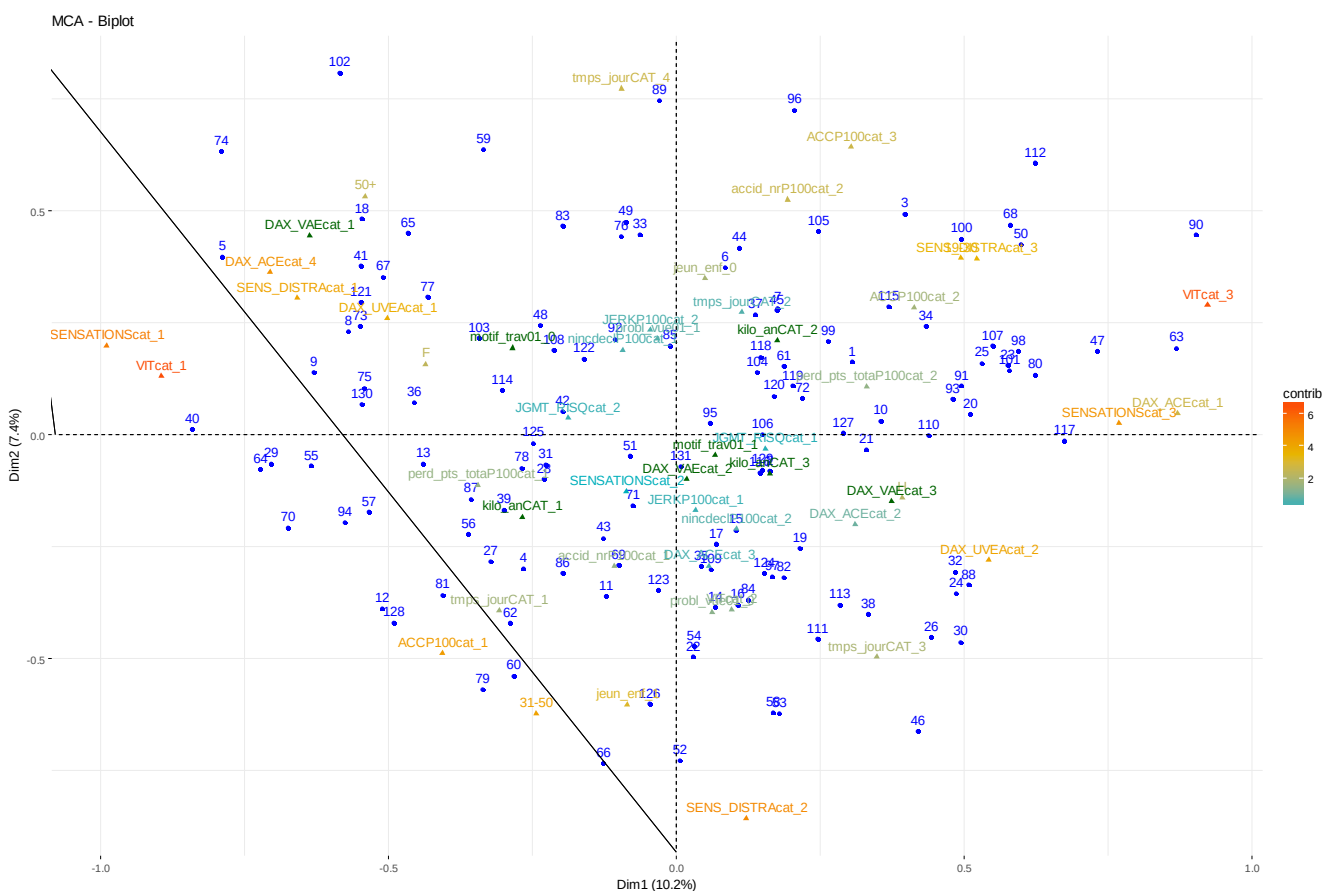


Graphique 12. Visualisation de l'analyse factorielle des correspondances par un graphique présentant le positionnement des catégories de variables dans le plan factoriel de dimension 2 optimal. La couleur des modalités représente leur contribution à la construction des axes. Les variables supplémentaires sont affichées en vert sombre.

Le Graphique 12 permet d'analyser la proximité entre certaines modalités des variables étudiées. On observe par exemple une proximité entre les forts excès de vitesse (VITcat_3) et un niveau élevé de recherche de sensations (SENSATIONScat_3). A l'opposé du graphique, on trouve l'association opposée entre les modalités VITcat_1 (peu ou pas d'excès de vitesse) et SENSATIONScat_1 (peu ou pas de recherche de sensations).

Si l'on observe les variables associées à la mesure d'un risque objectif, c'est-à-dire la proportion d'événements de type accélération ou jerk, on observe la concentration des modalités associées aux jerks au centre de la figure, indiquant l'absence probable d'apport informationnel de cette variable pour la classification des individus.

A l'inverse, le taux d'événements d'accélération (freinages brusques) est caractérisé par une opposition claire selon un axe sud-ouest/nord-est, entre les automobilistes ayant peu ou n'ayant pas d'événements observés, et ceux en ayant beaucoup.

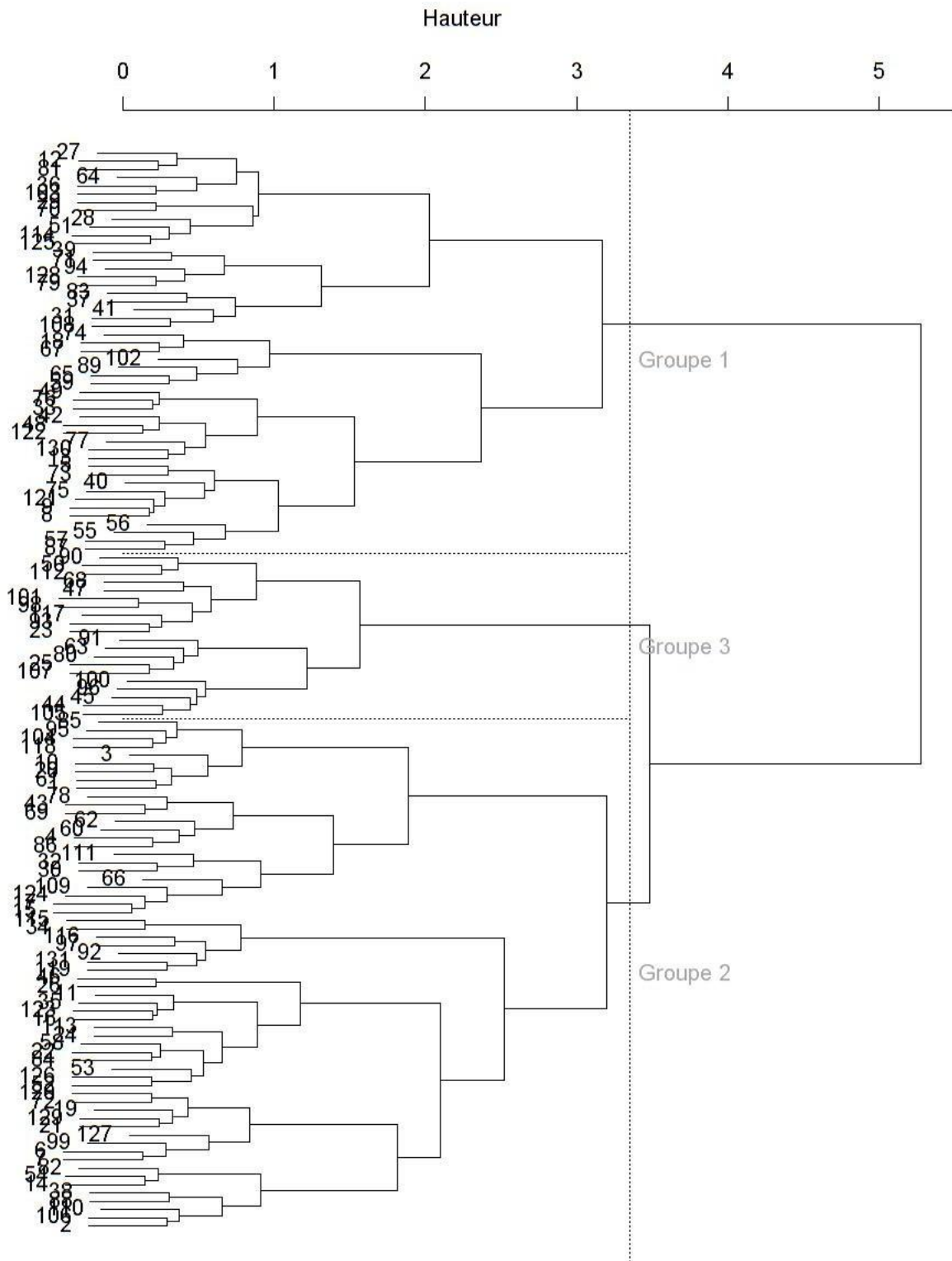


Graphique 13. Visualisation de l'analyse factorielle des correspondances multiples pour les différentes modalités des variables sélectionnées. Les individus sont superposés aux modalités des variables (colorées selon leur contribution) et correspondent strictement au graphique précédent.

Le Graphique 13 permet de visualiser la proximité entre les individus (points bleus) et les modalités des variables étudiées (nom de la variable en couleur, et catégorie après le tiret). Dans cet espace à deux dimensions, la proximité est d'autant plus réaliste que l'on se trouve éloigné-e du centre du graphique. Ainsi, la modalité VITcat_3, désignant les personnes rapportant des excès de vitesse élevés, est proche des individus 90 et 63 qui présentent effectivement une forte propension aux excès de vitesse.

La matrice des distances euclidiennes entre les coordonnées des observations (participant-e-s) sur les deux dimensions retenues peut être utilisée pour procéder à une classification des individus. Nous procédons ainsi à une classification hiérarchique permettant de distinguer trois groupes d'automobilistes (découpage du dendrogramme à la hauteur d'agrégation 3,35, voir Graphique 14). Le

regroupement des individus et leur position sur le plan factoriel optimal peut être visualisé au Graphique 15.



Graphique 14. Dendrogramme de la classification hiérarchique des coordonnées des observations sur les trois dimensions de l'AFCM.



Graphique 15. Visualisation des groupes d'individus identifiés par la classification hiérarchique précédente, dans l'espace bidimensionnel optimal identifié par l'analyse factorielle des correspondances, mais ne représentant que 17 % de la variabilité totale.

Pour chaque groupe, nous examinons ensuite, à l'aide d'un test hypergéométrique, quelles modalités de variables ont une fréquence différente par rapport aux autres groupes. Les résultats présentés ci-dessous sont extraits du Tableau 18, et les chiffres indiqués peuvent être retrouvés dans le tableau fourni à l'Annexe II.

Groupe 1 : « calmes et plutôt prudents »

Ce groupe est celui des personnes conduisant prudemment. Ils/elles déclarent ne pas faire d'excès de vitesse (VITcat=1 pour 76 % des individus de ce groupe), avoir perdu peu de points de permis (perd_pts_totalP100cat=1 pour 60 % du groupe), et avoir moins d'incidents que la moyenne (pour 65 % d'entre eux).

Il s'agit avant tout de personnes peu sensibles à la distraction (nincdeclP100cat=1 pour 65 % d'entre eux/elles) et ne recherchant pas de sensations fortes (SENSATIONScat=1 pour 77 % d'entre eux). Ils/elles sont peu agressifs/ves (DAX_VAEcat=1 pour 40 % du groupe, représentant 64 % du total), utilisent rarement leur véhicule pour exprimer leur colère (DAX_UVEcat=1 pour 83 % du groupe) et

gèrent leur colère de manière constructive (DAX_ACEcat=3 pour 63 % du groupe, représentant 67 % de l'ensemble).

Il s'agit de personnes plutôt âgées (58 % des personnes avec ageFA=50+ sont dans ce groupe alors qu'ils/elles ne représentent que 18 % du total), et plutôt de sexe féminin (Genre=F pour 74 % du groupe).

Groupe 2 : « pragmatiques »

Ce groupe contient principalement des personnes actives ayant entre 31 et 50 ans (64 % du groupe), avec peu de problèmes de vue (probl_vue01=0 pour 50 % du groupe, contre 35 % sur l'échantillon), avec souvent un enfant à charge (cas de 55 % du groupe, contre 35 % sur l'ensemble de l'échantillon), plutôt de sexe masculin (Genre=H pour 70 % du groupe). Ces personnes se caractérisent par un faible niveau d'implication dans des accidents de la route (accid_nrP100cat=1 pour 79 % du groupe) et un faible niveau du taux d'incidents de type « accélération » (ACCP100cat=1 pour 70 % du groupe, contre 47% de l'échantillon). Néanmoins, ces personnes déclarent un niveau d'excès de vitesse modéré (VITcat=2 pour 60 % d'entre eux), être relativement sensibles à la distraction (SENS_DISTRAcat=2 pour 60 % d'entre eux, contre 29% sur l'ensemble de l'échantillon), et utiliser leur véhicule pour exprimer leur colère (DAX_UVEAcat=2 pour 62 % du groupe). Il faut signaler qu'il s'agit du groupe qui passe le moins de temps au volant (45 % d'entre eux/elles passent moins de 50 min/jour au volant).

Groupe 3 : « nerveux et imprudents »

Ce groupe est constitué principalement de jeunes (67 % ont moins de 30 ans), plutôt masculins (Genre=H pour 65 % du groupe) et sans enfants (77 % du groupe), qui conduisent un peu plus que la moyenne (44 % de ce groupe conduit entre 50 et 80min/jour). Ces personnes déclarent de grands excès de vitesse (72 % de la catégorie VITcat=3 est dans ce groupe), être plus impliqués dans des accidents de la route et ce, significativement plus que la moyenne (accid_nrP100cat=2 pour 53 % du groupe, contre 35 % dans l'échantillon), avoir perdu beaucoup de points (perd_pts_totalP100cat=2 pour 65 % du groupe). Cela se confirme par des occurrences plus élevées des incidents de type accélération (58 % de la catégorie 3 de la variable ACCP100cat et 49 % de la catégorie 2 sont dans ce groupe). Ces personnes sont par ailleurs à la recherche de sensations fortes (60 % du groupe avec SENSATIONScat=3) et sensibles à la distraction (SENS_DISTRAcat=3 pour 70 % du groupe), tout en utilisant fréquemment leur véhicule pour exprimer leur colère (DAX_UVEAcat=3 pour 67 % du groupe) et savent peu gérer leurs émotions (expression constructive de la colère peu fréquente, 25 % du groupe contre 15 % pour l'ensemble de l'échantillon).

Tableau 18. Description des trois groupes de participant-e-s issus de la classification hiérarchique de leurs coordonnées sur les dimensions de l'AFCM. Les modalités significativement plus représentées dans un groupe sont marquées par « + », celles qui sont significativement moins représentées sont marquées par « - ». Toutes les différences de proportion sont significatives au seuil inférieur à 5 %.

Groupe de variables	Variable qualitative	Description	Modalité de la Variable qualitative	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Accidentologie	accid_nrP100cat	Nombre d'implication dans des accidents de la route au cours des 3 dernières années	1		+	-
			2		-	+
	perd_pts_totaP100cat	Nombre de points perdus au cours des 3 dernières années	1	+		-
			2	-		+
Incidentologie	ACCP100cat	Nombre d'incidents de type "accélération" par 100km	1		+	-
			2			+
			3		-	+
	JERKP100cat	Nombre d'incidents de type "jerk" par 100km	1			
			2			
	nindeclP100cat	Nombre d'incidents auto-rapportés par 100 km	1	+		
2			-			
Conduite du véhicule	kilo_anCAT	Kilométrage annuel	1			
			2			
			3			
	tmps_jourCAT	Temps moyen passé au volant par jour	1		+	-
			2			+
			3			
			4		-	
	VITcat	Ecart moyen pratiqué par rapport aux limitations de vitesse	1	+	-	-
			2	-	+	
			3	-		+
Emotions et autres caractéristiques psychologiques	SENSATIONScat	Score à l'échelle de recherche des sensations au volant	1	+	-	-
			2			
			3	-		+
	SENS_DISTRAcat	Score à l'échelle de sensibilité à la distraction	1	+	-	-
			2	-	+	-
			3	-	-	+
	JGMT_RISQcat	jugements comparatifs sur le plan du risque d'accident	1			
			2			
Expression de la colère au volant	DAX_ACEcat	fréquence d'expression adaptative constructive de la colère	1	-		+
			2	-		
			3			
			4	+	-	
	DAX_UVEcat	fréquence d'utilisation du véhicule pour exprimer la colère	1	+	-	-
			2	-	+	+
	DAX_VAEcat	fréquence d'expression verbale de l'agressivité	1	+	-	
			2			
3			-			
Caractéristiques	ageFA	Classe d'âge	19-30	-		+

démographiques		31-50		+	-
		50+		+	-
probl_vue01	Problèmes de vue	0 (non)		+	-
		1 (oui)		-	+
Sexe	Genre	F		+	-
		H		-	+
motif_trav01	Prend le volant pour aller travailler	0			
		1			
jeun_enf	Vit avec de jeunes enfants (moins de 18 ans)	0		-	+
		1		+	-

Il est important de noter qu'aucun de ces groupes n'est significativement associé à une fréquence significativement différente de la moyenne pour les variables JERKP100, kilo_an, JGMT_RISQ et motif_trav01. Ces variables n'apportent donc que peu d'information pour la constitution des trois groupes identifiés et décrits ci-dessus. Néanmoins, ces variables peuvent permettre de raffiner les groupes et aider à la constitution de sous-groupes plus fins (par exemple, les prudents actifs et les prudents retraités), ce que nous nous refusons à faire dans cette analyse étant donné la faible taille de l'échantillon (131 personnes).

Ces groupes sont caractérisés principalement par les variables auto-rapportées, qui contiennent plus d'information permettant la discrimination des personnes, que les seules variables liées à l'incidentologie et l'accidentologie, qui se concentrent sur un aspect très précis de la conduite.

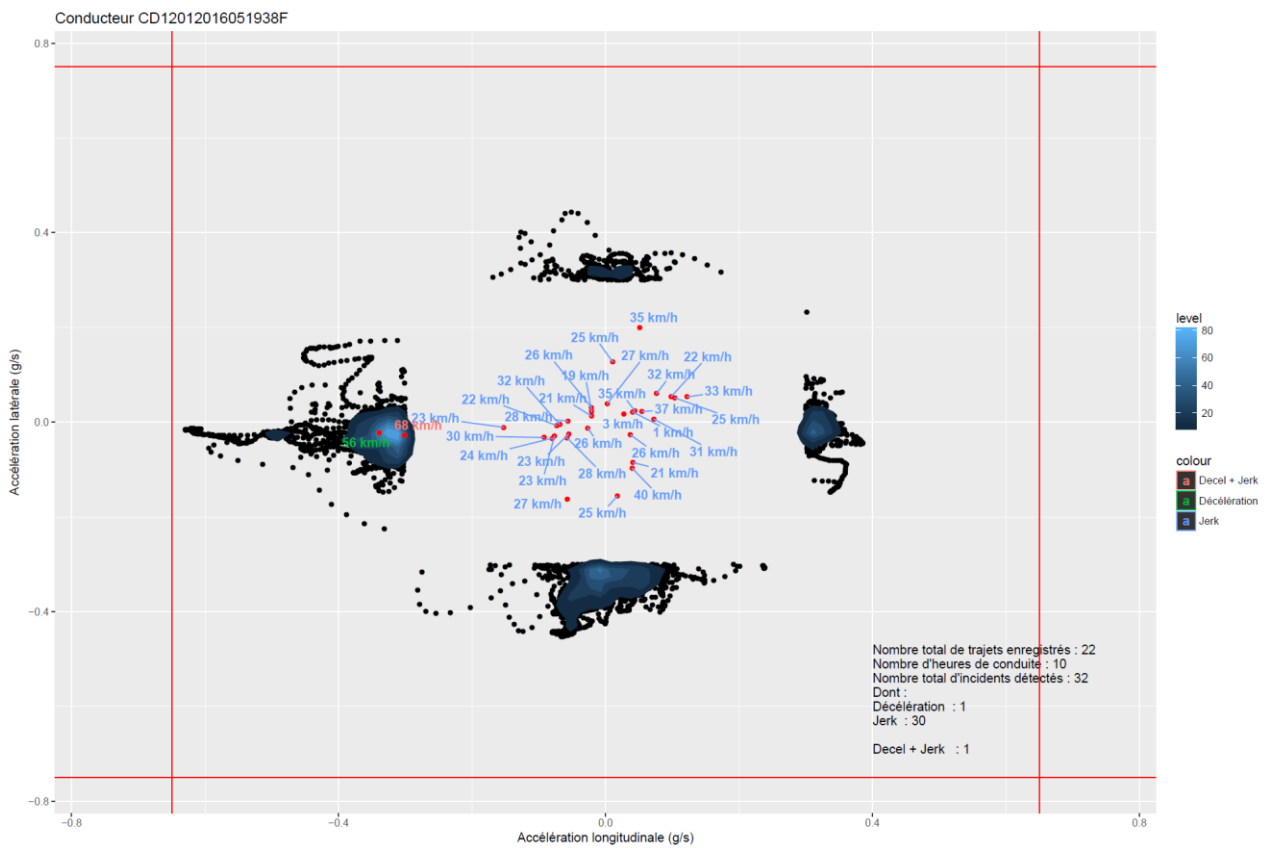
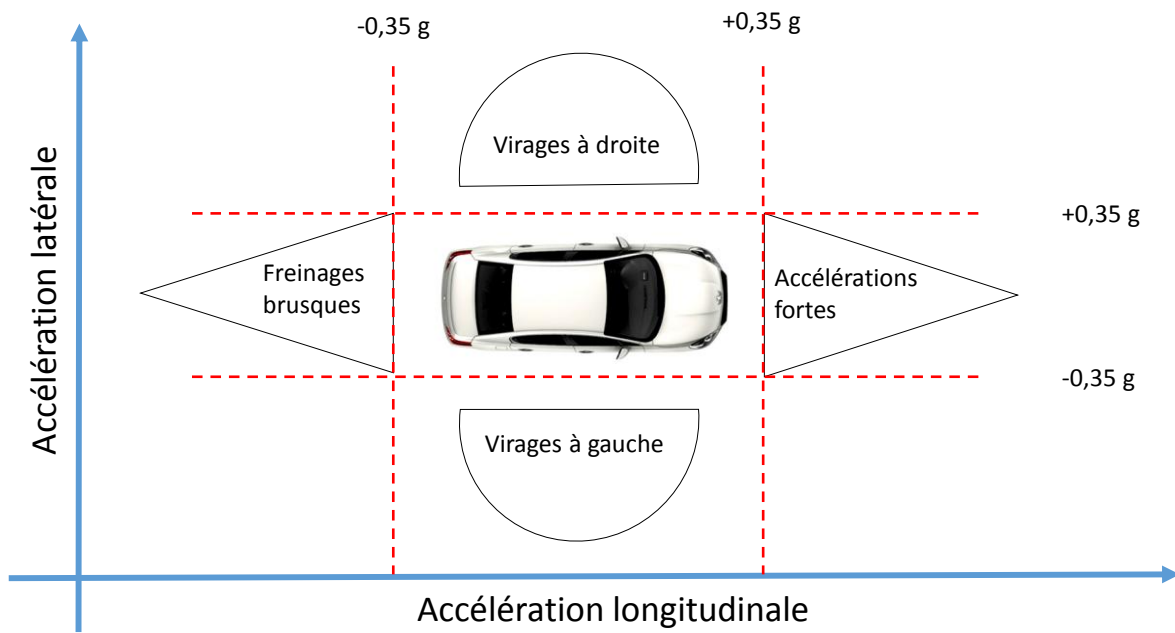
Néanmoins, l'accidentologie observée sur les trois dernières années est déterminante pour la constitution de chacun des trois groupes, et le taux d'événements de type « accélération » participe à la constitution des groupes 2 et 3. Ces deux notions semblent en accord : le groupe 3 présente ainsi une sur-représentation des personnes ayant été impliquées dans des accidents de la route et ayant perdu des points, qui sont aussi caractérisées par des niveaux élevés de taux d'événements de type « accélération ». A l'inverse, le groupe 2 contient les personnes peu ou qui ne sont pas impliquées dans des accidents de la route (79 % du groupe, contre 64 % dans l'ensemble de l'échantillon) qui sont aussi caractérisées par un faible taux d'événements de type « accélération ».

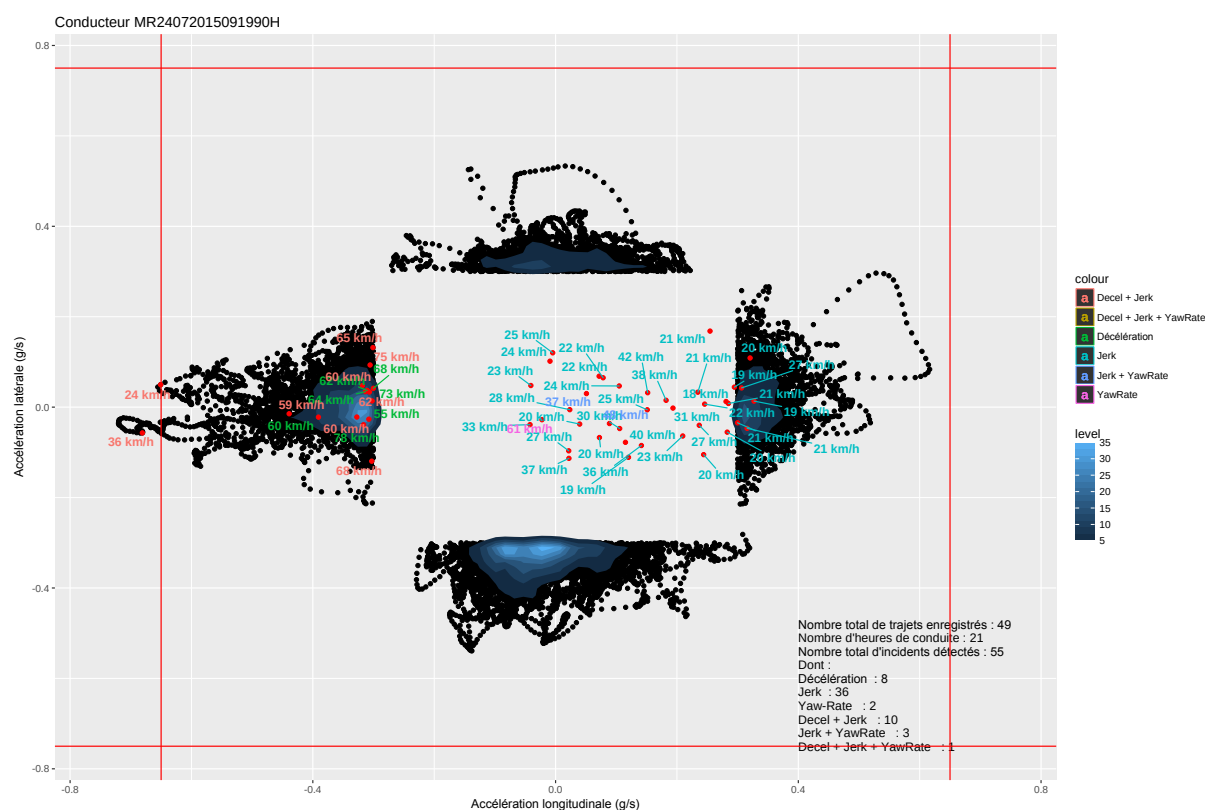
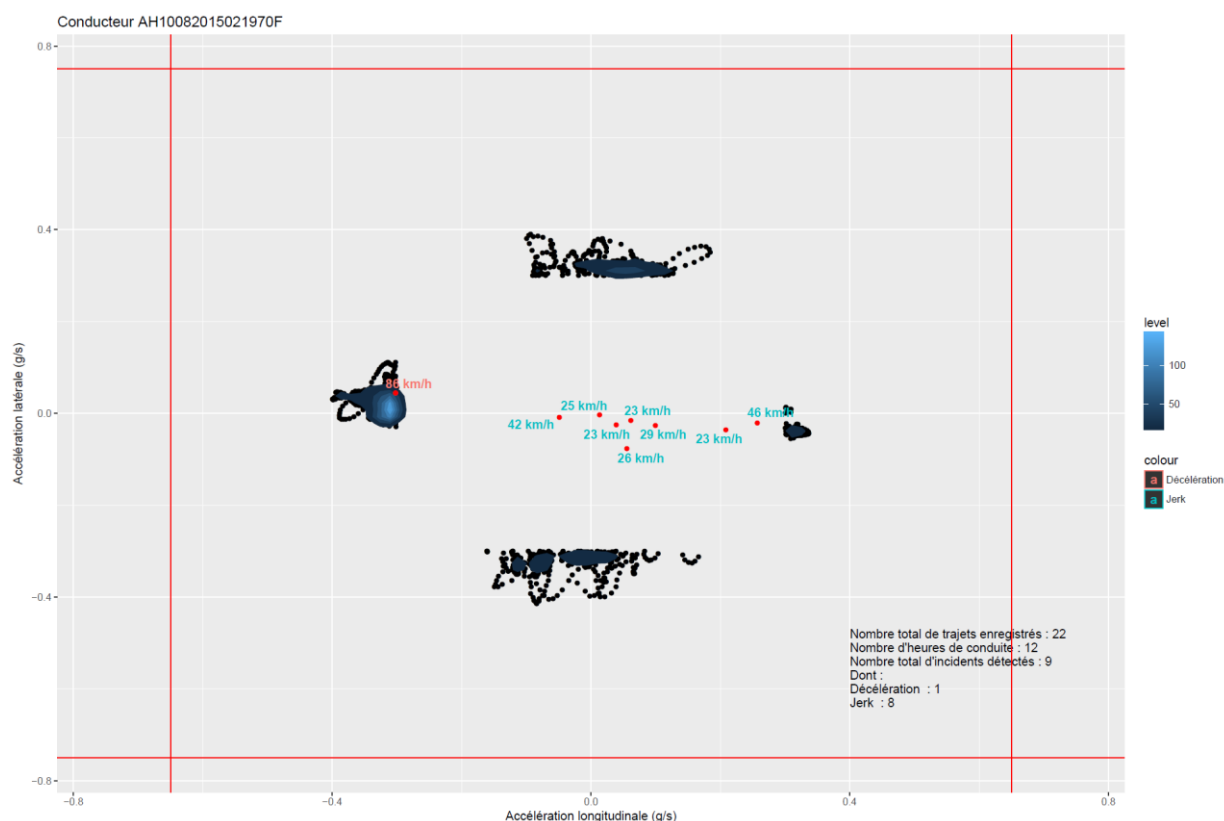
Par conséquent, afin d'identifier les individus à risque, il est envisageable de se référer aux graphiques individuels d'accélération (cf. Graphique 16). Dans ce type de figures, le nuage de points représente les mesures d'accélération et de décélération en g à chaque instant de conduite. Plus la couleur est bleue, plus la densité de points est élevée. Les points dont leurs valeurs sont comprises entre -0,3 g et 0,3 g sont absents dans la figure (la partie centrale) afin de ne pas surcharger la figure, car il s'agit des accélérations/décélérations dans des limites « raisonnables ».

Les points colorés sont les incidents détectés par nos algorithmes de détection. Les différentes couleurs correspondent aux combinaisons des différents critères. Chaque point coloré est associé à une valeur correspondant à la vitesse instantanée du véhicule au moment de l'incident détecté.

En bas à droite de la figure, est affichée une liste récapitulative du nombre d'incidents détectés par nos algorithmes pour l'automobiliste en question selon les différentes catégories d'incident détectés. L'information du nombre de trajets, du nombre d'heures de conduite enregistré, et du nombre total d'incidents détectés pour cet/cette automobiliste est aussi fournie. Nous rappelons qu'un même incident peut apparaître dans plusieurs catégories et que le total des incidents détectés ne correspond pas toujours au total des sous-catégories.

Bien que difficiles à interpréter, ces graphiques fournissent un support intéressant aux réflexions sur l'évaluation d'un risque routier individuel. L'allure générale du nuage de points permet de repérer des automobilistes au style de conduite dynamique (incursions répétées dans des zones à fortes accélérations par exemple), ainsi que les automobilistes au style plus calme ayant rarement dépassé des valeurs élevées d'accélérations.





Graphique 16. Exemples de graphiques individuels d'accélération. Le graphique a) est un schéma explicatif, b) représente un individu davantage à risque que c) et d) est un-e automobiliste plus à risque que b) et c).

Si l'on se réfère à nouveau au Graphique 12, on pourra constater la proximité des modalités ACCP100cat_3 et 2 avec la modalité 2 de accid_nrP100 (nombre d'implications dans des accidents de la route), la modalité 19-30 des âges, la modalité 3 de SENS_DISTRA, la modalité 0 de jeun_enf, et la

modalité 4 de tmps_jour. Cela confirme et valide les observations faites sur les groupes, et le lien entre l'accidentologie avérée (accid_nrP100) et l'incidentologie mesurée par l'accélération (fréquence des freinages brusques).

Cette analyse va donc dans le sens d'un lien supposé entre l'incidentologie et l'accidentologie, au moins pour le critère d'accélération (principalement freinages brusques). A l'inverse, la mesure des événements liés au seul critère du jerk ne semble pas de nature à renseigner sur le caractère risqué de la conduite d'un individu.

D'autres conclusions peuvent être émises à partir de l'analyse du Graphique 12. Ainsi, le lien entre le nombre de points de permis perdus et les critères d'incidentologie apparaît trop ténu pour être validé, c'est-à-dire que l'on ne peut probablement pas relier cette notion au risque routier mesurable expérimentalement. En effet, la perte de points peut survenir pour des comportements favorisant certes la survenue des accidents (usage du téléphone portable par exemple), mais étant non identifiables par la dynamique du véhicule, et non qualifiable par les incidents de la route. Il faut remarquer aussi que la modalité 3 du taux d'événements de type accélération ne semble pas pertinente. Ainsi des valeurs très élevées pour le taux de freinages brusques ne semblent pas être un marqueur pertinent du risque.

Cette analyse a permis d'étudier conjointement les caractéristiques socio-démographiques (genre, âge, expérience de conduite) et psychologiques des automobilistes (sensibilité à la distraction, recherche de sensations, expression de la colère au volant, etc.), ainsi que les variables quantitatives issues de l'observation de la conduite (fréquence de survenue d'événements potentiellement à risque), ainsi que de l'historique de l'accidentalité déclarée.

La recherche de groupes d'individus, ainsi que l'étude des associations en catégories de variables, a permis de mettre en évidence trois groupes caractérisés par les variables socio-démographiques et psychologiques, mais aussi par les variables associées à l'accidentologie et l'incidentologie. Nous avons ainsi pu mettre en évidence le lien entre l'accidentologie avérée et la fréquence des freinages brusques, lien confirmé par les caractéristiques des automobilistes du groupe 3 qui présentent, outre le lien précédent, une forte propension à un comportement classiquement jugé risqué (excès de vitesse, recherche de sensations, sensibilité à la distraction et faible compétence à gérer la colère au volant).

Néanmoins ces conclusions doivent être confirmées par des études à plus grande échelle pour les raisons suivantes :

- La faible taille de l'échantillon d'automobilistes ayant produit des données utilisables (131 personnes) et la durée de l'expérimentation (2 mois par automobiliste) ne permettent pas de généraliser les conclusions à l'ensemble des automobilistes.
- L'évaluation du risque routier individuel à partir de l'historique de l'accidentologie n'est fondé que sur les 3 dernières années de conduite (pour éviter des biais liés à la mémoire), ce qui est une limitation forte compte tenu de la rareté de ces événements.
- Les événements extraits automatiquement des données peuvent ne pas être de bons représentants du risque routier individuel, et correspondre aussi bien à une conduite très prudente (beaucoup de freinages préventifs par exemple) qu'à une conduite à risque.
- Les déclarations des participant-e-s peuvent être biaisées, particulièrement lors de l'évaluation de leur propre niveau de risque.

Il conviendrait de mener des recherches plus approfondies sur des échantillons plus représentatifs, en association avec des informations sur l'accidentologie avérée obtenues sur des périodes plus longues.

3.2.3.2 Echantillon de 73 incidents

Afin de chercher à savoir pourquoi un événement rapporté a été détecté automatiquement ou pas, nous avons mené une série d'analyses par modèles linéaires généralisés mixtes. Ce choix de méthode statistique a été dicté par la nature des variables dépendantes, distribuées selon la loi binomiale (le fait qu'un événement rapporté a été détecté automatiquement ou pas), et par la volonté de tenir compte de la

répétition d'enregistrements (si plusieurs incidents) pour un seul sujet. Puisque le nombre d'observations dont nous disposons reste réduit, nous réalisons un modèle par variable indépendante. De plus, nous sommes obligés de regrouper plusieurs modalités de variables illustrant les circonstances des incidents de sorte qu'elles représentent une proportion d'observations suffisante pour l'analyse. Par conséquent, les variables suivantes ont dû être ré-codées ou bien des observations représentant certaines modalités ont dû être exclues de l'analyse :

- Type d'infrastructure – toutes les observations ont été regroupées en deux modalités correspondant aux incidents survenus en intersection et en dehors d'intersection
- Usagers impliqués – les observations correspondant aux incidents impliquant des usagers vulnérables ou ceux qui n'impliquaient que l'automobiliste ont été exclues car elles représentaient des proportions trop faibles
- Motifs du déplacement – toutes les observations ont été regroupées en deux modalités : déplacements domicile-travail et déplacements pour d'autres motifs
- Familiarité avec le trajet – toutes les observations ont été regroupées en deux modalités : trajets habituels et non habituels
- Moment de la survenue de l'incident par rapport au trajet – les incidents pour lesquels les participant-e-s n'ont pas indiqué le moment de la survenue ont été exclu-e-s de l'analyse
- Conditions d'éclairage – les incidents pour lesquels les participant-e-s n'ont pas fourni d'informations permettant de connaître les conditions d'éclairage ont été exclu-e-s de l'analyse
- Causes de l'incident – elles ont été regroupées en quatre catégories : queues de poisson, freinages intempestifs du véhicule précédent, non-respect des priorités et une catégorie regroupant les autres causes
- Les actions d'évitement – elles ont été regroupées en trois catégories : arrêt total d'au moins un véhicule impliqué sans qu'aucun des autres véhicules n'effectue de manœuvres, régulation de la vitesse d'au moins un véhicule impliqué sans qu'aucun des autres véhicules n'effectue de manœuvres et tout autre incident géré par des manœuvres effectuées par au moins un véhicule impliqué
- Types de risque de collision – les analyses portaient uniquement sur les incidents qui impliquaient au moins deux véhicules. De plus, les modalités ont été regroupées en trois catégories : incidents à risque de collision arrière, latéral/arrière et latéral, ou frontal.

La probabilité qu'un incident déclaré soit détecté automatiquement augmente ce d'autant que l'automobiliste qui déclare l'incident possède un score élevé à l'échelle de transgressions ($b = 1,61$; $p < 0,04$; OR = 4,99 ; 95%CI[1,35 ; 35,83]), à l'échelle de sensibilité à la distraction ($b = 1,01$; $p < 0,06$; OR = 2,73 ; 95%CI[1 ; 9,71] ; effet marginalement significatif) et à la sous-échelle d'utilisation de son propre véhicule pour exprimer sa colère au volant ($b = 1,11$; $p < 0,06$; OR = 3,04 ; 95%CI[1,1 ; 13,33] ; effet marginalement significatif, mais l'intervalle de confiance à 95 % pour les odds ratios ne contient pas la valeur de 1). Il est donc plausible que les automobilistes qui déclarent s'engager dans des conduites à risque et ceux/celles qui sont sensibles à la distraction ont rapporté des événements plus dangereux et donc plus faciles à détecter d'une façon automatique.

De manière identique à l'analyse effectuée sur les automobilistes, nous avons procédé à une analyse factorielle des correspondances multiples sur les incidents et leurs caractéristiques.

Les variables retenues pour l'analyse sont les suivantes :

- Responsabilité (0 si l'automobiliste ne se déclare pas responsable de l'incident, 1 sinon)
- Localisation (en intersection, ou hors intersection)
- Motif (motif du trajet, autre, ou travail)
- Habitude (trajet habituel, ou non-habituel)
- Cause (cause de l'incident : « queue de poisson »/trajectoire coupée [coupe_rt], freinage brusque du véhicule devant [frei_brusq], non respect des priorités [priorites], ou autres causes)

- Vit (vitesse au moment de l'incident, basse, moyenne, ou élevée)
- Pluie (0 si pas de pluie, 1 sinon)
- Trafic (fluide ou dense)
- Danger (risque perçu élevé ou faible)
- Gestion de l'incident (régulation de vitesse sans manœuvres[regul_vit.ss_manoe], manœuvre(s) sans ou avec régulation de vitesse [sans/avec_regulvi.manoe], arrêt total sans manœuvres [frein.ss_manoe])
- Event_Acc_Jerk (1 si détection par les critères Acc et Jerk, 0 sinon)

Certaines variables descriptives de l'incident n'ont pas été incorporées pour diverses raisons techniques. On citera par exemple le déséquilibre entre les modalités (seul un incident sur 73 a été déclaré comme étant survenu lors d'un excès de vitesse, de même un seul incident avec un automobiliste en retard sur l'horaire), ou la corrélation entre variables (vitesse au moment de l'incident étroitement liée à la vitesse limite en vigueur).

L'objectif d'une telle analyse est de faire une typologie des incidents déclarés, et de rechercher quelles sont les catégories d'incident les plus détectées par le critère de sélection associant une détection par l'accélération, avec une détection par le critère du jerk.

Nous avons donc procédé à une analyse des correspondance multiple, suivi d'une classification hiérarchique. Le résultat de l'analyse factorielle est présenté au Graphique 17, tandis que la description des résultats de la classification des incidents est présentée au Tableau 19. L'analyse factorielle avec les deux dimensions principales reproduit 29 % de la variabilité de l'échantillon, signalant ainsi une forte disparité des incidents enregistrés.



Graphique 17. Visualisation de l'analyse factorielle des correspondances multiples pour les différentes modalités des variables sélectionnées. Les individus sont superposés aux modalités des variables, et sont coloriés selon leur détection par le critère combiné de l'accélération et du jerk (1 : incident détecté, 0 : incident non détecté).

Le premier axe de l'espace bidimensionnel optimal marque une opposition entre le risque perçu faible (gauche) et élevé (droite), associé à une opposition entre les incidents en intersection à basse vitesse, et ceux hors intersection à une vitesse élevée ou moyenne.

Cet axe représente aussi l'opposition entre les trajets habituels et non-habituels, similaire à l'opposition entre les trajets « travail » et les trajets « autres ». Le second axe oppose la notion d'incidents survenus à vitesse élevée, avec ceux survenus à cause d'un refus de priorité.

Une autre opposition marquante est celle opposant les incidents gérés par un arrêt total d'au moins un usager impliqué dans l'incident, sans qu'aucun usager n'effectue de manœuvres (frein.ss_manoe) avec ceux qui ont été gérés par une régulation de vitesse sans arrêt total et sans manœuvres (regul_vit.ss_manoe), ainsi que ceux qui ont été gérés avec manœuvres (sans ou avec régulation de vitesse, voire arrêt total – sans/avec_regulvi.manoe).

Au total, 71 incidents (sur 73) ont été conservés dans cette analyse, les deux incidents non pris en compte avaient des valeurs manquantes (non renseignées) pour plusieurs variables d'intérêt.

Le résultat de la classification obtenue est présenté au Tableau 19, qui à l'image de la section précédente, présente les modalités contribuant à la constitution des groupes.

Tableau 19. Description des trois groupes d'incidents issus de la classification hiérarchique de leurs coordonnées sur les dimensions de l'AFCM. Les modalités significativement plus représentées dans un groupe sont marquées par « + », celles qui sont significativement moins représentées sont marquées par « - ». Toutes les différences de proportion sont significatives au seuil inférieur à 5 %.

<i>Variable qualitative</i>	<i>Description</i>	<i>Modalité de la Variable qualitative</i>	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
<i>Responsabilité</i>	Responsabilité déclarée par le conducteur	0			
		1 (responsable)			
<i>Localisation</i>	Localisation de l'incident	En_intersection	+		-
		Hors_intersection	-		+
<i>Motif</i>	Motif du trajet	autre		-	+
		travail		+	-
<i>Habitude</i>	Niveau de connaissance du trajet	habituel		+	-
		Non-habituel		-	+
<i>Cause</i>	cause de l'incident	coupe_rt			
		Frei_brusq	-		+
		priorités	+	-	
		Autres			
<i>Vit</i>	vitesse au moment de l'incident	basse	+	-	-
		moyenne	-		+
		élevée	-	+	
<i>Pluie</i>	Présence de pluie	0			
		1			
<i>Trafic</i>	Densité de circulation	fluide			
		dense			
<i>Danger</i>	risque perçu par le conducteur	élevé	-		+
		faible	+		-
<i>gestioFA2</i>	gestion de la vitesse et manœuvre avant l'incident	regul_vit.ss_manoe		+	
		sans/avec_regulvi.manoe	-		
		frein.ss_manoe	+	-	
<i>Event_Acc_Jerk</i>	Détection par le critère combiné de l'accélération et du jerk	0			-
		1			+

Les incidents associés à chacun des groupes sont présentés au Graphique 18, et sont décrits par les informations fournies au **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, que l'on pourra retrouver sous leur forme numérique détaillée à l'Annexe III. Les trois groupes obtenus peuvent se décrire de la façon suivante :

Groupe 1 :

Il s'agit du groupe des incidents survenus à faible vitesse (Vit=basse représente 78 % du groupe), en intersection (Localisation=En_intersection représente 81 % du groupe), et principalement à cause d'un refus de priorité (78 % de cette catégorie, Cause=priorités, est présente dans ce groupe). Il s'agit donc d'incidents dont le risque perçu est faible (78 % du groupe avec Danger=faible) et gérés par un arrêt total sans manoeuvres (gestioFA2=frein.ss_manoe, 74 % du groupe). Ils s'opposent clairement aux incidents survenus à vitesse élevée, hors intersection, pour lesquels le risque perçu est plus élevé.

Groupe 2 :

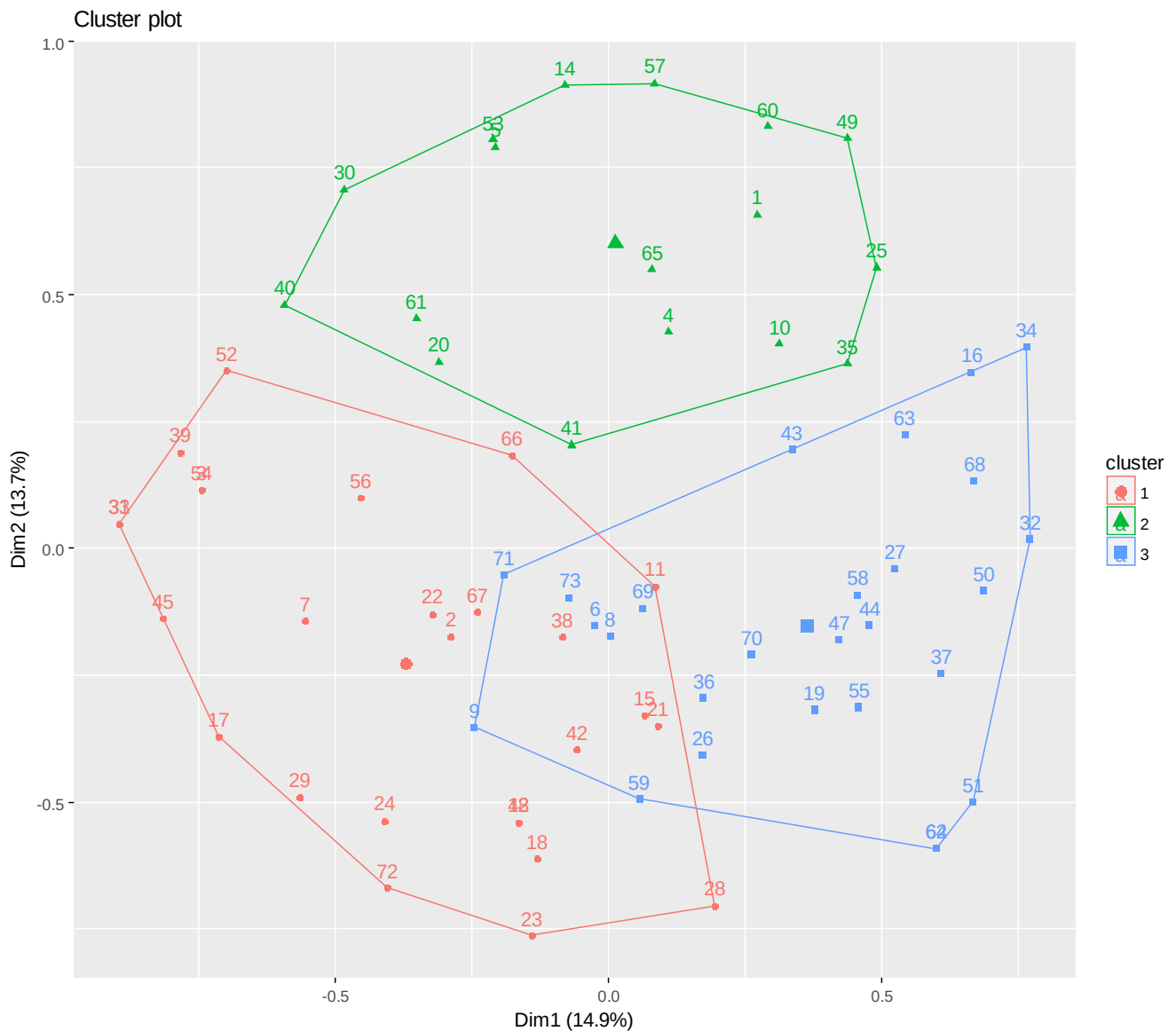
Cet ensemble regroupe les incidents survenus sur le trajet habituel (94 % du groupe avec Habitude=habituel), majoritairement domicile-travail (94 % du groupe), et survenus à vitesse élevée (Vit=élevée pour 59 % du groupe, soit 71 % de l'ensemble). Il s'agit d'incidents gérés via une action de régulation de vitesse, sans manoeuvre spécifique (gestioFA2= regul_vit.ss_manoe pour 71 % du groupe), et non causés par un refus de priorité (0 % du groupe).

Groupe 3

Ce groupe est le plus intéressant pour notre analyse, car il regroupe les incidents majoritairement détectés par le critère Acc+Jerk (63 % des détections sont dans ce groupe, représentant 37 % des effectifs du groupe).

Ces incidents ne sont pas survenus sur les trajets domicile-travail (motif=autre pour 96 % du groupe) et se sont donc majoritairement produits sur des trajets non habituels (Habitude=Non-habituel pour 74 % du groupe). Il s'agit d'incidents survenus à vitesse moyenne (Vit=moyenne pour 67 % du groupe), hors intersection (Localisation=Hors_intersection pour 93 % du groupe), et qui sont associés à un risque perçu élevé (Danger=élevé pour 74 % du groupe). Ils sont fréquemment dus à un freinage brusque (Cause=Frei_brusq pour 41 % du groupe, mais qui représente 61 % du total des Cause=Frei_brusq).

Pour terminer cette description, il faut noter que la notion de responsabilité, de trafic, et de pluie, ne sont pas constitutives de ces groupes et ne semblent donc pas de nature à pouvoir favoriser une détection automatique.



Graphique 18. Visualisation des groupes d'incidents identifiés par la classification hiérarchique précédente, dans l'espace bidimensionnel optimal identifié par l'analyse factorielle des correspondances, mais ne représentant que 29 % de la variabilité totale.

La typologie des incidents obtenus permet de confirmer la grande disparité des incidents collectés pendant l'expérience, reflétant plutôt bien la complexité des situations rencontrées dans les accidents. Cette typologie met en évidence que la notion d'incident regroupe différentes situations très disparates, qu'il est difficile d'identifier avec pour seule information la dynamique du véhicule.

Les incidents survenus en intersection et à faible vitesse (groupe 1), sont peu susceptibles de déclencher les critères de détection (dépassements de seuils) automatiques testés dans ce projet. Il est donc plutôt normal de ne pas les avoir détectés.

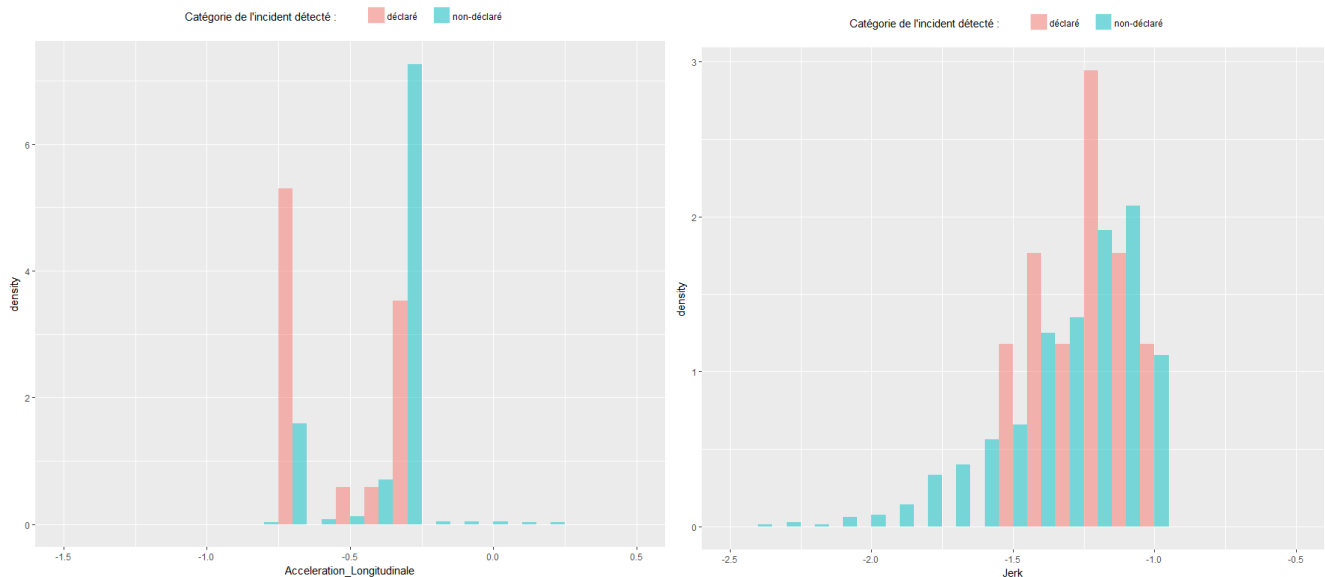
Les incidents survenus lors du trajet domicile-travail surviennent plutôt en ligne droite et à vitesse élevée. Il s'agit vraisemblablement de situations anormales du point de vue de l'automobiliste connaissant très bien le trajet et cherchant à l'optimiser, mais qui pourraient relever d'une situation quasi ordinaire pour l'automobiliste occasionnel. Cette raison pourrait expliquer la mauvaise détection de ce type d'incidents, mais des études plus approfondies seraient nécessaires pour étudier les raisons de la faible détection de ces incidents par les algorithmes testés.

Le dernier groupe permet quant à lui de mieux comprendre le type d'incidents que l'on peut détecter avec les algorithmes d'identification automatiques (ici, critère combiné de l'accélération et du jerk). Les algorithmes sont fondés sur le dépassement de seuils d'accélération et de jerk (dérivée de l'accélération) et il est donc rassurant de constater que les incidents détectés correspondent bien à ce

type de situation. En effet, les incidents de ce groupe sont manifestement liés à une situation de surprise (trajet non-habituel, et autre que domicile-travail) survenant hors intersection à vitesse moyenne, et fréquemment causés par le freinage brusque d'un véhicule devant.

Les algorithmes testés permettent donc d'identifier principalement, et logiquement, les situations de freinages brusques. Il est important de noter que cette catégorie d'incident est perçue comme étant la plus dangereuse (risque perçu élevé).

Afin de conclure cette section, nous rappelons que la stratégie de détection recommandée consiste à considérer comme candidat-incident un événement détecté à la fois par le critère de l'accélération et celui du jerk. Appliquée à notre échantillon, cette stratégie conduit à identifier 645 événements, dont seuls 16 ont été déclarés par les participant-e-s (soit un taux de bonne identification de 2.5 %).

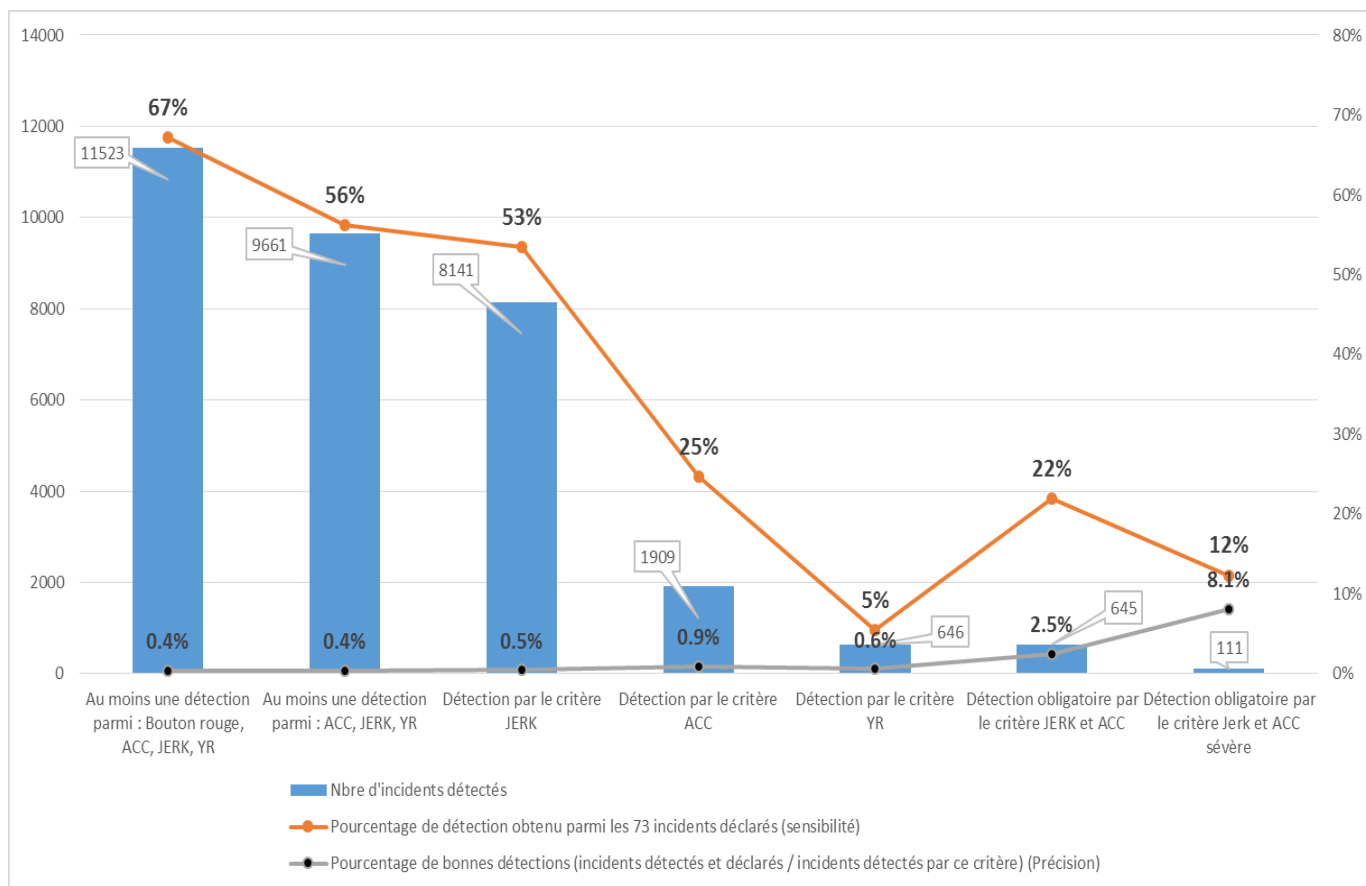


Graphique 19. Comparaisons des niveaux d'accélération et de jerk observés dans les 645 événements détectés, selon qu'ils aient ou non été déclarés par les automobilistes.

Il est intéressant de rechercher s'il existe une différence entre les événements détectés automatiquement mais non déclarés par les automobilistes, et ceux qui ont été déclarés. Si l'on se reporte au Graphique 19, on peut comparer les niveaux d'accélération et de jerk atteints selon que l'incident ait été déclaré (17 incidents) ou non (627) par les automobilistes. Autant la différence entre les deux histogrammes n'est pas marquante dans le cas du jerk, autant la différence est frappante dans le cas de l'accélération : les événements détectés avec un seuil de $-0.65g$ sont trois fois plus fréquemment déclarés que ceux obtenus avec un seuil de $-0.3g$. Pour rappel, les deux conditions principales de détection d'un événement de freinage brusque sont les suivantes :

- Accélération longitudinale ≤ -0.65 g.
- Accélération longitudinale ≤ -0.3 g si la vitesse du véhicule >64 km/h pendant au moins 20 millisecondes.

Si l'on avait appliqué seulement la première règle, très restrictive, cela aurait produit 6 fois moins de détections environ (111 événements seulement, dont 9 ont été déclarés). Cela fait monter le taux global de bonne identification (Précision) à 8 % ce qui n'est pas encore entièrement satisfaisant. Le Graphique 20 comparant les performances des différentes stratégies proposées peut donc être mis à jour en incorporant les résultats de l'application de la règle du jerk combinée à celle d'un critère d'accélération plus sévère.



Graphique 20 : Évolution du nombre de détections et du taux de détection des incidents déclarés selon la stratégie de conservation des candidats, incluant une stratégie plus sévère pour le critère de décélération.

Après avoir recommandé de combiner les critères d'accélération et de jerk, nous pouvons raisonnablement recommander maintenant d'utiliser uniquement le critère d'accélération le plus sévère afin de diminuer les fausses détections.

Bien entendu, un certain nombre d'incidents peuvent ne pas être détectés en procédant de la sorte. Ce durcissement de la règle de détection limite le nombre de faux positifs mais augmente le nombre de faux négatifs. L'avantage d'utiliser des critères plus sévères permet cependant, comme mis en évidence plus haut, de se concentrer sur la détection des incidents perçus comme les plus dangereux.

4 Conclusions finales et recommandations

4.1 Conclusions finales selon le type de données

4.1.1 Données auto-rapportées

Les analyses qualitatives et quantitatives des données auto-rapportées, recueillies dans le projet MEDOC, ont abouti à une description systématique des incidents.

Au total, les 154 participant-e-s de l'échantillon (53,2 % d'hommes), ayant en moyenne 39,2 ans (min. = 23 ans ; max. = 77 ans) indiquent avoir rencontré 439 incidents au cours de deux mois de conduite, soit 2,7 incidents en moyenne par participant-e. Les participant-e-s déclarent que ces incidents ont eu lieu en ligne droite pour 47,9 % des cas et qu'ils étaient responsables (entièrement ou partiellement) de l'incident dans 23,5 % des cas.

Nous avons étudié les processus psychologiques qui sous-tendent les comportements à l'origine de ces incidents puis nous avons détaillé les interactions entre usagers impliqués ainsi que la façon dont les incidents ont été gérés pour ne pas aboutir à un accident.

Concernant le contexte personnel et les caractéristiques des automobilistes, quatre facteurs augmentent la probabilité de provoquer au volant un incident :

- le jeune âge de l'automobiliste,
- la sous-estimation de la probabilité d'être impliqué-e dans un accident de la route dans un futur proche par rapport à celle d'un conducteur moyen,
- la sensibilité à la distraction (soit dans quelle mesure des éléments de l'environnement sont susceptibles de détourner l'attention de l'automobiliste de sa tâche de conduite),
- un antécédent stressant intervenant avant de prendre le volant ou au cours du trajet.

Nous avons distingué deux types d'incidents :

- Les incidents de Type 1 qui se sont produits hors intersection ou hors rond-point, à vitesse élevée, engendrant un risque de collision arrière ou latérale/arrière, évitée sans qu'aucun des usagers impliqués ne s'arrête totalement. Ce type d'incident est provoqué lors de trajets non habituels, souvent par des automobilistes qui, par rapport à un conducteur moyen, sous-estiment leur propre risque d'avoir un accident et surestiment leurs propres compétences de conduite, et a pour origine un freinage brusque.
- Les incidents de Type 2 qui se sont produits en intersection ou au rond-point, à une vitesse inférieure ou égale à 30 km/h, engendrant un risque de collision latérale ou frontale, évitée grâce à un arrêt total d'au moins un usager impliqué. Ce type d'incident est provoqué lors de trajets habituels et a pour origine un non respect des priorités.

Nous avons répertorié 34 éléments qui auraient pu éviter la survenue des 119 incidents rapportés par les 65 participant-e-s qui se sont exprimé-e-s sur ce point. Parmi les plus fréquemment mentionnés :

- Ajout de panneaux routiers (20 incidents, 15,8 %) indiquant par exemple les règles de priorité ou de limitations de vitesse
- Utilisation correcte et à temps du clignotant par un des usagers impliqués (14 incidents, 11 %)
- Visibilité améliorée (par exemple : suppression d'arbres, ajout de miroirs, etc.) (11 incidents, 8,7 %)
- Alertes de conduite indiquant un obstacle dans l'angle mort (7 incidents, 5,5 %), augmentant l'attention des usagers (6 incidents, 4,7 %), prônant le maintien des distances de sécurité (6 incidents, 4,7 %), indiquant que le feu tricolore est rouge ou clignotant (3 incidents, 2,4 %), enfin l'activation automatique des feux de détresse (3 incidents, 2,4 %)
- Différents aménagements de l'infrastructure (uniformiser la configuration des ronds-points, rallonger une voie d'insertion, élargir la chaussée, etc.) (6 incidents, 4,7 %).

Des actions de formation et d'information seront utiles pour rappeler que l'usage du clignotant est indispensable pour permettre d'anticiper le comportement des conducteurs et des conductrices. L'environnement routier se complexifie avec les différentes règles de priorité et les différentes limitations de vitesse, lesquelles ne sont parfois pas toujours (clairement) affichées dans l'environnement routier. Les automobilistes se trouvent alors en situation d'incertitude et ont besoin que leur soient rappelées les règles de conduite pour savoir comment se comporter au volant.

Enfin, nous avons identifié 12 catégories d'intentions de changement comportemental que manifestent 85 participant-e-s de l'échantillon pour réduire la probabilité d'être impliqué-e dans un accident. Parmi les intentions les plus fréquentes :

- 35 automobilistes indiquent qu'ils feront preuve de davantage de vigilance sur la route
- 20 automobilistes se proposent de mieux anticiper les interactions pour adapter leur propre conduite aux autres usagers

- 17 automobilistes vont réduire/mieux adapter leur propre vitesse à l'environnement routier
- 8 automobilistes vont réduire l'usage du téléphone au volant ou utiliser des interfaces (kit mains libres, bluetooth) mieux adaptées à la conduite pour téléphoner
- 8 automobilistes vont éviter de conduire dans des conditions difficiles (nuit, heures d'affluence, routes chargées, fatigue, etc.), nécessitant alors pour eux/elles de changer leurs habitudes de conduite (horaires, trajets).

4.1.2 Données automatiques

Le traitement de l'ensemble de ces trajets a tout d'abord consisté à identifier les incidents selon les critères d'accélération (freinages brusques), de jerk (forts à-coups) et du yaw rate (changement brusque de direction). Les informations provenant du bouton rouge permettant aux participant-e-s de signaler un incident manuellement n'ont pu être utilisées par manque de fiabilité (appuis répétés et aléatoires, dûs à un dysfonctionnement matériel fréquent). Le critère du jerk produit un grand nombre d'incidents candidats, quatre fois plus nombreux que ceux identifiés avec le critère de l'accélération. A l'inverse, le critère du Yaw rate produit très peu de candidats (trois fois moins que le critère accélération, cf. Tableau 16).

Seuls 73 incidents rapportés par les participants sont identifiables automatiquement, le reste ayant été déclaré à des moments où l'enregistrement des données par le boîtier micro-ibb était inopérant. Pris séparément, les trois critères précédents identifient plus de 9500 candidats, parmi lesquels seuls 41 correspondent à des incidents déclarés, soit un taux de bonne détection inférieur à 0.005 %.

La stratégie de détection des incidents repose sur des algorithmes relativement simples, ayant pour principal défaut de retenir un grand nombre de candidats peu représentatifs des situations réellement à risque. Une stratégie de détection efficace doit minimiser le taux de mauvaises détections, tout en maximisant le taux de bonne identification. Dans notre cas, le taux de bonne identification est très faible mais il semble possible de minimiser le taux de mauvaises détections en « durcissant » la règle de conservation des incidents candidats en imposant des détections par plusieurs critères pour conserver le candidat. En effet, lorsqu'il n'y a qu'un seul critère de déclenchement, il est deux fois plus probable que cet incident ne représente pas d'intérêt (c'est-à-dire qu'il n'a pas été déclaré). Ainsi, après une étude comparée des critères de sensibilité et de précision des différentes stratégies proposées, nous suggérons d'appliquer la règle suivante pour sélectionner les incidents candidats :

Conserver uniquement les incidents candidats ayant déclenchés au moins une fois, le critère de décélération (ACC) ainsi que celui du jerk (JERK), tels que définis dans l'encadré 1 (cf. page 40).

Il nous paraît hasardeux d'aller plus loin dans l'identification précise des incidents sans moyens supplémentaires. Des études plus poussées équipent les véhicules de caméras et de radars, ce qui permet l'application d'algorithmes plus complexes, et analysent chaque incident candidat manuellement pour en valider la pertinence. Malgré cette méthodologie coûteuse et complexe, le taux de reconnaissance des situations réellement « à risque » reste peu satisfaisant, de l'ordre de 62 % (cf. Perez et al., 2017), à comparer au taux de 22 % obtenu dans notre projet avec la stratégie proposée. En l'absence de tels moyens, il serait illusoire de prétendre construire un algorithme automatique capable de performances similaires à partir des seules informations d'un GPS.

Une des conclusions principales de ce travail, est donc de confirmer la grande difficulté à identifier précisément et avec une confiance suffisante, des incidents de la route significatifs en termes de risque et pouvant être qualifiés de précurseurs d'un accident. Au vu des résultats obtenus, des travaux complémentaires restent nécessaires pour mieux comprendre le type d'événements détectés, et comment ceux-ci sont associés à la notion de risque. Il semble cependant, au vu de l'analyse et de la typologie des incidents rapportés et détectés, que certains types d'incident pourraient être mieux identifiés avec des détections plus sévères ou plus spécifiques au type de comportement recherché. Ainsi, nous verrons plus bas que les situations de freinages brusques en ligne droite (i.e. hors

manœuvres à basse vitesse en intersection) pourraient être mieux captées par l'application de seuils de déclenchement plus élevés (c'est-à-dire rechercher des freinages plus brusques).

Mais le but de la recherche menée dans MEDOC n'est pas tant l'identification précise de certaines situations, que l'étude de la fréquence d'occurrence de ces situations. En d'autres termes, même si une approche simple ne permet pas d'identifier de manière fiable des situations à risque, leur fréquence d'occurrence peut renseigner sur le style de conduite d'un-e automobiliste, et peut-être aussi sur son niveau de risque individuel.

Le nombre d'incidents de chaque type (Accélération, jerk, ou yaw rate) peut être comptabilisé pour chacun des automobilistes à l'expérience. Ce nombre d'incidents enregistré pour chaque automobiliste doit être ramené aux kilomètres parcourus. Nous proposons de ramener ce nombre aux 100 km parcourus et de construire ainsi trois indicateurs par automobiliste :

- ACCP100 : Nombre d'incidents par automobiliste de type "accélération" rapportés aux 100 km parcourus.
- JERKP100 : Nombre d'incidents par automobiliste de type "jerk" rapportés aux 100 km parcourus.
- YRP100 : Nombre d'incidents par automobiliste de type "yaw rate" rapportés aux 100 km parcourus.

4.1.3 Liens entre données auto-rapportées et données automatiques

D'après les résultats de cette étude, la détection automatique d'incidents, si elle ne permet pas d'identifier à coup sûr des événements dangereux, est cependant pertinente du point de vue de l'évaluation du risque routier individuel. En effet, nous avons montré que le taux d'événements détectés comme étant probablement des freinages brusques (critère accélération) est plus fréquemment associé aux individus ayant une conduite risquée, qualifiée sans ambiguïté par une implication dans des accidents de la route réels. Le lien entre la fréquence d'occurrence de certains événements à risque (freinages brusques) et le risque routier individuel est donc pour la première fois mis en évidence dans une étude européenne.

Plusieurs résultats vont dans ce sens. Ainsi, les analyses menées à la section 3.2.3.1 permettent d'identifier un lien entre l'indicateur d'événements d'accélération longitudinale et un profil psychologique, voire socio-démographique. Plus spécifiquement, nous observons une différence entre deux groupes d'automobilistes :

- jeunes (ayant entre 19 et 30 ans), qui se caractérisent par un nombre élevé de ce type d'événements, d'importants dépassements des limitations de vitesse, un niveau élevé de la sensibilité à la distraction, un nombre élevé de points retirés sur le permis de conduire, un niveau élevé de recherche de sensations au volant, une utilisation rare de stratégies pour contrôler la colère au volant et une forte implication en tant qu'automobilistes dans des accidents de la route au cours des trois dernières années.
- d'âge moyen (ayant entre 31-50 ans), pour lesquels le nombre d'événements d'accélération longitudinale est peu élevé, qui effectuent des petits dépassements des limitations de vitesse, qui se caractérisent par un niveau modéré de sensibilité à la distraction au volant, et qui sont très peu impliqués en tant qu'automobilistes dans des accidents au cours des trois dernières années.

Les résultats obtenus grâce aux indicateurs automatiques d'incident semblent corroborer les conclusions de recherches selon lesquelles la distraction au volant constitue un facteur de risque d'accident (Feng, Marulanda, & Donmez, 2014).

Suite à l'analyse des incidents déclarés, et notamment la typologie produite (cf. Tableau 19), le groupe contenant les incidents perçus comme étant les plus risqués (groupe 3, regroupant les incidents associés à des freinages brusques survenus à vitesse moyenne et en ligne droite), est aussi celui qui est le mieux détecté par une approche automatique. En effet, nous avons pu mettre en évidence que l'application

d'une détection automatique associant deux critères (celui du Jerk et de l'accélération, tels que définis dans l'encadré 1 (cf. page 40) permettait d'identifier avec une relative précision les incidents survenant en ligne droite, et dûs à un freinage brusque.

Ces incidents étant perçus comme les plus dangereux, il est notable que le taux de détection de ceux-ci avec la stratégie proposée est de 37 % (contre 2.5 % sur la totalité des incidents déclarés).

Enfin, cette dernière approche a été évaluée à l'aune des déclarations des participants. En comparant les incidents déclarés et détectés, avec ceux qui ont été détectés mais non déclarés, nous avons pu mettre en évidence l'importance du seuil de détection. Les incidents déclarés et détectés sont associés à des niveaux de décélération plus élevés que ceux n'ayant pas été déclarés. Ainsi, un incident de type décélération est plus susceptible d'avoir été déclaré s'il est associé à un freinage plus marqué. Si l'on veut améliorer la détection automatique des incidents déclarés, il faudrait ainsi relever les seuils utilisés et adopter une approche plus sévère. Nous suggérons donc, si l'objectif est de détecter le plus correctement possible des situations de freinages brusques réellement à risque, d'utiliser seulement la première partie de la définition d'un incident de type freinage brusque : Accélération longitudinale ≤ -0.65 g. En suivant les résultats récents de Perez et al. (2017), il semblerait pertinent d'augmenter encore ce seuil (0.7 g).

Nous avons ensuite examiné les performances des indicateurs proposés (ACCP100, JERKP100, YRP100) et étudiés leurs liens avec l'accidentologie avérée (et déclarée) chez les automobilistes. Une classification des automobilistes et de leurs caractéristiques, a permis d'identifier trois groupes d'automobilistes, parmi lesquels un groupe d'automobilistes « à risque », constitué de jeunes hommes sans enfants, recherchant des sensations au volant et déclarant des excès de vitesse fréquents, confirmés par une implication importante dans des accidents de la route récents. Un résultat important du projet étant constitué par le fait que ce groupe se caractérise par des valeurs significativement plus élevées de fréquences d'incidents détectés de type accélération (soit des valeurs élevées pour l'indicateur ACCP100). Il semble donc que la fréquence des freinages brusques (obtenus avec un seuil de 0.65 g) puisse être considéré comme un marqueur de cette population d'automobilistes « à risque ».

Les algorithmes de détection des incidents utilisés dans ce travail sont ceux utilisés dans le cadre de l'étude 100-CAR menée par le VTTI (Virginia Tech Transportation Institute, cf. Dingus et al., 2006) qui a permis de collecter plus de 3 200 000 km de conduite (43 000 h) grâce à 102 automobilistes suivis pendant plus d'un an chacun. Nous avons mis en œuvre un procédé identique (cf. Wu & Jovanis, 2013), sans pouvoir toutefois procéder à la vérification des événements détectés par une analyse manuelle de vidéos. Cette étude proposée à la fondation MAIF nous a cependant permis de confirmer la validité de ces algorithmes comme outil pertinent pour extraire de la connaissance associée au risque routier individuel. D'une part, la fréquence de certains événements est en lien avec l'historique de l'accidentologie des automobilistes, et d'autre part, les événements détectés correspondent aux incidents verbalisés comme étant les plus dangereux. En outre, ces résultats corroborent les récentes études de Perez et al. (2017), tendant à montrer que certains seuils utilisés sont insuffisants, et de Wu et al. (2014) démontrant le lien entre les presque-accidents et les accidents.

Ces conclusions, bien que fondées sur des données pouvant être obtenues avec un simple GPS, sont encourageantes pour l'étude du risque routier individuel dans le cas de flottes de véhicules instrumentés à faibles coûts. Le prolongement de ces travaux se fera d'une part via l'amélioration des techniques d'identification (cf. par exemple Kluger et al., 2016; Perez et al., 2017) et d'autre part via la production d'algorithmes capables de prédire le risque routier d'un individu à partir de l'observation temporaire de sa conduite (Guo et Fang, 2013).

4.2 Recommandations

Les informations concernant les incidents survenus au volant, obtenues dans le projet MEDOC, permettent de formuler un ensemble de recommandations susceptibles d'améliorer la sécurité des déplacements en voiture. Tout d'abord, malgré un certain nombre de défaillances techniques du

matériel d'enregistrement utilisé, nous pouvons constater que les indicateurs automatiques d'incident restent utiles à des fins d'évaluation du niveau de risque pour une personne d'être impliquée dans un accident ou d'être sanctionnée pour des infractions au code de la route. Toutefois, étant donné le nombre limité d'enregistrements fiables sur lesquels est basée cette affirmation, l'utilisation de ces indicateurs automatiques à des fins d'évaluation doit être considérée avec la plus grande précaution, de préférence en complément d'autres moyens d'évaluation.

Plusieurs mesures auto-rapportées, utilisées dans ce projet, fournissent des éléments susceptibles de faciliter cette évaluation du risque individuel. Les facteurs suivants sont associés à la probabilité de provoquer un incident au volant :

- le jeune âge de l'automobiliste,
- la sous-estimation par l'automobiliste de son propre risque d'être impliqué-e dans un accident par rapport à celui d'un conducteur moyen,
- d'importants dépassements des limitations de vitesse,
- la sensibilité à la distraction,
- le stress induit par des événements survenus avant de prendre le volant ou lors de la conduite.

Parmi ces caractéristiques individuelles, la sensibilité à la distraction pourrait être facilement mesurée à l'aide d'un test en treize items³.

Les résultats de notre recherche permettent également d'identifier les circonstances où surviennent les situations à risque. Une proportion importante d'incidents ont eu lieu en ligne droite où sont souvent pratiquées des vitesses élevées. Il est plausible que les automobilistes ne soient pas suffisamment conscient-e-s des dangers liés aux interactions sur ce type d'infrastructure. Ils/elles devraient en être davantage sensibilisées dans le cadre de la formation initiale à la conduite automobile ou bien à l'aide de messages diffusés, par exemple, sur les panneaux à messages variables.

Plusieurs automobilistes participant au projet ont suggéré des aménagements grâce auxquels un certain nombre de situations à risque auraient pu être évitées. Plus spécifiquement, ils ont évoqué :

- l'usage correct et à temps du clignotant,
- l'amélioration de la visibilité à l'aide de miroirs,
- une meilleure information, à l'aide de panneaux, concernant les règles de priorités et les limitations de vitesse en vigueur,
- l'introduction dans les véhicules de systèmes d'alerte lorsqu'un usager se trouve dans l'angle mort d'un rétroviseur.

Riches d'informations issues des mesures enregistrées dans ce projet, nous pouvons ajouter d'autres points à cette liste. Premièrement, nous avons identifié la distraction au volant comme un des facteurs de risque le plus important. Le téléphone portable apparaît comme la première source de cette distraction, alors que son usage s'est depuis longtemps imposé comme un élément indissociable de notre quotidien. Néanmoins, nous croyons qu'il faut réduire au maximum la distraction provenant du téléphone au volant. Deuxièmement, puisque les contraintes imposées par la réglementation concernant les limitations de vitesse, qui a beaucoup évolué au cours des dernières années et qui ne cesse d'évoluer, sont très importantes, nous pensons qu'il est souhaitable de mettre en place des moyens pour aider les automobilistes à respecter cette réglementation. Ainsi, il nous semble utile d'imposer aux fabricants l'obligation d'installer dans tous les nouveaux véhicules qui se trouveraient prochainement sur le marché les limiteurs de vitesse actualisés qui afficheraient sur le pare-brise la limitatin de vitesse et la vitesse à laquelle roule l'automobiliste.

³ adaptés pour les besoins de l'étude d'un test qui avait 8 items (Feng, Marulanda, & Donmez, 2014).

Dans une perspective plus éloignée, nous pouvons imaginer des systèmes communiquant entre l'infrastructure et les dispositifs destinés à gérer la vitesse qui puissent d'eux-mêmes réagir aux changements de la limitation en vigueur à un moment donné ou, au moins, émettre des avertissements à l'automobiliste.

En ce qui concerne l'usage des techniques statistiques pour l'analyse et la détection des incidents de la conduite, les résultats obtenus dans le projet MEDOC tendent à relativiser leur intérêt pour la détection d'événements précis. En effet, les faibles taux de bonnes détections obtenus avec différentes stratégies, ne permettent pas d'envisager pour le moment une utilisation déterministe, et automatisée, pour la détection d'une urgence ou la caractérisation d'une infraction. Cependant, nous avons pu mettre en évidence le lien probable entre la fréquence de survenue de certains événements (freinages brusques) et les caractéristiques de la conduite. Des niveaux élevés de fréquence de freinages brusques semblent associés à des conduites plus à risque, et peuvent constituer par exemple une indication intéressante dans un contexte d'auto-évaluation de l'automobiliste.

En termes de recommandations, la possibilité nouvelle d'accéder aux informations de la dynamique du véhicule et le fait de pouvoir qualifier objectivement le niveau de risque d'un automobiliste, ouvre de nouveaux champs d'intervention aux assistances embarquées à la conduite. En effet, celles-ci peuvent devenir plus intelligentes grâce à la meilleure connaissance de l'automobiliste obtenue par son observation en continue. La fréquence de certains événements peut être enregistrée afin de retourner à l'automobiliste une évaluation de son comportement, qu'il sera possible de comparer à des références. Cela peut favoriser l'auto-évaluation des automobilistes et ainsi les inciter à la prudence. Des aspects ludiques (ludification), ou incitatifs (récompenses), peuvent être ajoutés afin d'inciter l'automobiliste à améliorer des performances. Il est notable que de telles approches ont fait leurs preuves dans le contexte de la pratique de l'éco-conduite, ou à tout le moins ce qui concerne l'apprentissage de l'éco-conduite.

Le projet MEDOC n'a pas permis de mettre en évidence un lien spatial entre les événements. Nous n'avons pu mettre en évidence le fait que les événements à risque pouvaient se produire de manière récurrente en un lieu spécifique des trajets habituels des automobilistes. Néanmoins il est fort probable que de manière similaire aux zones d'accumulation d'accidents, les incidents se concentrent en des endroits précis de l'infrastructure, mais que les données recueillies n'ont pas suffi à mettre en évidence ce phénomène. La mise en commun des alertes enregistrées par une flotte de véhicules pourrait aider à la détection de « zones dangereuses », lesquelles, une fois cartographiées, pourraient être signalées aux automobilistes. Il devrait même être possible de signaler le type de risque encouru : freinages brusques, dérapages, aquaplaning, etc. Une telle approche est aussi envisageable de manière plus personnalisée, en prévenant l'automobiliste de ses propres zones à risque personnelles en fonction de son historique de conduite. Les assistances à la conduite pourraient donc apprendre le style de conduite de leur propriétaire, et s'adapter à ses spécificités, ou plutôt proposer un mode de conduite « assisté » favorisant l'apprentissage des bonnes pratiques.

4.3 Synthèse des conclusions sur des points clés tant opérationnels que théoriques

Les résultats de recherches menées dans le projet MEDOC indiquent les facteurs associés à l'occurrence d'incidents. Ce sont :

- les problèmes de vigilance, voire de distraction,
- le stress induit par des événements liés et non liés à la conduite,
- la sous-estimation du risque d'être impliqué-e, en tant qu'automobiliste, dans un accident.

Les conducteurs jeunes, sensibles à la distraction et fortement irrespectueux des limitations de vitesse constituent un groupe particulièrement à risque. Davantage d'incidents sont survenus en ligne droite, ayant à l'origine des changements de file ou des freinages brusques. D'après les suggestions des automobilistes participant au projet, le manque de visibilité de l'environnement routier et l'incertitude

concernant les limitations de vitesse ainsi que les règles de priorités en vigueur constituent également des problèmes non-négligeables à nombre d'endroits dans l'infrastructure.

Pour remédier aux problèmes identifiés être à l'origine des incidents, il serait recommandé :

- d'augmenter le niveau d'information des automobilistes (par l'intermédiaire de programmes de formation, panneaux à messages variables, panneaux routier, etc.) concernant les règles en vigueur, comme les règles de priorité ou les limitations de vitesse, les comportements de protection et les bons réflexes à apprendre à des endroits sensibles du point de vue de la sécurité,
- promouvoir les moyens techniques susceptibles, d'une part, d'augmenter ce niveau d'information et, d'autre part, de réduire les sources d'incertitude et de distraction (téléphone portable).

L'analyse de la dynamique des véhicules menée dans le projet MEDOC a permis de tester et de valider la pertinence de certains algorithmes de détection des incidents. Ces algorithmes sont récents, et les résultats obtenus ont conduit à un raffinement de cette approche :

- les événements de type « jerk » (à-coups) ou « yaw rate » (changements brusques de direction) ne permettent pas à eux seuls d'identifier des événements pertinents, mais la combinaison d'un critère de jerk avec un critère de décélération forte (freinages brusques) permet d'identifier des événements qui semblent plus significatifs en termes de risque routier perçu,
- l'emploi d'une règle plus stricte de détection des freinages brusques (suppression du seuil à 0.3 g pour des vitesses élevées, et conservation du seuil absolu de 0.65 g), permet d'augmenter la précision de la détection de ces événements, généralement associés à un risque perçu élevé,
- le lien entre la fréquence des événements de type freinages brusques et l'accidentologie avérée a été mis en évidence, autant par l'historique déclaré par les participants, que par la description détaillée des incidents par les automobilistes.

Ces résultats confirment les études américaines à plus grande échelle, qui font état du lien entre incidents et accidents.

Un nouveau champ d'application s'ouvre ainsi pour le véhicule du futur, qui sera capable de qualifier la conduite de son propriétaire en termes de risque routier. L'incitation pertinente et ciblée à un comportement de conduite vertueux devient ainsi possible et devrait intéresser les acteurs de l'assurance et de la sécurité routière. En outre, le partage et la mise en commun de ces informations, dans le strict respect de la vie privée, peut contribuer à la création d'un bien commun sous la forme d'une cartographie des zones « incidentogènes » sur le modèle des zones d'accumulation d'accident. De telles informations, a priori plus crédibles et acceptables que la simple position des radars routiers, devrait être de nature à favoriser un meilleur respect des recommandations fournies par un système embarqué. Il nous semble que ces résultats corroborent l'idée qu'une meilleure connaissance de ses propres capacités de conduite, confrontée à une référence acceptable (comportement des automobilistes les moins risqués), serait de nature à sensibiliser au risque routier permanent, et favoriser l'amélioration du comportement des automobilistes.

5 Principales références

- Causse, P., Delhomme, P., & Kouabenan, R.D. (2005a). Jugements comparatifs et absolus de deux risques routiers contextualisés et raisons invoquées quant à ces jugements. *Psychologie du Travail et des Organisations*, 11, 191-208.
- Causse, P., Delhomme, P., & Kouabenan, R.D. (2005b). Evaluation subjective de risques routiers spécifiques : comment les gens justifient-ils leurs jugements du risque ? *Nouvelle Revue de Psychologie Sociale*, 4(2), 182-192.
- Deffenbacher, J. L., Kemper, C. C., & Richards, T. L. (2007). The driving anger expression inventory: A validity study with community college student drivers. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, 29(4), 220-230.
- Delhomme, P. (1994). *Liens entre surestimation de ses propres capacités, expérience de la conduite et activité de conduite*. Rapport de recherche Inrets N°187.
- Delhomme, P. (1995). Evaluation de ses propres capacités de conduite et activité de conduite. *Recherche Transports Sécurité*, 48, 39-51.
- Delhomme, P. (2002). *Croyances des jeunes automobilistes en matière de vitesse* (Rapport final, Convention DSCR-INRETS N°00/010/T- étude n°7). Arcueil : INRETS.
- Delhomme, P. (2015). Sécurité routière et campagnes de prévention : de la préparation d'une campagne à son évaluation. (pp. 223-265). In A. Belhaj (Coord.), Les comportements des usagers de la route. Actes du 1er Séminaire International, Rabat, Ministère de l'Équipement, du Transport et de la Logistique.
- Delhomme, P., & Meyer, T. (2002, 2ème édition). *La recherche en psychologie sociale. Projets, méthode et techniques*. Paris : Armand Colin, Coll. Cursus.
- Delhomme, P. (2008). Note de synthèse Psychologie sociale appliquée : de l'évaluation des risques routiers à la modification des comportements, HDR, Université de Provence.
- Delhomme, P., & Palat, B. (2017). Analyse détaillée des problèmes routiers rapportés par les participant(e)s, de leurs causes et leurs gestions. Projet MEDOC financé par Fondation MAIF. Rapport intermédiaire N°2, Ifsttar.
- Delhomme, P., Verhaci, J.-F., & Martha, C. (2009). Are drivers' comparative risk judgments about speeding realistic? *Journal of Safety Research*, 40, 333-339.
- Delhomme, P., & Villieux, A. (2005). Adaptation française de l'échelle de colère au volant D.A.S. : quels liens entre colère éprouvée au volant, infractions et accidents de la route déclarés par de jeunes automobilistes ? *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 55, 187-205.
- Dingus, T. A., S. G. Klauer, V. L. Neale, A. Petersen, S. E. Lee, J. Sudweeks, M. A. Perez, J. Hankey, D. Ramsey, S. Gupta, C. Bucher, Z. R. Doerzaph, J. Jermeland, & R. R. Knipling. (2006). *The 100-Car Naturalistic Driving Study: Phase II—Results of the 100-2017Car Field Experiment*. DOT HS 810 593, NHTSA.
- Feng, J., Marulanda, S., & Donmez, B. (2014). Susceptibility to driver distraction questionnaire (SDDQ): Development and relation to relevant self-reported measures. *Transportation Research Record*, 2423, 26-34.
- Gulian, F., Matthews, G., Glendon, A. I., Davies, D. R., & Debney, L. M. (1989). Dimensions of driver stress. *Ergonomics*, 32, 585-602.
- Guo, F., & Fang, Y. (2013). Individual driver risk assessment using naturalistic driving data. *Accident Analysis & Prevention*, 61, 3-9. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2012.06.014>
- Kluger, R., Smith, B. L., Park, H., & Dailey, D. J. (2016). Identification of safety-critical events using kinematic vehicle data and the discrete fourier transform. *Accident Analysis & Prevention*, 96, 162-168. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2016.08.006>
- Le Roux, B., & Rouanet, H. (2004). *Geometric data analysis : From correspondence analysis to structured data analysis*. Kluwer Academic Publishers : Dordrecht, Pays-Bas.
- Perez, M. A., Sudweeks, J. D., Sears, E., Antin, J., Lee, S., Hankey, J. M., & Dingus, T. A. (2017). Performance of basic kinematic thresholds in the identification of crash and near-crash events within

- naturalistic driving data. *Accident Analysis & Prevention*, 103, 10-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2017.03.005>
- Reason, J.T., Manstead, A. S. R., Stradling, S., Baxter, J., & Campbell K. (1990). Errors and violations on the roads. *Ergonomics*, 33, 1315–1332.
- Saint Pierre, G. (2017). Traitement des données collectées dans le cadre du projet MEDOC. Projet MEDOC financé par Fondation MAIF. Rapport intermédiaire N°3, Ifsttar et CEREMA.
- Taubman, O., Mikulincer, M., & Iram, A. (1996). *The cognitive, motivational and emotional system of driving*. Research report. Department of Casualties and Road Safety of the Israeli Army: Israel.
- Underwood, G., Chapman, P., Wright, S., & Crundall, D. (1999). Anger while driving. *Transportation Research part F*, 2, 55-68.
- Villieux, A., & Delhomme, P. (2008). Colère éprouvée au volant et différentes manières de l'exprimer : quels liens avec les transgressions de conduite déclarées. *Le Travail Humain*, 71, 359-384.
- Wu, K. F., Aguero-Valverde, J., & Jovanis, P. P. (2014). Using naturalistic driving data to explore the association between traffic safety-related events and crash risk at driver level. *Accident Analysis & Prevention*, 72, 210-218. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2014.07.005>
- Wu, K.F., & Jovanis, P.P. (2013). Defining and screening crash surrogate events using naturalistic driving data. *Accident Analysis & Prevention*, 61, 10–22, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2012.10.004>.
- Yagil, D. (2001). Reasoned action and irrational motives: A prediction of drivers' intention to violate traffic laws. *Journal of Applied Social Psychology*, 31, 720–740.

6 Annexes

Annexe I – Véhicules des participant-e-s

Marque/modèle	Nb
Alfa Romeo Vito	1
Audi A3	1
Audi A8	1
BMW Série 5	1
BMW Série 1	1
BMW Z4	1
Chevrolet Aveo	1
Chevrolet Spark	2
Citroën (modèle non précisé)	1
Citroën Berlingo	2
Citroën C3	9
Citroën C4	6
Citroën C4 Cactus	1
Citroën DS4	1
Dacia Duster	1
Dacia Lodgy	1
Dacia Logan	1
Dacia Sandero	4
Fiat 500	1
Ford B MAX	1
Ford C Max	1
Ford Fiesta	2
Ford Focus	2
Ford KA	1
Honda (modèle non précisé)	1
Honda CR-V	1
Hyundai i30	2
KIA Sportage	1
Mercedes Classe A	1
Mercedes Classe B	1
Mitsubishi ASX	1
Nissan Cube	1
Nissan Juke	2
Nissan Micra	4

Nissan Pixo	2
Nissan Qashqai	1
Nissan X-Trial	1
Opel Agila	1
Opel Corsa	1
Opel Meriva	1
Peugeot 108	1
Peugeot 2008	4
Peugeot 206	6
Peugeot 207	7
Peugeot 208	3
Peugeot 3008	3
Peugeot 308	3
Peugeot 807	2
Peugeot Partner Tepee	1
Renault Captur	1
Renault Clio	17
Renault Grand Scénic	1
Renault Kangoo	5
Renault Laguna	3
Renault Mégane	6
Renault Modus	1
Renault Scénic	4
Renault Twingo	6
Renault Wind	1
Seat Altea	1
Seat Ibiza	3
Škoda Roomster	1
Toyota Aygo	1
Toyota Verso	1
Toyota Yaris	4
Volkswagen Golf	1
Volkswagen Polo	5
Volvo C30	1
Volvo XC60	1
VW Golf	2
VW New Beetle	1
VW Polo	2
VW Touran	2

Annexe II – Description fine des catégories d'automobilistes obtenues par classification ascendante hiérarchique sur les résultats de l'analyse par correspondances multiples.

La dernière colonne (v.test : une mesure d'association entre variables) nous permet d'abord de distinguer les modalités positivement corrélées avec la classe, à celles qui sont négativement corrélées avec la classe, i. e. sous-représentées en son sein (les autres, qui ont une v.test négative).

Toutes les modalités énumérées ici sont significativement corrélées avec la classe ; toutes celles qui ne sont pas énumérées ici ne le sont pas. Les plus corrélées positivement sont au début, les plus corrélées négativement sont à la fin.

Les deux premières colonnes méritent d'être lues avec attention, car elles sont concrètes et grappantes :

- *cla/mod* indique quelle part (pourcentage) de tous les individus présentant cette modalité se retrouve dans cette classe (ce cluster, cette catégorie).
- *mod/cla* indique quelle part (pourcentage) de tous les individus de la classe présentent cette modalité.
- *Global* indique quelle part (pourcentage) de l'ensemble des individus présentent cette modalité.

Ce sont deux façons de parler de sur-représentation, qui, selon les effectifs totaux de la modalité et de la classe, peuvent paraître assez différentes.

\$catégorie\$`1`

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p. value	v. test
VITcat=VITcat_1	76.1	76.1	35.1	0.00000	7.2
SENS_DISTRAcat=SENS_DISTRAcat_1	66.7	65.2	34.4	0.00000	5.4
DAX_ACEcat=DAX_ACEcat_4	67.4	63.0	32.8	0.00000	5.3
SENSATIONScat=SENSATIONScat_1	76.7	50.0	22.9	0.00000	5.3
DAX_UVEAcat=DAX_UVEAcat_1	55.9	82.6	51.9	0.00000	5.2
sexe=F	54.8	73.9	47.3	0.00001	4.5
DAX_VAEcat=DAX_VAEcat_1	64.3	39.1	21.4	0.00046	3.5
ageFA=50+	58.3	30.4	18.3	0.01157	2.5
nincdeclP100cat=nincdeclP100cat_1	43.5	65.2	52.7	0.03658	2.1
perd_pts_totaP100cat=perd_pts_totaP100cat_1	43.8	60.9	48.9	0.04608	2.0
perd_pts_totaP100cat=perd_pts_totaP100cat_2	26.9	39.1	51.1	0.04608	-2.0
nincdeclP100cat=nincdeclP100cat_2	25.8	34.8	47.3	0.03658	-2.1
SENS_DISTRAcat=SENS_DISTRAcat_2	21.1	17.4	29.0	0.03124	-2.2
VITcat=VITcat_2	22.2	21.7	34.4	0.02578	-2.2
DAX_ACEcat=DAX_ACEcat_2	19.4	15.2	27.5	0.02027	-2.3
ageFA=19-30	22.6	26.1	40.5	0.01415	-2.5
DAX_ACEcat=DAX_ACEcat_1	5.0	2.2	15.3	0.00113	-3.3
SENS_DISTRAcat=SENS_DISTRAcat_3	16.7	17.4	36.6	0.00067	-3.4
DAX_VAEcat=DAX_VAEcat_3	15.6	15.2	34.4	0.00057	-3.4
sexe=H	17.4	26.1	52.7	0.00001	-4.5
SENSATIONScat=SENSATIONScat_3	8.9	8.7	34.4	0.00000	-4.7

DAX_UVEAcat=DAX_UVEAcat_2

VITcat=VITcat_3

\$catégorie\$`2`

SENS_DISTRAcat=SENS_DISTRAcat_2

VITcat=VITcat_2

ageFA=31-50

ACCP100cat=ACCP100cat_1

jeun_enf=jeun_enf_1

tmps_jourCAT=tmps_jourCAT_1

sexe=H

probl_vue01=probl_vue01_0

accid_nrP100cat=accid_nrP100cat_1

DAX_UVEAcat=DAX_UVEAcat_2

SENSATIONScat=SENSATIONScat_1

SENS_DISTRAcat=SENS_DISTRAcat_3

DAX_UVEAcat=DAX_UVEAcat_1

DAX_VAEcat=DAX_VAEcat_1

ageFA=50+

accid_nrP100cat=accid_nrP100cat_2

probl_vue01=probl_vue01_1

ACCP100cat=ACCP100cat_3

sexe=F

jeun_enf=jeun_enf_0

SENS_DISTRAcat=SENS_DISTRAcat_1

tmps_jourCAT=tmps_jourCAT_4

VITcat=VITcat_1

DAX_ACEcat=DAX_ACEcat_4

\$catégorie\$`3`

VITcat=VITcat_3

SENS_DISTRAcat=SENS_DISTRAcat_3

ageFA=19-30

SENSATIONScat=SENSATIONScat_3

ACCP100cat=ACCP100cat_3

DAX_UVEAcat=DAX_UVEAcat_2

accid_nrP100cat=accid_nrP100cat_2

tmps_jourCAT=tmps_jourCAT_2

ACCP100cat=ACCP100cat_2

jeun_enf=jeun_enf_0

12.7	17.4	48.1	0.00000	-5.2
2.5	2.2	30.5	0.00000	-5.7
Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p. value	v. test
65.8	59.5	29.0	0.00000	5.1
55.6	59.5	34.4	0.00005	4.1
50.0	64.3	41.2	0.00029	3.6
46.8	69.0	47.3	0.00071	3.4
47.9	54.8	36.6	0.00393	2.9
48.7	45.2	29.8	0.01006	2.6
42.0	69.0	52.7	0.01059	2.6
45.7	50.0	35.1	0.01692	2.4
39.3	78.6	64.1	0.01786	2.4
41.3	61.9	48.1	0.03225	2.1
16.7	11.9	22.9	0.03856	-2.1
20.8	23.8	36.6	0.03714	-2.1
23.5	38.1	51.9	0.03225	-2.1
14.3	9.5	21.4	0.02115	-2.3
12.5	7.1	18.3	0.02061	-2.3
19.1	21.4	35.9	0.01786	-2.4
24.7	50.0	64.9	0.01692	-2.4
13.3	9.5	22.9	0.01069	-2.6
21.0	31.0	47.3	0.01059	-2.6
22.9	45.2	63.4	0.00393	-2.9
15.6	16.7	34.4	0.00306	-3.0
8.0	4.8	19.1	0.00272	-3.0
15.2	16.7	35.1	0.00210	-3.1
9.3	9.5	32.8	0.00005	-4.1
Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p. value	v. test
72.5	67.4	30.5	0.00000	6.3
62.5	69.8	36.6	0.00000	5.4
54.7	67.4	40.5	0.00001	4.3
57.8	60.5	34.4	0.00002	4.3
60.0	41.9	22.9	0.00055	3.5
46.0	67.4	48.1	0.00217	3.1
48.9	53.5	35.9	0.00418	2.9
50.0	44.2	29.0	0.00960	2.6
48.7	44.2	29.8	0.01451	2.4
39.8	76.7	63.4	0.02674	2.2

<i>perd_pts_totaP100cat=perd_pts_totaP100cat_2</i>	41.8	65.1	51.1	0.02720	2.2
<i>DAX_ACEcat=DAX_ACEcat_1</i>	55.0	25.6	15.3	0.02947	2.2
<i>probl_vue01=probl_vue01_1</i>	38.8	76.7	64.9	0.04807	2.0
<i>sexe=H</i>	40.6	65.1	52.7	0.04895	2.0
<i>sexe=F</i>	24.2	34.9	47.3	0.04895	-2.0
<i>probl_vue01=probl_vue01_0</i>	21.7	23.3	35.1	0.04807	-2.0
<i>perd_pts_totaP100cat=perd_pts_totaP100cat_1</i>	23.4	34.9	48.9	0.02720	-2.2
<i>jeun_enf=jeun_enf_1</i>	20.8	23.3	36.6	0.02674	-2.2
<i>SENS_DISTRAcat=SENS_DISTRAcat_1</i>	17.8	18.6	34.4	0.00765	-2.7
<i>tmps_jourCAT=tmpls_jourCAT_1</i>	15.4	14.0	29.8	0.00500	-2.8
<i>accid_nrP100cat=accid_nrP100cat_1</i>	23.8	46.5	64.1	0.00418	-2.9
<i>DAX_UVEAcat=DAX_UVEAcat_1</i>	20.6	32.6	51.9	0.00217	-3.1
<i>SENS_DISTRAcat=SENS_DISTRAcat_2</i>	13.2	11.6	29.0	0.00172	-3.1
<i>SENSATIONScat=SENSATIONScat_1</i>	6.7	4.7	22.9	0.00023	-3.7
<i>ageFA=31-50</i>	13.0	16.3	41.2	0.00004	-4.1
<i>VITcat=VITcat_1</i>	8.7	9.3	35.1	0.00001	-4.5
<i>ACCP100cat=ACCP100cat_1</i>	9.7	14.0	47.3	0.00000	-5.5

Annexe III - Description fine des catégories d'incidents obtenues par classification ascendante hiérarchique sur les résultats de l'analyse par correspondances multiples.

\$catégorie\$`1`

	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
<i>localisation=en_intersection</i>	81	81	38	3.15E-09	5.924
<i>vit=vit_inc_basse</i>	78	78	38	7.72E-08	5.373
<i>cause=cause_priorites</i>	78	52	25	1.03E-04	3.883
<i>danger=risque_perçu_faible</i>	58	78	51	4.00E-04	3.540
<i>gestioFA2=frein.ss_manoe</i>	54	74	52	4.29E-03	2.856
<i>gestioFA2=sans/avec_regulvi.manoe</i>	9	4	15	3.22E-02	-2.142
<i>vit=vit_inc_moyenne</i>	20	22	42	8.23E-03	-2.642
<i>cause=cause_freibrsq</i>	11	7	25	5.97E-03	-2.750
<i>vit=vit_inc_élevée</i>	0	0	20	4.78E-04	-3.493
<i>danger=risque_perçu_élevé</i>	17	22	49	4.00E-04	-3.540
<i>localisation=hors_intersection</i>	11	19	62	3.15E-09	-5.924
\$catégorie\$`2`					
	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
<i>motif=motif_travail</i>	53	94	42	5.99E-07	4.992
<i>vit=vit_inc_élevée</i>	71	59	20	2.82E-05	4.188
<i>habitude=traj_habituel</i>	42	94	54	7.64E-05	3.955
<i>gestioFA2=regul_vit.ss_manoe</i>	52	71	32	2.69E-04	3.643
<i>cause=cause_priorites</i>	0	0	25	3.12E-03	-2.956
<i>vit=vit_inc_basse</i>	4	6	38	1.22E-03	-3.234
<i>habitude=traj_non_habituel</i>	3	6	46	7.64E-05	-3.955
<i>gestioFA2=frein.ss_manoe</i>	3	6	52	8.32E-06	-4.457
<i>motif=motif_autre</i>	2	6	58	5.99E-07	-4.992
\$catégorie\$`3`					
	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
<i>motif=motif_autre</i>	63	96	58	6.72E-08	5.399
<i>localisation=hors_intersection</i>	57	93	62	1.88E-05	4.279
<i>habitude=traj_non_habituel</i>	61	74	46	3.20E-04	3.599
<i>danger=risque_perçu_élevé</i>	57	74	49	1.27E-03	3.222
<i>vit=vit_inc_moyenne</i>	60	67	42	1.44E-03	3.187
<i>cause=cause_freibrsq</i>	61	41	25	2.56E-02	2.233
<i>Event_Acc_Jerk=Event_Acc_Jerk_1</i>	63	37	23	2.91E-02	2.182
<i>Event_Acc_Jerk=Event_Acc_Jerk_0</i>	31	63	77	2.91E-02	-2.182
<i>vit=vit_inc_basse</i>	19	19	38	8.57E-03	-2.629
<i>danger=risque_perçu_faible</i>	19	26	51	1.27E-03	-3.222
<i>habitude=traj_habituel</i>	18	26	54	3.20E-04	-3.599

<i>localisation=en_intersection</i>	7	7	38	1.88E-05	-4.279
<i>motif=motif_travail</i>	3	4	42	6.72E-08	-5.399