Accidentologie des piétons

Jean-Louis Martin, Dan Wu

▶ **To cite this version:**

Jean-Louis Martin, Dan Wu. Accidentologie des piétons. [Rapport de recherche] IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux. 2015, 59 p. hal-01349342

HAL Id: hal-01349342
https://hal.science/hal-01349342

Submitted on 27 Jul 2016

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

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

Véhicule **O**ccupant **I**nfrastructure **E**tudes de la **S**écurité des **U**sagers de la **R**oute	Programme Transports Terrestres Durables Edition 2011

Référence ANR du projet : ANR-11-VPTT-0007

Livrable 4.4

Accidentologie des piétons

Date de livraison du rapport	Avril 2015
Auteurs	Jean-Louis MARTIN, Dan WU
Participant	IFSTTAR
Tâche	N° 4
Niveau de confidentialité	Libre
Version	Version finale

Résumé : L'essentiel de ce rapport étudie les facteurs liés à la survenue et à la gravité des accidents impliquant un véhicule et un piéton. Sont ainsi analysés la répartition des configurations accidentelles, les manœuvres d'urgence effectuées par les conducteurs, la répartition des "responsabilités" entre les deux impliqués et des défaillances identifiées en termes d'erreur de détection, de décision, de diagnostic, ou de pronostic. Le risque d'être tué pour le piéton est montré comme dépendant du carré de la vitesse au choc, ainsi que de son âge et, dans une moindre mesure, de la localisation de l'impact. Si certains résultats sont limités par la précision des informations "PV", surtout corporels, ils sont néanmoins en faveur de certaines contre-mesures envisagées ou en cours de déploiement pour les véhicules (aide à la détection, dispositif limitant les franchissements PL), l'infrastructure (amélioration de la détection, aménagement zones "communes", régulation de vitesse) ainsi que pour les conducteurs et les piétons (éducation à l'autre).

Mots clés : piéton, configuration accidentelle, responsabilité, défaillance, vitesse au choc, bilan lésionnel, mécanisme lésionnel, gravité des blessures, létalité.

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES 3
LISTE DES ACRONYMES 4
1. CONTEXTE 5
2 OBJECTIFS 5
3 MATÉRIEL ET MÉTHODE 6
3.1 LES DONNÉES D'ACCIDENTS PIÉTONS 6
3.2 CALCUL ET PRISE EN COMPTE DE LA PONDÉRATION DES DONNÉES 7
3.3 MÉTHODE D'ESTIMATION DES VITESSES 8
4 RÉSULTATS 9
4.1 EFFECTIFS OBSERVÉS ET ESTIMÉS D'ACCIDENTS MORTELS ET D'ACCIDENTS CORPORELS NON MORTELS 9
4.2 CONFIGURATIONS ACCIDENTELLES 10
4.2.1 Comparaison avec les données anglaises et allemandes publiées dans le projet ASPECSS 14
4.2.2 Facteurs associés aux configurations accidentelles 15
4.2.3 Responsabilité du conducteur et du piéton selon la configuration accidentelle 17
4.2.4 Défaillance et configuration accidentelle 17
4.3 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES CIRCONSTANCES D'ACCIDENT, DES VÉHICULES, DES CONDUCTEURS ET DES PIÉTONS IMPLIQUÉS 19
4.3.1 Conditions et lieux des accidents 19
4.3.2 Véhicules et caractéristiques de l'impact 20
4.3.3 Caractéristiques des piétons et conducteurs impliqués 23
4.3.4 Alcool et stupéfiants pour le conducteur et le piéton 24
4.3.5 Eléments de comportement du conducteur 26
4.4 FACTEURS CAUSAUX D'ACCIDENTS PIÉTONS POUR LE CONDUCTEUR ET POUR LE PIÉTON 28
4.4.1 Responsabilité côté conducteur 29
4.4.2 Responsabilité côté piéton 31
4.5 LÉTALITÉ ET GRAVITÉ DES ATTEINTES DU PIÉTON 33
4.5.1 Létalité du piéton pour l'ensemble des accidents 33
4.5.2 Létalité du piéton percuté par un VL en choc frontal 35
4.5.3 Gravité et zone corporelle atteinte 44
5 SYNTHÈSE ET DISCUSSION DES PRINCIPAUX RÉSULTATS 49
6 CONCLUSION 52
ANNEXE 1 53
RÉFÉRENCES 57

LISTE DES ACRONYMES

2RM : Deux-roues motorisés et trois-roues motorisés
BAAC : Bulletin d'Analyse d'Accident Corporel
CEESAR : Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyse des Risques
CETE NC : Centre d'études Techniques de l'Equipement de Normandie Centre
IFSTTAR : Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux
LAB : Laboratoire d'Accidentologie, de Biomécanique et d'études du comportement humain
ONISR : Observatoire National Interministériel de la Sécurité Routière
Pictogramme : Représentation simplifiée et imagée d'un accident. Ils sont répartis suivant des catégories et servent à décrire la manœuvre pré-conflictuelle et la collision.
PL : Poids-Lourd (PTAC>3,5t)
PV : Procès-Verbal d'accident
Trans PV : Section de l'AGIRA - Association pour la Gestion des Informations sur le Risque en Assurance : l'activité de Trans PV consiste à adresser aux sociétés d'assurance concernées les copies des procès-verbaux d'accidents de la circulation reçus chaque jour des services de police et de gendarmerie.
UCBL : Université Claude Bernard Lyon 1
UMRESTTE : Unité Mixte IFSTTAR/UCBL de Recherche Épidémiologique et de Surveillance Transport Travail Environnement.
VL : Véhicule Léger
VU : Véhicule Utilitaire (PTAC<3,5t)
VOIESUR : Véhicule Occupant Infrastructure Etudes de la Sécurité des Usagers de la Route

1. CONTEXTE

D'après le dernier bilan de l'OMS (Naci, Chilsholm and Baker 2009 ; WHO 2009), 45% des tués sur la route sont des piétons dans les pays à faible revenu, soit plus de 200,000 victimes, et 18% dans les pays à fort revenu, soit plus de 22,000 victimes chaque année. Ces différences considérables reflètent les différences d'exposition, une grande part des déplacements s'effectuant à pied dans certains pays. Elles traduisent également les différences de comportement des usagers vis-à-vis de la sécurité routière, et notamment la prise en compte par chaque usager des autres usagers avec lesquels il partage le même espace pour circuler. Dans tous les pays, le piéton blessé dans un accident de la circulation routière est majoritairement renversé par un véhicule motorisé, la plupart du temps une voiture (Pulugurtha and Sambhara 2011; Alhajyaseen, Asano et al. 2013; WHO 2013; Richmond, Rothman et al. 2014; Richmond, Willan et al. 2014). L'intérêt de développer des contremesures en termes de sécurité active et passive sur les voitures est ainsi manifeste (Zegeer and Bushell 2012).

Ces contremesures doivent de préférence correspondre soit à des configurations accidentelles fréquentes, soit associées à des gravités élevées. Plusieurs travaux (Roudsari, Kaufman et al. 2006; Camden, Buliung et al. 2012; Siddiqui, Abdel-Aty et al. 2012), et notamment des projets européens récents tels que APROSYS ou AsPeCSS ont présenté des résultats sur le sujet, basés essentiellement sur les recueils accidentologiques allemands (GIDAS) ou anglais (CCIS19). Cette tâche reprend une partie des objectifs de ces projets, à partir de données françaises similaires.

Des travaux récents (Hill, Delaney et al. 1996; Demetriades, Murray et al. 2004; Chawla, Mukherjee et al. 2008; Richards and Carroll 2012; Searson, Hutchinson et al. 2012; Gupta and Yang 2013), et notamment deux projets (ASP, APPA) dans lesquels nous étions impliqués (Martin, Lardy et al. 2011), se sont par ailleurs intéressés aux bilans lésionnels des piétons heurtés par un véhicule léger. Du fait du manque de précision des circonstances de l'accident et surtout de l'indisponibilité d'une estimation de la vitesse au choc, l'influence des caractéristiques du véhicule heurtant n'a pas pu être clairement démontrée. La qualité des données disponibles dans VOIESUR va en revanche nous permettre d'avancer sur ce sujet.

2 OBJECTIFS

Un premier objectif est de répertorier les principales configurations dans lesquelles les accidents impliquant des piétons surviennent, dans l'optique de pouvoir mieux définir des contre-mesures adaptées, qu'elles soient éducationnelles, technologiques, ou qu'elles concernent l'organisation des zones de conflit potentiel entre piétons et véhicules. Pour chaque configuration, les principales défaillances du piéton et/ou du conducteur, à l'origine de l'accident, seront estimées.

Le deuxième objectif est de comprendre la gravité des atteintes lésionnelles du piéton et leur localisation. Il s'agit de réaliser un état des lieux des blessures les plus fréquentes et si possible de mettre en relation les blessures avec l'élément heurté (partie du véhicule ou autre). La relation entre la probabilité d'être tué et la vitesse au choc sera particulièrement étudiée, ainsi que les facteurs influençant cette probabilité, une fois la vitesse prise en compte.

3 MATÉRIEL ET MÉTHODE

Notre analyse repose sur l'exploitation de la base VOIESUR[1] incluant les accidents corporels de la circulation routière en France pour l'année 2011. Plus précisément, la base inclut la totalité des PV mortels, 1/20ème des PV nationaux non mortels et l'ensemble des PV du département du Rhône.

L'information collectée dans VOIESUR comprend les caractéristiques générales de l'accident pouvant être trouvés dans les BAAC mais surtout des informations tirées de la lecture complète des PV et des informations associées (photos, plans) telles que la configuration de l'accident, la configuration accidentelle, la caractérisation des défaillances fonctionnelles humaines ayant joué un rôle dans la survenue de l'accident, les manœuvres des usagers avant l'accident, les collisions lors de l'accident ainsi que les conflits identifiés comme ayant eu un rôle dans l'accident.

3.1 Les données d'accidents piétons

Par définition, un accident corporel de la circulation routière :

- provoque la blessure d'une ou plusieurs personnes,
- survient sur une voie ouverte à la circulation publique,
- implique au moins un véhicule se déplaçant.

La base VOIESUR contient 1464 accidents impliquant au moins un piéton. Il en reste 1384 après l'exclusion de 12 suicides, 49 sur-accidents ou accidents ayant entrainé un sur-accident, 10 accidents de tramway contre piéton, 7 accidents qui s'avèrent matériels et 2 sur réseau privé et qui ne font pas l'objet d'un BAAC.

Parmi ces 1384 accidents impliquant au moins un piéton, 489 sont des accidents mortels avec 491 piétons tués. La majorité (1260) des accidents piétons implique un seul véhicule et un seul piéton.

Les analyses qui suivent porteront sur ces accidents 1 véhicule / 1 piéton. En plus de leur rareté, nous choisissons d'exclure les autres configurations car les mécanismes lésionnels sont trop complexes à identifier quand plusieurs piétons ou plusieurs véhicules sont impliqués. D'autres accidents sont exclus : ceux comportant trop d'informations manquantes, ceux dans lesquels le piéton est indemne et quelques cas marginaux (par exemple un véhicule percutant une terrasse de café-restaurant).

Avec ces critères d'exclusion, nous disposons donc d'un échantillon de 1249 accidents 1vehicule/1piéton comprenant :

- 428 accidents mortels (424 piétons tués)
- 441 accidents 1/20ème non mortels hors Rhône
- 19 accidents 1/20ème non mortels du Rhône
- 361 accidents non mortels du Rhône (les 1/20ème du Rhône ne sont pas compris)

Nous pouvons donc utiliser soit ces 1249 accidents, soit les 888 (428 mortels +441+19 non mortels) ne comprenant pas les accidents non mortels du Rhône hors leur 1/20ème compris dans le 1/20ème général. Les effectifs de corporels Rhône ou hors Rhône sont du même ordre de grandeur en observés, mais ceux du Rhône sont faibles comparés aux autres corporels

[1] La version 20 de la base VOIESUR a été utilisée pour les calculs présentés

dont on multiplie les effectifs par 20. C'est ce que nous avons vérifié en faisant la plupart des calculs présentés ensuite sur les deux échantillons. Nous avons finalement choisi de présenter les résultats sur l'échantillon de 888 observations, privilégiant en cela la simplicité de sa constitution : tous les mortels et 1/20ème des non mortels pour l'ensemble du territoire métropolitain en 2011.

Le détail des informations codées dans la base et le processus de codage sont expliqués en détail dans le livrable 1.2. Un effort tout particulier a été fait pour déterminer les configurations accidentelles, pour identifier le type de défaillance qu'ont pu avoir les impliqués, pour estimer leurs parts de responsabilité dans la survenue de l'accident. L'estimation des vitesses a également été réalisée dès que suffisamment d'éléments étaient disponibles dans les PV, comme les plans et les photos des véhicules. Ainsi ont été calculées les vitesses auxquelles les véhicules se déplaçaient avant la situation de rupture et les vitesses auxquelles les chocs se sont produits, y compris pour les chocs sur des piétons.

3.2 Calcul et prise en compte de la pondération des données

Comme décrit ci-dessus, la base VOIESUR est constituée de trois parties selon des probabilités de tirage inégales. Or des travaux antérieurs de l'Umrestte (Amoros, Martin et al. 2008) ont largement démontré que les nombres d'accidents corporels étaient largement et sélectivement sous-estimés (Tarko and Azam 2011). Pour fournir des inférences valides à partir des données de VOIESUR, il convient de leur appliquer des pondérations adéquates, et de tenir compte ensuite de ces pondérations dans les estimations fournies.
Concernant les accidents mortels, le recueil est considéré exhaustif. Le poids appliqué aux accidents mortels et aux tués sera donc Pk=1.
Concernant les accidents corporels non mortels autres que ceux du département du Rhône, un tirage aléatoire au 1/20ème de l'ensemble des PV non mortels a été effectué par l'organisme TransPV. Le poids à appliquer à ces données est donc 20. Autrement dit, alors que chaque PV mortel observé comptera pour Pk=1, chaque PV non mortel comptera pour Pk=20.
Par ailleurs, les statistiques officielles produites par l'ONISR chaque année reposent sur l'informatisation d'une partie des informations contenues dans les PV pour constituer les BAAC (Bulletins d'Analyse des Accidents de la Circulation routière). Hors nous avons constaté qu'un certain nombre de PV n'ont pas de BAAC, et que la réciproque est vraie. Les raisons de ces différences sont évoquées dans le livrable 3. Les BAAC, et non les PV, étant la base des études d'accidentalité, il apparait nécessaire de redresser l'échantillon de PV pour coller au mieux aux BAAC. Les coefficients de redressement Rj sont obtenus à partir du croisement des observations sur l'ensemble des facteurs déterminés comme pertinents (cf. livrable 3).

Enfin le dernier niveau de pondération qui peut être utilisé corrige de la sous-estimation déjà évoquée les effectifs obtenus à partir des BAAC, sous-estimation qui dépend en particulier de la gravité de l'accident, de la présence d'un tiers ou du type d'usagers impliqués. Les coefficients de correction correspondants Ci sont estimés grâce à la comparaison, possible dans le département du Rhône, des BAAC et du Registre des accidents de la circulation routière dans le Rhône, qui tire son information de l'ensemble des services de soin qui prennent en charge les accidentés de la route. Ces coefficients de correction sont

obtenus en utilisant une méthode de capture-recapture, puis une méthode de projection, ces deux étapes étant basées sur un certain nombre de conditions qui ont pu être validées. Le détail de la méthode est fourni dans le livrable 3. Les coefficients sont fournis au niveau des usagers et des accidents.

Ainsi les analyses statistiques qui suivent, et qui portent sur l'ensemble des accidents corporels (mortels ou non mortels), doivent faire intervenir :

- soit les poids de redressement pour être "au niveau des BAAC", donc Pk x Rj
- soit les poids de redressement pour produire des estimations corrigeant également de la sous-estimation des BAAC et de leurs biais, donc Pk x Rj x Ci

Les estimateurs utilisés ensuite doivent absolument tenir compte de ces pondérations, sous peine d'obtenir des variances artificiellement trop faibles, et donc des inférences erronées. En pratique, la plupart des calculs produits dans ce livrable utilisent les procédures qui tiennent compte des pondérations et qui s'intitulent "survey…" dans le logiciel SAS version 9.3 (procédures surveymeans, surveyfreq, surveylogistic). Le logiciel R a également été largement utilisé. A noter que d'autres logiciels tels que Stata ou Sundaan ont également des procédures adaptées à la prise en compte de plans d'échantillonnage complexes.

3.3 Méthode d'estimation des vitesses

De façon incontestable, la vitesse à laquelle le ou les véhicules se déplacent joue un rôle prépondérant dans la survenue de l'accident, qu'il implique un piéton ou non. Et la vitesse à laquelle le choc se produit joue également un rôle essentiel sur les conséquences corporelles de l'accident.

Les données recueillies dans les PV de VOIESUR permettent dans un grand nombre de cas les estimations de la vitesse initiale, définie comme la vitesse du véhicule impliqué avant tout événement lié à l'accident, et de la vitesse au choc, définie comme la vitesse du centre de gravité du véhicule immédiatement avant le choc.

Ces estimations sont possibles à condition que le PV contienne les éléments suivants :

- Un plan de l'accident à l'échelle, avec la position finale des véhicules, du ou des piétons percutés, la précision des zones de collision, les traces éventuelles laissées par les véhicules et la direction de déplacement des véhicules avant l'accident.
- Un descriptif de l'état de la route, notamment de l'état de surface.
- Des photos permettant de comprendre la collision et d'évaluer la sévérité des chocs.
- Des témoignages sur la séquence de l'accident.

Une fois ces éléments réunis, le principe de calcul est de déterminer la vitesse du ou des véhicules à différentes étapes de leur accident en chronologie inverse (post collision, collision, pré collision). En partant de la position finale, pour laquelle la vitesse est nulle, et en supposant le mouvement uniformément décéléré, on en déduit les vitesses de sortie de choc en mesurant sur le plan les distances parcourues après le choc. En utilisant les valeurs de ces vitesses de sorties en norme et en direction, il est alors possible de résoudre le système d'équations de conservation de l'énergie et de quantité de mouvement pour estimer les vitesses en entrée de choc. La vitesse initiale est ensuite évaluée, en considérant encore le mouvement uniformément décéléré (ou accéléré). Ces estimations peuvent être affinées en utilisant les éventuels témoignages sur les vitesses observées.

4 RÉSULTATS

Après une description générale des données disponibles sur les piétons, les différents risques de survenue de l'accident piéton (sécurité primaire) et ses facteurs aggravants (sécurité secondaire) seront estimés.
L'analyse portera premièrement sur les configurations accidentelles. Après regroupement, ces configurations seront comparées aux résultats produits dans la littérature, notamment les résultats de projets européens récents (Aprosys, AsPeCSS). Nous rechercherons parmi les caractéristiques précédemment décrites quels sont les facteurs associés à la survenue de ces différentes configurations accidentelles. Enfin la responsabilité du conducteur et du piéton et le type de défaillance identifiée seront examinés en fonction des configurations accidentelles.
Les caractéristiques générales des accidents (localisation, période dans la journée, conditions météorologiques, localisation, en intersection, emplacement du piéton lors de la collision), du piéton (état vital, sexe, âge), du véhicule impliqué (type de véhicule, partie heurtante, vitesse estimée initialement et au moment du choc) et du conducteur (âge, sexe) seront ensuite décrites.
Les facteurs à l'origine des accidents seront ensuite estimés par l'intermédiaire de la responsabilité des conducteurs et des piétons.

En termes de sécurité secondaire, le rôle de la vitesse au choc fera l'objet d'une analyse poussée. Des courbes de risque représentant la probabilité de décès en fonction de la vitesse et d'autres covariables seront produites.
Enfin une description lésionnelle complète du piéton sera présentée, avec un focus sur les régions corporelles les plus souvent ou les plus gravement atteintes.

4.1 Effectifs observés et estimés d'accidents mortels et d'accidents corporels non mortels

Le bilan des accidents piétons (1vehicule/1piéton) dans l'échantillon s'établit comme suit :

- 428 accidents mortels (424 piétons et 4 conducteurs tués)
- 460 accidents 1/20ème non mortels

Le Tableau 1 montre les effectifs estimés (et leurs intervalles de confiance) selon qu'on utilise le poids de sondage Pk, ou les poids "complets" Pk x Rj x Ci tenant compte du redressement PV-BAAC et des coefficients de correction du sous enregistrement.

Tableau 1 : Effectifs observés et estimés une fois pondérés

Accidents corporels observés		Accidents Pondérés			
Mortels	Non mortels 1/20	Poids de sondage		Poids final	
Effectif	Effectif	Effectif	IC 95%	Effectif	IC 95%
428	460	9628	[9072 ; 10184]	22375	[20621 ; 24129]

A noter que le chiffre de 9628 ne correspond pas exactement à celui observé dans les BAAC puisque les coefficients de redressement Rj ne lui ont pas été appliqués.

Ces pondérations sont indispensables dès lors que l'on s'intéresse à la gravité des atteintes des impliqués dans les accidents. Ainsi le Tableau 2 montre les proportions de tués et blessés hospitalisés ou non selon les deux niveaux de poids possibles.

Tableau 2 : Proportions de tués et de blessés hospitalisés ou non selon les deux niveaux de poids

Gravité des blessures	Accidents observés	Accidents pondérés					
		Poids de sondage			Poids final		
	Effectif observé	Effectif estimé	% estimé	IC 95%	Effectif estimé	% estimé	IC 95%
Tué	424	424	4,4	[3,8 ; 4,9]	424	1,9	[1,6 ; 2,2]
Blessé hospitalisé	149	2961	30,8	[26,7 ; 34,8]	4152	18,6	[15,5 ; 21,6]
Blessé non hospitalisé	199	3942	40,9	[36,6 ; 45,3]	12195	54,5	[49,5 ; 59,4]
Blessé, durée d'hospitalisation inconnue	116	2301	23,9	[20,1 ; 27,7]	5604	25,0	[20,8 ; 29,3]
Total	888	9628	100,0		22375	100,0	

Comme attendu, l'utilisation des facteurs d'extrapolation, en multipliant par un facteur moyen de 3 les effectifs de victimes corporelles non tuées et particulièrement celui des victimes non hospitalisées, modifie fortement à la baisse les proportions estimées de tués et blessés hospitalisés. Ainsi la proportion de tués parmi l'ensemble des piétons blessés (la létalité) est estimée à 1,9.

4.2 Configurations accidentelles

Un scénario d'accident de la circulation routière peut être défini comme un déroulement prototypique correspondant à un groupe d'accidents présentant des similitudes d'ensemble du point de vue de l'enchaînement des faits et des relations de causalité, dans les différentes phases conduisant à la collision.

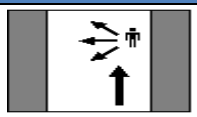
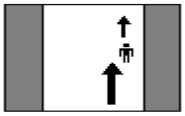
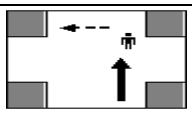
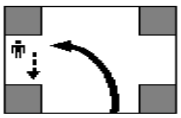
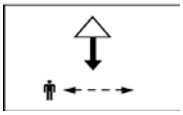
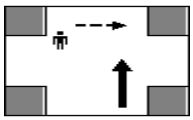
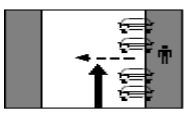
37 types d'accidents impliquant un piéton ont été codées dans la base VOIESUR (Voir Annexe 1 pour les détails de la fréquence de ces typologies dans les accidents mortels et non mortels).

Figure 1 : types d'accident impliquant un piéton dans la base VOIESUR

Les 9 typologies les plus fréquentes, soit pour les accidents mortels, soit pour les non mortels, sont indiquées dans le Tableau 3. La plupart des accidents piétons ont lieu quand le piéton traverse la chaussée, hors ou en intersection, éventuellement masqué par d'autres véhicules.

T1 (25,5%) et T2 (23,7%) sont les typologies les plus fréquentes, représentant près de 50% des accidents piétons mortels et 40% des non mortels. La typologie T3 "Piéton de dos longeant la trajectoire du véhicule" ne représente que 2,4% chez les accidents piétons non mortels, mais 11% des accidents mortels. La typologie T8 (piéton étant couché ou étendu sur la chaussée) est rare mais n'est observée que pour les accidents mortels. Les accidents en intersection sont plus fréquents pour les accidents non mortels, sans doute associés à des vitesses de percussion moindre, contrairement à la configuration T3.

Tableau 3 : typologies les plus fréquentes parmi les accidents mortels et non mortels

Typologies d'accidents piétons		Accidents mortels	Accidents non mortels
	T1 : Piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche	25,6%	25,6%
	T2 : Piéton traversant la chaussée de la gauche vers la droite	23,5%	14,6%
	T3 : Piéton de dos longeant la trajectoire du véhicule	11,1%	2,4%
	T4 : Piéton en intersection; véhicule allant tout droit avec piéton traversant après l'intersection de la droite vers la gauche	2,1%	9,7%
	T5 : Piéton en intersection; véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant sur axe perpendiculaire de la droite vers la gauche	1,6%	6,7%
	T6 : Piéton heurté par un véhicule en marche arrière	6,8%	6,5%
	T7 : Piéton en intersection; véhicule allant tout droit avec piéton traversant après l'intersection de la gauche vers la droite	4,1%	5,7%
	T8 : Piéton couché ou étendu sur la chaussée (généralement piéton alcoolisé)	3,8%	0%
	T9 : Piéton traversant de droite à gauche initialement masqué par des véhicules en stationnement et heurté par un véhicule venant de sa gauche	2,5%	5,2%
Total	Les 9 typologies les plus fréquentes	81,1%	76,4%

Parmi les 37 pictogrammes servant à coder les accidents de piétons dans la base, 30 sont regroupés en 8 configurations selon le tableau suivant. Les 7 autres entrent dans la catégorie "autre configuration", qui comprend aussi les configurations accidentelles qui n'ont pas pu être définies. Ces regroupements ont deux objectifs :

- permettre la comparaison de leur répartition par rapport à celles obtenues dans d'autres pays et décrites dans le projet AsPeCSSs,
- Identifier les facteurs associés à ces différentes configurations, et notamment les défaillances qui ont pu être notées, que ce soit pour le piéton ou pour le conducteur.

Tableau 4 : regroupement par ensemble de pictogrammes

Configurations	Regroupement	Description
S1	803, 833	Véhicule allant tout droit, piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche
S2	804, 832, 834	Véhicule allant tout droit, piéton traversant la chaussée de la gauche vers la droite
S3	814, 815	Véhicule allant tout droit, piéton traversant en aval d'une intersection
S4	812, 813, 822, 823	Véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant la chaussée
S5	810, 811, 820, 821	Véhicule en tourne à droite avec piéton traversant la chaussée
S6	830, 831, 840, 841, 842, 843, 844	Piéton traversant la chaussée initialement masqué
S7	801, 802, 805, 806, 807, 808, 809	Piéton longeant la trajectoire sur la chaussée
S8	853	Piéton heurté par un véhicule en marche arrière
S9		Autres configurations ou configuration inconnue

Le Tableau 5 décrit la répartition des accidents mortels et non mortels selon ces regroupements de configurations accidentelles.

Tableau 5 : Répartition des accidents selon les configurations accidentelles regroupées en 9 catégories

Configurations	Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés (mortels+non mortels)					
					Poids de sondage			Poids final		
	N	%	N	%	N estimé	% estimé	IC 95%	N estimé	% estimé	IC 95%
S1	101	23,6	103	22,4	2161	22,4	[18,8 ; 26,1]	5144	23,0	[18,4 ; 27,6]
S2	93	21,7	59	12,8	1273	13,2	[10,3 ; 16,2]	2824	12,6	[9,4 ; 15,8]
S3	25	5,8	62	13,5	1265	13,1	[10,1 ; 16,1]	2902	13,0	[9,7 ; 16,2]
S4	15	3,5	48	10,4	975	10,1	[7,5 ; 12,8]	2315	10,3	[7,4 ; 13,3]
S5	18	4,2	25	5,4	518	5,4	[3,4 ; 7,4]	1146	5,1	[3,1 ; 7,2]
S6	23	5,4	54	11,7	1103	11,5	[8,6 ; 14,3]	2641	11,8	[8,6 ; 15,0]
S7	60	14,0	17	3,7	400	4,2	[2,5 ; 5,8]	712	3,2	[1,7 ; 4,6]
S8	27	6,3	26	5,7	547	5,7	[3,7 ; 7,7]	1277	5,7	[3,5 ; 7,9]
S9	66	15,4	66	14,4	1386	14,4	[11,3 ; 17,5]	3412	15,2	[11,1 ; 19,4]
Total	428	100,0	460	100,0	9628	100,0		22375	100,0	

Ainsi au vu du Tableau 5, la configuration "le piéton traverse la chaussée hors intersection alors que le véhicule va tout droit" est la plus fréquente (36%), et deux fois plus fréquente quand le piéton traverse la chaussée de droite à gauche par rapport au sens de circulation du véhicule, autrement dit quand il commence sa traversée de chaussée. 13% des accidents surviennent alors que le véhicule roule tout droit et que le piéton traverse en aval d'une intersection. Quand le véhicule tourne, et que le piéton traverse, c'est deux fois plus souvent quand le véhicule tourne à gauche, donc en coupant la voie opposée. Enfin les cas où le piéton (ou le véhicule) était masqué représentent 12% des configurations.

4.2.1 Comparaison avec les données anglaises et allemandes publiées dans le projet ASPECSS

Les statistiques publiées concernent les accidents impliquant un piéton et un VL en choc frontal. Nous effectuons donc la même sélection sur nos données, avec également la même définition des configurations d'accidents que dans le projet ASPECSS. Le Tableau 6 porte sur les accidents mortels et sur l'ensemble des accidents corporels.

Tableau 6 : Aperçu des données nationales sur les accidents mortels et corporels en pourcentage par configuration pour GB, Allemagne et France

		Accidents mortels			Accidents corporels		
Configuration	**Description**	**GB (78%)**	**Allemagne (87%)**	**France (86.1%)**	***GB (79%)***	**Allemagne (63%)**	**France (86.4%)**
1	Piéton traversant la chaussée à partir du côté proche du VL	23	23	23,6 (20,8/2,8)[2]	26	19	28,6 (21,2/7,4)
2	Piéton traversant la chaussée à partir du côté éloigné du VL	20	40	34,7 (30,1/3,6)	13	18	21,3 (14,5/6,8)
3	Véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant	1	3	3,2	4	5	15,6
4	Véhicule en tourne à droite avec piéton traversant	1	2	2,8	2	2	8,8
5	Piéton traversant initialement masqué	6	9	6,9	12	12	10,3
6	Piéton longeant sur la chaussée	27	11	14,8	22	7	1,8

Concernant les accidents mortels, les répartitions France et Allemagne sont très proches. La répartition de la Grande Bretagne est assez similaire, avec une configuration 2 moins fréquente, et surtout une proportion d'accidents avec le piéton longeant la chaussée beaucoup plus élevée. Il est bien sûr possible que cette importante différence soit le reflet de la réalité accidentologique, mais il faudrait s'assurer que les mêmes définitions de configurations accidentelles ont bien été utilisées.

[2] (20.8/2.8) : Hors intersection/ En intersection

Ces remarques sont aussi valables pour les accidents corporels, mais avec des proportions d'accidents avec véhicule tournant nettement plus élevées pour la France.

4.2.2 Facteurs associés aux configurations accidentelles

Les trois tableaux suivants montrent les répartitions des huit configurations d'accidents précédemment définies selon des caractéristiques de visibilité, du conducteur et du véhicule impliqué. Le test du Chi2 de Rao-Scott a été utilisé pour tenir compte de la pondération des données dans la comparaison des proportions. Pour chaque variable, les proportions significativement différentes pour une configuration comparativement à toutes les autres sont indiquées en gras dans les tableaux.

Tableau 7 : Configuration d'accident et conditions de visibilité (% en ligne)

	Période		Temps		
Configuration d'accidents	**Jour**	**Nuit**	**normal**	**éblouissant**	**Pluie**
S1 : Véhicule allant tout droit, piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche	80,7	19,3	86,1	2,4	11,5
S2 : Véhicule allant tout droit, piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche	75,7	24,4	71,6	**1,4**	**26,9**
S3 : En intersection, véhicule allant tout droit avec piéton traversant	77,9	22,1	83,4	4,2	12,5
S4 : Véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant la chaussée	76,3	23,7	66,6	**10,2**	**23,2**
S5 : Véhicule en tourne à droite avec piéton traversant la chaussée	69,7	30,3	67,0	**15,9**	**17,1**
S6 : Piéton traversant la chaussée initialement masqué	90,8	**9,2**	88,1	3,4	8,5
S7 : Piéton longeant sur la chaussée	69,9	30,1	95,0	**0,1**	**4,9**
S8 : Piéton heurté par un véhicule en marche arrière	81,2	18,8	89,8	0,0	10,2
S9 : Autres configurations	61,0	39,1	82,0	2,7	15,3
Total	76,6	23,4	81,0	4,0	15,0

Ainsi on observe une proportion de piétons traversant la chaussée initialement masqués aux conducteurs très faible de nuit. Concernant les conditions météorologiques, la proportion de piétons heurtés en traversant la chaussée de la droite vers la gauche est plus élevée par temps de pluie. Elle est aussi plus élevée pour les véhicules tournant en intersection par temps de pluie et par temps éblouissant, particulièrement quand le véhicule tourne à droite.

Tableau 8 : Configuration d'accident et caractéristiques du conducteur (sexe, âge, alcoolémie), (% en ligne)

	Sexe		Age				Test d'alcoolémie		
Configuration d'accidents	Femmes	Hommes	<25	25-44	44-65	>=65	Positif	Négatif	Inconnu
S1 : Véhicule allant tout droit, piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche	16,3	83,7	18,5	44,1	28,2	9,2	0,1	99,9	21,3
S2 : Véhicule allant tout droit, piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche	**39,0**	**61,0**	18,7	34,9	25,3	21,1	1,3	98,7	22,0
S3 : En intersection, véhicule allant tout droit avec piéton traversant	29,3	70,8	10,7	46,7	32,2	10,5	0,1	99,9	17,7
S4 : Véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant la chaussée	24,7	75,4	17,9	46,0	24,8	11,3	1,5	98,5	11,6
S5 : Véhicule en tourne à droite avec piéton traversant la chaussée	**5,4**	**94,6**	5,0	41,2	36,0	17,8	6,2	93,8	15,8
S6 : Piéton traversant la chaussée initialement masqué	22,5	77,6	17,0	54,2	22,0	6,8	2,3	97,7	9,3
S7 : Piéton longeant sur la chaussée	**5,5**	**94,5**	33,4	41,7	14,8	10,1	**13,5**	**86,5**	**62,5**
S8 : Piéton heurté par un véhicule en marche arrière	15,0	85,0	**32,8**	**28,5**	**35,7**	**3,1**	0,0	100,0	25,7
S9 : Autres configurations	26,6	73,4	8,0	40,2	30,3	21,6	11,2	88,8	36,3
Total	23,0	77,0	16,3	43,0	28,0	12,8	2,0	76,0	22,0

Les conducteurs femmes sont relativement plus souvent impliquées en allant tout droit alors que le piéton traverse de droite à gauche. A l'inverse les femmes sont très peu impliquées dans les configurations S5 et S7, c'est-à-dire quand elles tournent à droite en intersection et qu'un piéton traverse, ou quand un piéton marche sur la chaussée en la longeant. Concernant l'âge des conducteurs, le heurt du piéton en marche arrière apparait plus fréquent pour les plus jeunes, alors que les plus âgés sont plus souvent impliqués en allant tout droit alors qu'un piéton traverse de la droite vers la gauche. Enfin la proportion de conducteurs alcoolisés est la plus élevée quand il heurte un piéton marchant en long sur la chaussée, mais la très forte proportion de valeurs inconnues rend l'interprétation délicate.

Tableau 9 : Configuration d'accident et type de véhicule impliqué, sa vitesse initiale estimée et le dépassement de la vitesse autorisée (% en ligne)

	Type de véhicule						Dépassement vitesse réglementaire		
Configuration d'accidents	Vélo	2RM	VL	VUPL	Autres	Vitesse initiale	Non	Oui	Inconnu
S1 : Véhicule allant tout droit, piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche	**5,3**	**25,0**	**63,6**	**2,2**	3,8	34,2	91,5	8,5	59,4
S2 : Véhicule allant tout droit, piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche	0,0	10,9	81,9	4,6	2,6	35,6	93,5	6,5	64,7
S3 : En intersection, véhicule allant tout droit avec piéton traversant	**2,0**	**27,8**	**65,8**	**2,3**	**2,1**	32,1	99,5	0,5	60,5
S4 : Véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant la chaussée	0,0	5,0	77,7	13,3	4,0	**19,4**	100,0	0,0	67,8
S5 : Véhicule en tourne à droite avec piéton traversant la chaussée	0,0	2,5	86,1	8,5	2,9	**21,1**	90,9	9,1	69,8
S6 : Piéton traversant la chaussée initialement masqué	0,0	18,7	69,9	9,0	2,4	32,2	97,5	2,5	57,4
S7 : Piéton longeant sur la chaussée	19,2	16,4	45,5	6,5	12,5	**51,0**	93,3	6,7	74,5
S8 : Piéton heurté par un véhicule en marche arrière	0,0	0,0	66,6	28,6	4,8	**7,5**	100,0	0,0	69,8
S9 : Autres configurations	1,8	12,3	71,2	9,0	5,8	43,1	93,5	6,5	61,0
Total	2,4	16,0	70,3	7,5	3,9		95,2	4,8	62,6

Le Tableau 9 montre que les usagers de deux-roues motorisés sont plus souvent impliqués en roulant en ligne droite alors qu'un piéton traverse la chaussée de droite à gauche, ou en intersection, alors qu'ils sont très peu impliqués en tournant en intersection. Comme attendu, la vitesse estimée à laquelle le véhicule roulait avant le choc est faible quand le véhicule tourne en intersection, très faible en cas de marche arrière, et la plus élevée quand le véhicule heurte un piéton marchant en long sur la chaussée. Concernant le dépassement de la vitesse réglementaire, les différences sont assez faibles et les valeurs inconnues trop fréquentes pour en tirer une inférence valide.

4.2.3 Responsabilité du conducteur et du piéton selon la configuration accidentelle

Le Tableau 10 précise la répartition des responsabilités selon la configuration d'accident telle que définie précédemment. Le Tableau 10 et les suivants montrent les proportions estimées à partir des données extrapolées.

Tableau 10 : Distribution de la responsabilité chez les conducteurs et les piétons pour les différentes configurations d'accidents (% en ligne)

Configuration d'accidents	Conducteur	Piéton	Deux
S1 : Véhicule allant tout droit, piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche	44,5	43,4	12,1
S2 : Véhicule allant tout droit, piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche	38,5	57,0	4,5
S3 : En intersection, véhicule allant tout droit avec piéton traversant	43,9	42,4	13,7
S4 : Véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant la chaussée	**78,3**	9,5	12,1
S5 : Véhicule en tourne à droite avec piéton traversant la chaussée	**80,4**	5,8	13,8
S6 : Piéton traversant la chaussée initialement masqué	23,0	**70,1**	6,9
S7 : Piéton longeant sur la chaussée	**61,0**	23,7	15,3
S8 : Piéton heurté par un véhicule en marche arrière	**69,0**	9,9	21,1
S9 : Autres configurations	69,9	25,9	4,2
Total	52,2	37,4	10,4

La responsabilité est majoritairement attribuée au conducteur quand il tourne à gauche ou à droite dans une intersection. Elle l'est aussi quand le piéton longe la chaussée et quand le véhicule est en marche arrière. Le piéton est en revanche le plus souvent considéré comme responsable quand il est initialement masqué pour le conducteur.

4.2.4 Défaillance et configuration accidentelle

La défaillance fonctionnelle humaine correspond à une fonction défaillante dans le processus humain de réalisation d'une tâche, du traitement de l'information à l'exécution de la tâche. La mauvaise réalisation ou l'absence de réalisation de cette tâche entraîne un basculement de la situation de conduite normale vers une situation d'accident. Cette défaillance a été codée dans VOIESUR avec un niveau de détail variable. Les tableaux suivants déclinent le niveau de défaillance le plus général selon la configuration d'accident, le premier pour le conducteur, le deuxième pour le piéton. Les estimations de pourcentages sont faites à partir des données pondérées.

Tableau 11 : Distribution de la défaillance côté conducteur selon la configuration d'accident (% en ligne)

Config. Accident.	Détection	Diagnostic	Pronostic	Décision	Exécution	Défaillance globale	Aucune défaillance	Total	Inconnu
S1	54,5	3,9	14,4	10,5	3,8	0,1	12,8	100,0	10,0
S2	70,6	1,0	9,7	1,2	3,3	0,1	14,3	100,0	9,9
S3	52,7	0,0	28,6	5,1	4,3	0,0	9,3	100,0	10,5
S4	96,7	0,0	0,1	1,5	1,8	0,0	0,0	100,0	7,9
S5	84,0	2,9	6,8	0,2	0,0	6,1	0,0	100,0	13,9
S6	72,1	0,0	13,0	2,1	0,0	0,0	12,7	100,0	1,1
S7	50,1	0,0	21,6	11,5	9,9	6,8	0,2	100,0	22,9
S8	89,6	0,0	5,0	2,9	0,2	2,3	0,1	100,0	0,0
S9	51,1	10,0	6,9	15,5	7,0	1,3	8,3	100,0	25,0
Total	66,3	2,5	12,2	6,2	3,2	0,8	8,8	100,0	11,1

Comme attendu pour le conducteur, la défaillance de type détection est très majoritaire quelle que soit la configuration, et spécialement pour les véhicules tournant à gauche alors qu'un piéton traverse, et bien sûr en cas de marche arrière. La deuxième défaillance la plus souvent notée est l'erreur de pronostic. Elle est le plus souvent relevée dans le cas du véhicule allant tout droit alors que le piéton traverse la chaussée, au niveau d'une intersection, ainsi que dans le cas du piéton longeant sur la chaussée.

Tableau 12 : Distribution de la défaillance côté piéton selon la configuration d'accident (% en ligne)

Config. Accident.	Détection	Diagnostic	Pronostic	Décision	Exécution	Défaillance globale	Aucune défaillance	Total	Inconnu
S1	30,9	5,5	15,9	29,7	0,0	7,0	11,0	100,0	16,0
S2	18,3	4,1	20,0	38,4	0,1	4,3	14,9	100,0	27,2
S3	18,0	5,1	7,0	37,8	0,0	3,8	28,3	100,0	18,8
S4	28,5	5,2	20,7	2,2	0,0	1,5	41,9	100,0	24,9
S5	19,2	0,1	36,5	8,1	0,1	0,0	36,0	100,0	3,5
S6	36,7	0,0	10,2	39,9	0,0	6,3	6,9	100,0	9,2
S7	13,4	0,2	13,2	14,6	4,8	16,4	37,5	100,0	8,2
S8	24,6	15,8	17,0	30,4	0,0	0,2	12,1	100,0	29,7
S9	28,6	0,9	3,6	17,6	5,1	3,6	40,6	100,0	14,2
Total	26,4	3,8	14,2	26.7	1,0	4,7	23,1	100,0	17,5

Le type de défaillance identifié pour le piéton est très différent de celui du conducteur, avec autant de défaillances de type décision que de type détection, et 23% de piétons pour lesquels aucune défaillance n'est identifiée. Les erreurs qualifiées de décision se produisent en traversée de chaussée alors que le véhicule va tout droit, assez souvent en cas de véhicule en marche arrière, ou quand le piéton est masqué au conducteur du véhicule.

La défaillance dite "globale" est souvent notée en cas d'alcoolémie positive pour le conducteur comme pour le piéton, et très souvent quand le piéton marche sur et le long de la chaussée, mais la mesure d'alcoolémie n'est effective que pour 40% des piétons.

4.3 Caractéristiques générales des circonstances d'accident, des véhicules, des conducteurs et des piétons impliqués

4.3.1 Conditions et lieux des accidents

Le tableau suivant décrit les proportions d'accidents piétons selon qu'ils sont survenus le jour ou la nuit, par temps sec ou pas, en agglomération ou en rase campagne, dans une intersection ou hors.

Tableau 13 : Distributions des piétons tués et blessés selon quelques circonstances des accidents

Circonstances		Accidents mortels (observés)		Accidents 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
						Poids de sondage			Poids final		
		N	%	N	%	N estimé	% estimé	IC 95%	N estimé	% estimé	IC 95%
Luminosité	Jour	269	62,9	348	75,7	7229	75,1	[71,3; 78,8]	17153	76,7	[72,4;81,0]
	Nuit	159	37,1	112	24,3	2399	24,9	[21,2 ; 28,7]	5222	23,3	[19,0;27,6]
Météo	Temps normal	350	81,8	374	81,3	7830	81,3	[77,9 ; 84,7]	18144	81,1	[77 ; 85,2]
	Temps éblouissant	22	5,1	18	3,9	382	4,0	[2,3 ; 5,7]	883	3,9	[2,1 ; 5,8]
	Autre	56	13,1	68	14,8	1416	14,7	[11,6 ; 17,8]	3348	15,0	[11,1 ; 18,8]
Localisation	En agglomération	297	69,4	437	95,0	9037	93,9	[91,9 ; 95,8]	21254	95,0	[92,8 ; 97,1]
	En rase campagne	131	30,6	23	5,0	591	6,1	[4,2 ; 8,0]	1121	5,0	[2,9;7,2]
Intersection	Non	238	55,6	133	28,9	2898	30,1	[26,1;34,1]	6576	29,4	[24,7;34,1]
	Oui	190	44,4	327	71,1	6730	69,9	[65,9;73,9]	15799	70,6	[65,9;75,3]

On peut relever que la majorité des accidents de piétons interviennent de jour par temps "normal" et en intersection. Et que 95% de ces accidents se produisent en agglomération. On peut noter également que 37% des accidents provoquant la mort d'un piéton surviennent la nuit et 30% en rase campagne. Les estimations en termes de probabilités d'être tué pour un piéton sont présentées plus loin dans ce document.

Le Tableau 14 suivant détaille la répartition des accidents piétons selon l'emplacement du piéton par rapport à la chaussée.

Tableau 14 : Distributions des piétons tués et blessés selon l'emplacement du piéton par rapport à la chaussée

Localisation et manœuvre du piéton	Accidents mortels (observés)		Accidents 1/20 non mortels (observés)		Accidents pondérés					
					Poids de sondage			Poids final		
	N	%	N	%	N estimé	% estimé	IC 95%	N estimé	% estimé	IC 95%
Traverse la chaussée sur passage piéton	126	29,4	202	43,9	4166	43,3	[38,9 ; 47,6]	10074	45,0	[39,9 ; 50,2]
Traverse la chaussée hors passage piéton	267	62,4	214	46,5	4547	47,2	[42,9 ; 51,6]	10121	45,2	[40,2 ; 50,3]
Autre/Inconnu	35	8,2	44	9,6	915	9,5	[6,9 ; 12,1]	2181	9,7	[6,8 ; 12,7]
Total	428	100,0	460	100,0	9628	100,0		22375	100,0	

90% des heurts de piétons se produisent sur la chaussée, de manière égale sur ou hors passage piéton, mais la proportion de tués est plus élevée hors passage piéton.

4.3.2 Véhicules et caractéristiques de l'impact

Le Tableau 15 décrit la répartition des accidents mortels et non mortels selon le véhicule heurtant le piéton.

Tableau 15 : Distributions des piétons tués et blessés selon la catégorie du véhicule heurtant

Catégorie de véhicules	Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
					Poids de sondage			Poids final		
	N	%	N	%	N estimé	% estimé	IC 95%	N estimé	% estimé	IC 95%
Vélo	3	0,7	10	2,2	203	2,1	[0,8 ; 3,4]	529	2,4	[0,9 ; 3,8]
Cyclo	6	1,4	31	6,7	626	6,5	[4,3 ; 8,7]	1464	6,5	[4,2 ; 8,9]
Moto	22	5,1	46	10,0	942	9,8	[7,2 ; 12,4]	2104	9,4	[6,6 ; 12,2]
VL	261	61,0	319	69,3	6641	69,0	[64,9 ; 73]	15746	70,4	[65,9 ; 74,8]
VU	48	11,2	28	6,1	608	6,3	[4,2 ; 8,4]	1347	6,0	[3,8 ; 8,3]
PL	60	14,0	6	1,3	180	1,9	[0,9 ; 2,9]	320	1,4	[0,3 ; 2,5]
TC	16	3,7	13	2,8	276	2,9	[1,4 ; 4,3]	562	2,5	[1,1 ; 3,9]
Autre/Inconnu	12	2,8	7	1,5	152	1,6	[0,5 ; 2,7]	302	1,4	[0,3 ; 2,4]
Total	428	100,0	460	100,0	9628	100,0		22375	100,0	

Le véhicule heurtant est un VL dans 70% des accidents corporels impliquant 1 véhicule et 1 piéton. C'est un deux-roues motorisé dans presque 17% des cas (une motocyclette dans 9,4%, un cyclomoteur dans 6,7%).

Tableau 16 : Distributions des piétons tués et blessés selon la localisation de l'impact principal sur le véhicule

Partie du véhicule heurtant	Accidents mortels (observés)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents pondérés					
					Poids de sondage			Poids final		
	N	%	N	%	N estimé	% estimé	IC 95%	N estimé	% estimé	IC 95%
Frontal	330	78,2	322	71,6	6770	71,9	[67,9 ; 75,8]	15883	72,7	[68,3;77,1]
Latéral	23	5,5	38	8,4	783	8,3	[5,8 ; 10,8]	1919	8,8	[5,8 ; 11,7]
Arrière	27	6,4	23	5,1	487	5,2	[3,2 ; 7,1]	1169	5,3	[3,2 ; 7,5]
Side-swipe	12	2,8	22	4,9	452	4,8	[2,9 ; 6,7]	1013	4,6	[2,6 ; 6,6]
Autre/inconnu	30	7,1	45	10,0	930	9,9	[7,2 ; 12,5]	1870	8,6	[6,0 ; 11,1]
Total	422	100,0	450	100,0	9422	100,0		21853	100,0	

Près de 73% des piétons sont heurtés par l'avant des véhicules, et 9% par le côté. A noter que la proportion de chocs par l'arrière des véhicules est d'environ 5%.

Après avoir été heurté par le véhicule ou parce qu'il était déjà allongé sur la voie, le piéton peut se faire rouler dessus par le véhicule, nous employons alors le terme "franchissement". Le Tableau 17 montre les proportions de franchissements et le Tableau 18 les décline selon le véhicule heurtant (hors deux-roues).

Tableau 17 : Franchissement du piéton

Franchissement	Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
					Poids de sondage			Poids final		
	N	%	N	%	N estimé	% estimé	IC 95%	N estimé	% estimé	IC 95%
Non	277	73,1	326	90,1	6797	89,2	[86,3 ; 92,2]	16292	91,6	[88,9 ; 94,3]
Oui	89	23,5	26	7,2	609	8,0	[5,4 ; 10,5]	1111	6,3	[3,9 ; 8,6]
Inconnu	13	3,4	10	2,7	213	2,8	[1,2 ; 4,4]	379	2,1	[0,8 ; 3,5]
Total	379	100,0	362	100,0	7619	100,0		17782	100,0	

Ainsi la proportion de piétons qui se font rouler dessus est relativement faible, 6,3%, mais elle est de 23,5% en cas d'atteinte mortelle. Nous verrons plus loin dans ce document l'importance de ce phénomène selon le type de véhicule heurtant et les conséquences sur la gravité des blessures.
Le tableau suivant montre les proportions de franchissements selon le véhicule heurtant (hors deux-roues).

Tableau 18 : Franchissement du piéton selon le type de véhicules

	Franchissement	Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
						Poids de sondage			Poids final		
		N	%	N	%	N estimé	% estimé	IC 95%	N estimé	% estimé	IC 95%
VL	Non	214	82,9	291	91,8	6034	91,5	[88,5 ; 94,4]	14666	93,5	[91,0 ; 96,0]
	Oui	33	12,8	18	5,7	393	6,0	[3,5 ; 8,4]	725	**4,6**	[2,5 ; 6,8]
	Inconnu	11	4,3	8	2,5	171	2,6	[0,9 ; 4,3]	294	1,9	[0,5 ; 3,2]
	Total	258	100,0	317	100,0	6598	100,0		15685	100,0	
VU	Non	36	76,6	22	81,5	476	81,1	[67,3 ; 94,9]	1070	81,1	[65,8 ; 96,4]
	Oui	11	23,4	4	14,8	91	15,5	[2,8 ; 28,2]	197	**14,9**	[1,1 ; 28,8]
	Inconnu	0	0	1	3,7	20	3,4	[0,0 ; 10,1]	52	4,0	[0,0 ; 11,8]
	Total	47	100,0	27	100,0	587	100,0		1320	100,0	
PL	Non	19	32,8	3	60,0	79	50,0	[21,1 ; 78,9]	94	43,6	[9,8 ; 77,4]
	Oui	37	63,8	1	20,0	57	36,1	[10,9 ; 61,2]	89	**41,5**	[6,0 ; 76,9]
	Inconnu	2	3,4	1	20,0	22	13,9	[0,0 ; 37,1]	32	14,9	[0,0 ; 40,7]
	Total	58	100,0	5	100,0	158	100,0		216	100,0	
TC	Non	8	50,0	10	76,9	208	75,4	[52,3 ; 98,4]	462	82,3	[63,3 ; 100,0]
	Oui	8	50,0	3	23,1	68	24,6	[1,6 ; 47,7]	100	**17,7**	[0,0 ; 36,7]
	Inconnu	0	0	0	0	0	0		0	0	
	Total	16	100	13	100,0	276	100,0		562	100,0	

41,5 % des piétons heurtés par un camion ont été victimes d'un franchissement, 17,7% quand il s'agit d'un TC, 14,9% quand il s'agit d'un VU et 4,6% contre un VL. Ainsi, comme attendu, la hauteur de caisse du véhicule favorise nettement le franchissement du piéton.

4.3.3 Caractéristiques des piétons et conducteurs impliqués

Les deux tableaux suivants montrent les distributions par âge et sexe des piétons et des conducteurs impliqués.

Tableau 19 : Distributions des piétons tués et blessés selon le sexe et l'âge des victimes piétons

		Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
						Poids de sondage			Poids final		
		N	%	N	%	N estimé	% estimé	IC 95%	N estimé	% estimé	IC 95%
Sexe	Femme	167	39,0	239	52,0	4947	51,4	[47,0 ; 55,8]	11359	50,8	[45,6 ; 55,9]
	Homme	261	61,0	221	48,0	4681	48,6	[44,2 ; 53,0]	11016	49,2	[44,1 ; 54,4]
	Total	428	100	460	100	9628	100		22375	100,0	
Age	<10	17	4,0	48	10,4	977	10,1	[7,5 ; 12,8]	2393	10,7	[7,7 ; 13,7]
	10-17	18	4,2	63	13,7	1278	13,3	[10,3 ; 16,3]	3279	14,7	[10,6 ; 18,7]
	18-24	25	5,8	41	8,9	845	8,8	[6,3 ; 11,3]	2069	9,2	[5,9 ; 12,5]
	25-34	27	6,3	34	7,4	707	7,3	[5,1 ; 9,6]	1831	8,2	[5,4 ; 10,9]
	35-44	19	4,5	48	10,4	979	10,2	[7,5 ; 12,8]	2386	10,7	[7,6 ; 13,7]
	45-54	47	11,0	56	12,2	1167	12,1	[9,3 ; 15,0]	2807	12,5	[9,3 ; 15,8]
	55-64	48	11,2	59	12,8	1228	12,8	[9,8 ; 15,7]	2827	12,6	[9,1 ; 16,2]
	65-74	57	13,3	55	12,0	1157	12,0	[9,2 ; 14,9]	2486	11,1	[8,2 ; 14,1]
	>=75	170	39,7	56	12,2	1290	13,4	[10,5 ; 16,3]	2296	10,3	[7,7 ; 12,9]
	Total	428	100,0	460	100,0	9628	100,0		22375	100,0	

Hommes et femmes sont également victimes en tant que piétons, et la répartition par tranches d'âge est assez régulière. Cependant les piétons hommes et les piétons âgés sont surreprésentés dans les accidents mortels. En effet 61% des tués sont des hommes, et les personnes âgées de 75 ans ou plus sont 12% dans les accidents non mortels alors qu'elles constituent presque 40% des tués.

Tableau 20 : Distributions par sexe et âge des conducteurs impliqués

Conducteur		Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
						Poids de sondage			Poids final		
		N	%	N	%	N estimé	% estimé	IC 95%	N estimé	% estimé	IC 95%
Sexe	Femme	90	21,3	107	23,3	2230	23,2	[19,5 ; 26,9]	5135	23,0	[18,6 ; 27,5]
	Homme	333	78,7	352	76,7	7373	76,8	[73,1 ; 80,5]	17172	77,0	[72,5 ; 81,4]
	Total	423	100,0	459	100,0	9603	100,0		22308	100,0	
Age	<18	4	0,9	11	2,4	224	2,3	[1,0 ; 3,7]	468	2,1	[0,8 ; 3,4]
	18-24	67	15,8	68	14,8	1427	14,9	[11,7 ; 18]	3169	14,2	[10,9 ; 17,5]
	25-34	86	20,3	100	21,8	2086	21,7	[18,1 ; 25,3]	4794	21,5	[17,5 ; 25,5]
	35-44	80	18,9	74	16,1	1560	16,2	[13 ; 19,5]	3612	16,2	[12,6 ; 19,8]
	45-54	82	19,4	65	14,2	1382	14,4	[11,3 ; 17,5]	3268	14,6	[10,8 ; 18,5]
	55-64	48	11,3	55	12,0	1148	12,0	[9,1 ; 14,8]	2971	13,3	[9,2 ; 17,4]
	65-74	19	4,5	33	7,2	679	7,1	[4,8 ; 9,3]	1636	7,3	[4,5 ; 10,2]
	>=75	28	6,6	26	5,7	548	5,7	[3,7 ; 7,7]	1213	5,4	[3,3 ; 7,6]
	Inconnu	9	2,1	27	5,9	549	5,7	[3,7 ; 7,8]	1177	5,3	[3,2 ; 7,3]
	Total	423	100,0	459	100,0	9603	100,0		22308	100,0	

Concernant les conducteurs impliqués, les trois quarts sont des hommes et la tranche d'âge la plus représentée est la tranche 25-34 ans.

4.3.4 Alcool et stupéfiants pour le conducteur et le piéton

La positivité à l'alcool est définie, après dosage sanguin (ou son équivalent éthylométrique), en cas de concentration supérieure au seuil légal de 0,5 g/L de sang (ou la moitié de cette valeur dans l'air expiré, valeur jugée équivalente). Le Tableau 22 décrit les mesures d'alcoolémie pour les conducteurs impliqués.

Tableau 21 : Positivité à l'alcool pour les conducteurs

Alcoolémie	Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
					Poids de sondage			Poids final		
	Nb	%	Nb	%	Nb estimé	% estimé	IC 95%	Nb estimé	% estimé	IC 95%
Négatif	368	87,0	351	76,5	7388	76,9	[73,2 ; 80,7]	16942	75,9	[71,4 ; 80,5]
Positif	27	6,4	11	2,4	247	2,6	[1,2 ; 3,9]	454	2,0	[0,8 ; 3,2]
Non réalisé / résultat inconnu	28	6,6	97	21,1	1968	20,5	[16,9 ; 24,1]	4912	22,0	[17,6 ; 26,5]
Total	423	100,0	459	100,0	9603	100,0		22308	100,0	

2,0% des conducteurs impliqués dans des accidents avec piétons ont une alcoolémie positive (soit 2,6% des conducteurs positifs parmi ceux pour lesquels la mesure a été faite).

La positivité aux stupéfiants est affirmée après un dosage sanguin révélant une concentration supérieure au seuil réglementaire défini pour chacune des quatre familles de stupéfiants inventoriés. Les seuils sont ainsi définis : Cannabis : THC+ si Δ9-THC ≥ 1 ng/ml de sang ; amphétamines : Amp+ si ≥ 50 ng/ml ; Cocaïne : Coc+ si ≥ 50 ng/ml ; Opiacés : Opi+ si ≥ 20 ng/ml).
A noter que, comme pour l'alcool avec le dépistage par éthylotest, le dosage sanguin est conditionné à un dépistage urinaire positif : tout conducteur n'ayant fait l'objet que d'un dépistage urinaire négatif est aussi considéré comme négatif à tout stupéfiant. Dans les résultats présentés (Tableau 22), a été considéré comme positif aux stupéfiants toute personne positive à une des familles de stupéfiants recherchés. Le THC représente plus de 95% des stupéfiants détectés.

Tableau 22 : Positivité aux stupéfiants pour les conducteurs

Stupéfiants	Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
					Poids de sondage			Poids final		
	Nb	%	Nb	%	Nb estimé	% estimé	IC 95%	Nb estimé	% estimé	IC 95%
Négatif	291	68,8	52	11,3	1331	13,8	[11,1 ; 16,7]	2437	10,9	[8,1 ; 13,7]
Positif	19	4,5	2	0,4	59	0,6	[0,03 ; 1,2]	96	0,4	[0,0 ; 0,9]
Non réalisé / résultat inconnu	113	26,7	405	88,3	8213	85,5	[82,7 ; 88,4]	19774	88,6	[85,8 ; 91,5]
Total	423	100,0	459	100,0	9603	100,0		22308	100,0	

Le dépistage des stupéfiants a été effectué et a donné un résultat dans 73,3% des accidents mortels, mais seulement dans 11,7% des conducteurs impliqués dans les accidents corporels. Parmi les conducteurs dépistés, 3,4% étaient positifs aux stupéfiants.
Concernant les piétons, la positivité à l'alcool est aussi relevée, mais moins souvent que pour les conducteurs, ainsi que le montre le Tableau 23. Le dépistage de stupéfiants n'est lui que trop rarement réalisé et noté dans les PV. Aucun résultat ne peut donc être produit.

Tableau 23 : Positivité à l'alcool pour les piétons

Alcoolémie	Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
					Poids de sondage			Poids final		
	Nb	%	Nb	%	Nb estimé	% estimé	IC 95%	Nb estimé	% estimé	IC 95%
Négatif	221	51,7	175	38,1	3721	38,6	[34,4 ; 42,9]	8632	38,6	[33,5 ; 43,6]
Positif	72	16,8	14	3,0	352	3,7	[2,1 ; 5,2]	596	2,7	[1,2 ; 4,1]
Non réalisé / résultat inconnu	135	31,5	271	58,9	5555	57,7	[53,4 ; 62,0]	13147	58,8	[53,7 ; 63,8]
Total	428	100,0	460	100,0	9628	100,0		22375	100,0	

Ainsi 2,7% des piétons accidentés ont une alcoolémie positive, soit 6,5% des piétons pour lesquels la mesure a été faite. Cette proportion est à rapprocher des 2,6% estimés pour les conducteurs pour lesquels la mesure a été effectuée. L'interprétation de ces proportions est cependant délicate car il est probable que les piétons pour lesquels la mesure est effectuée ne sont pas pris au hasard.

4.3.5 Eléments de comportement du conducteur

Puisque nous ne considérons que des situations de conduite qui ont abouti à un accident, les manœuvres d'urgence éventuellement effectuées par les conducteurs ont toutes échoué, même si certaines ont pu minimiser les conséquences du choc. Le Tableau 24 montre la répartition de ces tentatives regroupées en 5 modalités.

Tableau 24 : Manœuvres d'urgences du conducteur

Manœuvre urgence du conducteur	Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
					Poids de sondage			Poids final		
	Nb	%	Nb	%	Nb estimé	% estimé	IC 95%	Nb estimé	% estimé	IC 95%
Freinage	87	20,6	127	27,7	2627	27,4	[23,4 ; 31,3]	6190	27,7	[23,1 ; 32,4]
Evitement	31	7,3	33	7,2	691	7,2	[4,9 ; 9,5]	1713	7,7	[4,5 ; 10,9]
Freinage + évitement	35	8,3	29	6,3	615	6,4	[4,3 ; 8,5]	1329	6,0	[3,7 ; 8,2]
Aucune réaction	238	56,3	184	40,1	3918	40,8	[36,5 ; 45,1]	8907	39,9	[34,9 ; 44,9]
Autre/Inconnu	32	7,6	86	18,7	1752	18,2	[14,8 ; 21,7]	4170	18,7	[14,8 ; 22,6]
Total	423	100,0	459	100,0	9603	100,0		22308	100,0	

Parmi les cas où l'existence d'une manœuvre d'urgence a pu être estimée, près de la moitié des conducteurs n'ont eu aucune réaction, cette proportion montant à 60% pour les accidents mortels.

Vitesse

La vitesse (du centre de gravité du véhicule) au moment du choc a été estimée par expertise du PV en fonction de tous les éléments disponibles (traces de freinage, déformation du véhicule, distance de projection du piéton, etc.). La vitesse initiale à laquelle roulait le véhicule avant la situation d'urgence a été estimée de différentes façons (en "remontant" de la vitesse au choc, ou en se fiant aux éventuels témoignages).

Les 2 tableaux suivants montrent la disponibilité des estimations de vitesses pour les accidents mortels et non mortels, ainsi que les proportions de vitesses en excès par rapport à la vitesse autorisée sur le lieu de l'accident.

Tableau 25 : Disponibilité et moyenne des estimations de vitesses selon que l'accident est mortel ou non

	Effectif	Vitesse initiale		Vitesse au choc	
		% vitesse connue	moyenne de vitesse (km/h)	% vitesse connue	moyenne de vitesse (km/h)
Accidents non mortels	460	36,3	33,1	13,7	27,9
Accidents mortels	428	77,3	47,0	60,3	42,0

Ainsi, comme attendu, la moyenne des vitesses au choc est nettement plus élevée en cas d'accident mortel. Tout aussi attendu, mais plus gênant dans nos interprétations du rôle de

la vitesse, les déterminations de vitesses sont moins souvent possibles en cas d'accident non mortel.

Tableau 26: Répartition des vitesses en excès par rapport à la vitesse autorisée

Vitesse en excès	Accidents mortels (observé)		Accident 1/20 non mortels (observés)		Accidents Pondérés					
					Poids de sondage			Poids final		
	Nb	%	Nb	%	Nb estimé	% estimé	IC 95%	Nb estimé	% estimé	IC 95%
Non	275	65,2	154	34,8	3355	36,2	[31,9 ; 40,4]	7574	35,5	[30,5 ; 40,4]
Oui	53	12,6	11	2,5	273	2,9	[1,5 ; 4,3]	385	1,8	[0,8 ; 2,8]
Inconnu	94	22,3	278	62,8	5654	60,9	[56,6 ; 65,2]	13395	62,7	[57,7 ; 67,7]
Total	422	100,0	443	100,0	9282	100,0		21355	100,0	

On peut noter qu'un véhicule est estimé en excès de vitesse dans 12,6% des accidents mortels, contre 1,8% pour l'ensemble des accidents.

4.4 Facteurs causaux d'accidents piétons pour le conducteur et pour le piéton

En l'absence de données d'exposition et/ou de données de "non accidents", un moyen d'estimer les facteurs à l'origine des accidents (les causes) est d'utiliser la notion de responsabilité dans l'accident. Le principe est de considérer que les personnes estimées non responsables sont impliqués dans les accidents par hasard, qu'ils ont le seul tort d'être au mauvais endroit au mauvais moment. Ils peuvent en conséquence être considérés comme représentant la majorité des usagers se déplaçant sans avoir d'accident, et constituer ainsi des usagers de référence (témoins), avec l'avantage qu'on est sûrs qu'ils sont effectivement exposés. Ainsi les facteurs positivement liés à la responsabilité peuvent être considérés comme des facteurs favorisant la survenue de l'accident (Davis and Gao 1995; Lenguerrand, Martin et al. 2007).

Nous allons appliquer ce principe d'analyse d'une part pour les conducteurs impliqués dans un accident avec piéton, et d'autre part pour les piétons impliqués. Autrement dit, nous allons rechercher parmi les conducteurs les facteurs significativement liés au risque d'être responsable d'un accident piéton, et parmi les piétons les facteurs significativement liés au risque d'être responsable de son accident.
Les analyses sont effectuées séparément pour les accidents mortels et corporels non mortels. Ce choix est dicté par le nombre très élevé de valeurs manquantes dans les accidents corporels pour des facteurs très importants tels que la vitesse en excès ou la positivité aux stupéfiants.

Parmi les 888 accidents 1 véhicule / 1 piéton se trouvent 6 accidents dans lesquels il n'y a pas de conducteur dans le véhicule impliqué. Nous les excluons de cette analyse.

Tableau 27 : Répartition de la responsabilité de l'accident estimée par avis d'expert

Responsabilité	Accidents observés				Accidents pondérés			
	Mortels		Non mortels		Poids de sondage		Poids final	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Conducteur	175	41,4	220	47,9	4575	47,6	11184	50,1
Piéton	141	33,3	171	37,3	3561	37,1	8024	36,0
Les 2	95	22,5	49	10,7	1075	11,2	2217	9,9
Personne	1	0,2	1	0,2	21	0,2	61	0,3
indéterminée	11	2,6	18	3,9	371	3,9	822	3,7
Total	423	100,0	459	100,0	9603	100,0	21977	100,0

Le Tableau 27 montre que la responsabilité est estimée dans 96% des accidents. Elle est plus souvent attribuée au conducteur, et attribuée aux deux impliqués dans 10% des accidents.

Les principaux facteurs d'accident recherchés sont en lien avec l'usager: conduite à vitesse en excès, conduite sous l'emprise d'alcool ou de stupéfiant, facteur âge (jeune conducteurs, conducteurs âgés), piéton traversant hors passage piéton ou étant sous l'emprise de l'alcool,…

4.4.1 Responsabilité côté conducteur

4.4.1.1 Accidents mortels

Le Tableau 28 montre les facteurs liés à la responsabilité du conducteur dans les accidents mortels.

Tableau 28 : caractéristiques du conducteur et responsabilité (409 accidents mortels)

	Facteurs	% en col	% Responsable en ligne	Modèle uni-varié			Modèle multivarié		
				OR brut	IC à 95%	P globale	OR	IC à 95%	P globale
Sexe	F	21,5	71,6	1		0,1780	1		0,1201
	H	78,5	63,9	0,70	[0,42 ; 1,18]		0,65	[0,37 ; 1,12]	
Âge	<25	16,4	73,1	1,59	[0,85 ; 2,97]	0,0050	1,33	[0,69 ; 2,59]	0,0059
	25-44	41,1	63,1	1			1		
	45-64	31,0	57,5	0,79	[0,49 ; 1,27]		0,86	[0,52 ; 1,42]	
	>=65	11,5	85,1	3,34	[1,41 ; 7,91]		4,23	[1,69 ; 10,56]	
Positivité à l'alcool	Négatif	88,0	62,5	1		0,0059	1		0,0030
	Positif	6,4	92,3	7,20	[1,68 ; 30,95]		7,86	[1,76 ; 35,1]	
	Inconnu	5,6	82,6	2,85	[0,95 ; 8,55]		4,19	[1,23 ; 14,29]	
Positivité aux stupéfiants	Négatif	69,9	63,6	1		0,3242	1		0,2690
	Positif	4,7	79,0	2,14	[0,69 ; 6,63]		2,03	[0,62 ; 6,72]	
	Inconnu	25,4	68,3	1,23	[0,76 ; 1,98]		0,74	[0,42 ; 1,31]	
Vitesse en excès	Non	66,5	62,5	1		0,0058	1		0,0045
	Oui	12,7	86,5	3,86	[1,68 ; 8,87]		3,96	[1,68 ; 9,32]	
	Inconnu	20,8	62,4	0,99	[0,60 ; 1,64]		0,88	[0,51 ; 1,51]	

Les conducteurs de plus de 65 ans ont plus de risque que les 25-44 ans d'être responsables d'un accident mortel de piéton. Le risque d'être responsable d'un accident mortel est plus de 7 fois plus élevé chez les conducteurs alcoolisés que chez les non alcoolisés. Le risque pour les conducteurs sous l'emprise de cannabis est estimé à 2, mais n'est pas statistiquement significatif. Une conduite au-dessus de la vitesse réglementaire multiplie par 4 le risque d'être responsable d'un accident mortel.

4.4.1.2 Accidents corporels non mortels

Le dépistage d'alcoolémie n'a pas été réalisé pour 20% des conducteurs impliqués dans un accident corporel non mortel, et pour 88% des conducteurs en ce qui concerne le dépistage de stupéfiants. De plus, la vitesse initiale du véhicule avant l'accident n'a pu être estimée dans plus de 60% des accidents non mortels. L'analyse sur la responsabilité d'un accident non mortel liée à l'alcool, aux stupéfiants ou à la vitesse en excès est ainsi très limitée (Tableau 29).

Tableau 29 : caractéristiques du conducteur et responsabilité (425 accidents non mortels)

	Facteurs	% en col	% Responsable en ligne	Modèle uni-varié			Modèle multivarié		
				OR brut	IC à 95%	P globale	OR brut	IC à 95%	P globale
Sexe	F	23,5	58,0	1		0,5635	1		0,6927
	H	76,5	61,2	1,14	[0,73 ; 1,80]		1,10	[0,69 ; 1,76]	
Âge	<25	16,9	65,3	1,48	[0,84 ; 2,61]	0,3929	1,64	[0,92 ; 2,93]	0,2076
	25-44	43,8	55,9	1			1		
	45-64	26,6	62,8	1,33	[0,83 ; 2,15]		1,46	[0,89 ; 2,39]	
	>=65	12,7	64,8	1,45	[0,77 ; 2,72]		1,61	[0,84 ; 3,08]	
Positivité à l'alcool	Négatif	77,6	54,5	1		0,0005			
	Positif	2,6	100,0						
	Inconnu	19,8	78,6	3,06	[0,95 ; 8,55]				
Positivité aux stupéfiants	Négatif	11,7	48,0	1		0,1730			
	Positif	0,5	100,0						
	Inconnu	87,8	61,9	1,76	[0,76 ; 1,98]				
Vitesse en excès	Non	35,1	47,0	1		0,0001	1		<,0001
	Oui	2,6	54,6	1,35	[0,40 ; 4,63]		1,39	[0,40 ; 4,82]	
	Inconnu	62,3	68,3	2,43	[1,61 ; 3,67]		2,54	[1,67 ; 3,87]	

Ainsi, le seul facteur qui majore significativement le risque d'être responsable d'un accident corporel non mortel est la vitesse excessive non connue, ce qui est difficilement interprétable.

4.4.2 Responsabilité côté piéton

Les facteurs à l'origine de l'accident sont maintenant considérés en se plaçant du côté du piéton

4.4.2.1 Accidents mortels

Tableau 30 : caractéristiques du piéton et responsabilité (410 accidents mortels)

	Facteurs	% en col	% Responsable en ligne	Modèle uni-varié OR brut	IC à 95%	P globale	Modèle multivarié OR	IC à 95%	P globale
Sexe	F	39,3	42,9	1		<,0001	1		0,0643
	H	60,7	66,7	2,67	[1,77 ; 4,01]		1,64	[0,97 ; 2,79]	
Âge	0-14	6,1	56,0	0,47	[0,16 ; 1,33]	<,0001	0,29	[0,06 ; 1,32]	0,0909
	15-29	10,0	73,2	1			1		
	30-59	25,4	75,0	1,10	[0,48 ; 2,50]		1,48	[0,50 ; 4,41]	
	60-74	19,0	48,7	0,35	[0,15 ; 0,79]		0,63	[0,21 ; 1,90]	
	>=75	39,5	46,3	0,32	[0,15 ; 0,67]		0,79	[0,27 ; 2,30]	
Positivité à l'alcool	Négatif	51,7	51,4	1		<,0001	1		0,0176
	Positif	17,3	90,1	8,64	[3,78 ; 19,72]		3,98	[1,47 ; 10,73]	
	Inconnu	31,0	48,8	0,90	[0,58 ; 1,40]		0,89	[0,51 ; 1,57]	
Allure du piéton	Marche	69,3	51,4	1		0,0005	1		0,0011
	Court	8,1	84,9	5,29	[1,99 ; 14,09]		13,60	[3,38 ; 54,79]	
	Autre/Inconnu	22,7	65,6	1,80	[1,11 ; 2,93]		0,97	[0,50 ; 1,86]	
Localisation et manœuvre du piéton	Traversée sur passage piéton	30,5	24,0	1		<,0001	1		<,0001
	Traversée sur chaussée et hors passage piéton	61,7	77,9	11,14	[6,71 ; 18,49]		9,79	[5,52 ; 17,36]	
	Autre	7,8	25,0	1,06	[0,43 ; 2,59]		1,19	[0,44 ; 3,25]	
Vitesse en excès du véhicule	Non	66,3	59,2	1		0,0678	1		0,0030
	Oui	12.7	42.3	0.51	[0.28 ; 0.92]		0.26	[0.12 ; 0.56]	
	Inconnu	21.0	60.5	1.05	[0.64 ; 1.73]		0.83	[0.44 ; 1.57]	

Un piéton alcoolisé a environ 4 fois plus de risque d'être responsable d'un accident mortel qu'un piéton non alcoolisé. Le risque d'être responsable d'un accident mortel est estimé environ 14 fois plus élevé pour les piétons qui courraient au moment de l'accident que pour les piétons qui marchaient. Un piéton qui traverse hors passage piéton a 10 fois plus de chances d'être estimé responsable de l'accident qu'un piéton qui traverse sur un passage piéton. Enfin le piéton est jugé 4 fois moins souvent responsable quand le véhicule roule en excès de vitesse.

4.4.2.2 Accidents corporels non mortels

Tableau 31 : caractéristiques du piéton et responsabilité (425 accidents non mortels)

	Facteurs	% en col 410 accidents	% Respo en ligne	Modèle uni-varié			Modèle multivarié		
				OR brut	IC à 95%	P globale	OR	IC à 95%	P globale
Sexe	F	51,9	46,6	1		0,0981	1		0,6711
	H	48,1	54,6	1,38	[0,94 ; 2,02]		1,17	[0,67 ; 1,86]	
Âge	0-14	19,9	68,2	1,81	[0,97 ; 3,40]	0,0028	0,75	[0,30 ; 1,85]	0,8959
	15-29	19,5	54,2	1			1		
	30-59	31,2	44,4	0,67	[0,39 ; 1,17]		0,85	[0,42 ; 1,73]	
	60-74	17,4	40,5	0,58	[0,31 ; 1,09]		0,73	[0,32 ; 1,66]	
	>=75	12,0	45,1	0,69	[0,34 ; 1,40]		0,65	[0,26 ; 1,62]	
Positivité à l'alcool	Négatif	58,0	51,5	1		0,1082	1		0,1459
	Positif	3,3	78,6	3,45	[0,93 ; 12,82]		3,19	[0,64 ; 15,82]	
	Inconnu	38,7	48,2	0,88	[0,59 ; 1,30]		0,74	[0,44 ; 1,25]	
Allure du piéton	Marche	62,9	38,8	1		<,0001	1		<,0001
	Court	20,0	89,4	13,32	[6,40 ; 27,72]		13,08	[5,38 ; 31,80]	
	Autre/Inconnu	17,1	48,0	1,45	[0,86 ; 2,44]		0,65	[0,33 ; 1,28]	
Localisation et manœuvre du piéton	Traversée sur passage piéton	45,1	28,7	1		<,0001	1		<,0001
	Traversée sur chaussée et hors passage piéton	46,5	77,3	8,47	[5,37 ; 13,37]		11,17	[6,37 ; 19,59]	
	Autre	8,5	19,4	0,60	[0,25 ; 1,45]		1,05	[0,39 ; 2,81]	
Vitesse en excès	Non	35,2	66,0	1		<,0001	1		0,0002
	Oui	2,6	54,6	0,62	[0,18 ; 2,12]		0,35	[0,08 ; 1,47]	
	Inconnu	62,2	41,5	0,37	[0,24 ; 0,55]		0,32	[0,19 ; 0,55]	

La responsabilité du piéton est multipliée par 13 quand il court et par 11 quand il traverse la chaussée hors passage piéton. Concernant l'effet de l'alcool et de la vitesse en excès du véhicule, les effets ne sont pas significatifs, mais les ordres de grandeur sont les mêmes que pour les accidents mortels. Cette non significativité est sans doute due au manque de puissance statistique provoquée par le nombre élevé de valeurs manquantes pour les mesures d'alcoolémie, et plus encore pour les estimations de vitesses pour ces accidents non mortels.

4.5 Létalité et gravité des atteintes du piéton

4.5.1 Létalité du piéton pour l'ensemble des accidents

Le tableau suivant montre la répartition des principaux facteurs associés à la létalité du piéton. Il porte sur les 888 accidents observés (22375 estimés en utilisant la pondération).

Tableau 32 : facteurs de létalité du piéton. Proportions et OR bruts et ajustés sur la vitesse au choc

	Facteurs	% en col	% mort en lig	OR brut / IC	P globale	OR ajusté /IC	P globale
Sexe du piéton	F	50,8	1,5	1	0,0010	1	0,8093
	H	49,2	2,3	1,62 [1,22 ; 2,15]		1,05 [0,7 ; 1,58]	
Âge du piéton	0-14	20,5	0,6	0,59 [0,32 ; 1,07]	<,0001	0,27 [0,09 ; 0,77]	<,0001
	15-29	19,4	1,0	1		1	
	30-59	32,7	1,5	1,54 [0,96 ; 2,45]		1,16 [0,64 ; 2,12]	
	60-74	17,2	2,1	2,15 [1,28 ; 3,6]		2,07 [1,04 ; 4,1]	
	>=75	10,3	7,4	8,14 [4,93 ; 13,44]		7,41 [3,75 ; 14,67]	
Positivité à l'alcool du piéton	Négatif	38,6	2,5	1	<,0001	1	0,0003
	0,5-1,2	0,6	6,1	2,51 [0,52 ; 12,07]		5,19 [1,47 ; 18,26]	
	1,2-2	0,9	10,5	4,49 [1,86 ; 10,84]		1,39 [0,49 ; 3,9]	
	>=2	1,1	16,0	7,34 [2,19 ; 24,62]		1,36 [0,35 ; 5,38]	
	Non réalisé	58,8	1,0	0,4 [0,29 ; 0,54]		0,53 [0,34 ; 0,8]	
Jour/Nuit	Jour	76,7	1,6	1	<,0001	1	0,3890
	Nuit	23,3	3,0	1,98 [1,44 ; 2,72]		1,23 [0,77 ; 1,95]	
Météo	Temps normal	81,1	1,9	1,00		1	0,1296
	Temps éblouissant	3,9	2,5	1,32		2,29 [0,99;5,26]	
	Autre	15,0	1,7	0,88	0,5622	0,91 [0,47;1,74]	
Catégorie de la route	AR	0,9	10,3	10,1 [2,54 ; 39,9]	<,0001	2,08 [0,37 ; 11,73]	0,4495
	RN	2,8	5,5	5,07 [2,57 ; 9,99]		1,34 [0,46 ; 3,86]	
	RD	15,4	4,6	4,25 [3,02 ; 5,99]		1,52 [0,89 ; 2,61]	
	VC	77,0	1,1	1		1	
	Autres	4,0	1,9	1,69 [0,77 ; 3,71]		1,62 [0,67 ; 3,95]	
Type de véhicule	Vélo	2,4	0,4	0,23 [0,05 ; 1,06]	<,0001	0,76 [0,16 ; 3,57]	<,0001
	Cyclo	6,5	0,4	0,25 [0,1 ; 0,61]		0,51 [0,18 ; 1,46]	
	Moto	9,4	1,0	0,63 [0,36 ; 1,1]		0,71 [0,30 ; 1,69]	
	VL	70,4	1,6	1		1	
	VU	6,0	3,6	2,21 [1,32 ; 3,71]		2,44 [1,23 ; 4,82]	
	PL	1,4	18,7	13,78 [5,03 ; 37,8]		7,69 [2,16 ; 27,4]	
	TC	2,5	2,8	1,75 [0,81 ; 3,81]		3,53 [1,40 ; 8,88]	
	Autres	1,4	3,6	2,26 [0,83 ; 6,17]		6,93 [2,62 ; 18,28]	
Localisation et manœuvre du piéton	sur passage piéton	45,0	1,2	1	<,0001	1	0,3209
	hors passage piéton	45,2	2,6	2,13 [1,57 ; 2,90]		1,39 [0,90 ; 2,15]	
	Autre	9,7	1,6	1,3 [0,77 ; 2,18]		1,08 [0,48 ; 2,43]	
Type de choc	Frontal	71,0	2,1	1	0,0729	1	0,1370
	Latéral	8,6	1,1	0,55 [0,31 ; 0,97]		0,62 [0,25 ; 1,56]	
	Arrière	5,2	2,3	1,12 [0,62 ; 2,02]		2,04 [0,87 ; 4,76]	
	Side-swipe	4,5	1,1	0,52 [0,24 ; 1,11]		0,37 [0,12 ; 1,11]	
	Autre/Inconnu	10,7	1,5	0,7 [0,44 ; 1,12]		1,06 [0,52 ; 2,18]	
Franchissement	Non	93,3	1,5	1	<,0001	1	<,0001
	Oui	5,0	8,0	5,56 [3,43 ; 9,02]		5,04 [2,46 ; 10,31]	
	Inconnu	1,7	3,4	2,27 [0,95 ; 5,45]		1,78 [0,59 ; 5,39]	
Vitesse au choc	0-19	3,9	7,2	1	<,0001		
	20-29	2,3	4,0	0,54 [0,21 ; 1,43]			
	30-39	4,1	3,9	0,53 [0,23 ; 1,22]			
	40-49	1,9	9,4	1,33 [0,49 ; 3,60]			
	50-59	0,6	27,2	4,81 [1,46 ; 15,87]			
	>=60	0,4	71,1	31,8 [4,31 ; 234,1]			
	Inc mais en agglo	83,1	0,6	0,08 [0,04 ; 0,15]			
	Inc mais hors agglo	3,6	6,9	0,95 [0,40 ; 2,25]			

La vitesse au choc a été traitée en classes, ce qui permet de considérer deux catégories de valeurs manquantes selon que l'accident s'est produit en ou hors agglomération. La létalité est plus élevée pour les piétons hommes, mais cela n'apparait plus quand on prend la vitesse en compte (colonne de droite avec OR ajusté sur la vitesse). La létalité est plus forte pour les plus âgés, particulièrement les 75 ans et plus. Le risque d'être tué est plus élevé pour les piétons au-delà de la limite d'alcoolémie, mais ce sur-risque n'apparait plus après prise en compte de la vitesse. Notons que cette mesure d'alcoolémie dépend fortement du fait que l'accident soit mortel ou non. Le risque d'être tué pour le piéton est également plus fort pour les accidents se produisant hors agglomération ou sur route nationale, départementale ou autoroute, et sur chaussée hors passage piéton, mais ces trois facteurs ne sont plus significatifs une fois la vitesse prise en compte. La létalité est presque 14 fois plus élevée quand le choc se produit avec un PL plutôt qu'un VL, et environ 2 fois plus élevée quand il s'agit d'un VU ou d'un TC. Une fois la vitesse prise en compte, le PL reste associé à la valeur la plus élevée. Enfin le fait pour un piéton d'être franchi multiplie par 5 la probabilité d'être tué, que la vitesse soit prise en compte ou pas.

Tableau 33 : facteurs de létalité du piéton. Proportions et OR ajustés sur l'ensemble des facteurs significatifs

	Facteurs	% en col	% tués en ligne	OR	Intervalle de confiance à 95%
Âge du piéton	0-14	20,5	0,6	0,24	[0,08 ; 0,73]
	15-29	19,4	1,0	1	
	30-59	32,7	1,5	1,41	[0,69 ; 2,92]
	60-74	17,2	2,1	2,10	[0,91 ; 4,85]
	>=75	10,3	7,4	10,32	[4,84 ; 22,00]
Type de véhicule	Vélo	2,4	0,4	0,65	[0,13 ; 3,31]
	Cyclo	6,5	0,4	0,76	[0,27 ; 2,14]
	Moto	9,4	1,0	0,98	[0,41 ; 2,35]
	VL	70,4	1,6	1	
	VU	6,0	3,6	1,93	[0,86 ; 4,36]
	PL	1,4	18,7	4,68	[1,48 ; 14,83]
	TC	2,5	2,8	1,98	[0,46 ; 8,51]
	Autres	1,4	3,6	7,88	[2,51 ; 24,74]
Franchissement	Non	93,3	1,5	1	
	Oui	5,0	8,0	9,22	[4,48 ; 18,97]
	Inconnu	1,7	3,4	1,91	[0,54 ; 6,76]
Vitesse au choc	0-19	3,9	7,2	1	
	20-29	2,3	4,0	1,23	[0,35 ; 4,40]
	30-39	4,1	3,9	0,95	[0,61 ; 2,89]
	40-49	1,9	9,4	2,70	[0,84 ; 8,62]
	50-59	0,6	27,2	8,42	[1,47 ; 48,13]
	>=60	0,4	71,1	163,92	[38,42 ; 699,4]
	Inc mais en agglo	83,1	0,6	0,11	[0,05 ; 0,25]
	Inc mais hors agglo	3,6	6,9	1,38	[0,44 ; 4,32]

Le Tableau 33 montre le résultat du modèle multivarié incluant toutes les variables significatives. Ce tableau confirme le rôle prépondérant de la vitesse au choc, du

franchissement, du type de véhicule et de l'âge du piéton. L'alcoolémie du piéton n'est pas introduite dans le modèle, car la prendre en compte provoquerait un sur ajustement puisque sa mesure elle-même est fortement liée à la létalité.

Cette analyse montre clairement le rôle prépondérant de la vitesse au choc du véhicule sur la létalité. Elle montre aussi que la majorité des accidents impliquent un VL en choc frontal. Or c'est précisément ces accidents qui font l'objet de l'essentiel de la réglementation visant à réduire la gravité des accidents piétons. De plus c'est pour ces accidents là que la vitesse au choc est la plus souvent possible à estimer.

L'analyse suivante va donc être focalisée sur les accidents piéton/VL en choc frontal. Nous allons de plus exclure les accidents avec franchissement pour deux raisons : la première est que le franchissement se produit rarement en cas de choc avec un VL (4,6% des accidents, voir Tableau 18), et la deuxième est que, en cas de franchissement la vitesse au choc est moins prédictive de la létalité. La Figure 2 tracée pour l'ensemble des VL, PL, TC et VU, montre que les vitesses au choc sont clairement plus faibles en cas de franchissement.

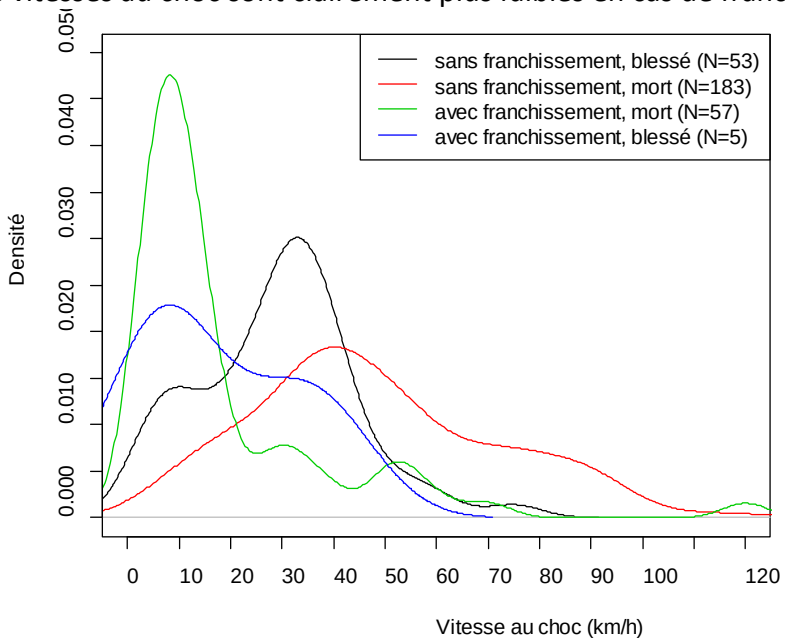


Figure 2 : répartition des vitesses au choc selon qu'il y a franchissement ou non et selon l'état vital du piéton

Une interprétation possible de ce résultats est que dès qu'un piéton est franchi les conséquences corporelles sont graves même à des vitesses faibles.

4.5.2 Létalité du piéton percuté par un VL en choc frontal

L'échantillon sélectionné comprend 403 piétons, dont 187 morts et 216 blessés.

Imputation des vitesses au choc et pondération

La vitesse au choc des VL a pu être estimée dans 42% des accidents. Les vitesses au choc sont particulièrement peu souvent estimées pour les accidents non mortels, avec seulement 13,7% des vitesses évaluées ; quand le piéton est légèrement blessé par le véhicule, il est

difficile de collecter assez d'informations pour évaluer la vitesse d'impact. Comparativement, la vitesse initiale des véhicules est plus souvent évaluée car elle l'est à partir de la vitesse au choc, mais aussi à défaut à partir des témoignages disponibles dans les PV, voire de l'environnement du véhicule.
La méthode d'imputation choisie est la suivante :
Sur les données où la vitesse initiale et la vitesse au choc sont connues, on calcule la moyenne des différences entre la vitesse initiale et la vitesse au choc selon la localisation de l'accident et la manœuvre du conducteur (freinage, etc.). La vitesse au choc imputée est la vitesse initiale diminuée de cette moyenne des différences.

$$Moy_Vdif_{L\ et\ M} = moyenne\ (vitesse\ initiale - vitesse\ au\ choc)|_{localisation\ et\ manoeuvre}$$
$$Vitesse\ au\ choc_{im} = Vitesse\ initiale - Moy_Vdif_{L\ et\ M}$$

Tableau 34 : Résultats de la méthode d'imputation des vitesses au choc

	Effectif (au départ) 403	Vitesse au choc connue (au départ)			Vitesse au choc connue (après imputation)		
		Effectif	% connue	Moyenne de vitesse (km/h)	Effectif	% connue	Moyenne de vitesse (km/h)
Accidents non mortels	216	38	17,6	30,5	83	38,9	30,4
Accidents mortels	187	130	69,5	48,9	165	88,2	50,5

Ainsi cette méthode d'imputation permet d'estimer 80 valeurs de vitesses au choc supplémentaires.

L'échantillon de travail comporte finalement 248 accidents, dont 165 accidents mortels et 83 non mortels.
D'autre part, la vitesse étant corrélée à la probabilité d'observer un accident mortel plutôt que non mortel, nous choisissons d'introduire un facteur de pondération supplémentaire pour compenser partiellement ce biais. Le tableau suivant montre le principe d'estimation de cette pondération que nous prenons en compte en plus des autres pondérations déjà appliquées dans les calculs précédents.

Tableau 35 : Estimation des poids pour tenir compte de la moindre fréquence d'estimations de vitesses selon que l'accident est mortel ou non

Gravité piétons	N1 accidents	N2 accidents avec vitesse estimée	Ratio N2/N1	Poids attribué
Tué	187	165	0,88	1,13
BH	72	36	0,5	2
BNH*	144	47	0,33	3,06
Total	403	248		

* BNH=Blessé non hospitalisé ou hospitalisation de durée inconnue

Choix de la modélisation

L'objectif de cette partie de l'analyse est d'estimer au mieux la relation existant entre le risque de décès des piétons et la vitesse au choc. Quelques articles dans la littérature traitent de ce sujet et fournissent les courbes de risque correspondantes (Davis 2001;

Hannawald and Kauer 2004; Tefft 2013). L'article de Rosen (Rosen and Sander 2009) en particulier fait une revue de la littérature sur le sujet, et fournit ses propres estimations à partir des données allemandes de GIDAS pour 490 piétons âgés de 15 ans ou plus et heurtés par un VL.

Plus généralement dans la littérature internationale, toutes les courbes fournies sont modélisées à l'aide d'une courbe logistique pour des raisons théoriques largement justifiées. Nous proposons cependant une autre modélisation qui nous parait plus adaptée aux observations. En effet, la courbe logistique est symétrique par rapport au point d'ordonnée 0,5. Autrement dit, le modèle suppose que le risque s'accroit de plus en plus vite jusqu'à atteindre la probabilité 0,5, puis de moins en moins vite à mesure qu'on s'approche de l'asymptote à 1. Or l'énergie dissipée lors du choc étant proportionnelle au carré de la vitesse, une telle contrainte ne se justifie pas. La lecture du tableau 28 suggère effectivement une augmentation du risque d'être tué de plus en plus importante à mesure que la vitesse augmente.

Tableau 36 :Répartition des tués et blessés observés selon la vitesse au choc, et estimations pondérées de la probabilité d'être tué, avec l'intervalle de confiance correspondant

Vitesse au choc (km/h)	Morts	Blessés	Risque d'être tué (pondéré) %	IC 95%
1-9	0	8	0	
10-19	6	8	0,55	[0,0 ; 1,2]
20-29	19	23	0,57	[0,2 ; 1,0]
30-39	27	25	1,08	[0,4 ; 1,7]
40-49	37	12	3,02	[0,7 ; 5,4]
50-59	27	5	6,98	[0,0; 14,2]
60-69	12	2	12,68	[0,0 ; 29,4]
70-79	14	0	100	
>=80	23	0	100	
Total	165	83		

Nous avons donc mis en œuvre trois modèles reliant la probabilité d'être tué et la vitesse au choc, , avec a et b les paramètres à estimer et v la vitesse au choc (considérée en variable continue) :

1. Le modèle logistique utilisé dans les articles en référence

$$P(v) = \frac{1}{1 + \exp(-a - b * v)}$$

2. Le même modèle avec le carré de la vitesse

$$P(v) = \frac{1}{1 + \exp(-a - b * v^2)}$$

3. Le modèle Gompit, aussi appelé modèle de régression cloglog, avec le carré de la vitesse

$$P(v) = 1 - \exp(-\exp(a + b * v^2))$$

Ce dernier type de modèle permet de positionner le point d'inflexion de la courbe en fonction des observations.

Résultats

La Figure 3 montre les courbes de probabilités de décès en fonction de la vitesse au choc pour les trois modèles, ainsi que les estimations moyennes des proportions observées avec les intervalles de confiance correspondants.

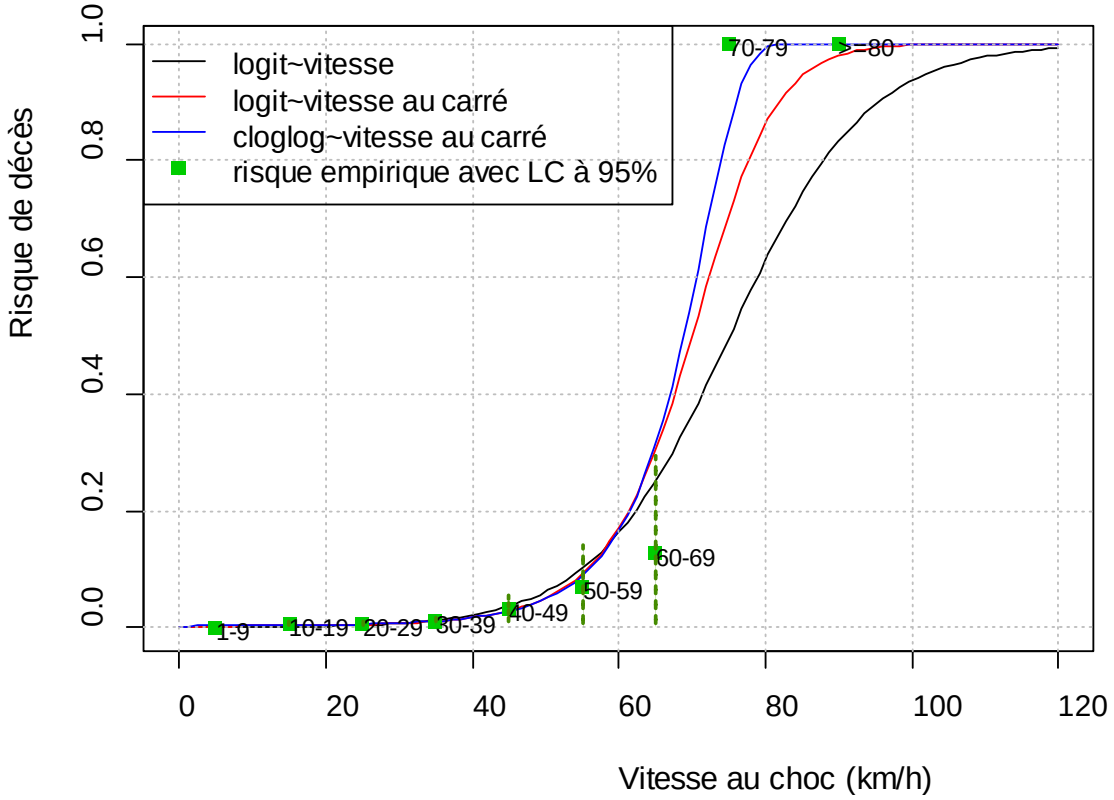


Figure 3 : Probabilité d'être tué selon la vitesse au choc (avec les 3 modèles et les estimations empiriques)

Les trois modèles s'ajustent bien aux observations pour les vitesses au choc les plus faibles, pour lesquelles les effectifs de blessés observés sont relativement élevés. Les modèles 2 et 3 paraissent meilleurs pour les vitesses au-delà de 60 km/h. Notons qu'aucun survivant n'est observé pour les vitesses au-delà de 70 km/h. Comme prévu le modèle 3 ajuste mieux les observations pour les vitesses plus élevées.

Le tableau 28 indique les valeurs estimées des paramètres a et b, et les valeurs de l'AIC (critère d'information d'Akaike). Ainsi le modèle 3 est le meilleur modèle au sens de l'AIC qui minimise la perte d'information. A noter que l'introduction dans le modèle cloglog de la vitesse, en plus du carré de la vitesse, ne l'améliore pas au sens de l'AIC.

Tableau 37 : fonctions de risque de décès des trois modèles et leurs AIC

	La fonction de risque de décès	AIC
Modèle 1	$P(v) = \frac{1}{1 + \exp(8.1375 - 0.1083 * v)}$	1437.7
Modèle 2	$P(v) = \frac{1}{1 + \exp(5.9791 - 0.00122 * v^2)}$	1411.5
Modèle 3	$P(v) = 1 - \exp(-\exp(-5.9185 + 0.00117 * v^2))$	1401.6

. Le tableau suivant montre les proportions de décès selon la vitesse au choc estimées par les trois modélisations.

Tableau 38 : Proportions de décès estimées par les trois modélisations

Vitesse au choc (km/h)	30	40	50	60	70	80
Modèle 1	1%	2%	6%	16%	36%	63%
Modèle 2	1%	2%	5%	17%	50%	86%
Modèle 3	1%	2%	5%	17%	56%	99%

Le Tableau 39 permet la comparaison de nos résultats avec quatre résultats publiés récemment (Davis 2001; Rosen and Sander 2009; Rosen, Stigson et al. 2011; Richards and Carroll 2012; Tefft 2013).

Tableau 39 : Vitesse au choc (km/h) à laquelle le risque de décès estimé atteint 10%,25%,50%,75% et 90% : comparaison avec quatre résultats publiés récemment

Etude	Données	Facteur d'ajustement	Risque de décès estimé (%) Vitesse au choc (km/h) 10	25	50	75	90
Davis (2001)	United Kingdom, 1966–1969 et 1973–1979	Aucun	53	61	69	79	87
Rosén (2009, 2011)	Germany, 1999–2007, piétons âgés de 15 ans ou plus, heurtés par un VL en choc frontal	Age	53	66	77	88	100
Richards (2010)	United Kingdom, 2000–2009, piétons heurtés par un VL en choc frontal	Aucun	53	61	72	82	100
Tefft (2013)	United States, 1994–1998, piétons âgés de 15 ans ou plus, heurtés par un VL en choc frontal	Age, taille, poids	43	56	68	79	88
Etude courante (2014)	France 2011, piétons heurtés par un VL en choc frontal, sans franchissement	Aucun	Modèle logistique (vitesse au choc)				
			55	65	75	85	95
			Modèle logistique (carré de la vitesse au choc)				
			56	63	70	76	82
			Modèle Gompit (carré de la vitesse au choc)				
			56	63	69	73	76

Les estimations obtenues sont assez cohérentes avec les estimations de Davis, de Rosen et de Richards pour les proportions de décès de 10, 25 et 50%. Avec le modèle logistique similaire aux autres études, nos estimations de vitesses au choc sont un peu moins élevées que les

estimations de Davis et Tefft pour les proportions de tués de 75 et 90%, et nettement moins élevées que les deux autres. Cette différence s'accentue en prenant le modèle Gompit avec le carré de la vitesse. C'est cependant celui que nous privilégions, car c'est le meilleur au sens statistique (meilleure adéquation aux observations) et au sens mécanique (l'énergie subie par le piéton liée au carré de la vitesse au choc). La Figure 4 montre la courbe retenue avec son intervalle de confiance calculé selon Kutner (Kutner, Nachtsheim et al. 2004)

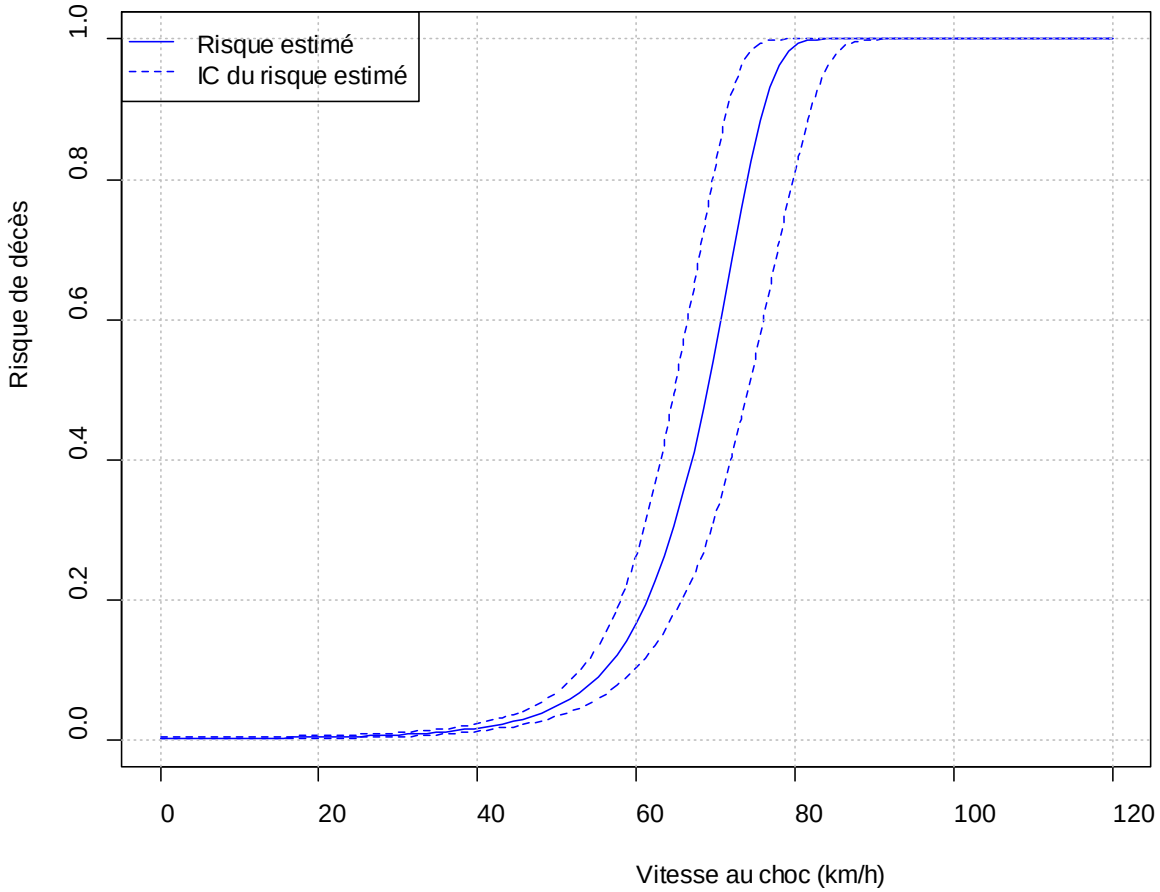


Figure 4 : Probabilité d'être tué selon la vitesse au choc et son intervalle de confiance à 95%

Le Tableau 40 donne les probabilités de décès estimées avec leurs intervalles de confiance, ainsi que les risques relatifs en prenant 30 km/h comme vitesse au choc de référence.

Tableau 40: Probabilité de décès selon la vitesse estimée selon le carré de la vitesse, intervalles de confiance à 95% et risque relatif

Vitesse au choc (km/h)	30	40	50	60	70	80
Probabilité de décès estimée	0,0077	0,017	0,049	0,166	0,564	0,992
IC 95%	[0,005 ; 0,011]	[0,012 ; 0,024]	[0,034 ; 0,069]	[0,103 ; 0,262]	[0,324 ; 0,828]	[0,814 ; 1]
Risque relatif	1	2,26	6,37	21,6	73,5	129,2

La lecture des risques relatifs du Tableau 40 met en évidence l'augmentation du risque selon le carré de la vitesse. Ainsi le risque d'être tué est multiplié par 2 de 30 km/h pour la vitesse au choc à 40 km/h, multiplié par 6 de 30 à 50, par 21 de 30 à 60 et par 70 de 30 à 70.

Effet de l'âge

Comme le montre le Tableau 33, après ajustement sur la vitesse au choc, le risque d'être tué augmente nettement pour les âges élevés. Le tableau suivant indique les estimations pour le modèle cloglog bivarié tenant compte de la vitesse et de l'âge en classes.

Tableau 41 : létalité selon l'âge du piéton et le carré de la vitesse

Facteur		% en col	% mort en lig	OR	P value
Âge du piéton	0-14	16,7	0,5	-0,55	<0,0001
	15-29	14,5	1,2	Référence	
	30-59	38,2	1,0	0,42	
	60-74	19,5	1,5	1,48	
	>=75	9,1	7,9	2,94	
Vitesse au carré				0,0014	<0,0001

La Figure 5 représente les tracés de la probabilité d'être tué en fonction de la vitesse au choc pour les 5 classes d'âge considérées.

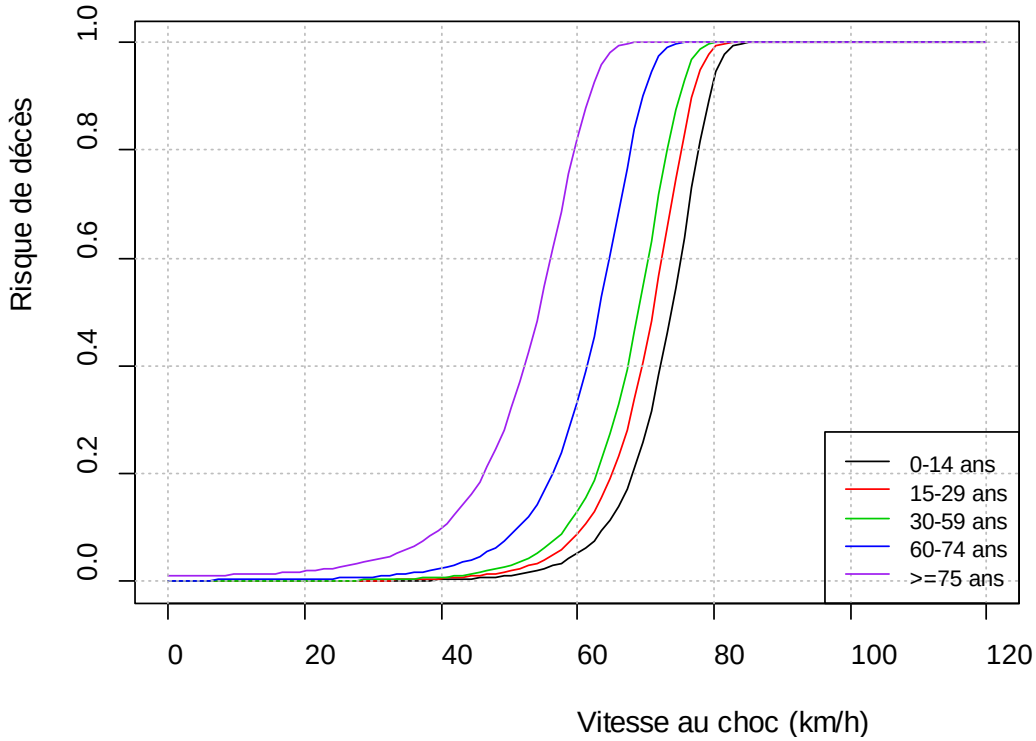


Figure 5 : Probabilité d'être tué en fonction de la vitesse au choc : modélisation selon cinq tranches d'âge du piéton

Le risque de décéder pour les 75 ans et plus est fortement majoré, avec par exemple une probabilité estimée à 80% pour une vitesse au choc de 60 km/h, contre 35% pour les 60-74 ans, et contre 10% pour les 15-29 ans. A noter que l'interaction entre l'âge et la vitesse au choc a été testée et n'a pas été trouvée significative, ce qui se traduit par une simple translation des courbes par tranche d'âge.

Modèle multivarié

En plus de la vitesse au choc et de l'âge du piéton, les facteurs potentiellement liés au risque d'être tué que nous pouvons tester sont : le sexe du piéton, l'ancienneté du véhicule, la zone de contact initial, et toutes les variables indiquées dans le Tableau 32.

Cependant, pour être tout à fait rigoureux, il convient de prendre en compte le fait qu'au-delà d'une certaine vitesse, il n'y a aucun survivant observé. Il peut alors être contre-productif de chercher d'autres facteurs qui expliquent le fait d'observer un tué. Une autre façon d'illustrer ce propos est de tracer le risque relatif estimé par un modèle cloglog bivarié qui inclut la zone de contact en plus de la vitesse au choc. Les estimations des paramètres sont données dans le Tableau 42.

Tableau 42: létalité selon la zone de contact initial du piéton avec le VL et le carré de la vitesse

Facteur		% en col	% tués en ligne	OR	P value
Zone de contact initial	Côté	51,3	2,5	0,61	<0,0001
	Centre	17,8	1,6	Référence	
	inconnu	30,9	0,4	-0,94	
Vitesse au carré				0,0011	<0,0001

Avec ce modèle loglog, le risque relatif d'être tué quand le piéton est heurté par un côté de la face avant d'un VL comparé à la partie centrale peut être estimé selon la vitesse. C'est ce que représente la Figure 6.

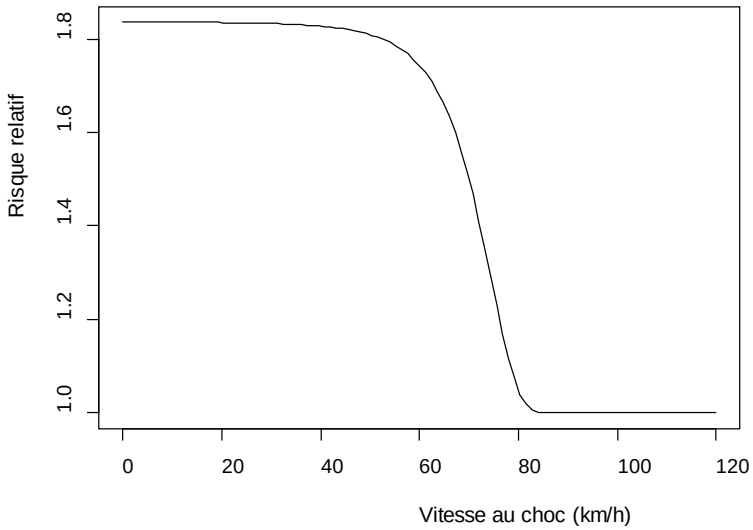


Figure 6 : estimation du risque d'être tué quand le piéton est heurté par un côté de la face avant du VL plutôt que le centre, selon la vitesse au choc

Ce tracé illustre clairement que le RR peut être considéré comme constant et égal à 1,8 jusqu'à la vitesse au choc de 50 km/h. Au-delà il varie pour atteindre la valeur 1 pour les vitesses élevées, pour lesquelles la partie heurtée n'a plus d'influence sur la létalité puisque tous les piétons sont tués (dans nos observations).

Ainsi le modèle le plus complet que nous présentons est estimé en excluant les accidents avec une vitesse égale ou supérieure à 70 km/h (211 observations, 11151 après pondération). Il s'agit d'un modèle logistique car le modèle Gompit ne lui est supérieur que pour les vitesses élevées (voir Figure 3), donc celles que l'on a exclues, et que cela permet de produire des OR plus classiquement employés dans la littérature. Le meilleur modèle au sens

de l'AIC est choisi en utilisant une procédure descendante. Sont inclus dans le modèle retenu la vitesse au carré, l'âge du piéton et la zone de contact initial.

Tableau 43 : Risque de décès du piéton (modèle multivarié)

Facteur		% en col	% tués en ligne	OR [IC 95%]	P value
Âge du piéton	0-14	16,7	0,4	1,04 [0,16 ; 6,59]	<0,0001
	15-29	16,4	0,6	1	
	30-59	38,2	0,6	1,86 [0,31 ; 11,04]	
	60-74	19,6	1,3	5,80 [0,89 ; 37,64]	
	>=75	9,1	7,3	25,18 [3,98 ; 159,3]	
Zone de contact initial	Côté	51,2	2,0	3,00 [0,98 ; 9,19]	0,0492
	Centre	17,8	1,0	1	
	Inconnu	31,0	0,4	0,97 [0,24 ; 3,97]	
Vitesse au carré				1,001 [1,001 ; 1,002]	<0,0001

Ainsi, en plus de l'effet de la vitesse déjà largement décrit, ce résultat montre que la létalité, comparativement à la tranche d'âge 15-29 ans, est multipliée par plus de 5 pour les 60-74 ans, et par 25 pour les 75 ans et plus. Il montre également que, pour une vitesse donnée et un âge donné, le risque d'être tué est trois fois plus élevé quand la prise de contact sur la face avant du VL du piéton se produit en zone décentrée plutôt que centrée.

Létalité et zone de contact

Dans la mesure du possible, tous les impacts du piéton sur les véhicules sont notés. Nous choisissons d'ordonner ces impacts selon l'éloignement de cette zone avec le premier point de contact (en choc frontal) et selon la dureté supposée en cas d'égalité. Ainsi par exemple nous définirons comme la zone "principale" heurtée l'entourage du pare-brise pour un piéton qui aurait heurté l'avant du véhicule, le capot et l'entourage du pare-brise.
Le tableau suivant montre le risque d'être tué en fonction de cette classification des zones heurtées.

Tableau 44 : risque d'être tué en fonction de la partie du VL heurtée

Zone d'impact "principale"	OR	IC à 95%	P globale
Toit	>>>		<0,0001
Entourage Pare-brise	16,00	[4,01 ; 63,9]	
Pare-brise	3,65	[1,47 ; 9,04]	
Capot	0,46	[0,15 ; 1,45]	
Avant base	1		
Autre/Inconnu	0,25	[0,09 ; 0,66]	

Tous les piétons ayant eu un impact avec le "toit" ont été tués, l'OR correspondant n'est donc pas estimable. Le risque d'être tué quand un impact est relevé sur l'entourage du pare-brise (baie inférieure ou montants) est presque 5 fois plus élevé qu'en cas d'impact sur le pare-brise, ce qui est un résultat attendu étant donné la raideur de l'entourage nettement plus élevée. L'interprétation du sur-risque associé à l'impact pare-brise comparé au capot ou à l'avant-base est plus délicate car ce qui majore le risque est la dureté de la zone d'impact, mais l'estimation de la vitesse au choc dépend aussi de la distance entre l'avant du véhicule et la zone d'impact estimée comme principale. Cette difficulté d'interprétation nous a conduits à ne pas inclure une telle variable dans le modèle multivarié précédent.

4.5.3 Gravité et zone corporelle atteinte

Rappelons que les descriptions lésionnelles tirées des informations médicales trouvées dans les PV. Pour les piétons, ceci a été possible pour 61,8% des 424 tués et pour 65,7% des blessés. Les lésions sont codées selon l'échelle AIS (Abbreviated Injury Scale). L'AIS décrit les lésions selon leur zone et leur nature et attribue un score de gravité. Ce score validé comprend 6 niveaux de gravité allant de 1 (lésions mineures) à 6 (lésions mortelles) et 9 pour les indéterminés. (Voir le livrable L1.4 pour les détails du codage et de sa mise en œuvre pratique). Le Tableau 45 décrit les effectifs de tués et de blessés avec description lésionnelle.

Tableau 45 : Effectifs et proportions de victimes avec description lésionnelle, selon que le MAIS est inférieur à 3 ou non

	MAIS<3	% ligne	MAIS3+	% ligne	Indéterminé	Total
Tués	31	11,8	221	84,3	10	262
Blessés observés	211	69,2	94	30,8	0	305
Blessés estimés	10634	77,9	3013	22,1	0	13647
Total	10665		3234		10	13909

Parmi les piétons pour lesquels un bilan lésionnel a pu être codé, près de 84% des piétons décédés ont un MAIS au moins égal à 3, contre 22% des piétons survivants.
Le Tableau 46 montre la distribution des atteintes corporelles selon que le piéton est décédé ou non, avec la répartition des proportions de victimes ayant au moins une lésion parmi les 9 régions corporelles indiquées.

Tableau 46 : Répartition des régions corporelles atteintes pour les piétons décédés et survivants (toutes gravités)

	262 Piétons décédés observés		305 piétons blessés observés		13909 Piétons (pondérés)	
Régions corporelles atteintes	N victime	% victime	N victime	% victime	N victime	% victime
R=1 (Tête)	209	79,8	101	33,1	4111	29,6
R=2 (Face)	85	32,4	74	24,3	3144	22,6
R=3 (Cou)	9	3,4	4	1,3	183	1,3
R=4 (Thorax)	141	53,8	36	11,8	1435	10,3
R=5 (Abdomen)	59	22,5	21	6,9	804	5,8
R=6 (Colonne vertébrale)	59	22,5	41	13,4	1818	13,1
R=7(Membres supérieurs)	103	39,3	112	36,7	5131	36,9
R=8 (Membres inférieurs)	154	58,8	203	66,6	8757	63,0
R=9 (Indéterminé)	109	41,6	37	12,1	1506	10,8

Ainsi près de 80% des piétons tués ont au moins une atteinte à la tête décrite et 54% une atteinte au thorax, alors que 59% ont une atteinte aux membres inférieurs. Pour les piétons blessés survivants, la région la plus fréquemment atteinte est le membre inférieur (67%), suivie du membre supérieur (37%) et de la tête (33%).

Le tableau suivant montre l'influence des principaux facteurs sur le risque d'avoir une lésion d'AIS au moins égal à 3 (MAIS3+).
Nous sélectionnons les accidents dans lesquels un piéton est percuté soit par un VL, soit par VU, soit par un PL, soit par un 2RM, les accidents avec les autres véhicules étant trop peu fréquents pour estimer les paramètres du modèle.

Tableau 47 : facteurs associés au risque de MAIS3+ - piétons heurtés par un VL, un PL, un VU ou un 2RM

	Facteurs	% en colonne	% MAIS3+ en ligne	OR brut / IC	P globale
Sexe du piéton	F	51,2	26,4	1	0,24
	H	48,8	20,2	0,71 [0,4 ; 1,26]	
Âge du piéton	0-14	22,4	15,9	1,44 [0,58 ; 3,53]	<0,0001
	15-29	20,9	11,6	1	
	30-59	29,9	16,6	1,52 [0,66 ; 3,48]	
	60-74	17,0	39,4	4,94 [1,79 ; 13,64]	
	>=75	9,8	58,4	10,67 [4,06 ; 28,05]	
Catégorie de véhicule	2RM	14,1	19,7	0,79 [0,37 ; 1,68]	0,1107
	VL	80,1	23,7	1	
	VU	4,8	16,7	0,64 [0,21 ; 1,99]	
	PL	1,0	80,0	12,9 [1,32 ; 125,84]	
Franchissement (VL, VU, PL)	Non	92,8	22,4	1	0,1422
	Oui	5,6	40,9	2,39 [0,86;6,67]	
	Inconnu	1,6	46,2	2,97 [0,48;18,21]	

Le Tableau 47 montre que le risque de souffrir d'une lésion MAIS3+ est plus élevé pour les plus âgés, et particulièrement les 75 ans et plus, et est multiplié par 13 en cas de heurt par un PL. Il est aussi majoré en cas de franchissement. Ces facteurs sont identiques à ceux associés à la létalité.

4.5.3.1 Facteurs de risque de lésions MAIS3+ aux membres inférieurs, à la tête/face et au thorax

Pour les piétons comme pour les autres blessés dans les accidents de la circulation, les régions corporelles qui présentent les lésions les plus graves sont la tête et le thorax. Pour les piétons, la zone la plus fréquemment touchée est constituée par les membres inférieurs. Ce sont donc ces trois zones corporelles pour lesquelles nous allons rechercher des facteurs de risque de lésion MAIS3+. Nous restreignons notre échantillon de travail aux collisions frontales avec un VL sans franchissement. Le Tableau 48 montre la répartition des régions atteintes pour cette sélection.

Tableau 48 : Répartition des régions corporelles atteintes pour les piétons décédés et survivants (toutes gravités) heurtés par un VL en choc frontal

	100 Piétons décédés observés		149 piétons blessés observés		7144 Piétons (pondérés)		% MAIS3+
Régions corporelles atteintes	N victime	% victime	N victime	(% ligne)	N victime	% victime	% ligne MAIS3+
R=1 (Tête)	88	88,0	54	36,2	2232	31,2	16,9
R=2 (Face)	34	34,0	43	28,9	1901	26,6	0,2
R=3 (Cou)	3	3,0	2	1,3	92	1,3	1,1
R=4 (Thorax)	56	56,0	19	12,8	922	12,9	27,6
R=5 (Abdomen)	23	23,0	8	5,4	303	4,2	20,5
R=6 (Colonne vertébrale)	31	31,0	22	14,8	1011	14,2	4,1
R=7(Membres supérieurs)	42	42,0	57	38,3	2772	38,8	20,0
R=8 (Membres inférieurs)	73	73,0	96	64,4	4172	58,4	27,4
R=9 (Indéterminé)	46	46,0	18	12,1	773	10,8	0,0

Membre inférieur

72 piétons morts et 96 blessés ont une lésion décrite avec un MAIS déterminé aux membres inférieurs. Après pondération, l'effectif est égal à 4171 piétons. Nous nous intéressons aux facteurs associés à une lésion grave aux membres inférieurs parmi les piétons blessés aux membres inférieurs.

Tableau 49 : facteurs associés au risque de MAIS3+ parmi les blessés aux membres inférieurs

	Facteurs	% en col	% mais3+ en ligne	Régression uni-varié /OR brut	Régression multivariée/ OR
Sexe du piéton	F	60,4	28,4	1	1
	H	39,6	26,0	0,89 [0,36 ; 2,22]	1,09 [0,34 ; 3,49]
Âge du piéton	0-14	20,0	16,9	1,21 [0,22 ; 6,65]	1,13 [0,09 ; 13,46]
	15-29	19,0	14,5	1	1
	30-59	25,0	25,2	1,99 [0,49 ; 8,06]	3,06 [0,42 ; 22,24]
	60-74	16,4	29,6	2,49 [0,58 ; 10,67]	4,35 [0,75 ; 25,41]
	>=75	19,5	51,9	6,39 [1,57 ; 25,90]	8,34 [1,30 ; 53,36]
Vitesse au choc	0-20	14,1	10,8	1	1
	20-30	9,4	21,8	2,3 [0,30 ; 17,71]	1,43 [0,15 ; 13,33]
	30-40	8,9	75,6	25,49 [2,80 ; 232,10]	30,82 [3,28 ; 289,4]
	40-50	4,3	53,3	9,4 [1,14 ; 77,29]	6,18 [0,65 ; 58,69]
	>=50	4,5	63,0	14,05 [1,22 ; 161,58]	14,23 [1,04 ; 193,84]
	Inconnu-En agglo	56,6	19,9	2,05 [0,40 ; 10,60]	1,95 [0,42 ; 9,00]
	Inconnu-Hors agglo	2,2	33,4	4,12 [0,19 ; 90,20]	19,10 [1,27 ; 287,6]
Zone de contact initial sur le véhicule	Côté	48,5	40,7	1,56 [0,33 ; 7,35]	3,52 [0,75 ; 16,66]
	Centre	9,3	30,6	1	1
	Inconnu	42,2	11,5	0,3 [0,06 ; 1,58]	0,62 [0,12 ; 3,10]

Les piétons âgés de plus de 60 ans ont plus de risque d'avoir une blessure grave aux membres inférieurs. L'influence de la vitesse au choc n'est pas claire, le risque de subir une lésion MAIS3+ aux membres inférieurs étant le plus élevé pour des vitesses "intermédiaires". La zone de contact initial n'a pas d'effet significatif, même si on peut noter la valeur ponctuelle plus élevée en cas d'impact "décalé".

Tête/face

172 piétons observés ont une blessure à la tête ou à la face. L'effectif estimé est égal à 3528 après pondération. Parmi les 172 piétons observés, la tête/face a été notée comme ayant heurté le sol pour 25 d'entre eux. Sachant que nous cherchons à quantifier l'effet de l'emplacement de l'impact principal sur le véhicule, nous choisissons d'exclure ces derniers de l'analyse, qui porte donc sur 147 piétons observés, soit un effectif pondéré de 2787.

Tableau 50 : facteurs associés au risque de MAIS3+ à la tête parmi les blessés à la tête ou à la face

	Facteurs	% en col	% mais3+ en ligne	Régression uni-varié /OR brut	Régression multivariée/ OR
Sexe du piéton	F	51,0	9,5	1	1
	H	49,0	8,6	0,89 [0,26 ; 3,04]	0,74 [0,16 ; 3,52]
Âge du piéton	0-14	11,6	1,1	0,78 [0,17 ; 3,6]	0,48 [0,06 ; 3,84]
	15-29	29,5	1,4	1	1
	30-59	30,4	7,2	5,31 [1,13 ; 24,97]	5,69 [0,76 ; 42,78]
	60-74	13,8	22,5	19,92 [4,13 ; 96,02]	22,17 [4,17 ; 117,8]
	>=75	14,6	22,0	19,36 [4,84 ; 77,39]	17,32 [3,31 ; 90,69]
Vitesse au choc	0-20	8,0	1,2	1	1
	20-30	7,0	3,3	2,71 [0,40 ; 18,43]	4,47 [0,25 ; 80,5]
	30-40	9,6	10,3	9,24 [0,90 ; 94,66]	10,77 [0,78 ; 149,8]
	40-50	9,8	12,0	11,00 [1,06 ; 113,7]	14,40 [0,77 ; 270,8]
	>=50	6,7	27,6	30,61 [4,44 ; 210,9]	48,09 [2,94 ; 788,1]
	Inconnu-En agglo	57,9	8,0	7,00 [1,13 ; 43,21]	9,84 [1,05 ; 92,66]
	Inconnu-Hors agglo	1,1	8,7	7,66 [0,48 ; 123,4]	85,38 [2,55 ; >999]
Zone du véhicule impactée par la tête du piéton : capot	Non	98,9	9,0	1	
	Oui	1,1	11,7	1,34 [0,14;12,57]	
Zone du véhicule impactée par la tête du piéton : Pare-brise	Non	73,3	7,4	1	
	oui	26,7	13,6	1,96 [0,49;7,92]	
Zone du véhicule impacté par la Tête du piéton : Entourage	non	97,2	8,3	1	
	Oui	2,8	36,6	6,39 [0,78;52,63]	

En prenant la tranche d'âge 15-29 ans comme référence, le risque d'avoir une blessure à tête parmi les blessés à la tête est multiplié par presque 20 pour les 60 ans et plus. La vitesse au choc majore également ce risque (par presque 50 pour une vitesse au choc égale ou supérieure à 50 km/h. La recherche de la zone impactée par la tête ne donne pas de différence significative, même si l'estimation ponctuelle du risque d'avoir une blessure à la tête de gravité 3 ou plus est de plus de 6 quand l'impact est relevé sur l'entourage du pare-brise.

Thorax

75 piétons observés ont une blessure au thorax. L'effectif estimé est égal à 922 après pondération.
Comme pour les autres régions corporelles, l'âge augmente significativement le risque d'être victime d'une lésion au thorax de niveau 3 ou plus (x 70 pour les 75 ans et plus). Cependant, l'effet de la vitesse au choc n'apparait pas, et aucune localisation sur le véhicule ne ressort. Ce phénomène n'est pas vraiment étonnant car les relevés de traces du thorax sont particulièrement délicats, même si le codage de la base le prévoyait.

Tableau 51 : facteurs associés au risque de MAIS3+ au thorax parmi les piétons blessés aux thorax

	Facteurs	% en col	% mais3+ en ligne	Régression uni-varié /OR brut	Régression multivariée/ OR
Sexe du piéton	F	55,4	34,3	1	1
	H	44,6	19,3	0,46 [0,08 ; 2,5]	0,89 [0,08 ; 10,34]
Âge du piéton	0-14	6,9	6,2	0,4 [0,02 ; 8]	0,93 [0,01 ; 73,22]
	15-29	23,2	14,2	1	1
	30-59	29,2	12,2	0,84 [0,05 ; 13,49]	0,45 [0,00 ; 113,11]
	60-74	19,9	33,3	3,02 [0,2 ; 45,96]	5,57 [0,24 ; 131,91]
	>=75	20,8	65,8	11,63 [0,94 ; 143,59]	70,7 [2,72 ; >999,99]
Vitesse au choc	0-20	10,3	34,4	1	1
	20-30	7,3	10,4	0,22 [0,01 ; 5,8]	0,02 [0,00 ; 0,39]
	30-40	12,1	46,3	1,64 [0,04 ; 68,68]	7,90 [0,40 ; 157,75]
	40-50	19,6	34,9	1,03 [0,03 ; 41,1]	2,59 [0,22 ; 31,10]
	>=50	11,5	37,0	1,12 [0,03 ; 40,66]	1,61 [0,04; 74,23]
	Inconnu-En agglo	38,9	16,2	0,37 [0,01 ; 9,66]	0,77 [0,00 ; 248,17]
	Inconnu-Hors agglo	0,3	100,0	-	-

En résumé, la région corporelle des piétons la plus fréquemment touchée est celle des membres inférieurs, suivie de celle des membres supérieurs, puis de la tête. L'âge majore le risque de souffrir d'une lésion d'AIS3+ pour toutes les régions corporelles. L'effet de la vitesse au choc sur la probabilité d'avoir une lésion AIS3+ dans une zone touchée n'est montré que pour la tête, alors que son effet pour les membres inférieurs et le thorax n'est pas clair. Enfin, la localisation de l'impact n'apparait pas significative, même si les résultats vont dans le sens attendu, à savoir une probabilité d'observer une blessure AIS3+ plus élevée en cas de choc avec l'entourage du pare-brise pour la tête, et en cas de choc frontal décalé pour le membre inférieur.

5 SYNTHÈSE ET DISCUSSION DES PRINCIPAUX RÉSULTATS

L'analyse porte sur 888 piétons observés, dont 424 tués. Une fois les pondérations appliquées pour représenter le véritable enjeu pour la France métropolitaine, le nombre de victimes corporelles piétons est estimé à 22375, dont 1,9% sont tuées. La configuration "le piéton traverse la chaussée hors intersection alors que le véhicule va tout droit" est la plus fréquente (36%), et deux fois plus fréquente quand le piéton traverse la chaussée de droite à gauche par rapport au sens de circulation du véhicule, autrement dit quand il commence sa traversée de chaussée. 13% des accidents surviennent alors que le véhicule roule tout droit et que le piéton traverse en aval d'une intersection. Quand le véhicule tourne, et que le piéton traverse, c'est deux fois plus souvent quand le véhicule tourne à gauche, donc en coupant la voie opposée. Enfin les cas où le piéton (ou le véhicule) était masqué représentent 12% des configurations. Ces résultats sont dans l'ensemble cohérents avec ceux de travaux récents obtenus en Allemagne et en Grande Bretagne, avec un écart important pour ces derniers sur les accidents se produisant alors que le piéton marche en long sur la chaussée, écart qui demanderait à être étudié de près (AsPecSS 2013).

Certaines configurations accidentelles sont liées à des caractéristiques du conducteur, de son véhicule ou des conditions de circulation. Ainsi une visibilité réduite semble favoriser les accidents se produisant alors que le véhicule tourne en intersection et que le piéton traverse la chaussée. Et les conducteurs hommes sont particulièrement impliqués quand ils tournent à droite à une intersection. Concernant l'âge des conducteurs, le heurt du piéton en marche arrière apparait plus fréquent pour les plus jeunes, alors que les plus âgés sont plus souvent impliqués en allant tout droit alors qu'un piéton traverse de la droite vers la gauche. Enfin les usagers de deux-roues motorisés sont plus souvent impliqués en roulant en ligne droite alors qu'un piéton traverse la chaussée de droite à gauche, ou en intersection, alors qu'ils sont très peu impliqués en tournant en intersection, profitant sans doute du fait qu'ils n'ont pas d'angle mort dans leur champ de vision.

Quelle que soit la configuration, la défaillance de type détection est très majoritaire pour le conducteur, et spécialement pour les véhicules tournant à gauche alors qu'un piéton traverse, et bien sûr en cas de marche arrière. La deuxième défaillance la plus souvent notée est l'erreur de pronostic. Elle est le plus souvent relevée dans le cas du véhicule allant tout droit alors que le piéton traverse la chaussée, au niveau d'une intersection, ainsi que dans le cas du piéton longeant sur la chaussée. Le type de défaillance identifié pour le piéton est très différent de celui du conducteur, avec autant de défaillances de type décision que de type détection, et 23% de piétons pour lesquels aucune défaillance n'est identifiée. Les erreurs qualifiées de décision se produisent en traversée de chaussée alors que le véhicule va tout droit, assez souvent en cas de véhicule en marche arrière, ou quand le piéton est masqué au conducteur du véhicule. La défaillance dite "globale" est souvent notée en cas d'alcoolémie positive pour le conducteur comme pour le piéton, et très souvent quand le piéton marche sur et le long de la chaussée, mais la mesure d'alcoolémie n'est effective que pour 40% des piétons.

Plus généralement, la majorité des accidents de piétons interviennent de jour par temps "normal" et en intersection, et 95% de ces accidents se produisent en agglomération. On peut noter également que 37% des accidents provoquant la mort d'un piéton surviennent la nuit et 30% en rase campagne. 90% des heurts de piétons se produisent sur la chaussée, de manière égale sur ou hors passage piéton, mais la proportion de tués est plus

élevée hors passage piéton. Le véhicule heurtant est un VL dans 70% des accidents corporels, et un deux-roues motorisé dans presque 17% des cas (une motocyclette dans 9,4%, un cyclomoteur dans 6,7%).

La proportion de piétons qui se font rouler dessus est relativement faible, 6%, mais elle est de 23% en cas d'atteinte mortelle. 41% des piétons heurtés par un camion ont été victimes d'un franchissement, 18% quand il s'agit d'un TC, 15% quand il s'agit d'un VU et 5% contre un VL. Ainsi la hauteur de caisse du véhicule apparait favoriser nettement le franchissement du piéton, et des contre-mesures devraient être envisagées.

Hommes et femmes sont également victimes en tant que piétons, et la répartition par tranches d'âge est assez régulière. Cependant les hommes et les piétons âgés sont surreprésentés dans les accidents mortels. Si cette surreprésentation des plus âgés s'explique par leur plus faible capacité à encaisser les chocs (Demetriades, Murray et al. 2004; Henary, Ivarsson et al. 2006; Richards and Carroll 2012), l'origine de celle des hommes est plus à rechercher dans les circonstances de leurs accidents, puisqu'on n'observe plus d'effet du sexe sur la létalité dès lors qu'on tient compte de facteurs tels que la vitesse au choc. Concernant les conducteurs impliqués, les trois quarts sont des hommes et la tranche d'âge la plus représentée est la tranche 25-34 ans.

3% des piétons accidentés ont une alcoolémie positive, soit 6% des piétons pour lesquels la mesure a été faite. Cette proportion est à rapprocher des 3% estimés pour les conducteurs pour lesquels la mesure a été effectuée. L'interprétation de ces proportions est cependant délicate car il est probable que les piétons pour lesquels la mesure est effectuée ne sont pas pris au hasard.

Concernant les manœuvres éventuellement tentées par les conducteurs accidentés, près de la moitié des conducteurs n'ont eu aucune réaction, cette proportion montant à 60% pour les accidents mortels.

Les conducteurs de plus de 65 ans sont plus souvent responsables d'un accident mortel de piéton. Le risque d'être responsable d'un accident mortel est 7 fois plus élevé chez les conducteurs alcoolisés que chez les non alcoolisés. Une conduite au-dessus de la vitesse réglementaire multiplie par 4 le risque d'être responsable d'un accident mortel. Concernant le piéton, il a environ 4 fois plus de risque d'être responsable d'un accident mortel quand il est alcoolisé. Ce risque est 14 fois plus élevé pour les piétons qui courraient au moment de l'accident comparés aux piétons qui marchaient.

L'effet sur la létalité du piéton du type de véhicule a été largement étudié (Henary, Crandall et al. 2003; Ballesteros, Dischinger et al. 2004; Roudsari, Mock et al. 2004; Aleassa, Eid et al. 2013). Dans la présente étude, le risque pour le piéton d'être tué est presque 14 fois plus élevé quand le choc se produit avec un PL plutôt qu'un VL, et environ 2 fois plus élevé quand il s'agit d'un VU ou d'un TC. Une fois la vitesse prise en compte, le PL reste associé à la valeur la plus élevée. Enfin le fait pour un piéton d'être franchi multiplie par 5 la probabilité d'être tué, que la vitesse soit prise en compte ou pas.

Le rôle de la vitesse sur la gravité des conséquences corporelles subies par le piéton est évidemment central (Zivot and Di Maio 1993; Elvik, Christensen et al. 2004; Garder 2004; Nilsson 2004; Richards 2010; Elliott, Simms et al. 2012; Han, Yang et al. 2012; Matsui, Hitosugi et al. 2013). Pour les accidents les plus fréquents, c'est-à-dire avec un piéton percuté par un VL en choc frontal, cette étude montre que la proportion de piétons tués

augmente avec le carré de la vitesse. Ainsi le risque d'être tué est estimé à 5% pour une vitesse au choc de 50 km/h, à 17% pour 60 km/h, à 56% pour 70 km/h. La démonstration de cette relation de la létalité avec le carré de la vitesse au choc n'a pas pu être apportée pour des niveaux de gravité comme le MAIS 3+ par exemple, essentiellement du fait d'un manque de puissance statistique, mais on ne voit pas vraiment pourquoi cette relation ne serait pas aussi valable. Autrement dit le bénéfice qu'on peut espérer avoir, par exemple en créant des zones à basse vitesse, doit diminuer le risque d'être tué, mais aussi le risque d'être gravement blessé.

Une fois cet effet vitesse au choc pris en compte, les deux seules variables qui ont un effet significatif sur la létalité sont l'âge du piéton, avec une proportion de tués multipliée par 5 pour les 60-74 ans, et par 25 au-delà, et la zone de contact décentrée sur l'avant du véhicule, qui correspond à une zone de raideur plus importante que le centre du véhicule.

La région corporelle des piétons la plus fréquemment touchée est celle des membres inférieurs, suivie de celle des membres supérieurs, puis de la tête. L'âge majore le risque de souffrir d'une lésion d'AIS3+ pour toutes les régions corporelles. Enfin, la localisation de l'impact n'apparait pas significative, même si les résultats vont dans le sens attendu, à savoir une probabilité d'observer une blessure AIS3+ plus élevée en cas de choc avec l'entourage du pare-brise pour la tête, et en cas de choc frontal décalé pour le membre inférieur.

6 CONCLUSION

Le projet VOIESUR a permis d'analyser très finement les données rassemblées par les forces de l'ordre dans les procès-verbaux. Les pondérations appliquées selon une méthodologie développée par ailleurs ont permis des estimations au niveau national pour l'ensemble des accidents corporels. Bien sûr, des limites existent à ce travail, qui viennent en particulier de la différence de qualité et de quantité d'information selon que les accidents sont mortels ou non. Ainsi le nombre d'observations parfois faible pour les accidents non mortels conduit à des variances élevées entrainant des résultats non significatifs par manque de puissance statistique. C'est cette difficulté qui explique sans doute le fait qu'on n'ait pas pu mettre en évidence clairement l'importance des zones impactées du véhicule sur la localisation des lésions et leur gravité associée.

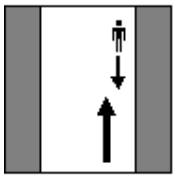
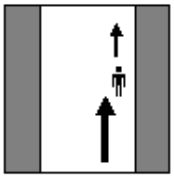
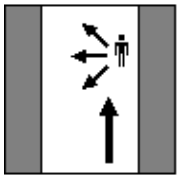
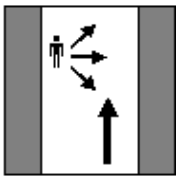
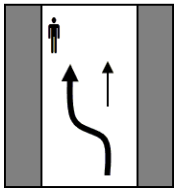
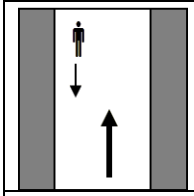
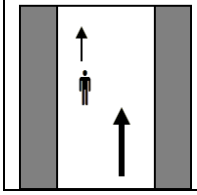
Cependant les résultats sur les configurations d'accidents, le type de défaillance estimée et le rôle de la vitesse sur la gravité permettent de mettre en avant certaines contre-mesures visant à diminuer le nombre d'accidents de piétons ou leur gravité.

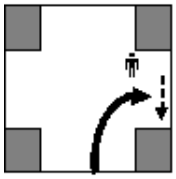
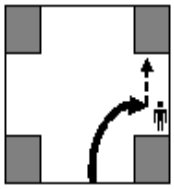
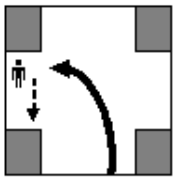
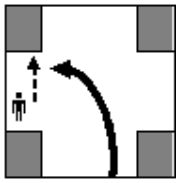
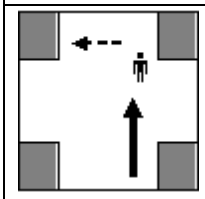
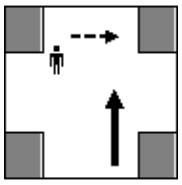
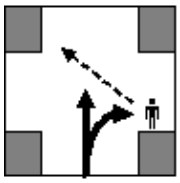
Ainsi la mauvaise détection du piéton par le conducteur de VL, VU ou PL est très souvent à l'origine de l'accident. Les systèmes de signalement de la présence d'un piéton, en cours de mise sur le marché, sont donc un dispositif prometteur. Les progrès à faire concernant le mauvais pronostic souvent identifié pour le conducteur sont plus affaire d'éducation et de formation. Et à propos d'éducation, le fait que les renversements de piétons par des VL, VU ou PL tournant à droite en intersection ne soient quasiment exclusivement que le fait de conducteurs hommes pose également question. Le nombre élevé d'erreurs de détection et de décision de la part des piétons montre que les problèmes d'éducation et de formation les concernent également.

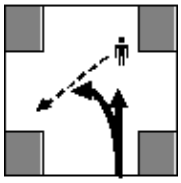
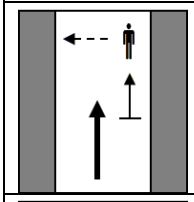
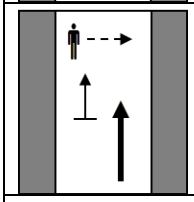
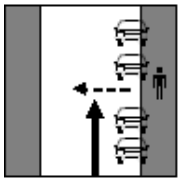
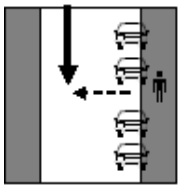
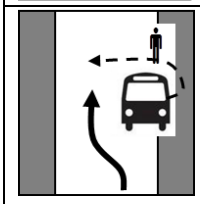
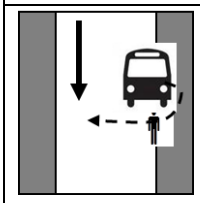
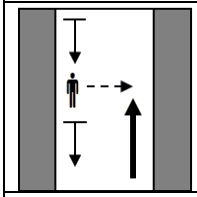
Ce travail a par ailleurs permis d'affirmer, si besoin était, le rôle central de la vitesse sur la survenue et la gravité de l'accident. Le fait que le risque d'être tué augmente avec le carré de la vitesse à laquelle le piéton est heurté ne peut qu'inciter les pouvoirs publics à poursuivre la politique de zones à faible vitesse dès lors que les piétons se déplacent sur les mêmes zones que les véhicules.

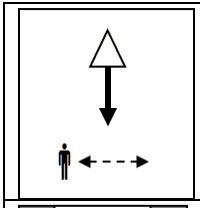
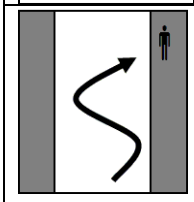
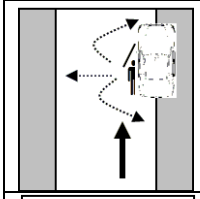
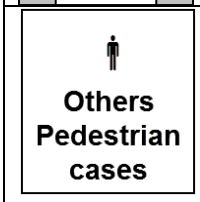
ANNEXE 1

Distributions des pictogrammes d'accidents de piétons en France. 2011

Configuration		Accidents mortels		Accidents non mortels	
		N	% col	N	% col
	Piéton de face longeant la trajectoire du véhicule	9	2,1	4	0,9
	Piéton de dos longeant la trajectoire du véhicule	44	10,3	11	2,4
	Piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche	101	23,6	103	22,3
	Piéton traversant la chaussée de la gauche vers la droite	93	21,7	59	12,8
	Piéton longeant la trajectoire du véhicule heurté par un véhicule en dépassement	2	0,5	0	0
	Piéton de face longeant la trajectoire du véhicule sur voie opposée	3	0,7	1	0,2
	Piéton de dos longeant la trajectoire du véhicule sur voie opposée	2	0,5	1	0,2

	Piéton en intersection; véhicule en tourne à droite avec piéton traversant sur axe perpendiculaire de la gauche vers la droite	6	1,4	11	2,4
	Piéton en intersection; véhicule en tourne à droite avec piéton traversant sur axe perpendiculaire de la droite vers la gauche	9	2,1	12	2,6
	Piéton en intersection; véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant sur axe perpendiculaire de la droite vers la gauche	7	1,6	27	5,9
	Piéton en intersection; véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant sur axe perpendiculaire de la gauche vers la droite	7	1,6	18	3,9
	Piéton en intersection; véhicule allant tout droit avec piéton traversant après l'intersection de la droite vers la gauche	9	2,1	39	8,5
	Piéton en intersection; véhicule allant tout droit avec piéton traversant après l'intersection de la gauche vers la droite	16	3,7	23	5,0
	Piéton en intersection; piéton traversant en diagonale avec une trajectoire allant bas droite vers haut gauche	1	0,2	0	0
	Piéton en intersection; piéton traversant en diagonale avec une trajectoire allant haut gauche vers bas droite	2	0,5	2	0,4
	Piéton en intersection; piéton traversant en diagonale avec une trajectoire allant bas gauche vers haut droite	0	0	3	0,7

	Piéton en intersection; piéton traversant en diagonale avec une trajectoire allant haut droite vers bas gauche	1	0,2	0	0
	Piéton traversant de droite à gauche et heurté par le véhicule circulant sur la voie de gauche avec présence d'un véhicule sur la voie de droite arrêté ou décélérant pour laisser passer le piéton	3	0,7	9	2,0
	Piéton traversant de gauche à droite et heurté par le véhicule circulant sur la voie de droite avec présence d'un véhicule sur la voie de gauche arrêté ou décélérant pour laisser passer le piéton	2	0,5	3	0,7
	Piéton traversant de droite à gauche initialement masqué par des véhicules en stationnement et heurté par un véhicule venant de sa gauche	10	2,3	21	4,6
	Piéton traversant de gauche à droite initialement masqué par des véhicules en stationnement et heurté par un véhicule venant de sa droite	4	0,9	4	0,9
	Piéton traversant de droite à gauche descendant ou initialement masqué par un bus à l'arrêt	1	0,2	7	1,5
	Piéton traversant de gauche à droite descendant ou initialement masqué par un bus à l'arrêt	1	0,2	5	1,1
	Piéton traversant de gauche à droite initialement masqué par des véhicules arrêté dans le trafic	2	0,5	5	1,1
	Piéton couché ou étendu sur la chaussée (généralement piéton alcoolisé)	15	3,5	0	0

	Piéton heurté par un véhicule en marche arrière	27	6,3	26	5,7
	Piéton heurté par un véhicule en perte de contrôle	10	2,4	5	1,1
	Changement de mode: Piéton descendant ou remontant dans son véhicule	8	1,9	4	0,9
	Autres configurations impliquant un piéton	33	7,7	57	12,4

RÉFÉRENCES

Aleassa, E. M., H. O. Eid, et al. (2013). "Effects of vehicle size on pedestrian injury pattern and severity: prospective study." World J Surg **37**(1): 136-140.

Alhajyaseen, W. K., M. Asano, et al. (2013). "Left-turn gap acceptance models considering pedestrian movement characteristics." Accid Anal Prev **50**: 175-185.

Amoros, E., J. L. Martin, et al. (2008). "Actual incidences of road casualties, and their injury severity, modelled from police and hospital data, France." Eur J Public Health **18**(4): 360-365.

AsPecSS. (2013). "D1.1-FINAL-Scenariosweighting-BASt-2013-02-17-PUBLIC.pdf."

Ballesteros, M. F., P. C. Dischinger, et al. (2004). "Pedestrian injuries and vehicle type in Maryland, 1995-1999." Accid Anal Prev **36**(1): 73-81.

Camden, A., R. Buliung, et al. (2012). "The impact of pedestrian countdown signals on pedestrian-motor vehicle collisions: a quasi-experimental study." Inj Prev **18**(4): 210-215.

Chawla, A., S. Mukherjee, et al. (2008). "Effect of active muscle forces on knee injury risks for pedestrian standing posture at low-speed impacts." Traffic Inj Prev **9**(6): 544-551.

Davis, G. (2001). "Relating severity of pedestrian injury to impact speed in vehicle–vehicle–pedestrian crashes." Transp Res Rec(1773): 108–113.

Davis, G. A. and Y. Gao (1995). "Statistical methods to support induced exposure analyses of traffic accident data." Transportation Research Record **1401**: 43-49.

Demetriades, D., J. Murray, et al. (2004). "Pedestrians injured by automobiles: relationship of age to injury type and severity." J Am Coll Surg **199**(3): 382-387.

Elliott, J. R., C. K. Simms, et al. (2012). "Pedestrian head translation, rotation and impact velocity: the influence of vehicle speed, pedestrian speed and pedestrian gait." Accid Anal Prev **45**: 342-353.

Elvik, R., P. Christensen, et al. (2004). Speed and road accidents. An evaluation of the Power Model. **Report 740/2004, Institute of Transport Economics, Oslo, Norway.**

Garder, P. E. (2004). "The impact of speed and other variables on pedestrian safety in Maine." Accid Anal Prev **36**(4): 533-542.

Gupta, V. and K. H. Yang (2013). "Effect of vehicle front end profiles leading to pedestrian secondary head impact to ground." Stapp Car Crash J **57**: 139-155.

Han, Y., J. Yang, et al. (2012). "Effects of vehicle impact velocity, vehicle front-end shapes on pedestrian injury risk." Traffic Inj Prev **13**(5): 507-518.

Hannawald, L. and F. Kauer (2004). " Equal effectiveness study on pedestrian protection." Technische Universität Dresden.

Henary, B. Y., J. Crandall, et al. (2003). "Child and adult pedestrian impact: the influence of vehicle type on injury severity." Annu Proc Assoc Adv Automot Med **47**: 105-126.

Henary, B. Y., J. Ivarsson, et al. (2006). "The influence of age on the morbidity and mortality of pedestrian victims." Traffic Inj Prev **7**(2): 182-190.

Hill, D. A., L. M. Delaney, et al. (1996). "A population-based study of outcome after injury to car occupants and to pedestrians." J Trauma **40**(3): 351-355.

Kutner, M., C. Nachtsheim, et al. (2004). Applied Linear Statistical Models. New York., McGraw-Hill/Irwin.

Lenguerrand, E., J. L. Martin, et al. (2007). "Limits of the quasi-induced exposure method when compared with the standard case-control design. Application to the estimation of risks associated with driving under the influence of cannabis and alcohol." Accid Anal Prev **40**(3): 861-868.

Martin, J. L., A. Lardy, et al. (2011). Pedestrian Injury Patterns According to Car and Casualty Characteristics in France. 55th Annals of Advances in Automotive Medicine (AAAM) Annual Conference.

Matsui, Y., M. Hitosugi, et al. (2013). "Situations of car-to-pedestrian contact." Traffic Inj Prev **14**(1): 73-77.

Nilsson, G. (2004). Traffic Safety Dimensions and the Power model to Describe the Effect of speed on Safety, Traffic Safety Dimensions and the Power model to Describe the Effect of speed on Safety.

Pulugurtha, S. S. and V. R. Sambhara (2011). "Pedestrian crash estimation models for signalized intersections." Accid Anal Prev **43**(1): 439-446.

Richards, D. (2010). Relationship between Speed and Risk of Fatal Injury: Pedestrians and Car Occupants. Road Safety Web Publication. TRL. **16**.

Richards, D. and J. Carroll (2012). "Relationship between types of head injury and age of pedestrian." Accid Anal Prev **47**: 16-23.

Richmond, S. A., L. Rothman, et al. (2014). "Exploring the impact of a dedicated streetcar right-of-way on pedestrian motor vehicle collisions: A quasi experimental design." Accid Anal Prev **71C**: 222-227.

Richmond, S. A., A. R. Willan, et al. (2014). "The impact of pedestrian countdown signals on pedestrian-motor vehicle collisions: a reanalysis of data from a quasi-experimental study." Inj Prev **20**(3): 155-158.

Rosen, E. and U. Sander (2009). "Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed." Accid Anal Prev **41**(3): 536-542.

Rosen, E., H. Stigson, et al. (2011). "Literature review of pedestrian fatality risk as a function of car impact speed." Accid Anal Prev **43**(1): 25-33.

Roudsari, B., R. Kaufman, et al. (2006). "Turning at intersections and pedestrian injuries." Traffic Inj Prev **7**(3): 283-289.

Roudsari, B. S., C. N. Mock, et al. (2004). "Pedestrian crashes: higher injury severity and mortality rate for light truck vehicles compared with passenger vehicles." Inj Prev **10**(3): 154-158.

Searson, D. J., T. P. Hutchinson, et al. (2012). "From crash test speed to performance in real world conditions: a conceptual model and its application to underhood clearance in pedestrian head tests." Stapp Car Crash J **56**: 485-496.

Siddiqui, C., M. Abdel-Aty, et al. (2012). "Macroscopic spatial analysis of pedestrian and bicycle crashes." Accid Anal Prev **45**: 382-391.

Tarko, A. and M. S. Azam (2011). "Pedestrian injury analysis with consideration of the selectivity bias in linked police-hospital data." Accid Anal Prev **43**(5): 1689-1695.

Tefft, B. C. (2013). "Impact speed and a pedestrian's risk of severe injury or death." Accid Anal Prev **50**: 871-878.

WHO (2013). WHO Global Safety, Decade for Action, Word health Organisation**:** 237.

Zegeer, C. V. and M. Bushell (2012). "Pedestrian crash trends and potential countermeasures from around the world." Accid Anal Prev **44**(1): 3-11.

Zivot, U. and V. J. Di Maio (1993). "Motor vehicle-pedestrian accidents in adults. Relationship between impact speed, injuries, and distance thrown." Am J Forensic Med Pathol **14**(3): 185-186.