

# Projet CACIAUP

Amélioration des **C**onnaissances sur les **AC**cidents **I**mpliquant un **AU**tomobiliste et un **P**iéton



## R4.3 – Analyse des lésions

Etude CACIAUP  
Etudes Des Lésions

*Ce projet est financé par la Fondation Sécurité Routière (FSR) et le Laboratoire d'Accidentologie et de Biomécanique (LAB)*



## Sommaire

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>8</b>
<b>1. LES ENJEUX : NOMBRE DE TUES ET DE BLESSES DANS LE MONDE, EN EUROPE ET EN FRANCE.....</b>	<b>9</b>
1.1. LES ENJEUX A L'ECHELLE MONDIALE.....	9
1.2. LES ENJEUX EN EUROPE .....	9
1.3. LES ENJEUX EN FRANCE.....	9
<b>2. COLLECTE DES DONNEES D'ACCIDENT .....</b>	<b>10</b>
2.1. LES ACCIDENTS CONCERNES .....	10
2.2. LES OBSTACLES IMPACTES PAR LES PIETONS.....	11
2.2.1. Véhicules .....	11
2.2.2. Infrastructure et ses éléments.....	12
2.3. LES DONNEES LESIONNELLES .....	12
2.3.1. Protocole de collecte des données médicales.....	12
2.3.2. Echelle de codification des lésions.....	13
2.3.3. Thématiques de recherche et réflexions sur les lésions.....	13
<b>3. REGLEMENTATION ET TESTS CONSUMERISTES .....</b>	<b>14</b>
3.1. REGLEMENTATION EUROPEENNE .....	14
3.2. ESSAIS EURONCAP .....	15
<b>4. CARACTERISATION DE LA BASE DE DONNEES CACIAUP .....</b>	<b>16</b>
4.1. GENERALITES SUR LES 100 ACCIDENTS.....	16
4.1.1. Luminosité et conditions atmosphériques lors de l'accident.....	16
4.1.2. Type de voie.....	18
4.2. LES MANŒUVRES PRE-ACCIDENTELLES DANS L'ECHANTILLON CACIAUP.....	18
4.3. GENERALITES SUR LES VEHICULES IMPLIQUES.....	19
4.3.1. Année de conception & type de véhicules .....	19
4.3.2. Répartition de la vitesse de collision .....	20
4.4. REPARTITION DU TYPE DE CHOC.....	21
4.4.1. Répartition des zones d'impact .....	21
4.5. GENERALITES SUR LES PIETONS.....	22
4.5.1. Age et genre des piétons .....	22
4.5.2. La gravité.....	22
4.5.3. Répartition des blessures .....	23
4.5.4. Répartition de la gravité des lésions des piétons selon l'âge et la vitesse.....	24
4.5.5. Répartition des structures anatomiques touchées et des principaux types de lésion .....	26
<b>5. BILAN LESIONNEL EN CHOC FRONTAL.....</b>	<b>27</b>
5.1. DONNEES GENERALES SUR LE CHOC FRONTAL .....	27
5.1.1. Les manœuvre pré-accidentelles.....	27
5.1.2. Age des piétons .....	28
5.1.3. Forme avant du véhicule .....	29
5.1.4. Localisation de la prise de contact sur le véhicule.....	30
5.1.5. Distribution des blessures par territoire corporel.....	31
5.1.6. Répartition de la gravité maximale (MAIS).....	31
5.1.7. Répartition des piétons heurtés par la face avant d'un véhicule selon la vitesse, la distance de projection et la trajectoire.....	35
5.2. GRAVITE PAR TERRITOIRE .....	38
5.2.1. Tête.....	38
5.2.2. Membres supérieurs.....	40
5.2.3. Membres inférieurs .....	43
5.2.4. Thorax .....	45
5.2.5. Bassin .....	47
5.2.6. Abdomen.....	49

5.2.7.	Colonne vertébrale .....	52
5.3.	CHOC A BASSE VITESSE .....	54
5.3.1.	Répartition de l'ensemble des lésions par territoire corporel.....	55
5.3.2.	Répartition des zones d'impact .....	55
5.3.3.	Répartition du niveau de sévérité de l'ensemble des lésions selon la vitesse.....	56
5.3.4.	Distribution des lésions les plus graves .....	56
5.3.5.	Les lésions au niveau des membres inférieurs.....	57
5.3.6.	Synthèse des chocs à basse vitesse .....	59
5.4.	LES AUTRES ETUDES .....	59
5.4.1.	GIDAS.....	59
5.4.2.	PCDS .....	60
5.5.	COMPARAISON DES RESULTATS AVEC LES TESTS EURONCAP.....	62
5.6.	SYNTHESE SUR LES MECANISMES LESIONNELS EN CHOC FRONTAL.....	63
<b>6.</b>	<b>RESULTATS: CHOC LATERAL .....</b>	<b>64</b>
6.1.	DONNEES GENERALES SUR LE CHOC LATERAL .....	64
6.1.1.	Les manœuvres pré-accidentelles .....	64
6.1.2.	Age des piétons .....	65
6.1.3.	Localisation de la prise de contact sur le véhicule.....	65
6.1.4.	Distribution des blessures par territoire corporel.....	66
6.1.5.	Répartition de la gravité maximale (M.AIS) .....	67
6.1.6.	Les vitesses d'impact .....	68
6.2.	ETUDE DE CAS.....	68
6.3.	SYNTHESE .....	70
<b>7.</b>	<b>BILAN LESIONNEL EN CHOC ARRIERE .....</b>	<b>70</b>
7.1.	DONNEES GENERALES SUR CHOC ARRIERE .....	70
7.1.1.	Age des piétons .....	70
7.1.2.	Les véhicules impliqués.....	70
7.1.3.	Distribution des blessures par territoire corporel.....	71
7.1.4.	Répartition de la gravité maximale (M.AIS) .....	71
7.1.5.	Les vitesses d'impact .....	71
7.2.	ETUDE DE CAS.....	71
7.3.	SYNTHESE .....	72
<b>8.</b>	<b>RESULTATS – ANALYSE DES FACTEURS DE RISQUE .....</b>	<b>73</b>
8.1.	SEVERITE GLOBALE.....	73
8.1.1.	Risque d'avoir une gravité générale supérieure ou égale à 2 .....	73
8.1.2.	Risque d'avoir une gravité générale supérieure ou égale à 3 .....	73
8.1.3.	Courbes de risque .....	74
8.2.	SEVERITE PAR TERRITOIRE .....	75
8.2.1.	Le crâne .....	75
8.2.2.	Les autres territoires corporels.....	76
8.3.	DISCUSSION – COMPARAISON AVEC D'AUTRES ETUDES.....	76
<b>9.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>78</b>
	<b>ANNEXE 1 – PICTOGRAMMES DES ACCIDENTS AVEC PIETON .....</b>	<b>79</b>
	<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>81</b>

**Auteurs :**

**Véronique HERVE – CEESAR Nanterre**

132, rue des Suisses

92000 NANTERRE

+33 1 76 87 38 88

[veronique.herve@ceesar.asso.fr](mailto:veronique.herve@ceesar.asso.fr)

**Romain FRICHETEAU – CEESAR Nanterre**

132, rue des Suisses

92000 NANTERRE

+33 1 76 87 25 68

[romain.fricheteau@ceesar.fr](mailto:romain.fricheteau@ceesar.fr)

## **Remerciements**

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont permis la réalisation de ce rapport. Nous remercions tout particulièrement les accidentologues de l'antenne de Bondoufle CEESAR qui ont réalisé les études détaillées d'accidents impliquant des piétons et nous remercions également la Fondation Sécurité Routière, co-financeur de ce projet avec le LAB.

## Liste des figures

Figure 1 - Répartition des piétons tués et impliqués dans les accidents de la route en fonction du type de véhicule heurtant (source SETRA 2010) .....	10
Figure 2 - Référentiel orthonormé positionné sur les véhicules et référencement des points d'impact .....	11
Figure 3 - Position résiduel du piéton après le choc (pupitre J) .....	12
Figure 4 - Réglementation Europe en vigueur .....	14
Figure 5 - Impacteur fémur/bassin .....	15
Figure 6 - Essais de l'EuroNCAP avec les seuils correspondants [Dufaure, 2011] .....	15
Figure 7 - Exemple de notation au choc piéton .....	16
Figure 8: Répartition des accidents de piétons selon la luminosité (Sources CACIAUP et SETRA) ...	17
Figure 9- Répartition des accidents en fonction des conditions atmosphériques (Sources CACIAUP et SETRA) .....	17
Figure 10 - Répartition des accidents en fonction du type de voie (Sources CACIAUP) .....	18
Figure 11: Répartition des manœuvres pré-accidentelles (n=100) .....	19
Figure 12 - Répartition de l'année de conception des véhicules heurtant .....	20
Figure 13 – Répartition des piétons (% cumulé) selon la vitesse lors de la collision .....	20
Figure 14: Répartition du type de choc .....	21
Figure 15- Répartition des zones d'impact ayant provoqué une lésion pour l'ensemble des piétons ..	21
Figure 16 - Répartition de l'âge des piétons en % .....	22
Figure 17 - Répartition de l'ensemble des lésions selon le territoire corporel .....	23
Figure 18 - Pourcentage de Mais 2+ et de Mais3+ selon l'âge .....	24
Figure 19 - Pourcentage de Mais2+ et Mais3+ selon la vitesse .....	25
Figure 20 - Répartition des pourcentages de M. Ais 2+ et M. Ais 3+ par territoire corporel .....	26
Figure 21 – Répartition des manœuvres pré-accidentelles en choc frontal .....	28
Figure 22 - Répartition de la forme avant des véhicules .....	30
Figure 23 - Répartition de la forme avant des véhicules .....	30
Figure 24 - Répartition de l'ensemble des lésions par territoire corporel .....	31
Figure 25 - Répartition des gravités par âge pour chocs frontaux .....	32
Figure 26 - Répartition de la gravité selon l'âge des piétons en choc frontal (Source: Setra 2010) .....	33
Figure 27 - Répartition des pourcentages de M. Ais2+ et M. Ais3+ par territoire pour les piétons en choc frontal .....	34
Figure 28 - Pourcentage cumulé des piétons heurtés par la face avant d'un véhicule selon la vitesse et la gravité des blessures .....	35
Figure 29 - Pourcentage cumulé des piétons heurtés par la face avant d'un véhicule selon la distance de projection (n=81) .....	36
Figure 30 - Répartition des piétons selon la vitesse et la distance de projection en choc frontal .....	36
Figure 31 - Wrap .....	37
Figure 32 - Fender Vault .....	37
Figure 33 - Forward projection .....	37
Figure 34 - Roof Vault .....	37
Figure 35 - Répartition du niveau d'Ais selon la vitesse .....	38
Figure 36 – Descriptif du crâne .....	39
Figure 37 - Répartition des lésions AIS2+ en fonction de la zone d'impact .....	40
Figure 38 - Répartition des piétons selon la vitesse de collision pour tous les chocs frontaux et pour les chocs ayant occasionné des lésions AIS2+ au crâne .....	40
Figure 39 - Répartition du niveau Ais des lésions aux membres supérieurs par classe de vitesse .....	41
Figure 40 - Descriptif du membre supérieur .....	42
Figure 41 - Répartition des lésions AIS2+ aux membres supérieurs en fonction de la zone d'impact ..	42
Figure 42 - Répartition du niveau d'Ais des lésions aux membres inférieurs par classe de vitesse ..	43
Figure 43 – Descriptif du membre inférieur .....	44
Figure 44 - Répartition des lésions AIS2+ aux membres inférieurs en fonction de la zone d'impact ...	44
Figure 45 - Répartition du niveau d'Ais des lésions au thorax par classe de vitesse .....	45
Figure 46 - Descriptif du thorax .....	46
Figure 47 - Répartition des lésions AIS2+ au niveau du thorax en fonction de la zone d'impact .....	46
Figure 48 - Répartition des piétons selon la vitesse de collision pour tous les chocs frontaux et pour les chocs ayant occasionné des lésions AIS2+ au thorax .....	46
Figure 49 - Répartition du niveau d'Ais des lésions au bassin selon les classes de vitesse .....	47
Figure 50 - Descriptif du bassin .....	47

Figure 51 – Répartition des piétons selon la vitesse de collision pour tous les chocs frontaux et pour les chocs ayant occasionné des lésions au niveau du bassin. ....	48
Figure 52 - Répartition du niveau d'Ais des lésions à l'abdomen selon les classes de vitesse.....	49
Figure 53 - Descriptif de l'abdomen.....	50
Figure 54 - Répartition des lésions AIS2+ au niveau de l'abdomen en fonction de la zone d'impact ..	51
Figure 55 - Répartition des piétons selon la vitesse de collision pour tous les chocs frontaux et pour les chocs ayant occasionné des lésions AIS2+ à l'abdomen.....	51
Figure 56 - Répartition du niveau d'Ais des lésions à la colonne selon les classes de vitesse.....	52
Figure 57 - Descriptif de la colonne dorso-lombaire .....	53
Figure 58 - Répartition des lésions AIS2+ au niveau de la colonne dorso-lombaire en fonction de la zone d'impact.....	54
Figure 59 - Répartition des piétons selon la vitesse de collision pour tous les chocs frontaux et pour les chocs ayant occasionné des lésions AIS 2+ au niveau de la colonne .....	54
Figure 60 - Répartition des lésions à faible vitesse par territoire corporel .....	55
Figure 61 - Répartition de zones d'impact à faible vitesse.....	56
Figure 62 - Répartition de la sévérité des lésions selon les classes de vitesse .....	56
Figure 63 - Répartition des lésions aux membres inférieurs en fonction de la zone d'impact.....	58
Figure 64 - Distribution (en %) des véhicules impliqués dans la base PCDS.....	60
Figure 65 - Répartition des lésions en fonction de la zone d'impact responsable [Chidester, 2001] ...	61
Figure 66 - Répartition des manœuvres pré-accidentelles (n=11).....	65
Figure 67 - Distribution des impacts.....	66
Figure 68 - Distribution des lésions en choc latéral par territoire corporel.....	67
Figure 69 - Plan accident choc latéral N°1 .....	68
Figure 70 - Plan accident choc latéral N°2 .....	69
Figure 71 - Plan accident choc latéral N°3.....	69
Figure 72 - Distribution des lésions en choc arrière par territoire corporel .....	71
Figure 73 - Plan accident choc arrière N°1 .....	72
Figure 74 - Plan accident choc arrière N°2 .....	72
Figure 75 - Risque d'avoir un Ais Maximum supérieur ou égal à 2 selon la vitesse.....	74
Figure 76 - Risque d'avoir un Ais Maximum supérieur ou égal à 3 selon la vitesse.....	75

## Liste des tableaux

Tableau 1 - Description de l'échelle AIS.....	13
Tableau 2 - Répartition de la gravité des piétons (Source: Setra 2010) .....	23
Tableau 3- Répartition de la gravité des piétons (Source : CACIAUP).....	23
Tableau 4 - Répartition des piétons en fonction de la gravité.....	24
Tableau 5 - Répartition des blessures par territoires corporels en fonction de la sévérité globale pour tous les piétons.....	25
Tableau 6- Répartition des structures anatomiques .....	26
Tableau 7- Répartition des principaux types de lésion .....	27
Tableau 8 – Répartition de l'âge des piétons heurtés en Frontal (Source : CACIAUP) .....	29
Tableau 9 - Répartition de l'âge des piétons en choc frontal (Source: setra 2010) .....	29
Tableau 10 - Répartition de la gravité des piétons heurtés en choc frontal (Source : CACIAUP).....	31
Tableau 11 – Répartition de la gravité des piétons en choc frontal (Source :setra 2010) .....	32
Tableau 12 - Répartition du nombre de blessures par gravité pour les chocs frontaux .....	32
Tableau 13 - Répartition de la gravité maximale pour chaque territoire corporel pur l'ensemble des piétons (choc frontal) .....	33
Tableau 14- distribution des trajectoires après l'impact des piétons impactés en choc frontal .....	37
Tableau 15 - Répartition des lésions AIS2+ au niveau du crâne .....	39
Tableau 16- Répartition des lésions AIS2+ aux membres supérieurs.....	41
Tableau 17 - Répartition des lésions AIS 2+ aux membres inférieurs.....	43
Tableau 18 - Répartition des lésions AIS2+ au niveau du Thorax.....	45
Tableau 19- Répartition des piétons blessés au bassin avec au moins une lésion AIS2+ en fonction de l'âge .....	48
Tableau 20 - Répartition des piétons blessés au bassin avec au moins une lésion AIS2+ en fonction de la vitesse de collision.....	48
Tableau 21 - Distribution des lésions au niveau du bassin, de l'âge des piétons et de la surface impactée.....	49
Tableau 22- Répartition des lésions Ais2+ au niveau de l'abdomen .....	50
Tableau 23- Répartition des piétons avec au moins une lésion AIS2+ à l'abdomen en fonction de l'âge .....	52
Tableau 24- Répartition des lésions AIS2+ au niveau de la colonne dorso-lombaire .....	53
Tableau 25 - Répartition des lésions les plus graves à faible vitesse.....	57
Tableau 26 - Répartition de toutes les lésions aux membres inférieurs .....	58
Tableau 27 – Classification des configurations « zone d'impact vs territoire corporel » pour les lésions AIS3+ .....	60
Tableau 28 - Distribution du nombre de lésions en fonction des territoires corporels et des zones d'impact pour les véhicules particuliers [Roudsari, 2005] .....	61
Tableau 29 - Classification des configurations « zone d'impact vs territoire corporel » pour toutes les lésions (synthèse de [Roudsari, 2005]) .....	62
Tableau 30 - Distribution du nombre de lésions en fonction des territoires corporels et des zones d'impact pour les véhicules particuliers en choc frontal .....	63
Tableau 31- Répartition des lésions Ais 2+ par territoire corporel selon les zones d'impact.....	63
Tableau 32 - Répartition des piétons en choc latéral en fonction de l'âge .....	65
Tableau 33 - Répartition des piétons en choc latéral en fonction de la gravité globale des lésions.....	67
Tableau 34 - Répartition des MAIS par territoire pour tous les piétons en choc latéral.....	68
Tableau 35 - Répartition des piétons en choc arrière en fonction de l'âge .....	70
Tableau 36- Valeur des p pour chaque variable significative.....	73
Tableau 37 - Estimation des odds Ratios pour un MAIS 2+ .....	73
Tableau 38 - Valeur des p pour chaque variable significative.....	74
Tableau 39 - Estimation des odds Ratio pour un MAIS 3+ .....	74
Tableau 40 - Valeur du p pour la seule variable significative.....	75
Tableau 41 - Estimation des odds Ratios pour un MAIS 2+ au niveau du crâne .....	75
Tableau 42 – Analyse de l'effet de la vitesse d'impact sur le risque de blessure, issu de [Zhang, 2008] .....	76
Tableau 43 - Analyse de l'effet de l'âge des piétons sur le risque de blessure, issu de [Zhang, 2008] .....	76

## Introduction

Chaque année on observe environ 411 836 piétons tués dans le monde répartis en 227 835 (55%) tués dans les pays émergents, 161 501 (40%) dans les pays à revenu intermédiaire et 22 500 (5%) dans les pays à haut revenu [Naci, 2009]. D'après les données mondiales de l'OMS, chaque année 1.2 millions de personnes sont tuées dans les accidents de la route. La proportion des piétons tués est donc importante (~34%<sup>1</sup>) et fait de cette catégorie d'accident un enjeu majeur de la recherche en sécurité routière.

Afin de développer des contremesures pour réduire le nombre des piétons tués, des connaissances sur l'accidentologie réelle sont nécessaires. Elles concernent par exemple la description des scénarios types d'accidents, des mécanismes lésionnels ou encore l'identification des besoins des usagers (en lien avec les défaillances fonctionnelles).

Les challenges sur la construction de connaissances sur les mécanismes lésionnels sont relatifs à la compréhension de l'impact de différents facteurs sur les blessures dont souffrent les piétons.

Les recherches scientifiques concernent par exemple :

- l'impact des données anthropométriques des piétons [Oxley, 2006], [Kim, 2008] et [Kim, 2010],
- les dimensions et la forme avant des véhicules heurtant [Henary, 2003], [Roudsari, 2005] et [Kopczynski, 2011],
- les vitesses de choc [Rosén, 2009],
- etc.

L'objectif du travail présenté dans ce rapport est de dresser un panorama détaillé des lésions occasionnées sur les piétons, de déterminer les mécanismes lésionnels associés et ainsi de déterminer les éléments explicatifs des lésions. Nous utilisons pour cela une base de données construite pour ce projet. En tout, 100 cas d'accident avec piéton ont été analysés sur la base de variables génériques et spécialisées [Sinnaeve, 2009]. Chaque cas a fait l'objet d'une étude détaillée sur les lieux de l'accident, en temps réel mais aussi en temps différé (entretien avec les impliqués et collecte des informations non éphémères).

Cette base de données a comme principal avantage de fournir une description détaillée des lésions et de relier ces dernières à l'obstacle qui en est à l'origine (point d'impact sur le véhicule ou autre obstacle). Pour chaque type de lésion (en fonction des territoires corporels), les zones à améliorer sont identifiées et priorisées.

Le rapport est organisé de la façon suivante :

- Un premier chapitre sur les enjeux de sécurité à différentes échelles (mondiale, européenne et Française). Les chiffres montrent que la catégorie des accidents de piétons est un enjeu majeur de sécurité routière. Au niveau mondial, la proportion des piétons tués est environ 34%, elle est de 20% à l'échelle européenne et de 12% en France.
- Un chapitre sur la description du processus de collecte d'informations qui a été utilisé pour construire la base de données CACIAUP. Un focus est réalisé sur la description des obstacles et sur l'étude des données lésionnelles.
- Une présentation de la réglementation et des tests consuméristes européens concernant les accidents de piétons. Dans la suite du rapport nous nous efforçons de comparer ces tests avec les données d'accidents afin d'analyser leur pertinence et d'identifier d'éventuels axes d'amélioration.
- Une caractérisation de la base de données en fonction des conditions, des manœuvres accidentelles, des véhicules, des chocs et piétons.
- Trois chapitres sur l'étude détaillée des lésions pour le choc frontal, le choc latéral et le choc arrière. Pour chacune de ces typologies, nous fournissons des données générales sur le choc et des données lésionnelles précises en fonction des territoires corporels.
- Enfin nous terminons par analyse des facteurs de risque dont l'objectif est de caractériser les liens entre les variables observées et le risque de blessures.

---

<sup>1</sup> Ce chiffre est variable en fonction des documents de références. Il varie entre 22 et 40%.

# 1. LES ENJEUX : NOMBRE DE TUÉS ET DE BLESSÉS DANS LE MONDE, EN EUROPE ET EN FRANCE

## 1.1. Les enjeux à l'échelle mondiale

Dans son rapport de 2004 [Peden, 2004], l'OMS estimait que les accidents de la route causaient annuellement 1,2 millions de morts et entre 20 et 50 millions de blessés. Environ 90% des décès surviennent dans les pays à revenu faible ou intermédiaire alors qu'ils ne comptent que 48% des véhicules immatriculés dans le monde.

Les usagers dits « vulnérables », que sont les piétons, les cyclistes et les usagers de deux-roues motorisés, représentent 46% des tués par accident de la route dans le monde [WHO, 2009] et [Naci, 2009]. Cette proportion est néanmoins très différente en fonction des pays, à cause de la diversité des modes de transports. Par exemple, aux Etats-Unis les usagers vulnérables représentent 15% des tués dans les accidents de la route, alors qu'en Thaïlande ils représentent 85% (dont 70% pour les deux-roues motorisés).

De même que pour l'ensemble des usagers « vulnérables », les chiffres concernant les piétons tués sont très variables en fonction des pays. Aux Etats-Unis, ils représentent 12% des tués alors qu'à Dehli en Inde ils représentent environ 42% des tués (pas de données trouvées à l'échelle du pays entier).

La Chine, l'Inde, l'Ethiopie, la Russie, la République Démocratique du Congo et le Bangladesh représentent à eux seuls, 50% des tués piétons recensés dans le Monde.

## 1.2. Les enjeux en Europe

En 2008<sup>2</sup> [DACOTA, 2010], 37 265 personnes ont été tuées dans les accidents de la route dans l'Europe des 23. Certains groupes de population ou de catégories d'usagers sont particulièrement affectés: les jeunes de 18 à 24 ans (6 421 tués – 17.2% du total des tués) et les piétons (7 638 tués – 20% du total des tués).

Les piétons représentent en Europe la majorité des usagers vulnérables et la seconde catégorie d'usagers la plus touchée en termes de mortalité (après les usagers de voiture de tourisme) dans les accidents de la route. Ils constituent donc un enjeu important dans la gestion de l'insécurité routière pour de nombreux pays européens.

Les piétons tués en Europe représentent à peu près 2% des piétons tués dans le Monde.

En 2010, les pays d'Europe qui comptabilisent le plus fort risque d'être tué piéton pour 100 000 habitants sont : la Lettonie, la Lituanie, la Pologne, la Roumanie et la Slovaquie. Si on regarde le nombre de piétons tués on obtient le classement suivant (chiffre de 2008) : Pologne (1 882 tués), Roumanie (1 065 tués), Allemagne (653 tués), Italie (648 tués) et l'Angleterre (591 tués).

## 1.3. Les enjeux en France

En 2010, pour la première fois en France, le nombre de tués est passé sous le seuil des 4000 : 3992 personnes ont trouvé la mort à la suite d'un accident de la circulation et 84 461 personnes ont été blessées [ONISR, 2010].

Les piétons tués en France représentent 8% des tués piétons en Europe.

Le bilan 2010 est marqué par une baisse de tous les indicateurs par rapport à 2009 :

- 7% pour le nombre d'accidents corporels,
- 7,1% pour le nombre de blessés et
- 6,6% pour le nombre de personnes tuées.

La France enregistre un taux de mortalité par accident de la route de 6,1 décès pour 100 000 habitants et un taux de tués piétons de 0,7 tués pour 100 000 habitants.

Ce bilan place la France parmi les pays Européens présentant les meilleurs résultats.

Si l'on regarde l'évolution de 1972 à 2010 par catégories d'usagers, les tués dans les véhicules légers baissent de 75%, ceux des deux-roues motorisés de 72%, tandis que les tués piétons chutent de 85%.

---

<sup>2</sup> Ils ont été préparés en 2010 et sont basées sur l'année la plus récente avec les données les plus complètes disponibles à l'époque, ce qui correspond à 2008.

Depuis 2000, ce sont les occupants des véhicules légers pour lesquels il a été constaté la plus forte baisse de la mortalité (-58%), suivi par les piétons (-39%) et les usagers de deux roues motorisés (-28%).

Depuis plus de 30 ans, en France comme dans de nombreux autres pays Européens, le nombre de piétons impliqués dans un accident de la route a tendance à décroître, mais l'enjeu reste important : 485 tués, 4584 blessés hospitalisés et 7502 blessés légers en 2010 (voir).

Les piétons représentent en 2010 12% des tués dans un accident de la route, 15% des blessés hospitalisés et 14% des blessés légers.

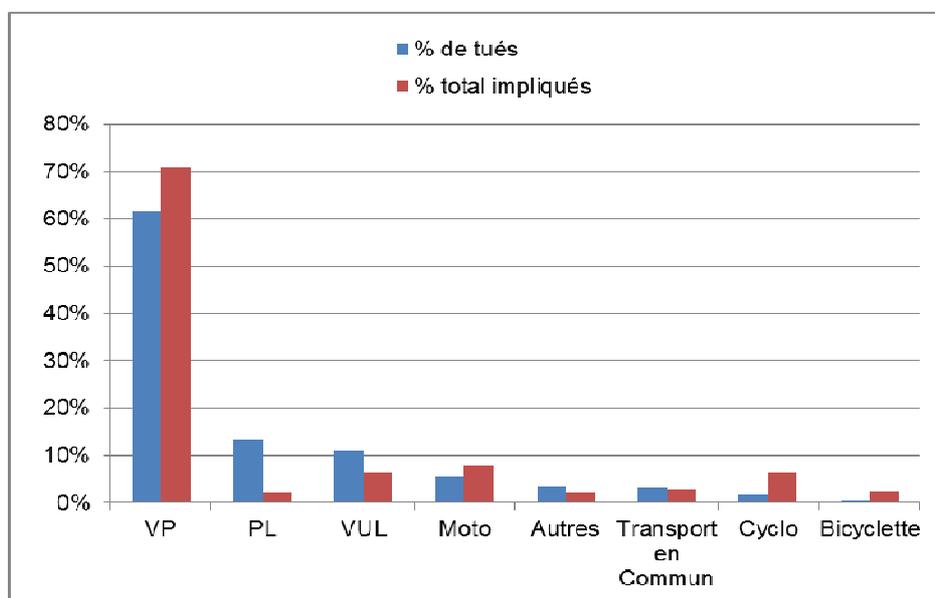


Figure 1 - Répartition des piétons tués et impliqués dans les accidents de la route en fonction du type de véhicule<sup>3</sup> heurtant (source SETRA 2010)

## 2. COLLECTE DES DONNÉES D'ACCIDENT

Les études en accidentologie sont basées sur l'étude d'accidents dans lesquels au moins une victime a été blessée légèrement. Différentes méthodes de recueils de données sont actuellement utilisables : le BAAC (Bulletin d'Analyse des Accidents Corporels de la Circulation), les Procès-Verbaux dressés par les forces de l'ordre, le Registre du Rhône et enfin les Etudes Détaillées d'Accidents (EDA). Ces outils sont principalement différenciables par leur niveau de représentativité et par la richesse des informations (niveau de détails). Il n'y a actuellement pas de méthode en place permettant de répondre à ces deux caractéristiques.

Dans le projet CACIAUP, les données sur les accidents corporels ont été recueillies à l'aide d'EDA. C'est la méthode la mieux adaptée pour répondre à l'ensemble des interrogations du projet car elle repose sur une analyse détaillée d'accidents le plus souvent sur la scène de l'accident et en temps réel. Cette méthode a néanmoins comme principale limite de ne permettre l'étude que d'un nombre limité d'accidents. Les objectifs et la mise en œuvre des EDA sont détaillées dans le rapport R11 [Phan, 2009] du projet CACIAUP.

Pour ce projet, une méthodologie spécifique a été mise en œuvre afin d'analyser le plus finement possible les lésions des piétons en lien avec les obstacles responsables. Une décision collégiale (équipe chargée de l'étude, experts en accidentologie et médecin) était prise sur la cause des lésions lors des sessions de revue des cas d'accidents.

### 2.1. Les accidents concernés

Dans cette étude, les accidents contre piétons impliquant un VL ou un VUL ont été analysés (pas de critères de sélection spécifique sur ces deux catégories de véhicule). Les piétons sont tous les usagers à pieds se trouvant sur la chaussée, les trottoirs, un parking, une voie privée, etc.

<sup>3</sup> Dans la suite du document, tous les chiffres du SETRA ne concernent que les accidents avec VL ou VUL

Les usagers en roller ou en trottinette ne sont pas considérés comme des piétons dans l'étude.

Le recueil des informations concernant les piétons heurtés est regroupé en fonction des catégories suivantes :

- Les données anthropomorphiques : taille, poids, hauteur des genoux / hanches / épaules,
- Le déplacement en cours,
- La situation accidentelle,
- La trajectoire après impact [Ravani, 1981],
- Les données lésionnelles : utilisation du codage AIS (voir section 4.1).

## 2.2. Les obstacles impactés par les piétons

### 2.2.1. Véhicules

Dans le cadre des études sur les piétons, des classifications et des méthodes de mesure ont été proposées pour les VL et les VUL. Elles servent principalement à caractériser les formes des véhicules ainsi que les chocs contre les piétons.

Pour étudier le rôle de la forme avant des véhicules dans la survenue des lésions sur les piétons, des classifications ont été définies [Danner, 1979] et [Moser, 2000]. Elles regroupent les véhicules qui ont le même profil et permettent ainsi d'étudier « l'agressivité » d'un véhicule par rapport aux piétons. Ces catégories de forme sont définies par la hauteur du pare-choc, l'inclinaison du capot et de la face avant.

De nombreux paramètres géométriques sont également utilisés pour décrire la géométrie de la face avant. Il s'agit par exemple de l'épaisseur du pare choc, la distance horizontale entre la baie inférieure de pare-brise et le bord antérieur du capot, la hauteur du bord antérieur du capot moteur par rapport au sol, les distances développées de différents points du véhicule, etc. Voir l'annexe 2 du rapport R11 du projet [Phan, 2009] pour plus de détails sur la codification des véhicules.

Pour définir précisément le rôle de la forme avant du véhicule dans la survenue des lésions, il est nécessaire de pouvoir effectuer le lien entre les lésions observées et les points d'impact.

Cette corrélation est rendue possible grâce à un examen minutieux du véhicule (voir Figure 2) et le détail des lésions des piétons. Chaque impact est répertorié grâce à un référentiel orthonormé positionné sur le véhicule (axe de l'essieu avant et axe médian du véhicule). Ces mesures sont détaillées dans la partie 9.5 du rapport R11 [Phan, 2009].

L'analyse experte de ces points d'impacts et des lésions permet de déterminer sur quelle zone du véhicule le piéton s'est blessé.

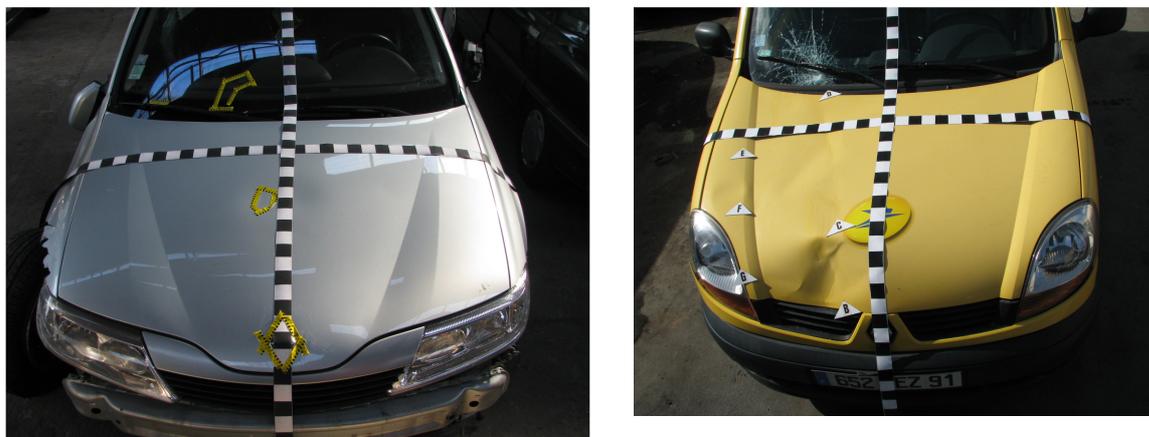


Figure 2 - Référentiel orthonormé positionné sur les véhicules et référencement des points d'impact

## 2.2.2. Infrastructure et ses éléments

Toutes les lésions ne sont pas uniquement causées par un impact sur la voiture. L'impact sur le sol ou tout autre obstacle est également pris en compte. Dans les cas où une même lésion peut être imputable au véhicule ou à l'infrastructure, la lésion est corrélée avec les deux points d'impact.

La nature des blessures dépendra principalement de la trajectoire du piéton après l'impact et de la violence du choc. Les lésions typiques de ce choc sont par exemples des contusions, des abrasions ou encore des plaies. La corrélation entre les lésions et le sol (ou tout autre élément de l'infrastructure) se fait grâce :

- A l'examen de la scène d'accident. On s'intéresse par exemple à la position finale du piéton sur le sol (voir Figure 3) ou encore au premier point d'impact avec le sol avant un éventuel glissement.
- A l'étude de la blessure et au mécanisme qui sont susceptibles de créer cette lésion.

L'identification du lien entre les lésions et les éléments responsables est un travail difficile. De façon à réduire le plus possible les erreurs d'analyse, chaque cas a été examiné lors de séances de travail avec des experts en accidentologie, les personnes qui ont traité le cas et des médecins.



*Figure 3 - Position résiduelle du piéton après le choc (pupitre J)*

## 2.3. Les données lésionnelles

Chaque usager impliqué dans les accidents analysés fait l'objet d'une étude de ses lésions. Ces informations proviennent des hôpitaux et sont analysées par l'équipe accidentologique et un médecin. Un langage normalisé (codage AIS [Chiron, 2004]) permet de les retranscrire, dans l'objectif de faire les études.

### 2.3.1. Protocole de collecte des données médicales

Les informations sur les lésions sont des données médicales sensibles. Dans les cas où ces informations sont présentes dans les procédures judiciaires (les PV), les équipes du CEESAR ont l'autorisation pour pouvoir les consulter (voir les autorisations du procureur de la république dans le rapport [Phan, 2009]). Dans les cas contraires, des demandes sont envoyés directement auprès des impliqués pour récupérer leur bilan médicaux. Dans le cas où ils ne les possèdent pas, nous demandons une autorisation de leur part pour aller directement chercher les informations auprès des hôpitaux qui les ont traités.

Une fois les informations collectées, la base de données est constituée en accord avec la déclaration effectuée auprès de la CNIL (Numéro CNIL : 9080022 voir [Phan, 2009]).

### 2.3.2. Echelle de codification des lésions

Dans les accidents corporels, on distingue les catégories d'impliqué suivantes :

- les indemnes : impliqués non décédés et dont l'état ne nécessite aucun soin médical,
- Les blessés non hospitalisés : victimes ayant fait l'objet de soins médicaux mais non admises à l'hôpital ou ayant été admises à l'hôpital 24 heures au plus,
- Les blessés hospitalisés : victimes hospitalisées plus de 24h,
- Les personnes tuées : personnes qui décèdent du fait de l'accident, sur le coup ou dans les 30 jours qui suivent.

L'échelle internationale de sévérité des lésions qui traduit le risque vital, est appelée AIS (Abbreviated Injury Scale) et classe une blessure au sein d'un territoire corporel selon une échelle de sévérité à 6 chiffres variant de 1 (blessure mineure) à 6 (au-delà de toute ressource thérapeutique).

**Tableau 1 - Description de l'échelle AIS**

Code Ais	Description
1	Mineure
2	Modérée
3	Sérieuse
4	Sévère
5	Critique
6	Maximale
9	Inconnu

Sur cette échelle de sévérité, chaque lésion décrite est affectée d'un code numérique à 6 caractères en complément de la valeur AIS de la gravité de la lésion :

- le premier caractère identifie le territoire corporel [R]
- le second caractérise la structure anatomique [T]
- les troisième et quatrième caractères identifient :
  - La structure anatomique spécifique ou,
  - dans le cas de lésions externes, la nature particulière de la blessure[S]
- les cinquième et sixième identifient le type d'atteinte lésionnelle au sein d'un même territoire corporel [N]
- Enfin, le dernier caractère donne l'AIS proprement dit.

Dans la plupart des études, il est utile également de définir le niveau global de sévérité de l'impliqué. Ce niveau global est donné par l'AIS Maximum (M.AIS) qui est l'AIS le plus élevé recensé chez un blessé ayant subi des lésions multiples. Un M.AIS égale à 7 représente une personne tuée et non autopsiée, c'est-à-dire une personne pour laquelle nous n'avons aucune information sur la ou les lésions qui ont pu causer le décès.

Nous pouvons trouver également des M.AIS égales à 8, elles sont utilisées pour caractériser les personnes incinérées et tuées.

Il existe un autre indice de sévérité, il s'agit de l'ISS (Injury Severity Score). L'ISS est la somme des carrés des AIS les plus élevés des trois régions corporelles les plus atteintes. Cet indice n'a pas été utilisé dans cette étude.

### 2.3.3. Thématiques de recherche et réflexions sur les lésions

Les études réalisées sur les mécanismes lésionnels des piétons sont focalisées sur certains territoires corporels. Ces derniers sont les zones les plus impactées en termes de nombres de lésions et de leur gravité. La tête est le territoire qui est le plus touché. En effet, si on considère toutes les blessures sérieuses (AIS3+), la tête est le territoire corporel avec le plus de blessures [Ivarsson, 2007]. Les

blessures AIS3+ correspondent aux lésions dont le niveau de sévérité (AIS) est compris entre 3 et 6. Il s'agit des blessures les plus graves, y compris les mortelles.

De la même façon, les blessures AIS2+ correspondent aux lésions avec un AIS compris entre 2 et 6. C'est pourquoi de nombreuses études concernent les blessures à la tête. Les autres territoires et zones tels que le thorax, le bassin et les genoux sont également des zones pour lesquelles des études sont réalisées.

L'enjeu de focaliser des études sur ces territoires est de comprendre les mécanismes lésionnels et ainsi proposer des contremesures efficaces pour réduire la gravité des blessures. Les connaissances ainsi construites permettent d'identifier les points d'amélioration des véhicules, de concevoir les méthodes d'évaluation et de définir des réglementations (voir chap. suivant).

Ce rapport a comme objectif d'analyser si la priorisation qui est aujourd'hui effectuée sur certains territoires corporels tels que le genou est justifiée. Même si l'échantillon d'accidents de CACIAUP n'est pas représentatif des accidents piétons à l'échelle Européenne, les résultats obtenus sont un bon indicateur sur les conséquences lésionnelles des accidents contre piétons.

### 3. REGLEMENTATION ET TESTS CONSUMERISTES

Les tests d'évaluation des performances du niveau de protection des véhicules dans le cas de choc piéton sont construits à partir des données accidentologiques. Ils sont la retranscription des principaux mécanismes lésionnels en termes de gravité et d'occurrence. Les tests qui existent sont actuellement focalisés sur trois territoires corporels (tête, membres inférieurs et fémur / bassin) et sur trois zones d'impact sur le véhicule (pare-choc, capot et pare-brise). Ces tests ont pour objectif de communiquer sur le niveau de sécurité des véhicules mais aussi et surtout d'accompagner les constructeurs automobiles dans le processus d'amélioration de la sécurité des véhicules.

Les récents développements concernent principalement les membres inférieurs et plus précisément les genoux. De nombreuses recherches [Teresinski, 2001], [Matsui, 2005] et [Dufaure, 2011] portent sur la compréhension des mécanismes lésionnels du genou. L'objectif étant de construire des modèles numériques et des impacteurs<sup>4</sup> biofidèles, qui serviront à évaluer au mieux le niveau de protection des véhicules.

Les deux paragraphes suivants détaillent les principaux tests existant au niveau européen. Dans le reste du rapport, nous nous efforçons d'analyser la cohérence de ces tests (existants et futurs) sur la base des données de terrain.

#### 3.1. Réglementation européenne

Depuis 2005 [CE, 2005], l'Union Européenne oblige tous les constructeurs automobiles à homologuer leurs nouveaux véhicules pour le choc piétons. En 2009 [CE, 2009], une nouvelle réglementation est apparue. Elle modifie les exigences et les seuils des critères d'impact sont sévérés.

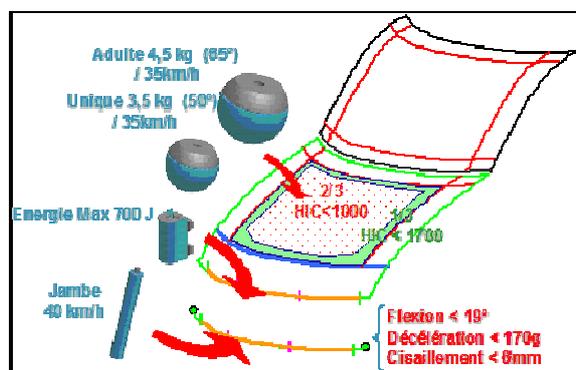


Figure 4 - Réglementation Europe en vigueur

<sup>4</sup> Les impacteurs sont des composants individuels qui servent à effectuer des crashes tests avec une maîtrise totale des zones d'impact. Avec un mannequin complet, il est difficile de mesurer la protection des piétons car il n'est pas possible de prédire la zone d'impact. C'est surtout vrai pour les chocs au niveau de la tête. Pour plus de détails, voir le site de l'EuroNCAP ([www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)).

Les impacteurs utilisés sont les suivants :

- Les impacteurs tête sont constitués d'une sphère en aluminium recouverte de caoutchouc que l'on projette sur le capot et/ou le parebrise. Le critère HIC (*Head Injury Criteria*) est calculé en fonction de la décélération mesurée et est comparée à une valeur seuil,
- L'impacteur jambe est constitué de deux éléments reliés ensemble par une articulation simulant le comportement du genou. Les mesures effectuées lors de la projection de cet impacteur sur le parechoc à 40 km/h sont la décélération, la flexion et le cisaillement. Les deux dernières mesures sont utilisées pour déterminer les lésions au niveau des ligaments et des os du genou,
- L'impacteur Fémur / Bassin est composé d'un tube recouvert de mousse auquel des masses peuvent être ajoutées en fonction du véhicule testé (voir Figure 5). L'impacteur est projeté sur le parechoc avant du véhicule et on mesure les efforts ainsi que le moment sur le tube.

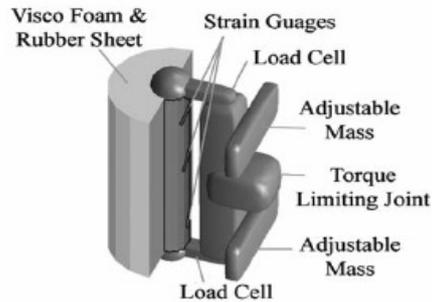


Figure 5 - Impacteur fémur/bassin

### 3.2. Essais EuroNCAP

En Europe, l'organisation consomériste EuroNCAP ([www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)) fournit depuis 1997 aux consommateurs du monde automobile une évaluation indépendante et réaliste des performances de sécurité des voitures parmi les plus vendues en Europe.

Partant du principe que les normes de sécurité imposées par la loi (réglementation) aux nouveaux véhicules sont minimales, Euro NCAP s'est donc fixé pour objectif d'encourager les constructeurs à dépasser ces exigences basiques. Les résultats pour chaque voiture testée sont donnés sous la forme d'étoiles (de 0 à 5). Depuis 2009, en plus des performances de protections des occupants des véhicules, la protection des piétons a été prise en compte dans la note globale. Leurs essais sont basés sur la réglementation de 2009 de la Commission Européenne avec cependant des seuils plus sévères (voir Figure 6).

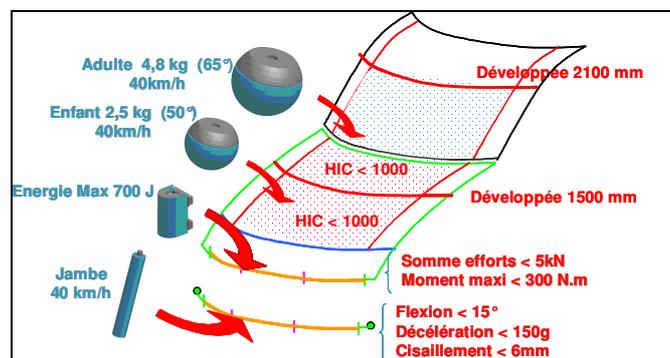


Figure 6 - Essais de l'EuroNCAP avec les seuils correspondants [Dufaure, 2011]

En fonction des résultats obtenus à chaque test, une note est donnée pour les différentes zones testées (voir Figure 7).

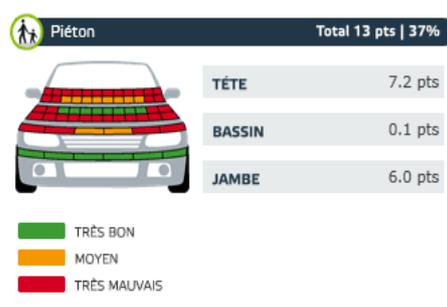


Figure 7 - Exemple de notation au choc piéton

## 4. CARACTERISATION DE LA BASE DE DONNEES CACIAUP

La base de données CACIAUP comporte 100 accidents avec pour chaque accident plus de 800 variables codées. Elle comporte :

- Une partie généralités et infrastructure,
- Une partie liée aux véhicules et plus particulièrement aux véhicules particuliers (VP),
- Une partie sur l'ensemble des usagers, sur les conducteurs et sur les piétons,
- Une partie lésion renseignée pour chaque usager blessé le type de blessures ainsi que le niveau de gravité et la zone d'impact qui a provoqué cette lésion,
- Une partie reconstruction nous donne des indications sur le choc, la vitesse...
- Enfin, une partie analyse explique le déroulement de l'accident.

Dans cette base de données, nous trouvons des variables liées à l'accidentologie primaire (comment s'est déroulé l'accident ?) et d'autres à l'accidentologie secondaire (quelles sont les conséquences de l'accident ?).

Les 100 accidents analysés ont impliqué 110 piétons.

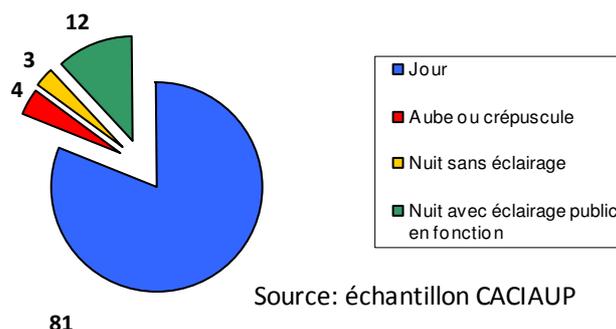
### 4.1. Généralités sur les 100 accidents

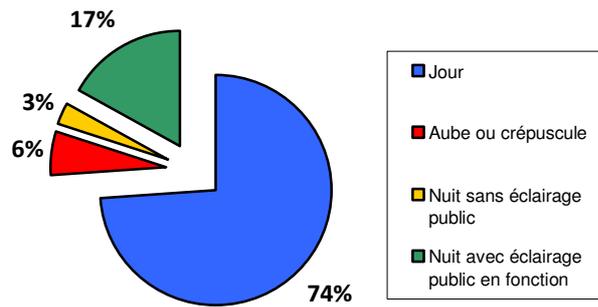
Sur les 100 accidents, 95 se sont déroulés en agglomération et 5 hors agglomération (4 sur route nationale ou départementale et 1 sur autoroute). Nous allons comparer ces résultats avec ceux issus de la base de données comportant tous les accidents impliquant au moins un véhicule particulier ou un véhicule utilitaire léger contre un piéton sur toute la France en 2010 (Source : Setra 2010)

En France, en 2010, 94% des accidents impliquant un VP ou un VUL contre un piéton se sont déroulés en agglomération.

#### 4.1.1. Luminosité et conditions atmosphériques lors de l'accident

Dans l'échantillon CACIAUP, 81% des accidents impliquant un piéton se déroulent le jour, 4% à l'aube ou au crépuscule et 15% la nuit. Pour l'ensemble des accidents de piétons en France, les résultats sont légèrement différents (74% le jour, 6% à l'aube ou crépuscule, 20% la nuit).

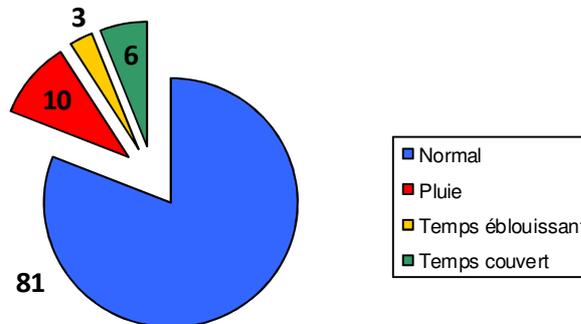




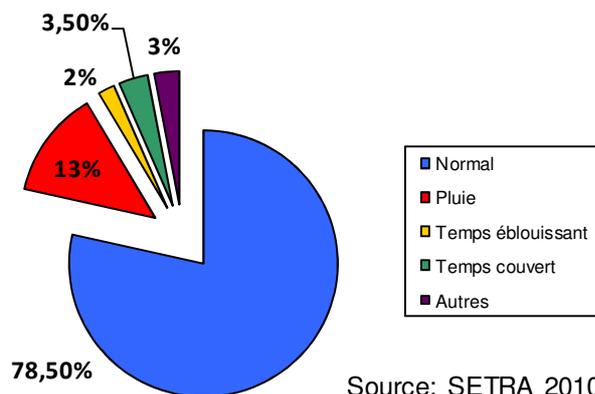
Source: Setra 2010

**Figure 8: Répartition des accidents de piétons selon la luminosité (Sources CACIAUP et SETRA)**

81% des accidents provenant de l'échantillon CACIAUP ont eu lieu sous des conditions atmosphériques normales (78,5% pour l'ensemble des accidents de piétons en France en 2010) et 10% sous la pluie (13% pour l'ensemble de la France).



Source: Echantillon CACIAUP



Source: SETRA 2010

**Figure 9- Répartition des accidents en fonction des conditions atmosphériques (Sources CACIAUP et SETRA)**

#### 4.1.2. Type de voie

La majorité des accidents se sont déroulés sur les voies principales urbaines. En ce qui concerne l'ensemble des accidents impliquant au moins un piéton en France en 2010 :

- 72% ont lieu sur des voies urbaines,
- 19% sur des routes départementales,
- 3.5% sur des routes nationales et
- 5.5% sur d'autres types de routes.

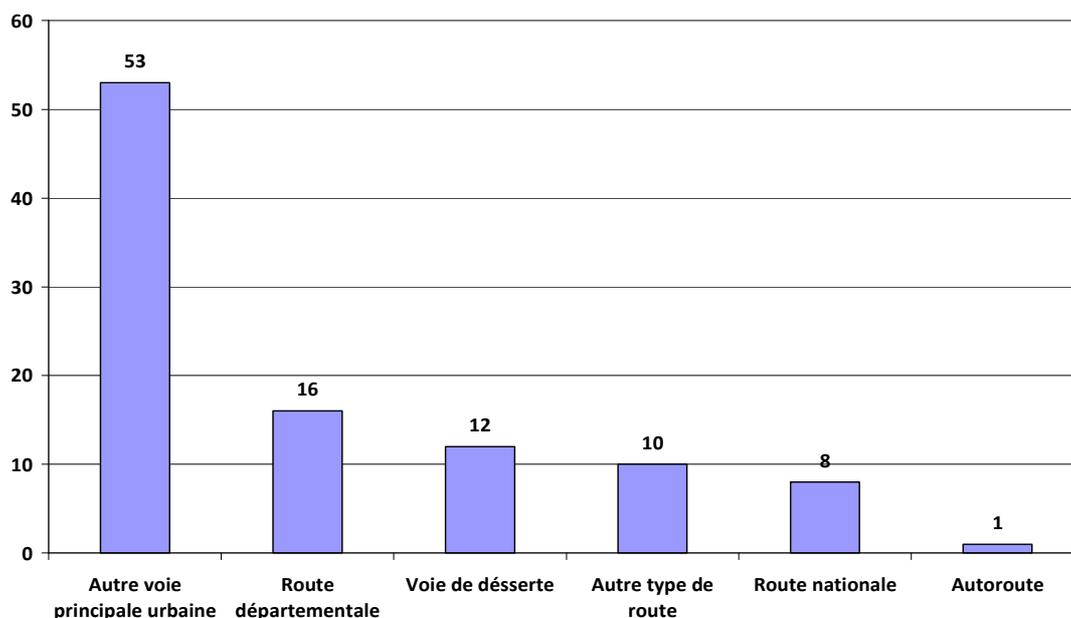


Figure 10 - Répartition des accidents en fonction du type de voie (Sources CACIAUP)

#### 4.2. Les manœuvres pré-accidentelles dans l'échantillon CACIAUP

Cette partie nous donne des informations sur la manœuvre effectuée par le piéton ou le conducteur du véhicule juste avant l'accident.

Pour illustrer ces types de manœuvre, nous avons utilisé des pictogrammes créés par le LAB et dont la liste se trouve en annexe (voir annexe 1).

Chaque pictogramme représente un type d'accident particulier.

Les principales manœuvres observées dans les accidents de piétons de notre échantillon sont les suivantes :

- Piétons traversant la route : 53%
- Piétons traversant la route à une intersection : 28%
- Piétons longeant la route : 5%
- Véhicule en marche arrière : 5%
- Autres types de manœuvres : 9%

81% des accidents se sont déroulés pendant que le piéton traversait la chaussée (dont 28% à une intersection).

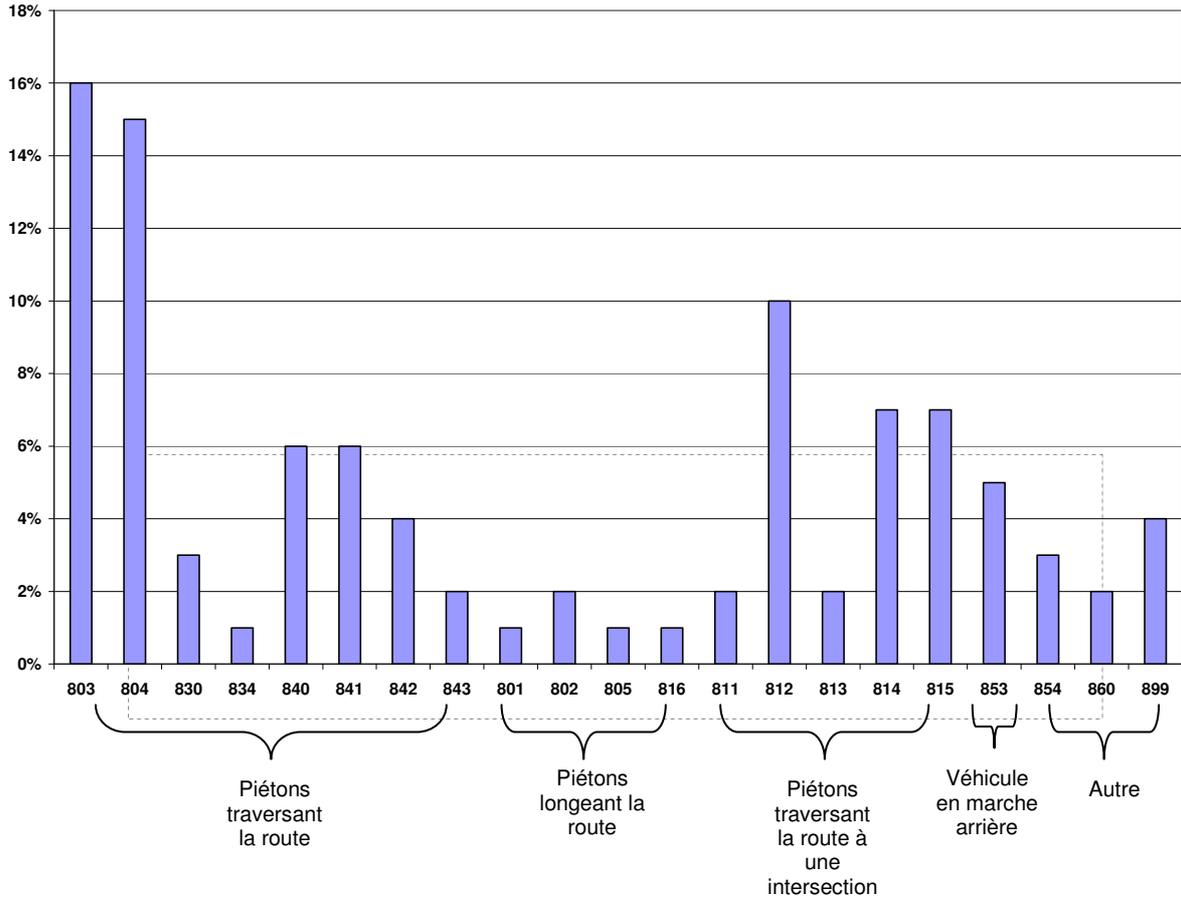


Figure 11: Répartition des manœuvres pré-accidentelles (n=100)

### 4.3. Généralités sur les véhicules impliqués

Dans cette partie, nous allons décrire les caractéristiques des véhicules ayant impactés les piétons dans notre échantillon CACIAUP. Après avoir examiné le type de véhicule, nous étudierons leur année de conception, la forme avant du capot ainsi que leur vitesse de collision.

#### 4.3.1. Année de conception & type de véhicules

Parmi les 100 véhicules qui ont heurté les piétons, 93 sont des véhicules particuliers et 7 des véhicules utilitaires légers.

Voici la répartition des années de conception de ces véhicules :

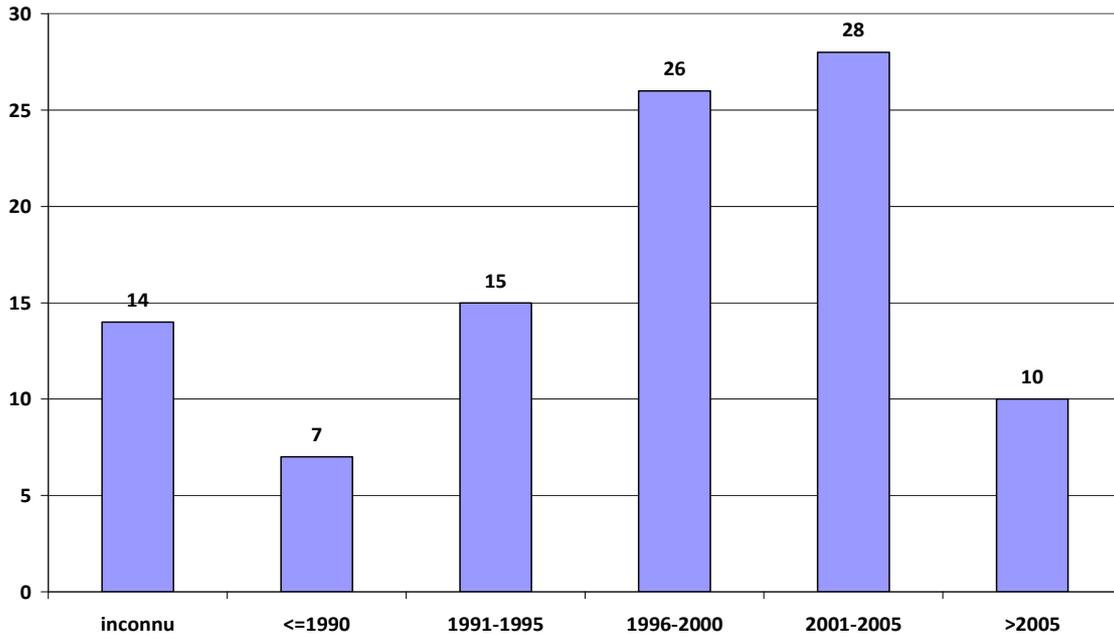


Figure 12 - Répartition de l'année de conception des véhicules heurtant

10% des véhicules ayant impacté un piéton sont des véhicules récents. 54% d'entre eux ont une année de conception comprise entre 1996 et 2005.

Les 38 véhicules, dont l'année de conception est à partir de 2001, sont potentiellement concernés par la réglementation décrite dans la partie 4. Nous n'avons néanmoins pas effectué une analyse des améliorations apportées sur ces véhicules dans la suite de ce rapport.

#### 4.3.2. Répartition de la vitesse de collision

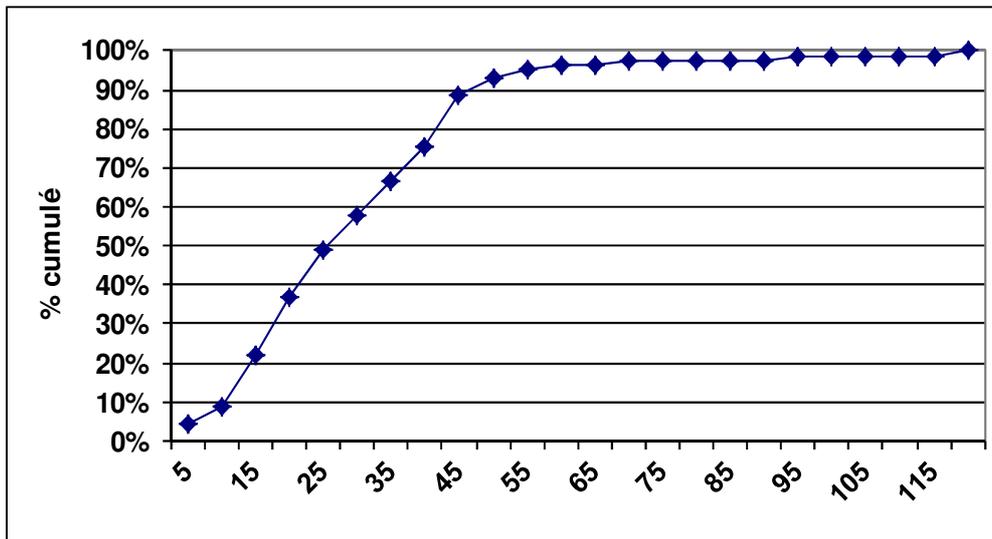


Figure 13 – Répartition des piétons (% cumulé) selon la vitesse lors de la collision

50% des véhicules ayant heurté un piéton ont une vitesse de collision inférieure à 27 km/h et 80% une vitesse inférieure à 45 km/h. Rappelons que 95% des accidents se déroulent en agglomération.

Dans notre échantillon CACIAUP, la moyenne de la variable vitesse est égale à 29,4, la médiane à 27 et la variance à 344.

#### 4.4. Répartition du type de choc

82% des véhicules ont heurté les piétons avec l'avant du véhicule, 10% avec le côté, 5% avec l'arrière.

En ce qui concerne l'ensemble des piétons accidentés sur la France entière en 2009, 75% des piétons sont heurtés avec la face avant d'un véhicule, 6% avec le côté, 10% avec l'arrière, enfin pour 9% des cas, le type de choc n'a pas été déterminé.

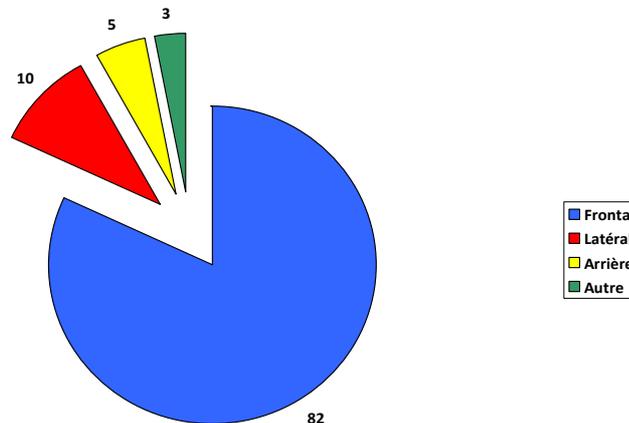


Figure 14: Répartition du type de choc

##### 4.4.1. Répartition des zones d'impact

Dans notre échantillon, l'ensemble des piétons a subi au total 503 lésions dont 485 avec un niveau de gravité connu. Pour une même lésion, deux zones d'impact peuvent être déterminées car il est parfois difficile de savoir si c'est l'impact contre le véhicule ou le choc en retombant sur le sol qui a provoqué la lésion. Sur l'ensemble des piétons impactés, nous avons donc constaté 485 lésions avec une gravité connue et 576 impacts. La localisation de ces impacts est connue pour 532 d'entre eux. Sur les 532 surfaces impactées, 53% ont été identifiées sur le véhicule et 47% au niveau de l'infrastructure.

La figure suivante présente la répartition des zones d'impact sur les véhicules ou sur l'infrastructure ayant provoqué l'ensemble des lésions dont la gravité est connue.



Figure 15- Répartition des zones d'impact ayant provoqué une lésion pour l'ensemble des piétons

Dans 47% des cas, le sol est le responsable de la lésion. 18% des lésions sont dues à un impact contre le capot et 17% à un choc sur l'ensemble du pare-brise (baie inférieure, pare-brise, baie supérieure ou montant).

Dans la partie qui suit, nous allons décrire les piétons (âge, genre) ainsi que leur gravité (distribution des lésions par territoire corporel, sévérité maximale selon l'âge ou la vitesse du véhicule).

## 4.5. Généralités sur les piétons

### 4.5.1. Age et genre des piétons

Parmi les 110 piétons, nous observons 50 hommes et 60 femmes. Les pourcentages sont similaires pour l'ensemble des piétons impactés sur la France entière en 2010 : 47% d'hommes et 53% de femmes.

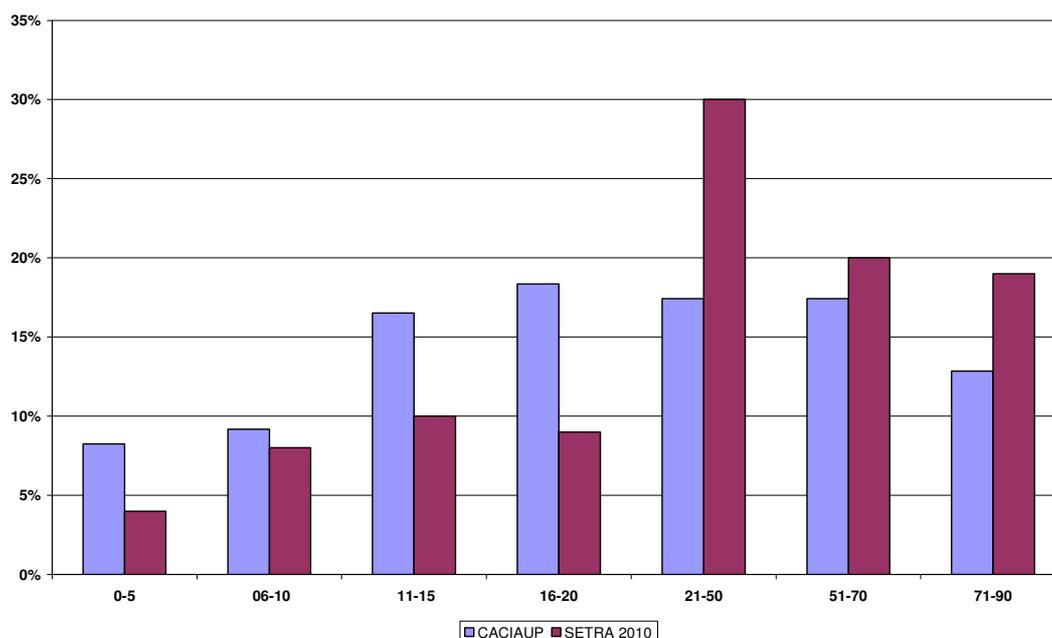


Figure 16 - Répartition de l'âge des piétons en %

17% des piétons impliqués dans les accidents sont des enfants (<11 ans) et 13% des personnes âgées (>70 ans). La catégorie la plus représentée est celle des 11-20 ans, avec 34% (16% pour les 11-15 ans et 18% pour les 16-20 ans).

Pour l'ensemble des piétons impactés en France en 2010, les pourcentages sont un peu différents : les moins de 11 ans représentent 12%, les 11-20 ans 19% et les plus de 70 ans 19%.

Les catégories d'âge ont été définies de façon à analyser plus finement deux catégories de piétons bien précises : les enfants et les personnes âgées. Elles représentent les deux catégories les plus à risque par rapport aux accidents de piétons. Cette répartition est reprise dans l'ensemble des figures et tableaux où nous nous intéressons à l'âge des piétons.

Les données sur les piétons telles que le poids ou la taille sont des données qui sont peu renseignées car difficiles à recueillir. Il nous est donc impossible de faire des analyses sur ces deux variables.

### 4.5.2. La gravité

En 2010, 9881 piétons ont été impliqués contre un véhicule particulier ou un véhicule utilitaire léger (voir Tableau 2).

Le pourcentage de piétons gravement blessés (tués et blessés hospitalisés) est à peu près identique dans la base de données CACIAUP que dans l'ensemble des accidents de piétons en France en 2010 (entre 40.5% et 42.5%). Par contre, la part de piétons tués est plus élevée dans la base de données CACIAUP.

**Tableau 2 - Répartition de la gravité des piétons (Source: Setra 2010)**

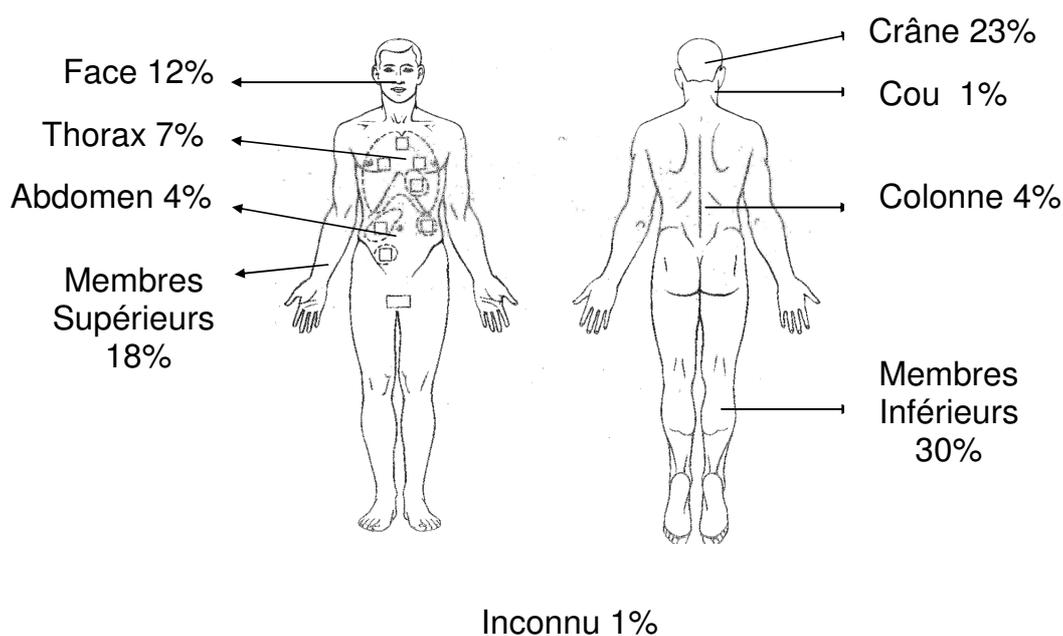
Gravité	N	%
Tués	351	3,5
Blessés hospitalisés	3676	37
Blessés non hospitalisés	5745	58
Indemnes	109	1,5
Total	9881	100

**Tableau 3- Répartition de la gravité des piétons (Source : CACIAUP)**

Gravité	N	%
Tués	16	14,5
Blessés hospitalisés	31	28
Blessés non hospitalisés	62	56,5
Indemnes	1	1
Total	110	100

### 4.5.3. Répartition des blessures

Les 110 piétons de l'échantillon CACIAUP ont subi au total 503 lésions. Voici pour l'ensemble de ces lésions, la répartition du territoire corporel touché.



**Figure 17 - Répartition de l'ensemble des lésions selon le territoire corporel**

35% des blessures sont situées au niveau de la tête (crâne et face), 48% au niveau des membres (30% pour les membres inférieurs et 18% pour les membres supérieurs).

#### 4.5.4. Répartition de la gravité des lésions des piétons selon l'âge et la vitesse

Sur les 110 piétons impliqués, 35% d'entre eux sont indemnes ou blessés légèrement. 65% des piétons ont un niveau global de sévérité M.AIS 2+ et 38% un M.AIS 3+. 16 piétons sont tués : 10 avec un bilan médical connu et 6 non autopsiés (voir Tableau 4). Pour le calcul du M.AIS 2+ et du M.AIS 3+, nous avons intégré ici les 6 piétons tués et dont le bilan médical n'est pas connu.

Tableau 4 - Répartition des piétons en fonction de la gravité

Mais	0	1	2	3	4	5	6	7	9	Total	Total (- inconnus)
Effectif	1	35	28	18	8	6	2	6	6	110	104
%	1%	34%	27%	17%	8%	6%	2%	5%			100%

Pour l'ensemble des piétons, le pourcentage de Mais 2+ est de 65% et celui de Mais 3+ de 38%. Ce sont les personnes les plus âgées (plus de 51 ans) qui ont les pourcentages de Mais 2+ et de Mais 3+ les plus élevés (79% de Mais 2+ et entre 47 et 50% de Mais 3+).

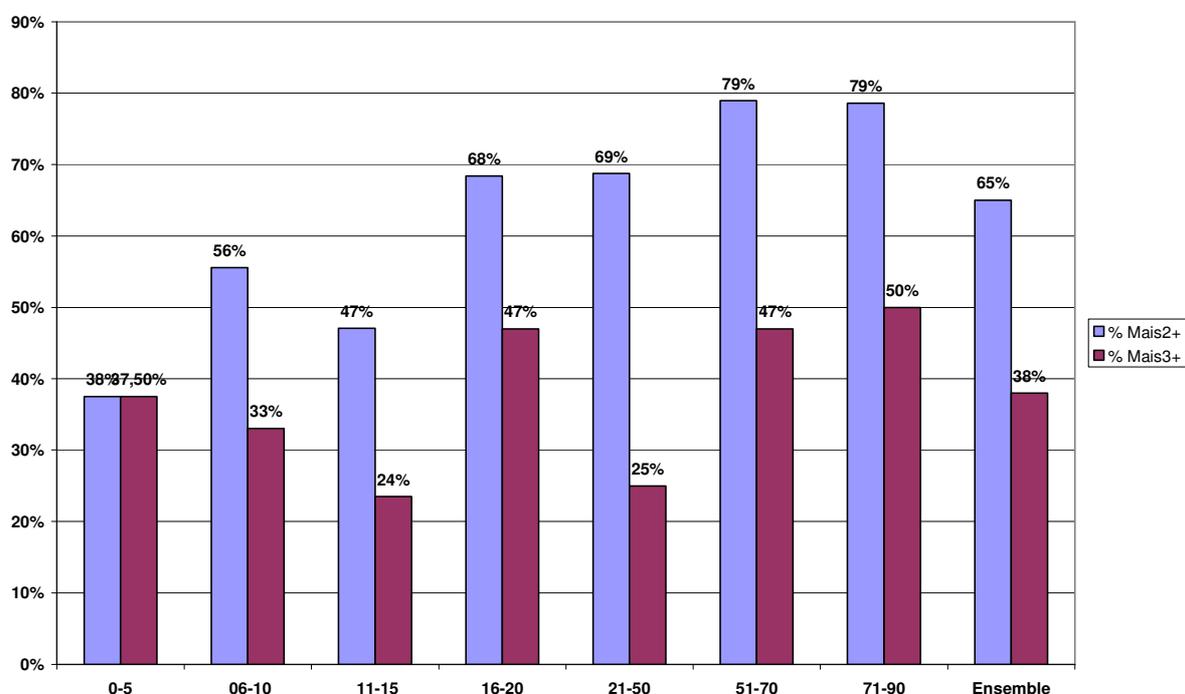


Figure 18 - Pourcentage de Mais 2+ et de Mais 3+ selon l'âge

La figure suivante présente le pourcentage de Mais 2+ et de Mais 3+ pour l'ensemble des piétons dont la vitesse de collision du véhicule qui les a impacté est connue (n=98). Nous observons 63% de Mais 2+ et 36% de Mais 3+. A partir de 40 km/h, le risque d'être blessé gravement est plus important. 89% de Mais 2+ et 74% de Mais 3+ pour des piétons impactés à une vitesse comprise entre 40 et 60 km/h.

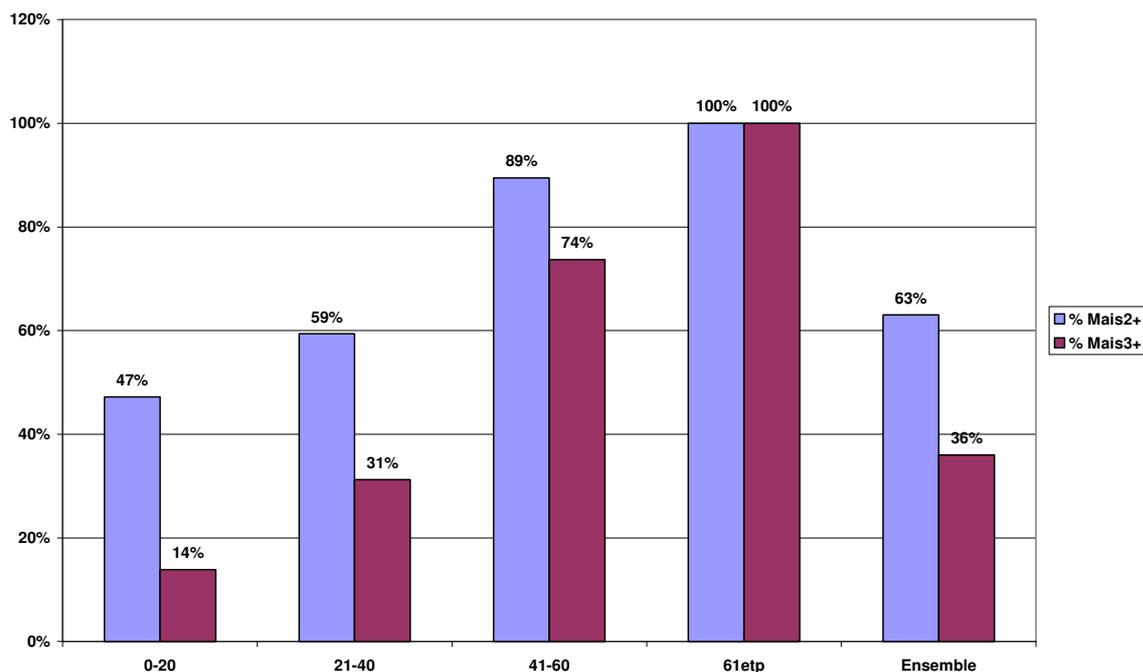


Figure 19 - Pourcentage de Mais2+ et Mais3+ selon la vitesse

Le Tableau 5 détaille la répartition des Mais par territoire corporel, c'est-à-dire l'Ais maximum par territoire corporel pour l'ensemble des 110 piétons :

Tableau 5 - Répartition des blessures par territoires corporels en fonction de la sévérité globale pour tous les piétons

Mais	0	1	2	3	4	5	6	7	9	Total – (non autopsiés+ inconnus)
Mais Tête	38	27	16	5	8	5	1	6	4	100
Mais Crâne	53	14	15	4	8	5	1	6	4	100
Mais Face	65	32	3	2	0	0	0	6	2	102
Mais Cou	98	3	0	1	0	0	0	6	2	102
Mais Thorax	82	5	1	5	5	2	1	6	3	101
Mais Colonne dorso-lombaire	92	0	7	1	0	1	1	6	2	102
Mais Bassin	84	5	7	4	0	2	0	6	2	102
Mais Abdomen	90	1	6	1	2	0	1	6	3	101
Mais Membres supérieurs	52	28	16	6	0	0	0	6	2	102
Mais Membres inférieurs	38	37	13	1 3	0	0	0	6	3	101
Mais Membres inférieurs – segment haut	50	34	8	9	0	0	0	6	3	101
Mais Membres inférieurs – segment bas	81	9	7	5	0	0	0	6	2	102

Pour calculer les pourcentages de Mais 2+ et Mais 3+ par territoire, nous avons enlevé pour chaque territoire corporel, les piétons pour lesquels la gravité maximale était inconnue (Mais 9) ainsi que les piétons tués et non autopsiés (Mais 7) car pour ceux-là, nous ne pouvons pas déterminer sur quel territoire corporel, la lésion a été fatale. Les pourcentages de Mais 2+ sont les plus élevés dans les territoires corporels : crâne (33%), membres inférieurs (26%) et membres supérieurs (22%).

Les pourcentages de Mais 3+ quant à eux sont les plus importants pour le crâne (18%), pour le thorax (13%) et pour les membres inférieurs (13%).

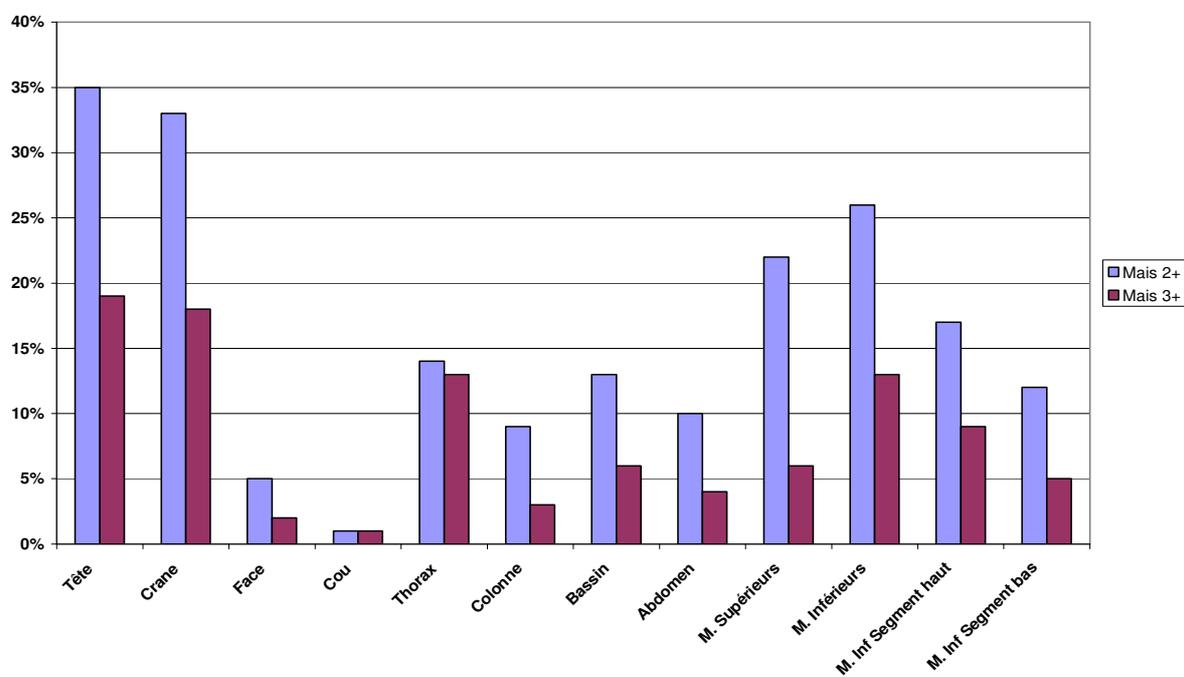


Figure 20 - Répartition des pourcentages de M. Ais 2+ et M. Ais 3+ par territoire corporel

#### 4.5.5. Répartition des structures anatomiques touchées et des principaux types de lésion

Nous allons donner ici la répartition de la structure anatomique ainsi que les principaux types de lésions pour les 503 lésions observées chez l'ensemble des piétons.

Tableau 6- Répartition des structures anatomiques

Type de structure Anatomique	Effectif	%
Dans son ensemble	207	41%
Vaisseaux	6	1%
Nerfs	0	0%
Organes	78	15%
Squelette	165	33%
Tête (Perte de connaissance)	36	7%
Structure inconnue	11	2%
<b>Total</b>	<b>503</b>	<b>100%</b>

41% des lésions correspondent à des lésions externes. 33% des lésions touchent le squelette et 15% les organes.

**Tableau 7- Répartition des principaux types de lésion**

Types de lésions	Effectif	%
Fracture	127	25%
Contusion	110	22%
Plaie	75	15%
Abrasion	61	12%
Perte de connaissance	36	7%
Hématome	18	4%
Œdème	14	3%
Luxation	12	2%
Entorse	11	2%
Autres types de lésion	13	3%
Blessure sans autres	26	5%
Précision		
<b>Total</b>	<b>503</b>	<b>100%</b>

La majorité des lésions sont des fractures (25%), suivi par les contusions (22%), les plaies (15%) et les abrasions (12%). Les pertes de connaissances quelle que soit la gravité représente 7% des lésions.

## **5. BILAN LESIONNEL EN CHOC FRONTAL**

Nous allons consacrer cette partie aux piétons impactés par la face avant d'un véhicule. C'est ce que nous appelons le choc frontal.

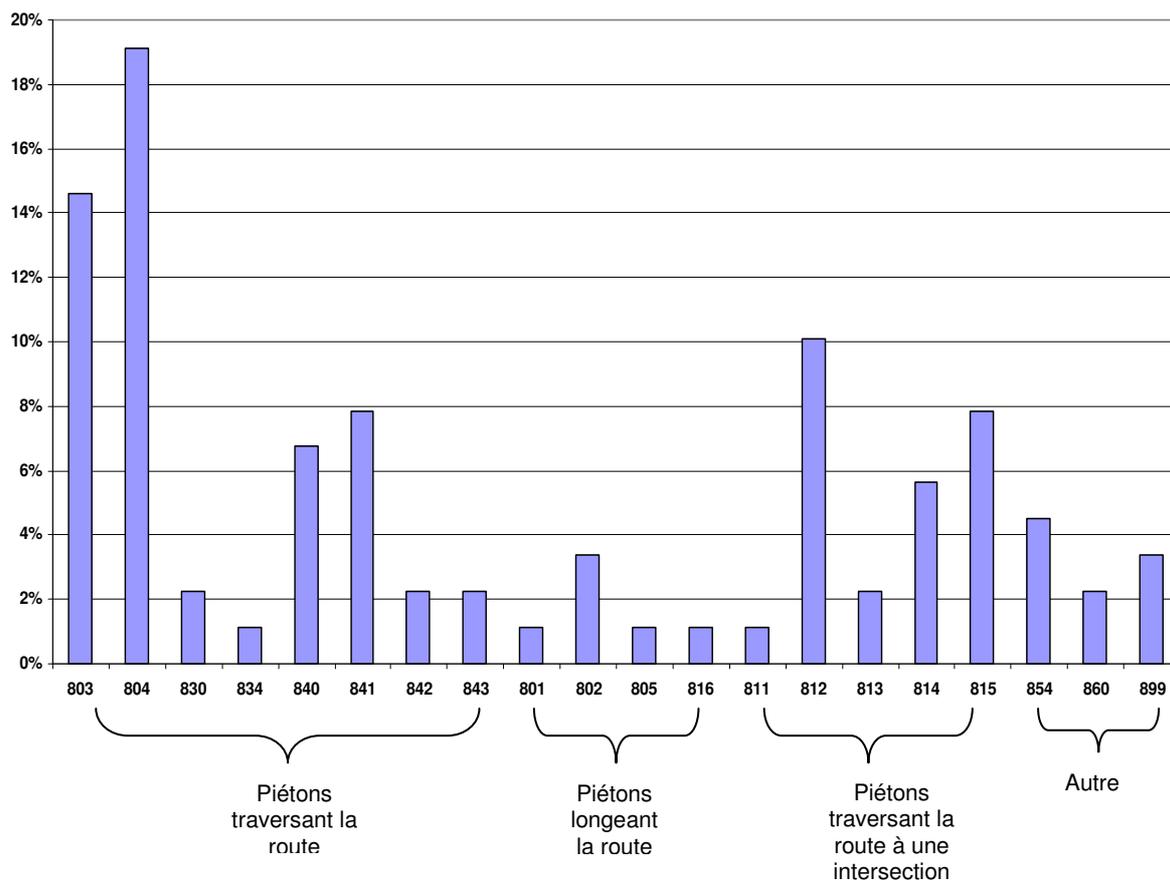
Tout d'abord, nous déterminerons la manœuvre effectuée par le piéton ou le véhicule avant l'accident. Par la suite, nous étudierons les caractéristiques de ces piétons (âge, gravité maximale, distribution des lésions par territoire corporel), puis d'une façon générale, nous déterminerons les localisations des impacts ayant provoqué ces lésions.

### **5.1. Données générales sur le Choc Frontal**

La base de données CACIAUP contient 89 piétons qui sont impliqués dans un accident contre un véhicule en choc frontal. Les résultats de ce chapitre concernent l'ensemble de ces piétons.

#### **5.1.1. Les manœuvre pré-accidentelles**

Nous allons dans cette partie étudier les manœuvres effectuées juste avant l'accident par les piétons heurtés par un véhicule en choc frontal



**Figure 21 – Répartition des manœuvres pré-accidentelles en choc frontal**

Les principales manœuvres observées dans les accidents de piétons contre un véhicule en choc frontal sont les suivantes :

- Piétons traversant la route : 56%
- Piétons traversant la route à une intersection : 27%
- Piétons longeant la route : 7%
- Autres types de manœuvres : 10%

83% des accidents se sont déroulés pendant que le piéton traversait la chaussée (dont 27% à une intersection).

### 5.1.2. Age des piétons

Le pourcentage de piétons de moins de 10 ans est un peu plus élevé dans l'échantillon CACIAUP (18%) que sur la France entière (12%). La proportion de jeunes entre 11 et 20 ans est également plus importante dans l'échantillon. Par contre, sur la France, le pourcentage de 21-50 ans et de plus de 70 ans est plus élevé.

**Tableau 8 – Répartition de l'âge des piétons heurtés en Frontal**  
(Source : CACIAUP)

Age	N	%
0 -5 ans	7	8
6-10 ans	9	10
11-15 ans	15	17
16-20 ans	17	19
21-50 ans	15	17
51-70 ans	13	15
71 et plus	12	13
Inconnu	1	1
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>100%</b>

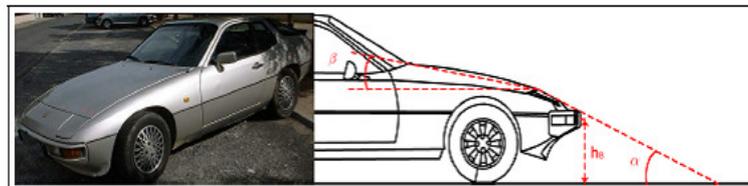
**Tableau 9 - Répartition de l'âge des piétons en choc frontal**  
(Source: setra 2010)

Age	N	%
0 -5 ans	336	4
6-10 ans	632	8
11-15 ans	789	10
16-20 ans	724	10
21-50 ans	2246	30
51-70 ans	1472	20
71 et plus	1282	17
<b>Total</b>	<b>7481</b>	<b>100</b>

### 5.1.3. Forme avant du véhicule

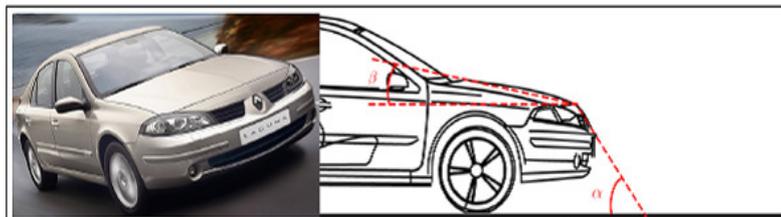
Voici la répartition des piétons impactés en choc frontal selon la forme avant du véhicule.

- en forme de "coin" (wedge shape) : **2%**



$$h_B \leq 0.7 \text{ m et } \beta \leq 20^\circ$$

- en forme de "trapèze" (trapezoidal shape) : **80%**



capot faiblement incliné (shallow bonnet)	$\alpha \leq 70^\circ$ et $\beta \leq 20^\circ$
capot incliné (steep bonnet)	$\alpha \leq 70^\circ$ et $\beta > 20^\circ$
avec bord avant en forme d'ellipse (ellipsoidal front)	$R > 0.25 \text{ m}$

- en forme de “flotteur” (pontoon shape) : 10%



$$\alpha > 70^\circ$$

- en forme de “boîte” (box shape) : 8%



$$\alpha \simeq 90^\circ$$

Figure 22 - Répartition de la forme avant des véhicules

80% des véhicules ayant impacté un piéton possèdent un capot en forme de trapèze.

#### 5.1.4. Localisation de la prise de contact sur le véhicule

Dans 49% des cas, le piéton est heurté par le 1/3 droit du véhicule, dans 27% par le 1/3 gauche et dans 12% par le centre. Dans 12% des cas, le côté d'impact n'a pas été déterminé.

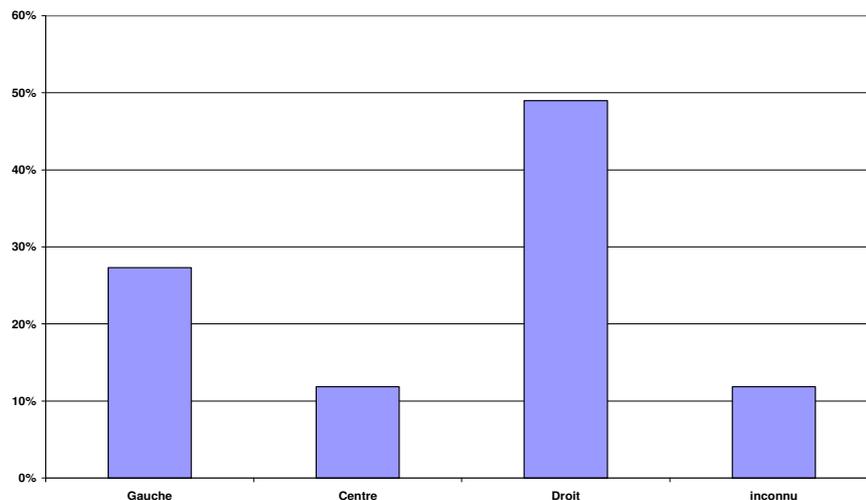


Figure 23 - Répartition de la forme avant des véhicules

### 5.1.5. Distribution des blessures par territoire corporel

Les 89 piétons impactés par la face avant d'un véhicule ont subi au total 441 lésions. Voici pour l'ensemble de ces lésions, la répartition du territoire corporel touché.

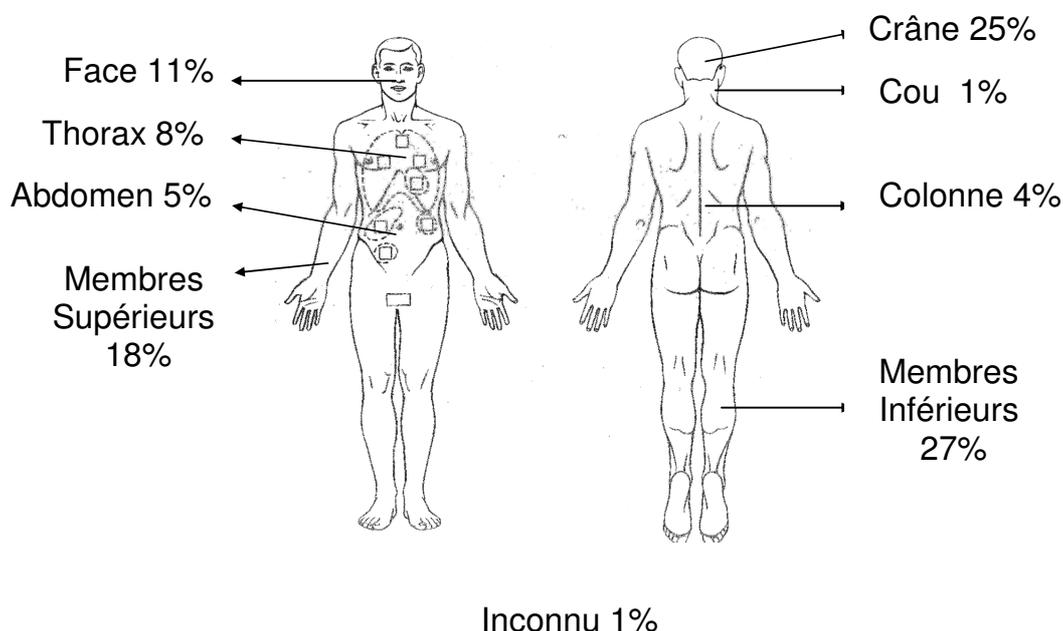


Figure 24 - Répartition de l'ensemble des lésions par territoire corporel

Dans 45% des cas, c'est un membre qui est lésé (27% pour les membres inférieurs, 18% pour les membres supérieurs). 36% des lésions se situent à la tête (25% dans le crâne et 11% à la face).

### 5.1.6. Répartition de la gravité maximale (MAIS)

Dans cette partie, nous allons comparer la gravité (nombre de tués, blessés et indemnes) par rapport à l'ensemble des piétons impliqués sur la France entière en choc frontal. Nous examinerons également la gravité maximale générale (sur tout le territoire) ainsi que la gravité maximale par territoire corporel.

Le pourcentage de piétons gravement blessés (tués et blessés hospitalisés) en choc frontal est à peu près identique dans la base de données CACIAUP que dans l'ensemble des accidents de piétons en France en 2010 (entre 42.5% et 47%). Par contre, la part de piétons tués est plus élevée dans la base de données CACIAUP (voir Tableau 10 et Tableau 11).

Tableau 10 - Répartition de la gravité des piétons heurtés en choc frontal (Source : CACIAUP)

Gravité	N	%
Tués	15	17
Blessés hospitalisés	27	30
Blessés non hospitalisés	46	52
Indemnes	1	1
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>100</b>

**Tableau 11 – Répartition de la gravité des piétons en choc frontal**  
(Source :setra 2010)

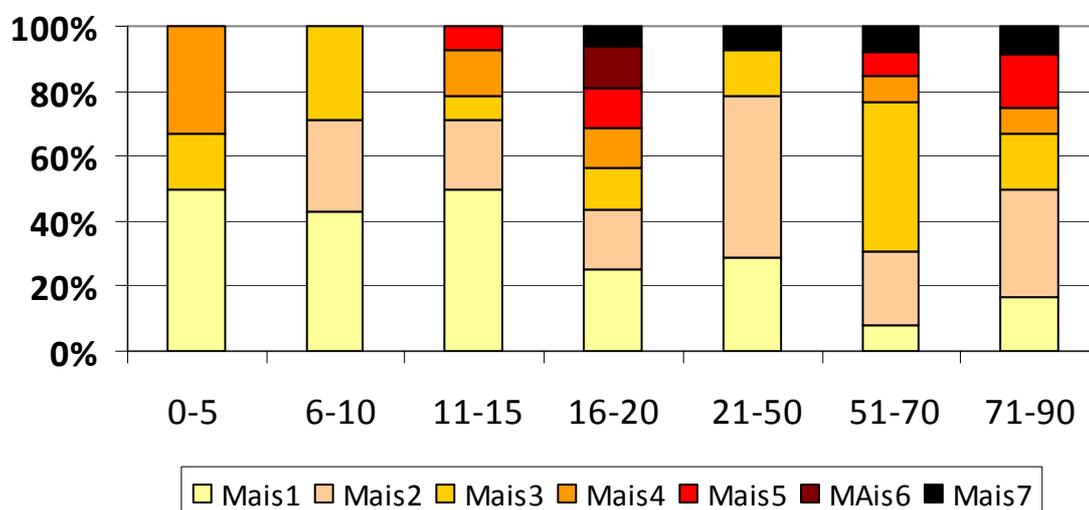
Gravité	N	%
Tués	303	4
Blessés hospitalisés	2860	38,5
Blessés non hospitalisés	4244	56,5
Indemnes	74	1
<b>Total</b>	<b>7481</b>	<b>100</b>

Pour calculer les pourcentages de Mais par niveau, nous avons enlevé, les piétons pour lesquels la gravité était inconnue (Mais 9). Pour le calcul du Mais 2+ et du Mais 3+, nous avons inclus les piétons tués non autopsiés. Le pourcentage de Mais 2+ est de 70% pour les piétons heurtés par la face avant d'un véhicule (65% pour l'ensemble des piétons). Le pourcentage de Mais 3+ est de 43% (38% pour l'ensemble des piétons).

**Tableau 12 - Répartition du nombre de blessures par gravité pour les chocs frontaux**

Mais	0	1	2	3	4	5	6	7	9	Total	Total Sans inconnus
Effectif	1	24	23	16	8	6	2	5	4	89	85
%	1%	29%	27%	19%	10%	7%	2%	5%			100%

Les enfants de moins de 10 ans ont toujours une gravité maximale inférieure ou égale à 4 (voir Figure 25). Les piétons ayant une gravité maximale égale à 6 se retrouvent uniquement dans la catégorie 16-20 ans : il s'agit de deux jeunes âgés de 17 et 18 ans qui ont été impactés respectivement à une vitesse de 95 et 120 km/h. Ce sont les deux seuls piétons pour lesquels une lésion Ais 6 a été constatée.



**Figure 25 - Répartition des gravités par âge pour chocs frontaux**

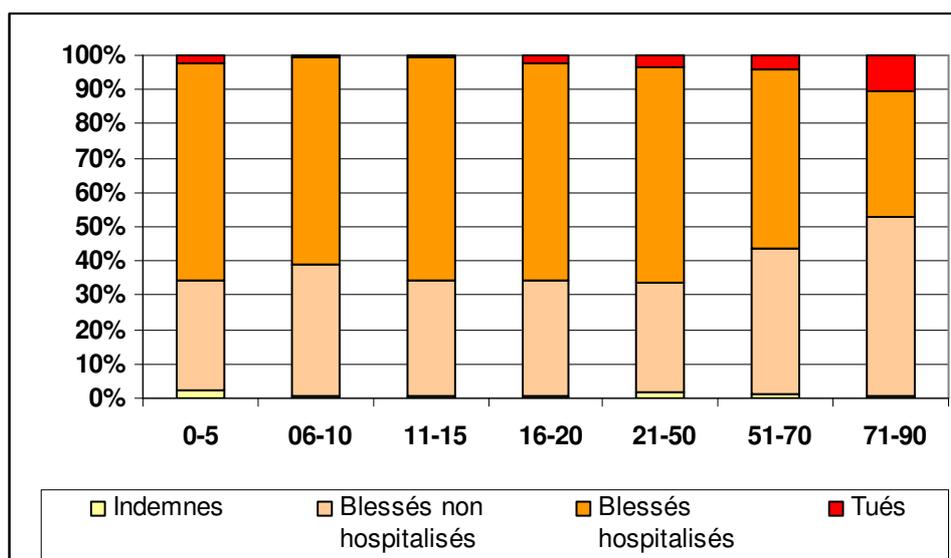


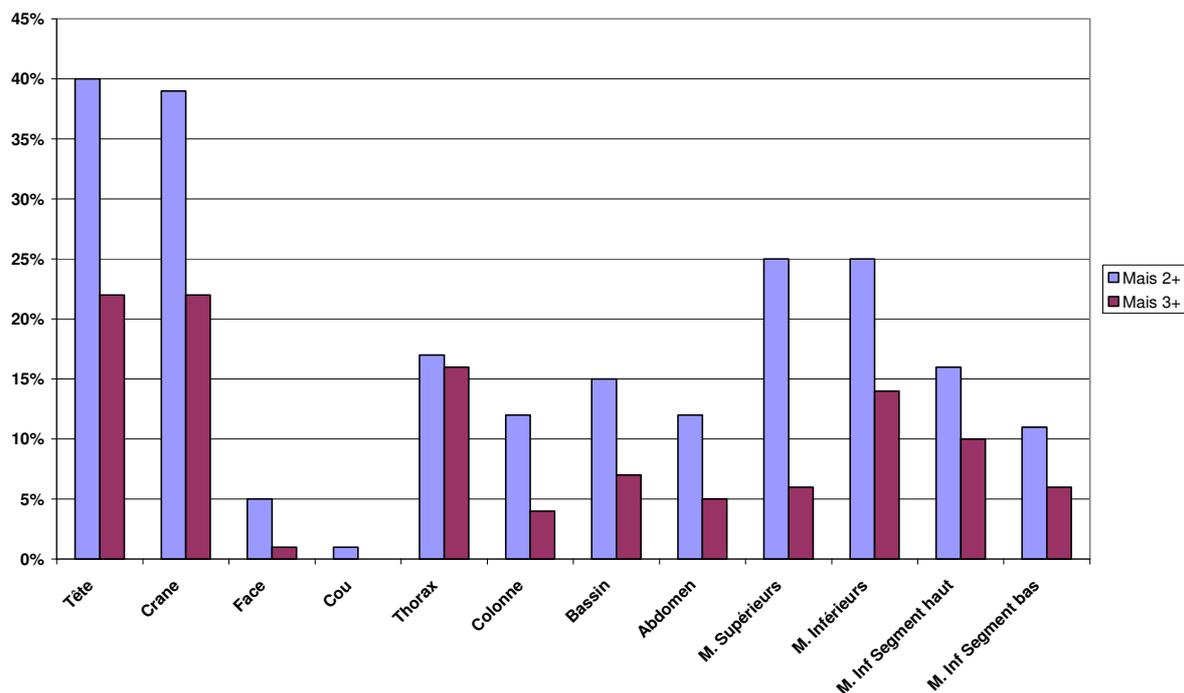
Figure 26 - Répartition de la gravité selon l'âge des piétons en choc frontal (Source: Setra 2010)

Le tableau suivant présente la répartition de la gravité maximale pour chaque territoire pour l'ensemble des piétons ayant été heurtés par un véhicule avec la face avant :

Tableau 13 - Répartition de la gravité maximale pour chaque territoire corporel pur l'ensemble des 89 piétons (choc frontal)

Mais	0	1	2	3	4	5	6	7	9	Total – (tués non autopsiés+ inconnus)
Mais Tête	28	21	15	4	8	5	1	5	2	82
Mais Crâne	38	12	14	4	8	5	1	5	2	82
Mais Face	52	28	3	1	0	0	0	5	0	84
Mais Cou	81	2	1	0	0	0	0	5	0	84
Mais Thorax	65	4	1	5	5	2	1	5	1	83
Mais Colonne dorso-lombaire	74	0	7	1	0	1	1	5	0	84
Mais Bassin	68	3	7	4	0	2	0	5	0	84
Mais Abdomen	72	1	6	1	2	0	1	5	1	83
Mais Membres supérieurs	39	24	16	5	0	0	0	5	0	84
Mais Membres inférieurs	34	28	9	12	0	0	0	5	1	83
Mais Membres inférieurs – segment haut	42	28	5	8	0	0	0	5	1	83
Mais Membres inférieurs – segment bas	70	5	4	5	0	0	0	5	0	84

Pour calculer les pourcentages de Mais 2+ et Mais 3+ par territoire, nous avons enlevé pour chaque territoire corporel, les piétons pour lesquels la gravité maximale était inconnue (Mais 9) ainsi que les piétons tués et non autopsiés (Mais 7).



**Figure 27 - Répartition des pourcentages de M. Ais2+ et M. Ais3+ par territoire pour les piétons en choc frontal**

Les pourcentages de Mais 2+ sont les plus élevés pour les territoires :

- Crâne (39%),
- Membres supérieurs (25%),
- Membres inférieurs (25%).

Les pourcentages de Mais 3+ sont quant à eux les plus élevés pour les territoires :

- Crâne (22%),
- Thorax (16%),
- Membres inférieurs (14%).

Cette distribution est relativement similaire avec celle de l'ensemble des piétons de la base de données. Seuls les pourcentages de Mais 2+ et Mais 3+ au niveau du crâne sont un peu plus élevés chez les piétons impactés par la face avant d'un véhicule que pour l'ensemble des piétons.

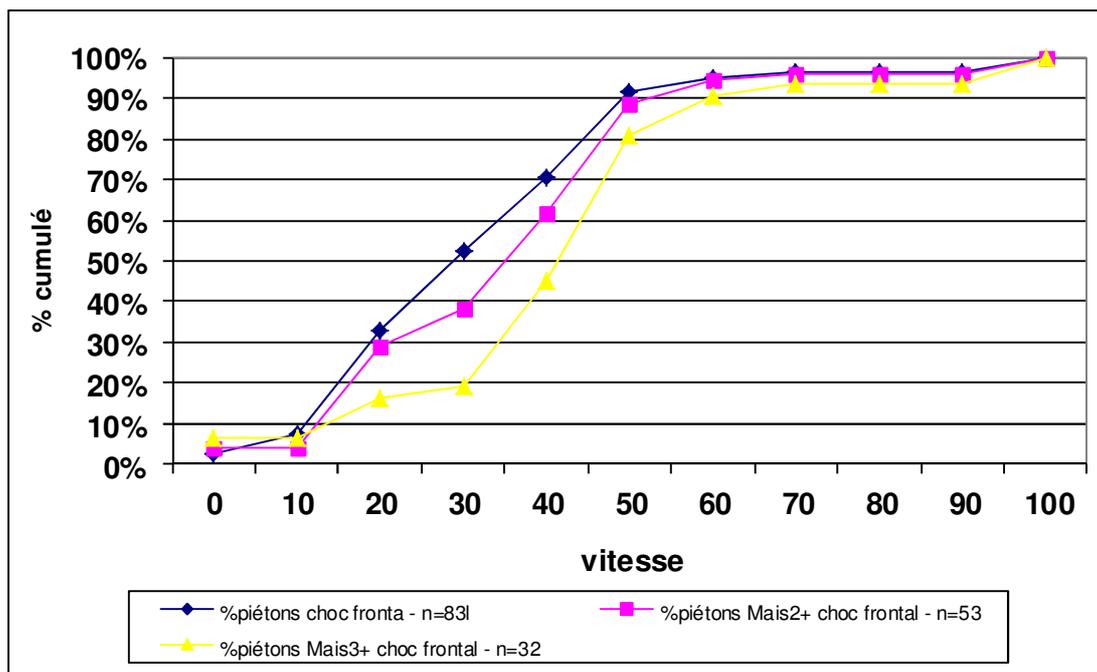
### 5.1.7. Répartition des piétons heurtés par la face avant d'un véhicule selon la vitesse, la distance de projection et la trajectoire

La Figure 27 présente la répartition des piétons heurtés en fonction de la vitesse du véhicule au moment de l'impact et de la gravité des blessures. Pour les véhicules heurtant les piétons avec la face avant, la moyenne de la variable vitesse est égale à 32, la médiane à 30 et la variance à 454.

Nous observons que :

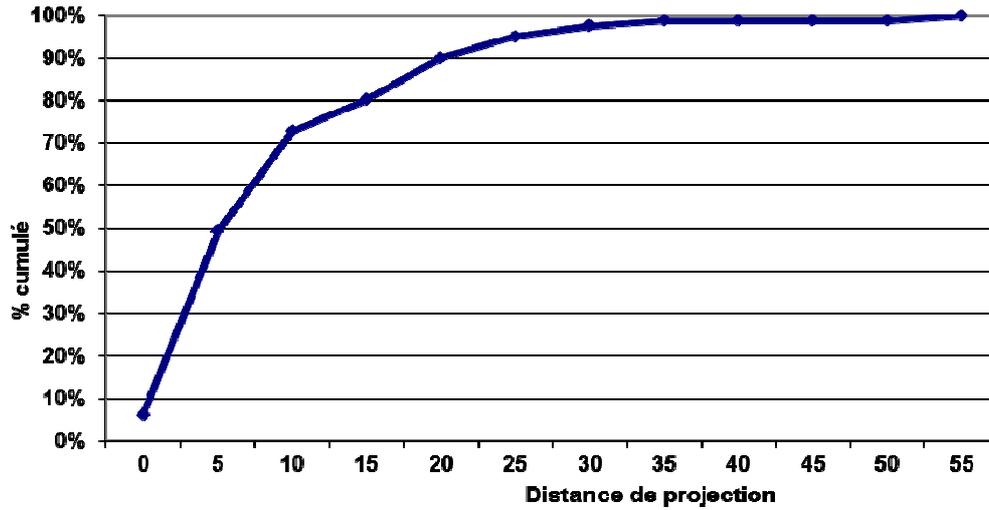
- 50% des piétons heurtés par la face avant d'un véhicule le sont à une vitesse inférieure à 27 km/h,
- 50% des piétons avec une gravité maximale supérieure ou égale à 2 sont percutés à une vitesse inférieure à 39 km/h,
- 50% des piétons avec un Mais supérieur ou égal à 3 sont heurtés à une vitesse inférieure à 42 km/h.

La vitesse apparaît donc comme un facteur aggravant des blessures (ce point précis sera développé dans le chapitre 10). De plus, la vitesse de 40 km/h, qui est celle utilisée par l'EuroNCAP, semble être une valeur significative se trouvant au centre de la répartition des blessés.



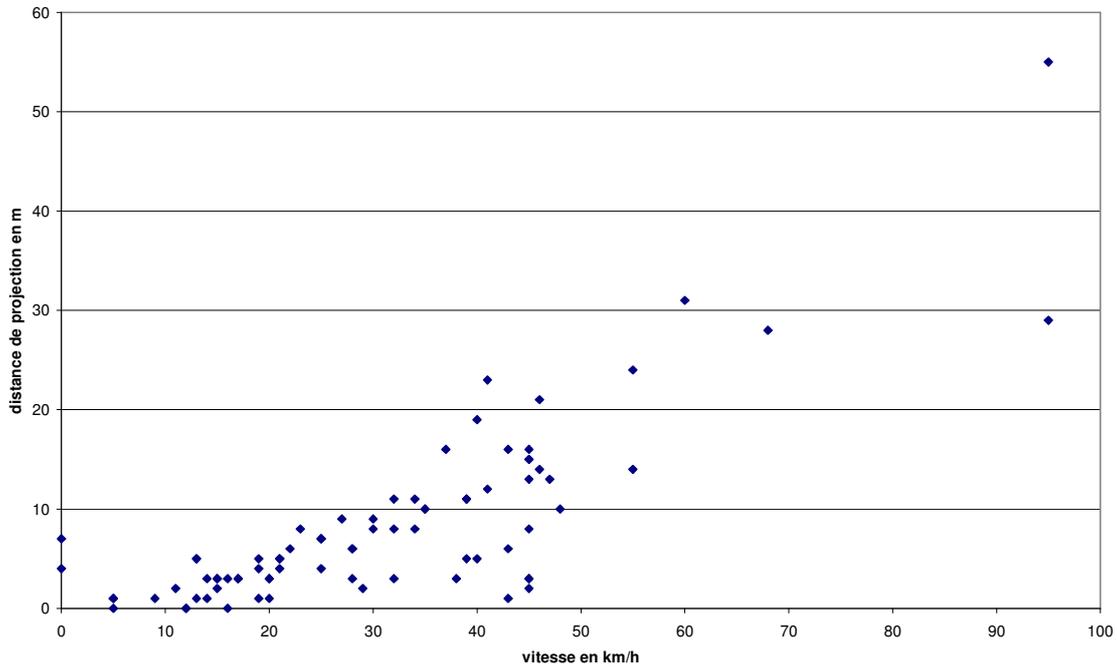
**Figure 28 - Pourcentage cumulé des piétons heurtés par la face avant d'un véhicule selon la vitesse et la gravité des blessures**

Nous allons sur le graphique suivant étudier la distance de projection des piétons par rapport au point de choc. Cette distance est connue pour 81 piétons sur les 89 impactés en choc frontal. 50% des 81 piétons impactés (avec distance de projection connue) ont été projetés à une distance de moins de 5 mètres.



**Figure 29 - Pourcentage cumulé des piétons heurtés par la face avant d'un véhicule selon la distance de projection (n=81)**

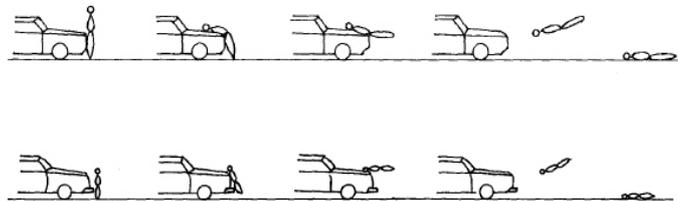
Sur la figure suivante, les piétons sont répartis selon leur distance de projection et leur vitesse. Les valeurs des 2 variables sont renseignées pour 81 piétons sur 89 impactés en choc frontal. Il existe bien une corrélation entre la distance de projection du piéton et la vitesse du véhicule qui l'a impacté. La distance de projection augmente avec la vitesse.



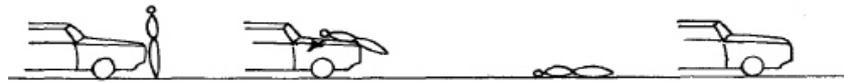
**Figure 30 - Répartition des piétons selon la vitesse et la distance de projection en choc frontal**

**Tableau 14- distribution des trajectoires après l'impact des piétons impactés en choc frontal**

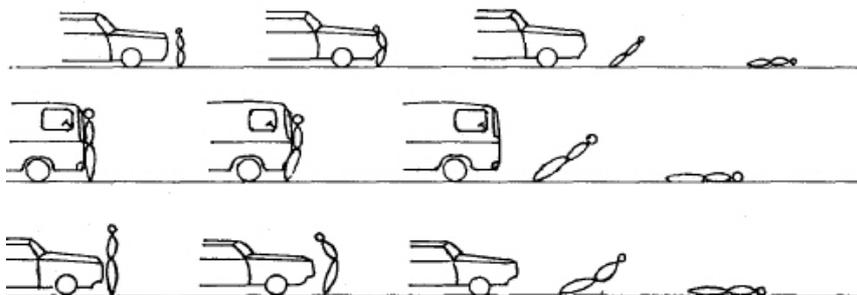
Trajectoire Post-impact	Effectif	%
Wrap	28	31%
Fender vault	18	20%
Forward projection	26	29%
Roof Vault	3	3%
Somersault	4	4%
Autre	2	2%
Inconnu	8	9%
<b>Total</b>	<b>89</b>	<b>100</b>



**Figure 31 - Wrap**



**Figure 32 - Fender Vault**



**Figure 33 - Forward projection**



**Figure 34 - Roof Vault**

Au total, les 89 piétons impliqués dans un accident contre un véhicule avec un choc frontal ont subi 441 lésions.

Nous nous intéresserons par la suite aux 231 lésions dont l'Ais est supérieur ou égal à 2 car elles représentent les blessures les plus graves. Cela concerne 57 piétons.

Pour chaque territoire corporel, nous allons lister l'ensemble des lésions dont l'Ais est supérieur ou égal à 2 et déterminer les zones d'impact qui ont provoqué ces lésions.

## 5.2. Gravité par territoire

Dans cette section, nous allons examiner, pour chaque territoire corporel, la liste des lésions dont la sévérité est supérieure ou égale à 2 ( c'est-à-dire les lésions les plus graves) ainsi que la liste des zones d'impact, sur le véhicule ou au niveau de l'infrastructure, qui ont provoqué ces lésions.

Pour chaque territoire corporel, nous essayerons de déterminer si certains paramètres, comme l'âge ou la vitesse peuvent avoir des influences sur les blessures.

Nous commencerons par les territoires corporels les plus touchés en choc frontal.

### 5.2.1. Tête

112 lésions ont été comptabilisées au niveau de crâne.

Voici pour ces 112 lésions, voici la répartition du niveau d'Ais par classe de vitesse :

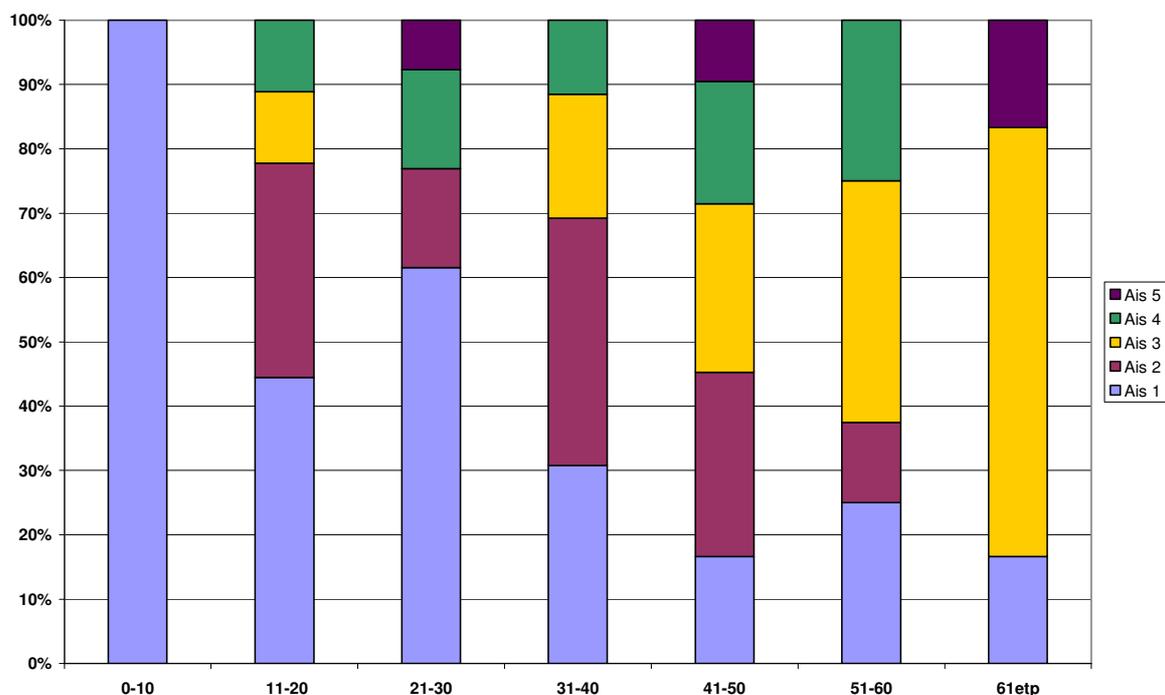


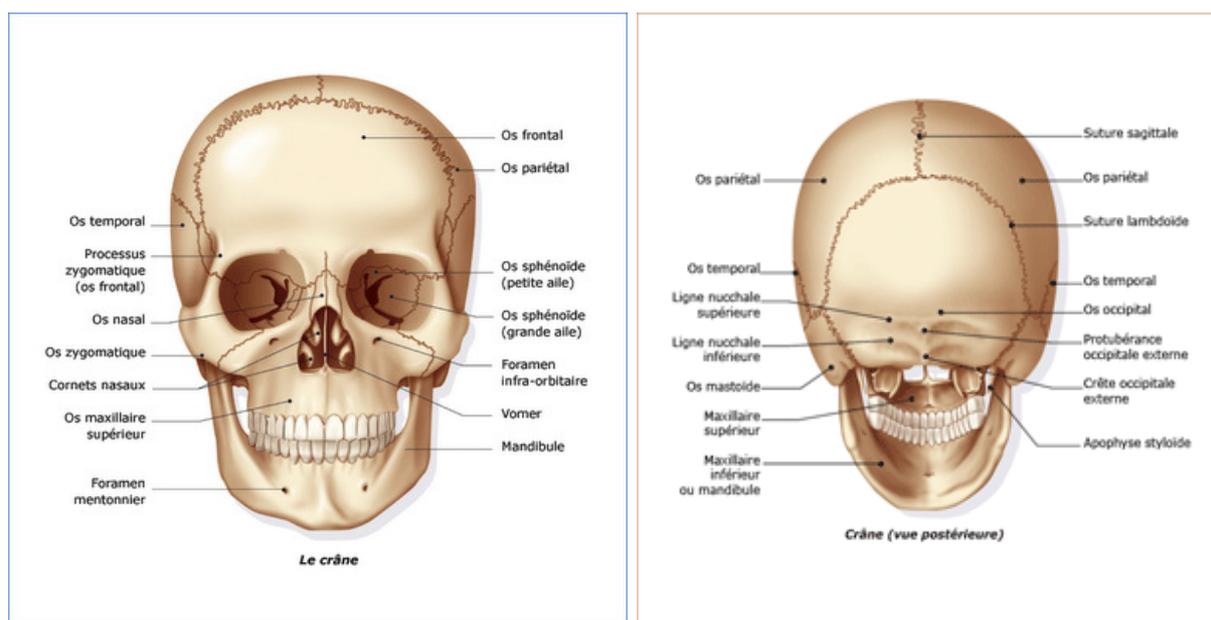
Figure 35 - Répartition du niveau d'Ais selon la vitesse

Le pourcentage des blessures les moins graves (Ais 1 ou 2) diminue au fur et à mesure que la vitesse augmente. Cependant, nous trouvons des blessures graves (Ais 5) également à très faible vitesse (entre 21 et 30 km/h).

L'Ais est supérieur ou égal à 2 pour 78 lésions sur les 112. Elles concernent au total 31 piétons sur les 89 impactés en choc frontal. La répartition de ces lésions et des zones impactées est présentée dans le tableau suivant (voir Figure 36 pour description des os du crâne) :

**Tableau 15 - Répartition des lésions AIS2+ au niveau du crâne**

Type de lésion	Effectif	%
perte de connaissance	18	23%
hématome dans le cerveau	18	23%
traumatisme cérébral	11	15%
fracture de la voûte	9	12%
fracture de la base	7	9%
hémorragie sous-arachnoidienne	6	8%
œdème au cerveau	2	3%
hémorragie intraventriculaire	2	3%
Destruction massive du crâne et du cerveau	1	1%
Contusion du tronc cérébral	1	1%
œdème du cervelet	1	1%
hémorragie du cervelet	1	1%
pneumocéphalie	1	1%
<b>Total</b>	<b>78</b>	<b>100%</b>



**Figure 36 – Descriptif du crâne**

28% des lésions Ais 2+ au niveau du crâne sont dues à l'impact contre le sol et 48% sur l'ensemble du pare-brise (pare-brise, montant et baie inférieure). Le capot a provoqué 17% des lésions Ais 2+ au crâne.

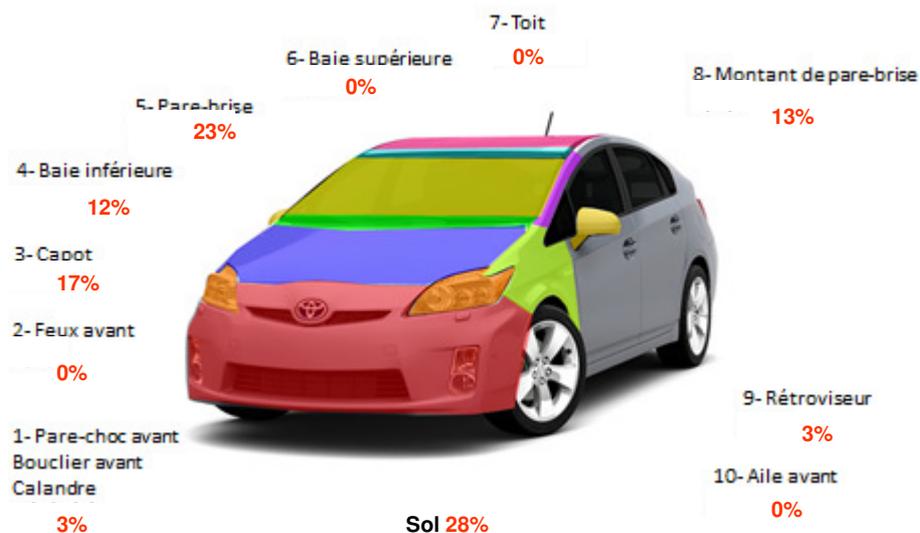


Figure 37 - Répartition des lésions AIS2+ en fonction de la zone d'impact

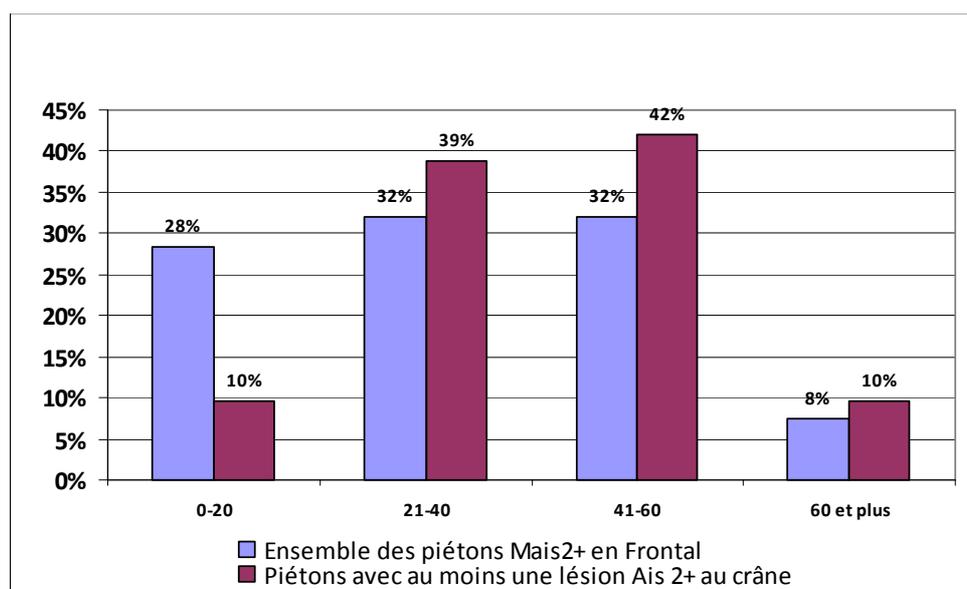
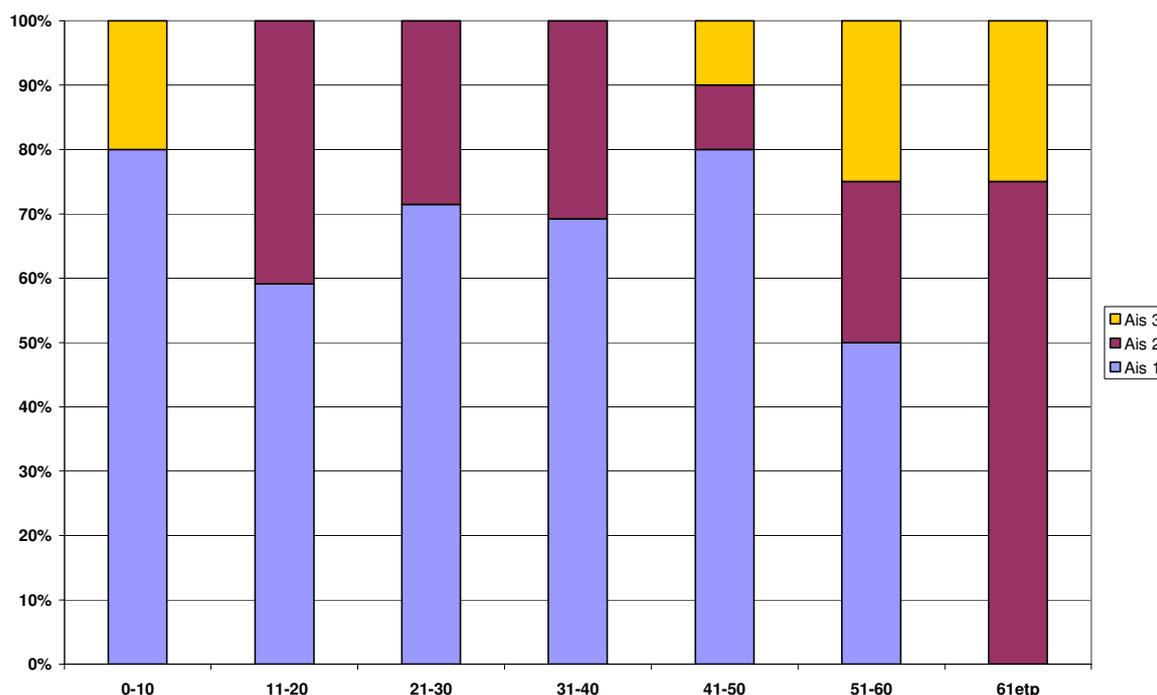


Figure 38 - Répartition des piétons selon la vitesse de collision pour tous les chocs frontaux et pour les chocs ayant occasionné des lésions AIS2+ au crâne

Enfin, au niveau de la face, nous avons identifié seulement 4 lésions dont la gravité est supérieure ou égale à 2. Cela concerne 4 piétons. Ces 4 lésions sont des fractures des os de la face (sous-condylienne, maxillaire supérieur, orbite et zygoma). Elles sont le résultat d'un impact sur le pare-brise, sur le rétroviseur ou sur le sol.

### 5.2.2. Membres supérieurs

80 lésions ont été constatées au niveau des membres inférieurs. Voici pour ces lésions la répartition du niveau d'Ais par classe de vitesse.



**Figure 39 - Répartition du niveau Ais des lésions aux membres supérieurs par classe de vitesse**

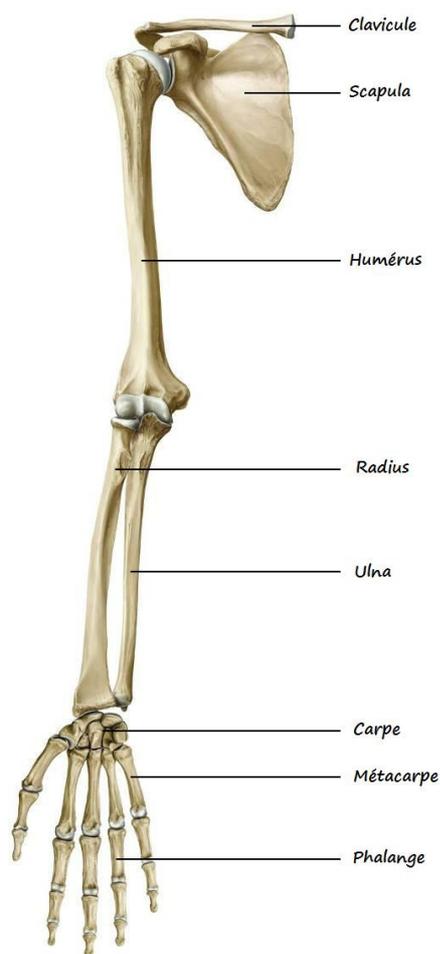
La sévérité maximale est égale à 3 au niveau des membres inférieurs. Nous trouvons des lésions avec une telle sévérité à moins de 10 km/h.

Parmi ces 80 lésions, 33 ont un niveau de sévérité supérieur ou égal à 2. Cela concerne 21 piétons sur les 89 impactés en choc frontal.

**Tableau 16- Répartition des lésions AIS2+ aux membres supérieurs**

lésion	Effectif	%
fracture clavicule	5	15%
fracture de l'humérus	5	15%
fracture du radius	5	15%
fracture du cubitus	5	15%
fracture de doigts	4	12%
fracture de l'omoplate	3	9%
fracture carpe	2	6%
plaie majeure de la peau	1	3%
lésion de dégantage d'un doigt	1	3%
luxation de l'épaule	1	3%
luxation du poignet	1	3%
<b>Total</b>	<b>33</b>	<b>100%</b>

45% des lésions au niveau des membres supérieurs sont des fractures des os du bras et de l'avant-bras (humérus, radius et cubitus). 27% se situent sur le haut des membres supérieurs (clavicule et omoplate) et 21% au niveau de la main.

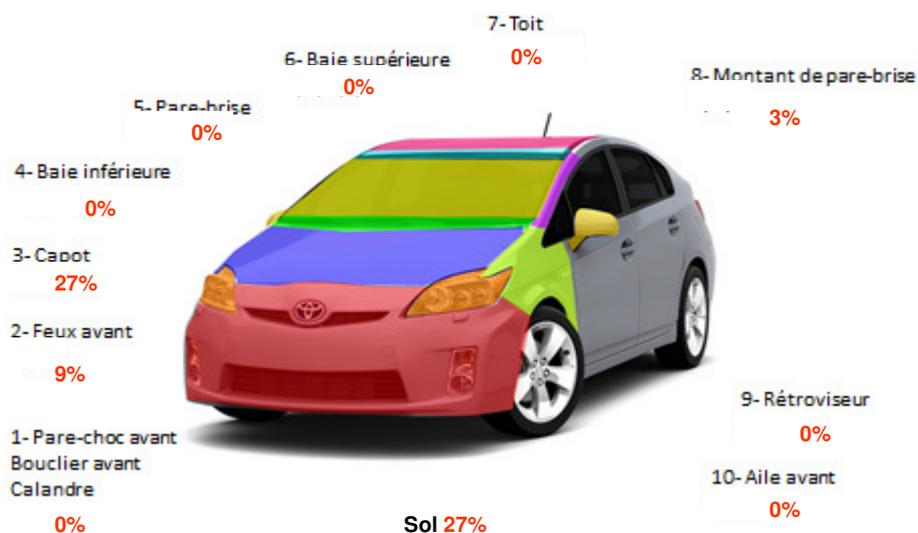


MEMBRE SUPERIEUR  
Vue antérieure



**Figure 40 - Descriptif du membre supérieur**

La majorité des 33 lésions aux membres supérieurs est due à un impact sur le capot (27%) ou en retombant sur le sol (27%). Pour 34% d'entre elles, la zone d'impact n'a pas été déterminée.



**Figure 41 - Répartition des lésions AIS2+ aux membres supérieurs en fonction de la zone d'impact**

### 5.2.3. Membres inférieurs

91 lésions ont été constatées au niveau des membres inférieurs dont 27 lésions AIS 2+. Cela concerne 52 piétons sur les 89 impactés par un véhicule en choc frontal.

Voici pour l'ensemble des 91 lésions, la répartition du niveau d'Ais par classe de vitesse :

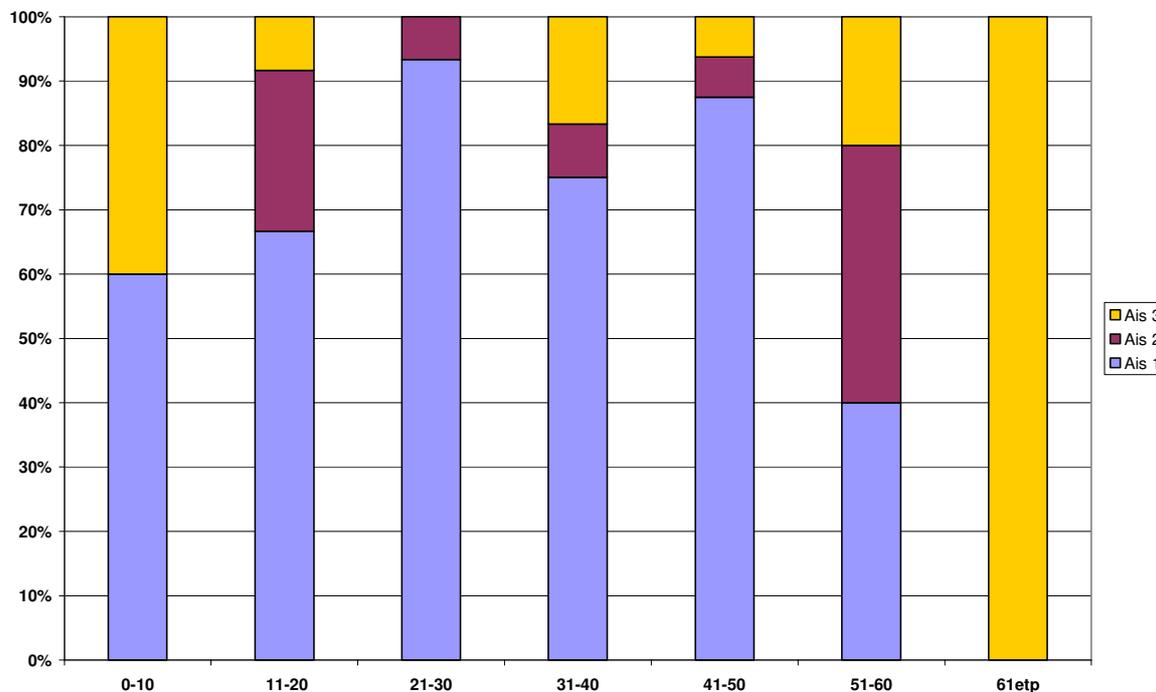


Figure 42 - Répartition du niveau d'Ais des lésions aux membres inférieurs par classe de vitesse

Nous trouvons les blessures les plus graves (Ais 3) pour chaque classe de vitesse sauf entre 21 et 30 km/h même à des vitesses très faibles.

Voici pour les 27 lésions avec un niveau d'Ais supérieur ou égal à 2, la répartition du type de lésions :

Tableau 17 - Répartition des lésions AIS 2+ aux membres inférieurs

Lésions	Effectif	%
fracture du tibia	8	30%
fracture du fémur	8	30%
fracture du péroné	5	19%
plaie majeure de la peau	2	7%
plaie d'un muscle	2	7%
lésion de dégantage au genou	1	4%
luxation du genou	1	4%
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>100%</b>

49% des lésions aux membres inférieurs se situent sur la partie basse des membres inférieurs (tibia et péroné). 30% des lésions Ais 2+ sont des fractures du fémur. Seulement 2 lésions touchent le genou.

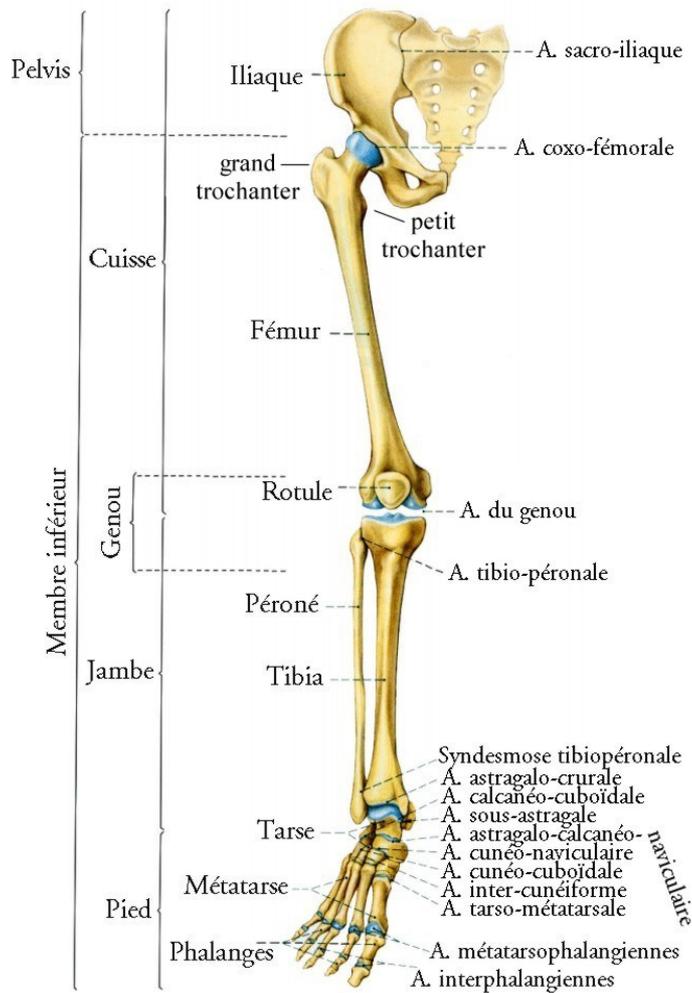


Figure 43 – Descriptif du membre inférieur

Les lésions aux membres inférieurs sont en majorité dues au choc contre le pare-choc (52%) ou sur le capot (19%). Les 5 lésions provoquées par un impact sur le capot sont 3 fractures de fémur et 2 fractures de tibia. Pour 15% des lésions, la zone impactée est inconnue.

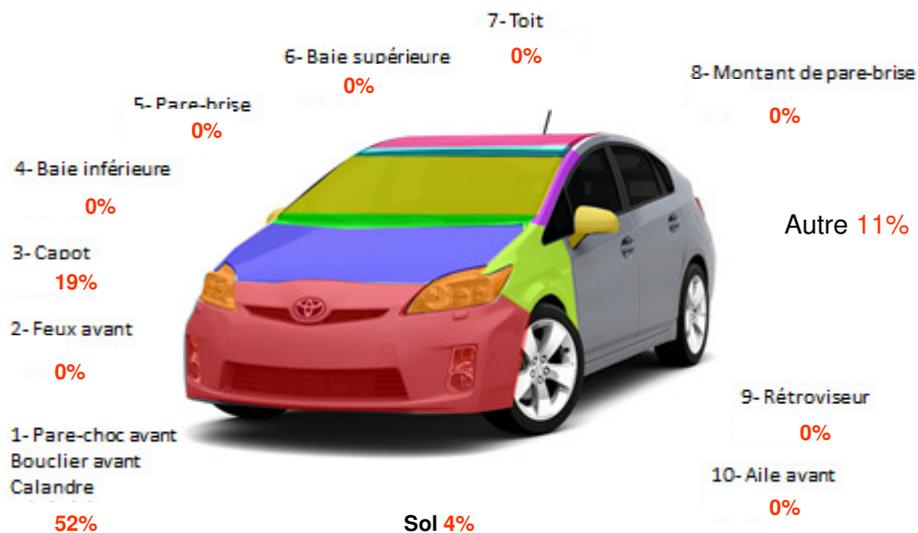


Figure 44 - Répartition des lésions AIS2+ aux membres inférieurs en fonction de la zone d'impact

## 5.2.4. Thorax

Au niveau du thorax, nous avons comptabilisé 33 lésions.  
Voici pour ces lésions, la répartition du niveau d'Ais par classe de vitesse.

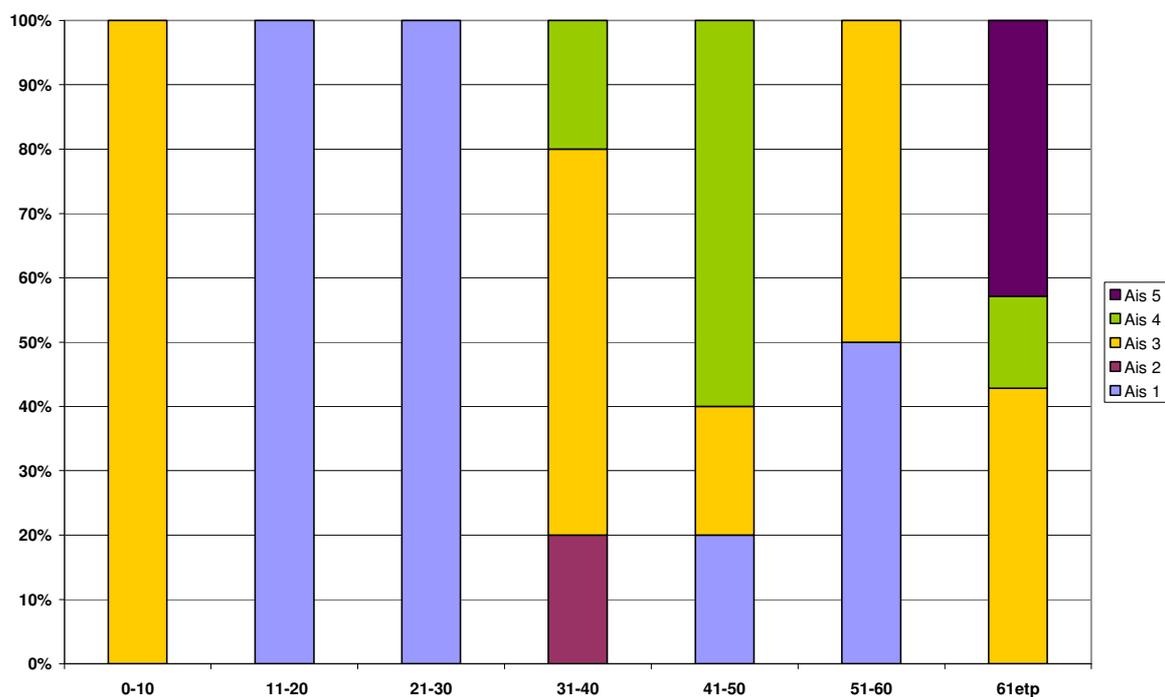


Figure 45 - Répartition du niveau d'Ais des lésions au thorax par classe de vitesse

Parmi ces 33 lésions, 26 ont un niveau d'Ais supérieur ou égal à 2. Cela concerne 14 piétons sur les 89 impactés par la face avant d'un véhicule.

Tableau 18 - Répartition des lésions AIS2+ au niveau du Thorax

Lésion	Effectif	%
contusion du poumon	7	27%
multiples fractures de côtes	5	19%
lésion cavité thoracique	4	15%
plaie du poumon	3	12%
plaie majeure de l'aorte	2	8%
destruction massive	1	4%
déchirure de l'aorte thoracique	1	4%
contusion du cœur	1	4%
arrachement du cœur	1	4%
plaie complexe des bronches	1	4%
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>100%</b>

Les organes les plus touchés sont les poumons, avec 43% des lésions Ais 2+ (poumons et bronches). Les fractures de côtes représentent 19% de la totalité des lésions au thorax.

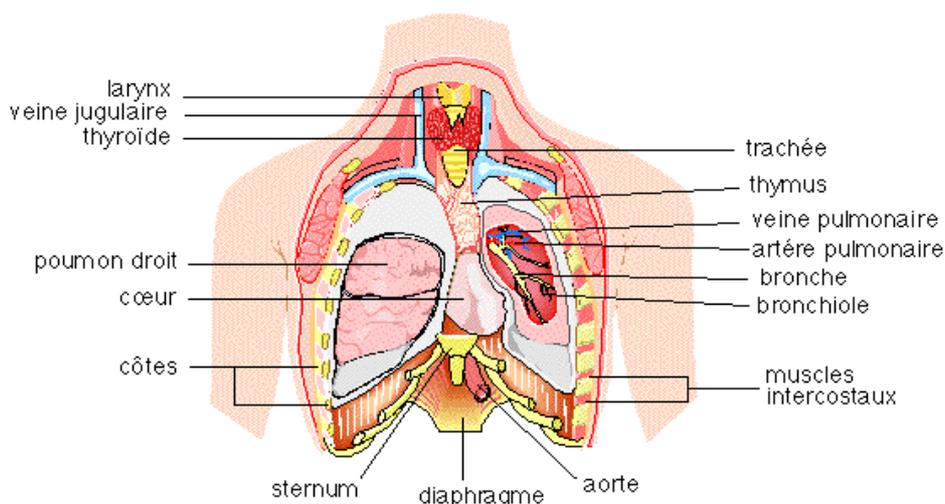


Figure 46 - Descriptif du thorax

Les lésions au thorax sont en majorité dues à un impact contre le capot du véhicule (62%).

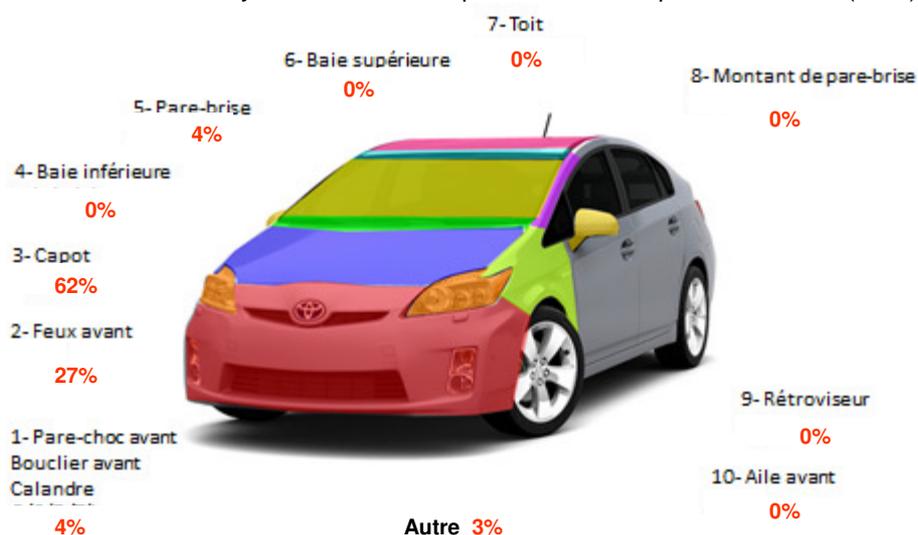


Figure 47 - Répartition des lésions AIS2+ au niveau du thorax en fonction de la zone d'impact

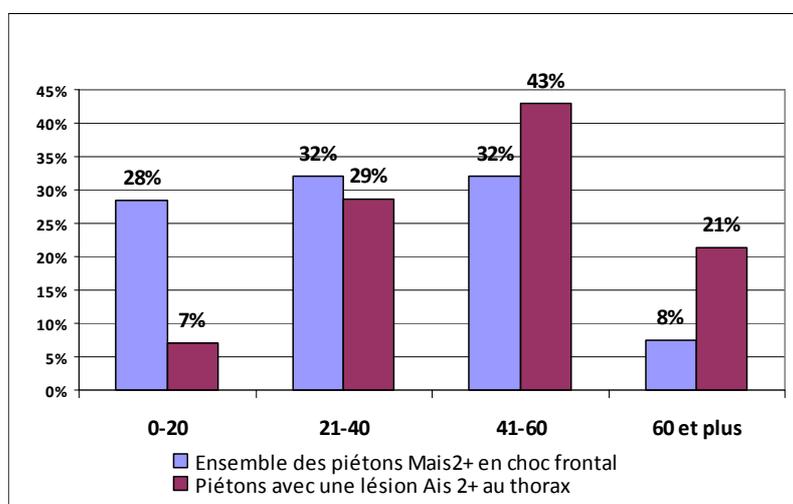


Figure 48 - Répartition des piétons selon la vitesse de collision pour tous les chocs frontaux et pour les chocs ayant occasionné des lésions AIS2+ au thorax

### 5.2.5. Bassin

Au niveau du bassin, nous avons comptabilisé 25 lésions dont toutes ont un niveau d'Ais supérieur à 1.

Cela concerne 13 piétons sur les 89 impactés en choc frontal.

Voici pour ces lésions, la répartition du niveau d'Ais par classe de vitesse.

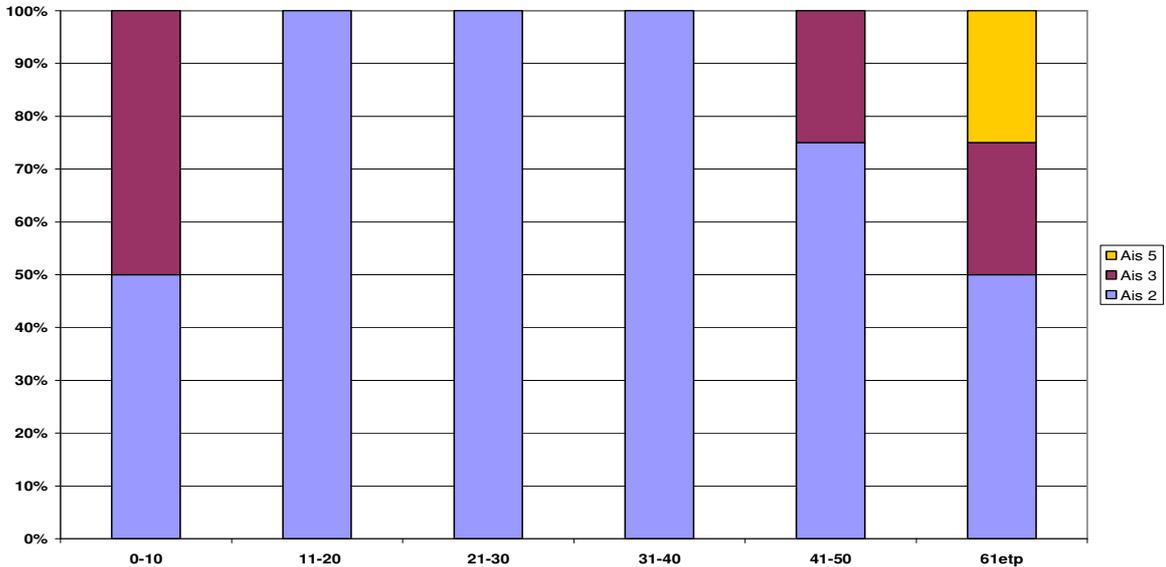


Figure 49 - Répartition du niveau d'Ais des lésions au bassin selon les classes de vitesse

Les blessures les plus graves (Ais 5) apparaissent à partir de 60 km/h.

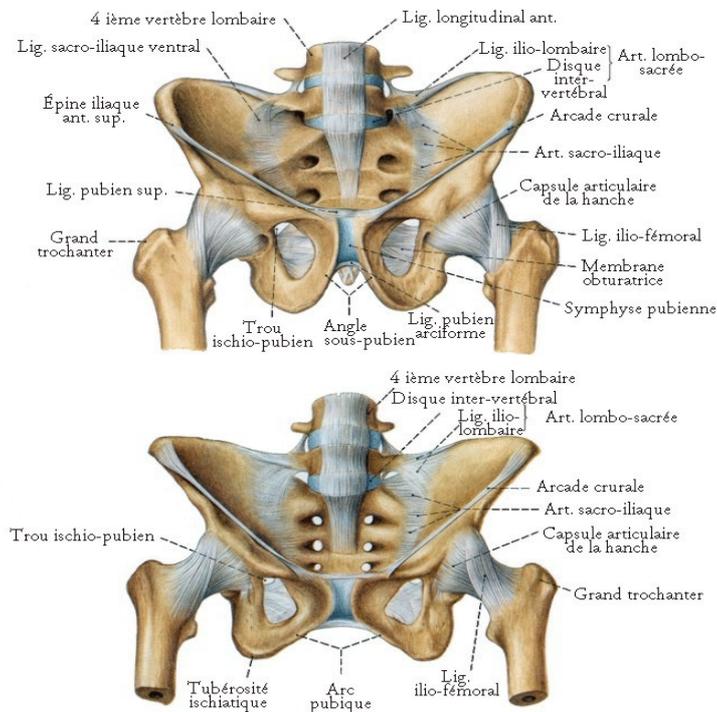


Figure 50 - Descriptif du bassin

Nous avons voulu savoir si ces blessures n'étaient pas dues à la fragilité des personnes les plus âgées. Pour cela, nous avons étudié l'âge des piétons ayant subi une lésion au niveau du bassin et la vitesse à laquelle les véhicules les ont impactés (voir les deux tableaux suivant).

5 piétons ont moins de 20 ans. Ils ont tous les 5 entre 14 et 18 ans. Les piétons de moins de 14 ans n'ont pas été blessés au niveau du bassin. 5 autres piétons ont plus de 70 ans.

**Tableau 19- Répartition des piétons blessés au bassin avec au moins une lésion AIS2+ en fonction de l'âge**

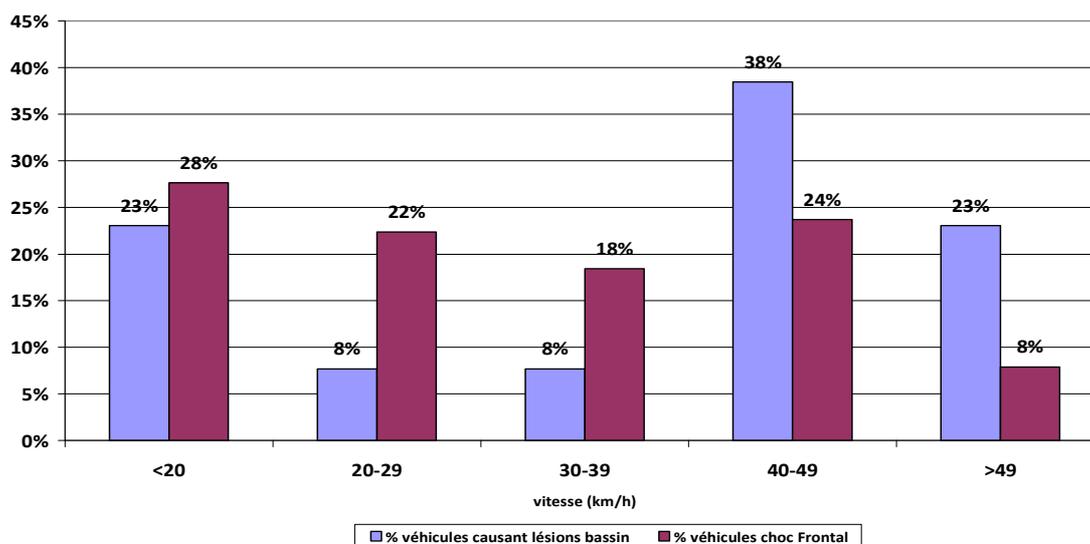
Age	Effectif
< 20	5
20-50	1
51-70	2
>70	5
<b>Total</b>	<b>13</b>

**Tableau 20 - Répartition des piétons blessés au bassin avec au moins une lésion AIS2+ en fonction de la vitesse de collision**

Vitesse du véhicule lors de la collision (km/h)	Effectif
<20	3
20-29	1
30-39	1
40-49	5
>49	3
<b>Total</b>	<b>13</b>

61% des piétons avec une lésion au bassin ont été impactés à une vitesse supérieure ou égale à 40 km/h et 23% à moins de 20 km/h (voir Figure 51). En ce qui concerne les éléments à l'origine des lésions (voir Tableau 21) :

- 52% des lésions sont dues à l'impact contre le capot,
- 20% contre le pare-choc,
- 16% sur le sol.



**Figure 51 – Répartition des piétons selon la vitesse de collision pour tous les chocs frontaux et pour les chocs ayant occasionné des lésions au niveau du bassin.**

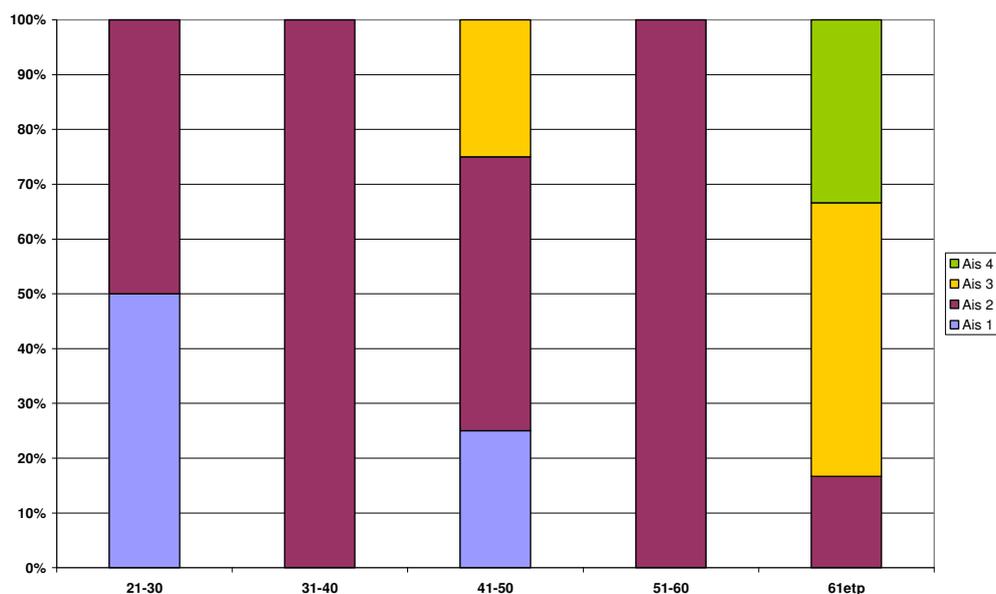
**Tableau 21 - Distribution des lésions au niveau du bassin, de l'âge des piétons et de la surface impactée.**

Surface impactée	Lésion - âge	N	
Bord avant du capot	luxation de la hanche - Ais 2 17 ans -	1	
	fracture du bassin - Ais 2 80 ans – 57 ans – 17 ans – 15 ans – 15 ans	6	
	fracture du bassin ouverte - Ais 3 15 ans	1	
	fracture du bassin avec perte de sang - Ais 5 18 ans	1	
	fracture de l'articulation sacro-iliaque - Ais 3 57 ans – 17 ans	2	
	fracture de la symphyse pubienne - Ais 3 57 ans - 15 ans	2	
	<b>Total</b>	<b>13 (52%)</b>	
	Dessus du capot à l'avant	fracture du bassin - Ais 2 65 ans	1
		fracture du bassin avec perte de sang - Ais 5 18 ans	1
		<b>Total</b>	<b>2 (8%)</b>
Pare-choc / Calandre	fracture du bassin fermée - Ais 2 76 ans - 14 ans – 78 ans	5	
	<b>Total</b>	<b>5 (20%)</b>	
Phare avant coin	fracture du bassin ouverte - Ais 3 43 ans	1	
	<b>Total</b>	<b>1 (4%)</b>	
Sol	fracture du bassin - Ais 2 57 ans – 86 ans – 81 ans – 76 ans	4	
	<b>Total</b>	<b>4 (16%)</b>	
<b>Total</b>	<b>Total</b>	<b>25 (100%)</b>	

### 5.2.6. Abdomen

Au niveau de l'abdomen, nous trouvons 21 lésions.

Voici pour ces lésions la répartition du niveau d'Ais selon les classes de vitesse.



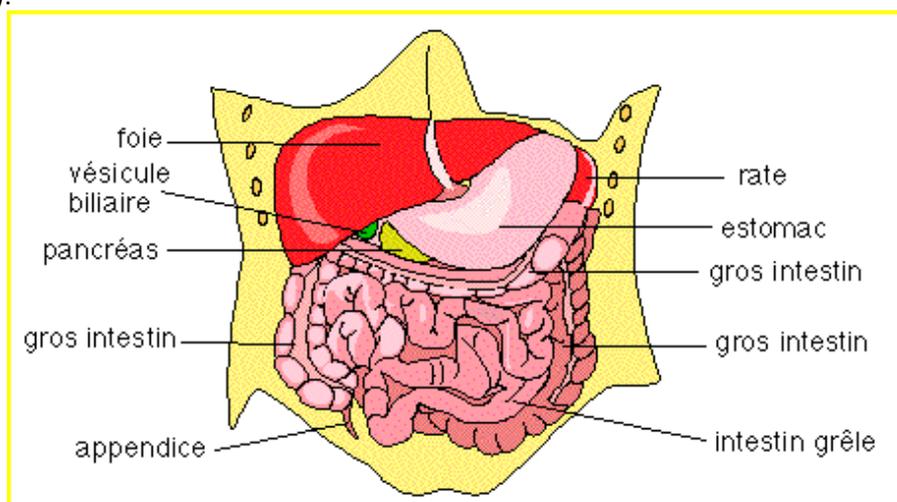
**Figure 52 - Répartition du niveau d'Ais des lésions à l'abdomen selon les classes de vitesse**

Parmi ces 21 lésions, 18 ont un niveau d'Ais supérieur ou égal à 2. Cela représente 10 piétons sur les 89 impactés en choc frontal.

**Tableau 22- Répartition des lésions Ais2+ au niveau de l'abdomen**

Lésion	Effectif	%
contusion du foie	4	22%
rupture du foie	3	17%
contusion d'un rein	2	11%
rupture de la rate	2	11%
plaie de la peau avec perte de sang	1	6%
plaie de la veine iliaque	1	6%
plaie artère	1	6%
contusion de la vessie	1	6%
plaie massive de la vessie	1	6%
plaie de l'estomac	1	6%
Inconnu	1	6%
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>100%</b>

Le foie est l'organe qui a subi le plus de lésions (39%), suivi de la vessie (12%), des reins (11%) et de la rate (11%).



**Figure 53 - Descriptif de l'abdomen**

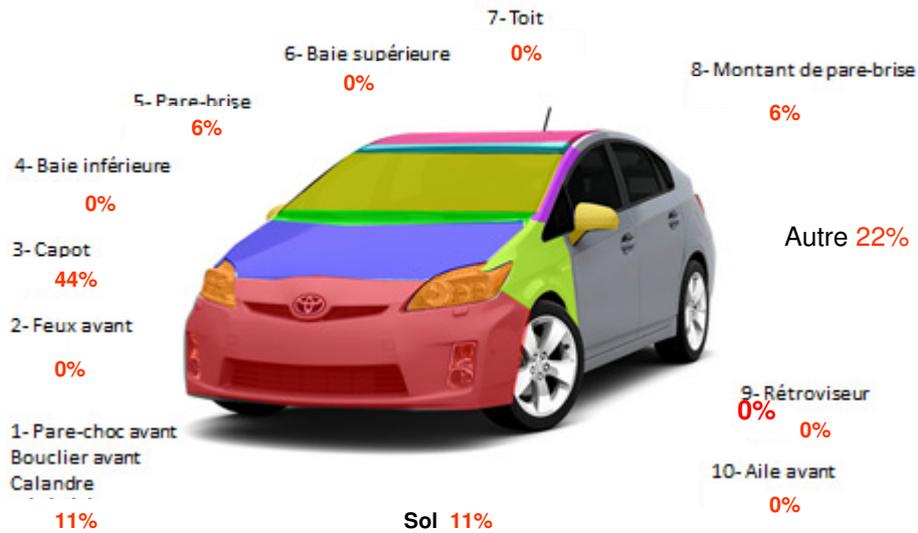


Figure 54 - Répartition des lésions AIS2+ au niveau de l'abdomen en fonction de la zone d'impact

Les lésions au niveau de l'abdomen sont également dues en majorité à l'impact sur le capot (44%).

Les piétons avec au moins une lésion à l'abdomen ont été impactés par des véhicules dont la vitesse était supérieure à 20 km/h. La répartition est homogène selon les classes de vitesse (33% dans chaque catégorie).

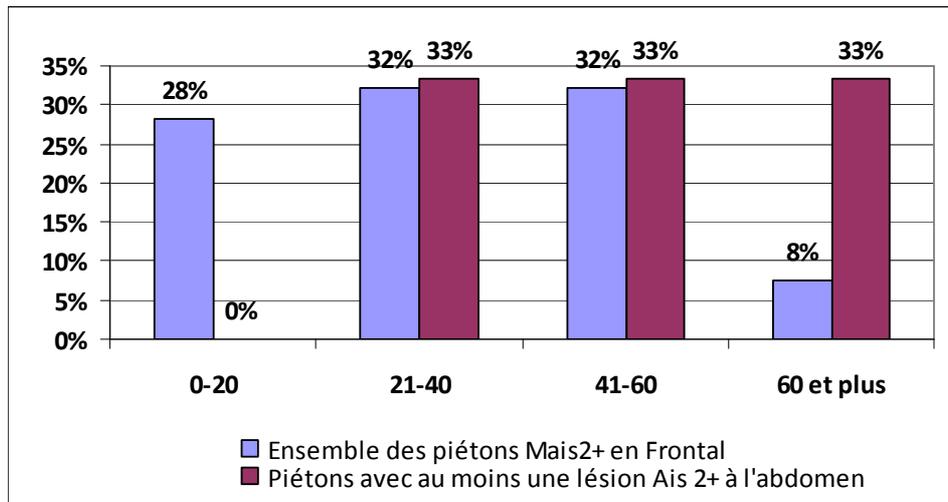


Figure 55 - Répartition des piétons selon la vitesse de collision pour tous les chocs frontaux et pour les chocs ayant occasionné des lésions AIS2+ à l'abdomen

40% des piétons avec au moins une lésion de sévérité supérieure ou égale à 2 ont moins de 15 ans et 70% moins de 20 ans.

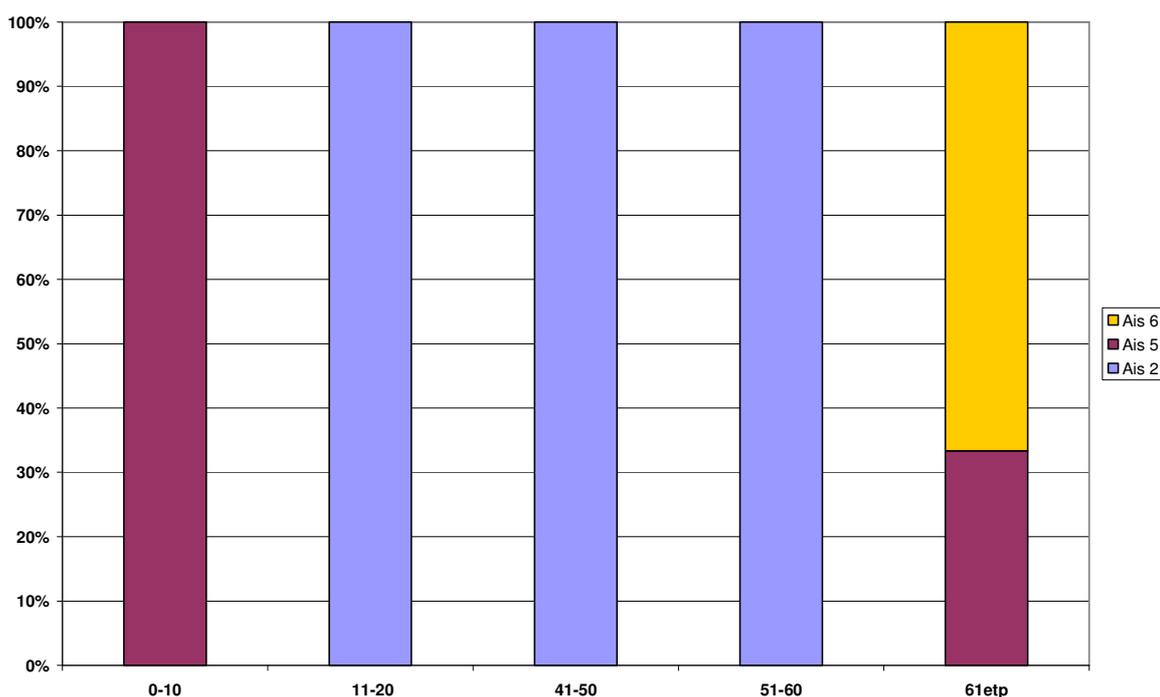
**Tableau 23- Répartition des piétons avec au moins une lésion AIS2+ à l'abdomen en fonction de l'âge**

Age	Effectif	%
0-5	2	20%
6-10	1	10%
11-15	1	10%
16-20	3	30%
21-50	1	10%
51-70	1	10%
71-90	1	10%
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>100%</b>

### 5.2.7. Colonne vertébrale

Au niveau de la colonne dorso-lombaire, 19 lésions ont été recensées, elles ont toutes un Ais supérieur ou égal à 2 et elles concernaient 8 piétons sur les 89 impactés en choc frontal.

Voici la répartition du niveau d'Ais selon les classes de vitesse :



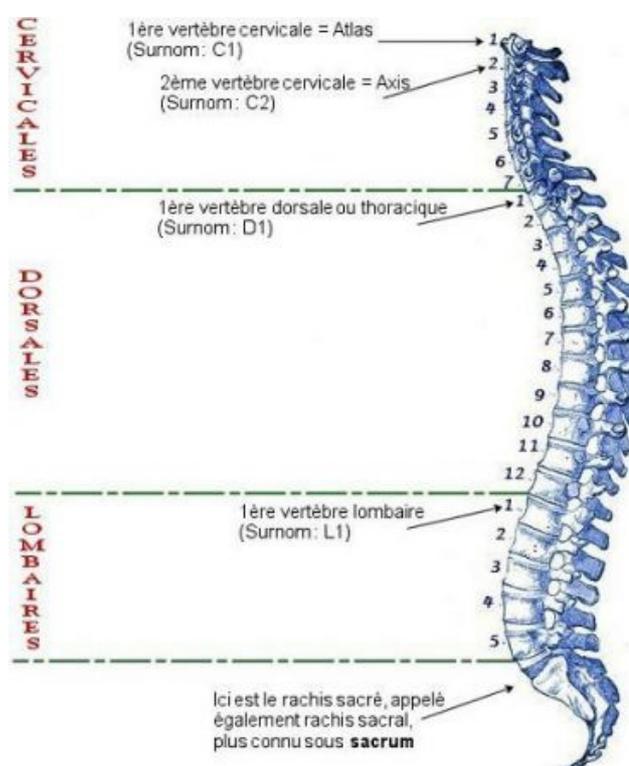
**Figure 56 - Répartition du niveau d'Ais des lésions à la colonne selon les classes de vitesse**

Les piétons ayant subi une lésion mortelle au niveau de la colonne dorso-lombaire ont été impactés à plus de 60 km/h.

**Tableau 24- Répartition des lésions AIS2+ au niveau de la colonne dorso-lombaire**

Lésion	Effectif	%
fracture d'une vertèbre	13	68%
contusion C3 avec luxation	2	11%
plaie de la moelle avec luxation	1	5%
contusion de la moelle avec fracture	1	5%
luxation d'une vertèbre	1	5%
contusion de la moelle avec luxation	1	5%
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>100%</b>

La fracture de vertèbre est la lésion la plus représentée dans la colonne dorso-lombaire (68%).



**Figure 57 - Descriptif de la colonne dorso-lombaire**

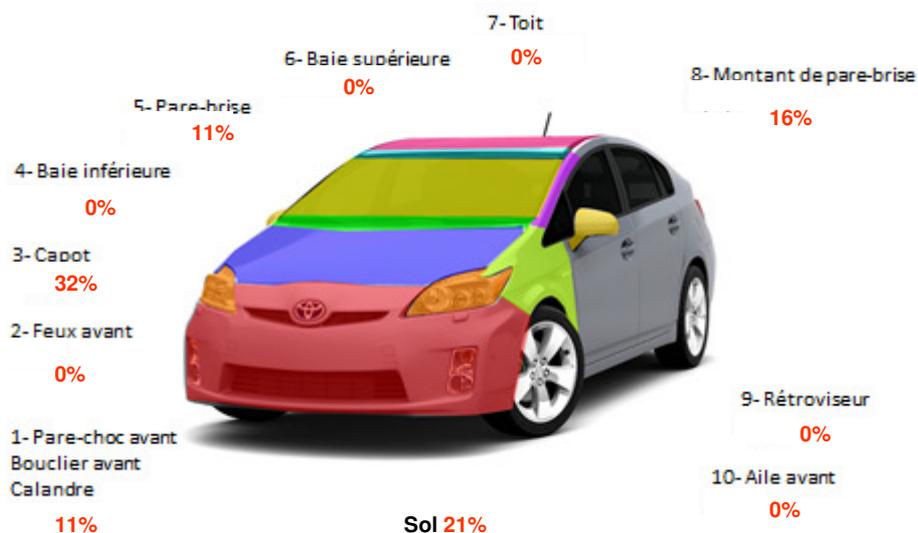


Figure 58 - Répartition des lésions AIS2+ au niveau de la colonne dorso-lombaire en fonction de la zone d'impact

Les lésions au niveau de la colonne sont en majorité la conséquence d'un impact contre le capot d'un véhicule (32%) ou du choc contre le sol (21%). Pour 9% des lésions, la zone d'impact n'a pas été déterminée.

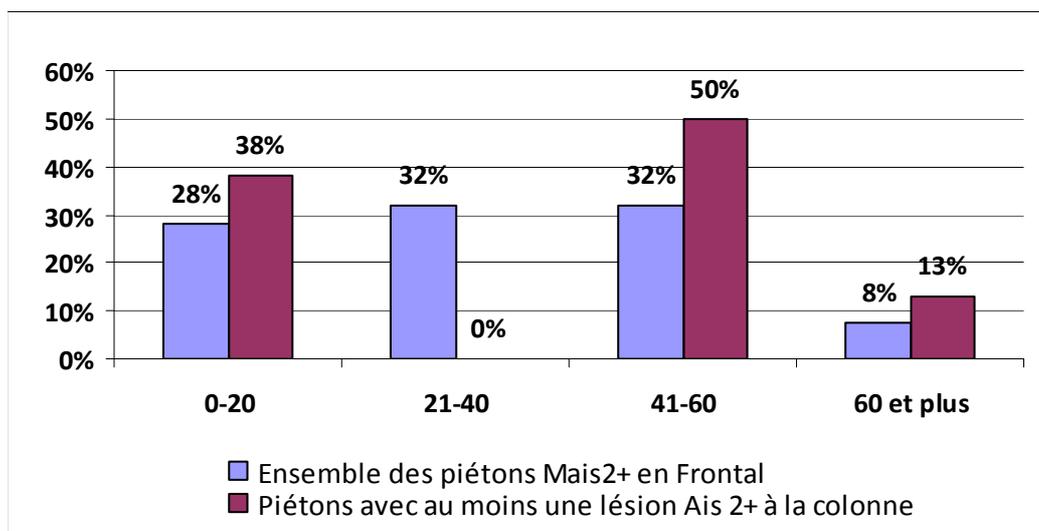


Figure 59 - Répartition des piétons selon la vitesse de collision pour tous les chocs frontaux et pour les chocs ayant occasionné des lésions AIS 2+ au niveau de la colonne

### 5.3. Choc à basse vitesse

Nous allons nous intéresser ici aux piétons impactés en choc frontal avec une vitesse d'impact inférieure ou égale à 30km/h. Dans cette gamme de vitesse le nombre de piétons impliqués est de 43, soit 48% des piétons impliqués en choc frontal et 39% de l'ensemble de l'échantillon.

Après avoir étudié l'ensemble des lésions observées à moins de 30 km/h et leurs impacts par territoire corporel, nous nous focaliserons plus particulièrement sur les lésions au niveau des membres inférieurs.

### 5.3.1. Répartition de l'ensemble des lésions par territoire corporel

L'ensemble des 43 piétons a subi au total 154 lésions. Nous allons donner pour l'ensemble de ces lésions la répartition par territoire corporel.

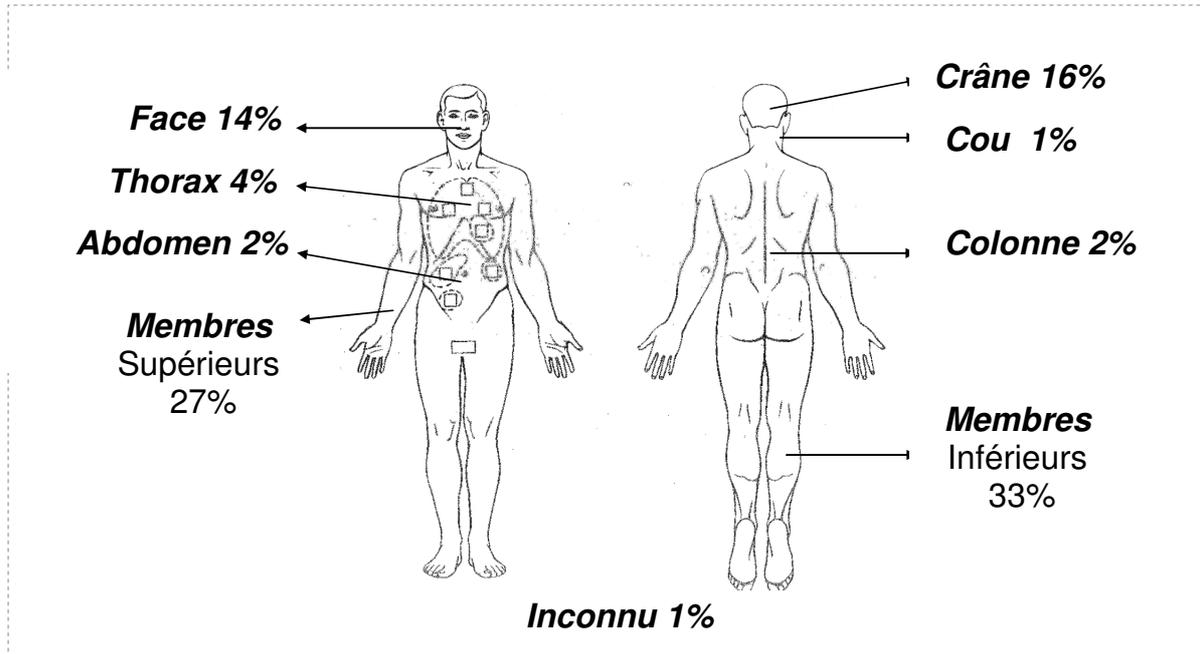


Figure 60 - Répartition des lésions à faible vitesse par territoire corporel

Par rapport à l'ensemble des piétons heurtés par la face avant, nous trouvons à moins de 30 km/h moins de lésions au niveau du crâne (16% au lieu de 25%), et plus de lésions aux niveaux des membres supérieurs (27%/18%), membres inférieurs (33%/27%) et au niveau de la face (14%/11%). Ce sont des territoires où les lésions peuvent être moins sévères.

### 5.3.2. Répartition des zones d'impact

Au total, 163 zones d'impact ont été constatées. Voici pour l'ensemble de ces zones, la répartition sur le véhicule ou sur le sol.

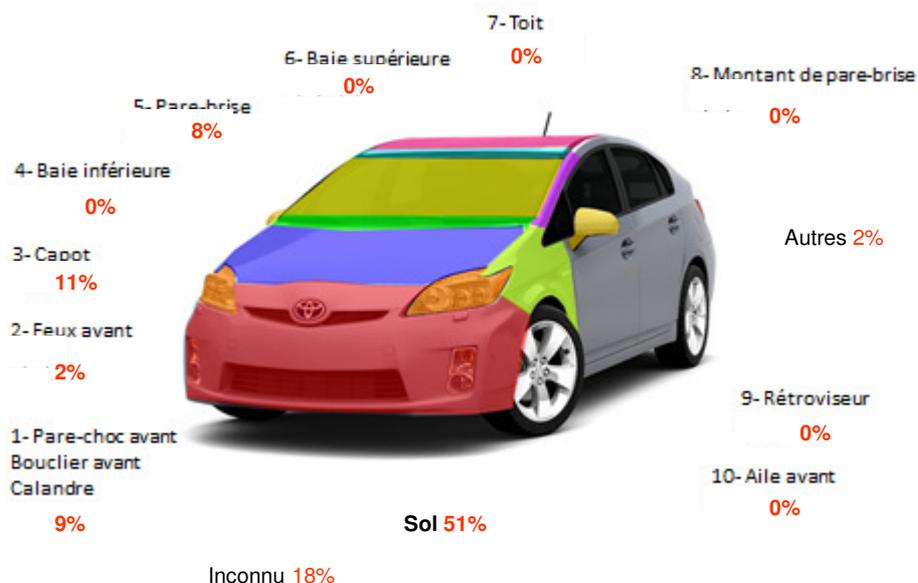


Figure 61 - Répartition de zones d'impact à faible vitesse

La majorité des lésions est due à l'impact contre le sol.

### 5.3.3. Répartition du niveau de sévérité de l'ensemble des lésions selon la vitesse

Nous allons ici regarder comment se répartissent les niveaux de sévérité des 154 lésions observées à faible vitesse par rapport aux classes de vitesse.

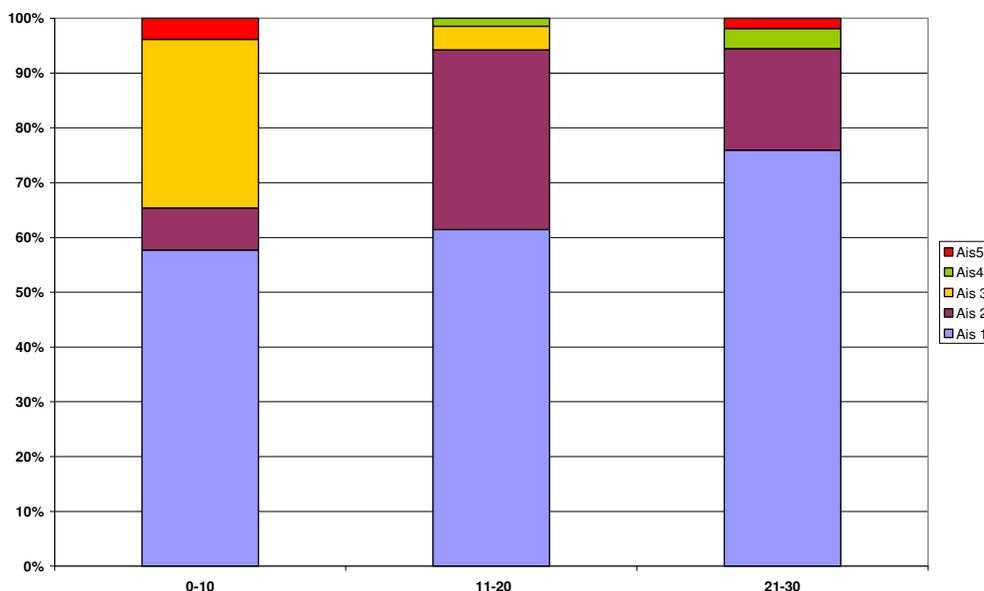


Figure 62 - Répartition de la sévérité des lésions selon les classes de vitesse

### 5.3.4. Distribution des lésions les plus graves

Parmi les 154 lésions observées chez les piétons impactés à basse vitesse, seulement 51 ont un niveau de sévérité supérieur ou égal à 2. Voici pour ces 51 lésions Ais 2+, le descriptif par territoire corporel :

**Tableau 25 - Répartition des lésions les plus graves à faible vitesse**

Type de lésion	Effectif	%
<b>Crâne</b>		
Hématome au cerveau	4	
Perte de connaissance	6	
Total	10	20%
<b>Face</b>		
Fracture Mandibule	1	
Fracture Maxillaire	1	
Total	2	4%
<b>Thorax</b>		
Contusion poumon	1	
Lésion cavité thoracique	2	
Total	3	6%
<b>Abdomen</b>		
Contusion d'un rein	1	
Total	1	2%
<b>Colonne dorso-lombaire</b>		
Contusion moelle épinière	1	
Fracture de vertèbre	2	
Total	3	6%
<b>Membres supérieurs</b>		
Luxation poignet	1	
Fracture clavicule	2	
Fracture doigts	2	
Fracture humérus	3	
Fracture radius	3	
Fracture omoplate	1	
Fracture cubitus	2	
Total	14	27%
<b>Bassin</b>		
Fracture bassin	7	
Total	7	14%
<b>Membres inférieurs</b>		
Plaie majeure	3	
Dégantage genou	1	
Luxation genou	1	
Fracture fémur	2	
Fracture péroné	2	
Fracture tibia	2	
Total	11	22%

Les pourcentages de lésions les plus graves se situent au niveau des membres supérieurs, inférieurs et du crâne.

### 5.3.5. Les lésions au niveau des membres inférieurs

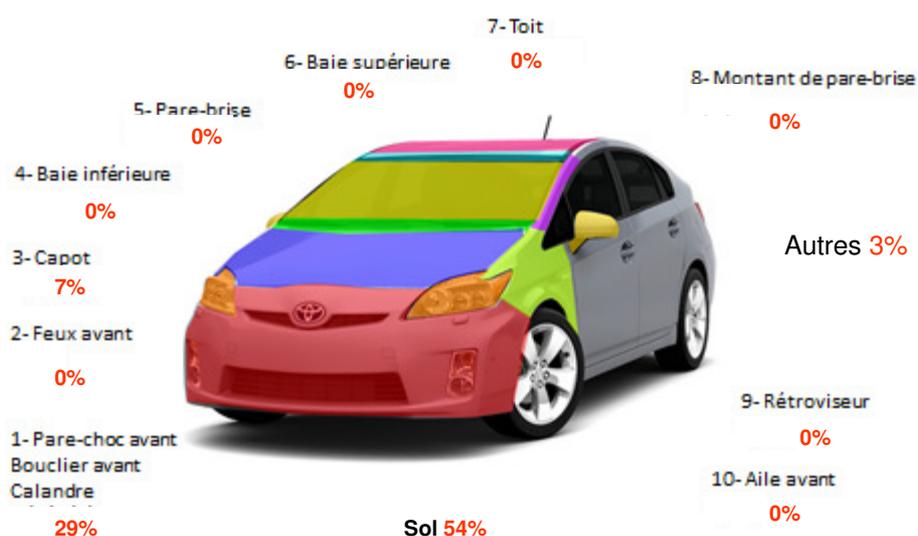
Nous allons nous intéresser dans cette partie aux lésions (quelque-soit le niveau de gravité) subies aux membres inférieurs par les piétons impactés par des véhicules avec la face avant et dont la vitesse est inférieure à 30 km/h. Sur les 82 véhicules qui heurtent avec la face avant, 40 ont une vitesse inférieure à 30 km/h. Parmi les piétons impactés par ces véhicules, 27 ont au moins une lésion au niveau des membres inférieurs. Ces 27 piétons totalisent 42 lésions.

Voici la liste de ces lésions ainsi que leur niveau de gravité :

**Tableau 26 - Répartition de toutes les lésions aux membres inférieurs**

Lésion Membres inférieurs	Effectif	%
Contusion - Ais 1	11	26%
Abrasion - Ais 1	9	21%
Plaie - Ais 1	8	19%
Entorse cheville - Ais 1	2	5%
Contusion tibia - Ais 1	1	2.5%
Plaie majeure - Ais 2	3	7%
Luxation genou - Ais 2	1	2.5%
Fracture péroné - Ais 2	2	5%
Fracture condyle tibia - Ais 2	1	2.5%
Fracture fémur – Ais 2	2	5%
Lésion de dégantage genou -Ais 3	1	2.5%
Fracture ouverte du tibia - Ais 3	1	2.5%
<b>Total</b>	<b>42</b>	<b>100%</b>

Nous constatons 74 % de lésions avec un niveau de gravité égal à 1, 22 % avec un Ais 2 et 5 % avec un Ais3. Il s'agit en majorité de contusions de la peau, d'abrasions ou de plaies. Les quelques fractures constatées sont des fractures du péroné, du tibia (partie inférieure du membre inférieur) et du fémur. Seulement 2 lésions au niveau du genou sont observées.



**Figure 63 - Répartition des lésions aux membres inférieurs en fonction de la zone d'impact**

Dans 58% des cas, la lésion est due à l'impact sur le sol et 30% au choc contre le pare-choc du véhicule. Dans 7% des cas, la zone d'impact est indéterminée.

Les impacts contre pare-chocs ont provoqué 6 contusions, 3 abrasions, 1 plaie et 2 fractures.

Parmi ces lésions, 3 sont survenues à une vitesse inférieure à 10 km/h, 5 entre 11 et 20 km/h et 4 entre 21 et 30 km/h.

### 5.3.6. Synthèse des chocs à basse vitesse

Les piétons impactés à basse vitesse représentent à peu près la moitié des piétons impactés en choc frontal.

Par rapport à l'ensemble des piétons impactés en frontal, nous trouvons en proportion moins de lésions au niveau du crâne et plus de lésions à la face ou aux membres supérieurs et inférieurs.

La moitié des lésions est due à l'impact contre le sol.

Les lésions les plus graves à basse vitesse sont constatées en majorité au niveau des membres supérieurs (27%) et membres inférieurs (22%).

Au niveau des membres inférieurs, les  $\frac{3}{4}$  des lésions sont des blessures légères, la moitié est la conséquence du choc contre le sol et  $\frac{1}{3}$  d'un impact contre le pare-choc.

## 5.4. Les autres études

Dans cette partie nous allons nous intéresser aux résultats obtenus par d'autres études. Nous nous focaliserons sur 2 études principales, une allemande effectuée à partir de la base de données GIDAS et une américaine.

### 5.4.1. GIDAS

GIDAS (German In-Depth Accident Study) est un projet coopératif soutenu par le BAST<sup>5</sup> et le FAT<sup>6</sup> dont l'objectif est la constitution d'une base de données allemande sur les accidents de la route.

Dans cette base, environ 2 000 accidents sont analysés chaque année (pour chacun entre 500 et 3 000 informations sont collectées).

Dans [Fredriksson, 2010], une étude sur 1 030 accidents contre piéton est réalisée. Son objectif est d'établir les priorités de protection des piétons et ainsi de fournir les connaissances nécessaires à la conception de véhicules sécuritaires. Ces 1 030 accidents ont été sélectionnés dans la base GIDAS entre 1998 et 2008. Ce sont tous des accidents en choc frontal entre un piéton et véhicule léger ou une camionnette.

Parmi les 1 030 accidents, 161 piétons ont au moins une lésion sévère (AIS3+). Pour 58% d'entre eux, il s'agit de blessures aux membres inférieurs, pour 43% à la tête (face et tête) et pour 37% à la poitrine (thorax, abdomen et la colonne). Les répartitions des territoires corporels touchés sont assez similaires en fonction des âges, excepté pour le thorax. Il semble en effet que les lésions au thorax soient moins fréquentes chez les enfants (0 à 14 ans) et plus fréquentes chez les personnes âgées (65 ans et +).

Chaque lésion AIS3+ a été associée avec la zone d'impact<sup>7</sup> la plus probable (analyse réalisée à partir des photos). Le tableau<sup>8</sup> présente les 10 configurations les plus courantes de zone d'impact / territoire corporel pour les lésions AIS3+.

Les résultats sont assez similaires (à part pour les membres inférieurs) de ceux de CACIAUP d'un point de vue qualitatif. Il est en effet impossible de réaliser une comparaison quantitative à cause de la différence des critères de réalisation des tableaux.

Les lésions aux membres inférieurs sur la face avant des véhicules sont les plus nombreuses et concernent 44% des piétons dans l'étude GIDAS. Il est important de noter que le bassin est inclus dans les membres inférieurs dans cette étude. La différence se fait principalement au niveau de la zone d'impact. La configuration CACIAUP la plus représentée pour « *les membres inférieurs + bassin* » est celle avec le capot alors que c'est avec la face avant pour l'étude GIDAS.

Le manque de données d'exposition pour l'étude GIDAS ne nous permet pas d'expliquer cette différence. Il serait néanmoins intéressant de comparer les véhicules (hauteur des capots) et la taille des piétons pour déceler une éventuelle explication.

---

<sup>5</sup> BAST : Bundesanstalt für Straßenwesen – Institut fédéral de recherche

<sup>6</sup> FAT: Forschungsvereinigung Automobiltechnik – Association de recherche sur les technologies automobiles - <http://www.vda.de/en/verband/fachabteilungen/fat/index.html>

<sup>7</sup> Les principales zones d'impact considérées sont les suivantes : avant du véhicule (pare-choc avant, bouclier avant et calandre), bord avant du capot, le capot, le pare-brise, montant de pare-brise, le sol, les objets divers.

<sup>8</sup> Ce tableau est focalisé sur le nombre de lésions et sur le nombre de piétons alors que le Tableau 31 donne une répartition globale des lésions.

En ce qui concerne les lésions à la tête dues au pare-brise, leur positionnement dans le classement est assez similaire à celui de CACIAUP. Il en est de même pour la configuration thorax/capot.

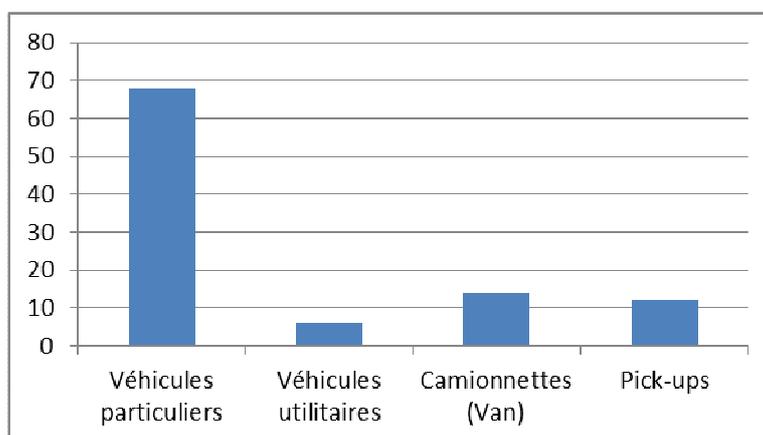
**Tableau 27 – Classification des configurations « zone d'impact vs territoire corporel » pour les lésions AIS3+**

Zone impactée	Territoire corporel	Nombre de lésions AIS3+	Pourcentage (N=155 piétons)
Face avant	Membres inférieurs	68	44%
Pare-brise	Tête	40	26%
Capot	Poitrine	23	15%
Pare-brise	Poitrine	20	13%
Sol	Tête	19	12%
Sol	Poitrine	15	10%
Capot	Membres inférieurs	10	6%
Capot	Tête	8	5%
Bord avant du capot	Membres inférieurs	8	5%
Sol	Membres supérieurs	7	5%

#### 5.4.2. PCDS

L'étude PCDS (Pedestrian Crash Data Study) a débuté aux Etats-Unis en 1994 et s'est terminée en 1998 [Chidester, 2001], [Roudsari, 2005] et [Zhang, 2008], . En tout, 521 accidents contre piéton ont été analysés. La répartition des véhicules impactant est présentée dans la figure suivante.

Il y a évidemment plus de pick-up qu'en France, mais les véhicules de tourisme sont malgré tout la catégorie de véhicule la plus représentée. Il semble donc opportun de comparer les résultats obtenus grâce à cette base de données avec ceux de CACIAUP (93% de véhicules particuliers et 7% de véhicules utilitaires légers).



**Figure 64 - Distribution (en %) des véhicules impliqués dans la base PCDS**

Le pare-brise, le pare choc avant, le capot et le bord avant du capot sont les éléments responsables du plus de lésions AI3+ (voir Figure 65).

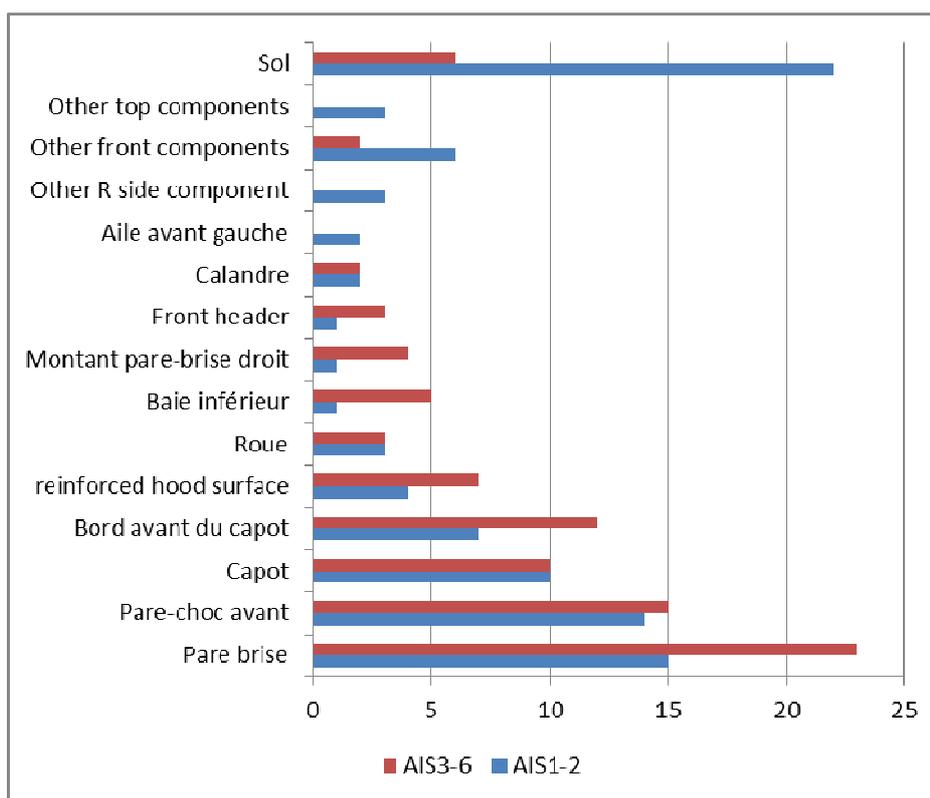


Figure 65 - Répartition des lésions en fonction de la zone d'impact responsable [Chidester, 2001]

[Roudsari, 2005] propose une description plus détaillée des lésions en fonction des territoires corporels et de la zone d'impact responsable. La synthèse présentée dans le Tableau 28 ne concerne que les accidents contre véhicule particulier pour tout niveau de lésion.

De même que dans la base GIDAS, le territoire des « Membres inférieurs » est le territoire corporel le plus lésé. La moyenne des AIS constatée sur ce territoire est de 1.2 ( $\pm 0.6$ ) alors qu'elle est de 2.6 ( $\pm 1.5$ ) pour la tête. Le pare-choc est la zone responsable du plus de lésions au niveau de ce territoire (idem pour GIDAS). Le Tableau 29 classe les mécanismes lésionnels en fonction du nombre de lésions observées.

Tableau 28 - Distribution du nombre de lésions en fonction des territoires corporels et des zones d'impact pour les véhicules particuliers [Roudsari, 2005]

	Tête	Thorax	Abdomen	Colonne	Membres Supérieurs	Membres Inférieurs	Total
Pare-brise	<b>211 (14%)</b>	11 (1%)	7 (~0%)	16 (1%)	92 (6%)		337 (22%)
Capot	38 (2%)	<b>54 (3%)</b>	<b>47 (3%)</b>	25 (2%)	<b>125 (8%)</b>	<b>46 (3%)</b>	335 (22%)
Montant de pare-brise	29 (2)	2 (~0%)					31 (2%)
Baie inférieur pare-brise	16 (1%)	6 (~0%)	1 (~0%)	4 (~0%)			27 (2%)
Face avant	13 (1%)			8 (1%)			21 (1%)
Bord avant capot		1 (~0%)	17 (1%)	9 (1%)	9 (1%)	<b>67 (4%)</b>	103 (7%)
Calandre			1 (~0%)			21 (1%)	22 (1%)
Pare-choc						<b>373 (24%)</b>	373 (24%)
Becquet (spoiler)						28 (2%)	28 (2%)
Divers	5 (~0%)	2 (~0%)		5 (~0%)	33 (2%)	10 (1%)	55 (4%)
Sol	23	5 (~0%)	8 (1%)	17 (1%)	<b>83 (5%)</b>	<b>75 (5%)</b>	211 (14%)
<b>Total</b>	<b>335 (22%)</b>	<b>81 (5%)</b>	<b>81 (5%)</b>	<b>84 (5%)</b>	<b>342 (22%)</b>	<b>620 (40%)</b>	<b>1543 (100%)</b>

**Tableau 29 - Classification des configurations « zone d'impact vs territoire corporel » pour toutes les lésions (synthèse de [Roudsari, 2005])**

Zone impactée	Territoire corporel	Nombre de lésions (moy AIS)	Pourcentage (N=1 543 lésions)
Pare choc	Membres inférieurs	373 (1.8 ±0.8)	24%
Pare-brise	Tête	211 (2.7 ±1.4)	14%
Capot	Membres supérieurs	125 (1.3 ±0.5)	8%
Sol	Membres supérieurs	83 (1.1 ±0.2)	5%
Sol	Membres inférieurs	75 (1.1 ±0.4)	5%
Capot	Thorax	54 (2.6 ±1.2)	3%
Capot	Abdomen	47 (1.7 ±1.0)	3%
Capot	Membres inférieurs	43 (1.4 ±0.9)	3%

## 5.5. Comparaison des résultats avec les tests EuroNCap

Les tests EuroNCAP sont focalisés sur les quatre tests suivants :

- Impact contre le pare-choc avec un impacteur jambe,
- Impact contre le bord avant du capot pour déterminer la protection offerte au niveau de la cuisse,
- Impact contre le capot et le parebrise<sup>9</sup> avec deux impacteurs tête représentatifs de la tête d'un enfant et d'un adulte.

Ces différents tests sont associés aux données issues de l'échantillon CACIAUP. Le tableau suivant reprend les résultats obtenus précédemment avec en gris la correspondance avec les tests EuroNCAP. On observe que les tests d'impacts des membres inférieurs vs la face avant et la tête vs le pare-brise sont pertinents vis-à-vis de l'échantillon CACIAUP. Par contre, en ce qui concerne les tests d'impacts tête vs capot et membres inférieurs bord avant du capot ils sont classés respectivement 8<sup>ième</sup> et 9<sup>ième</sup> en termes de nombre lésions observées. Ils sont classés 6<sup>ième</sup> et 7<sup>ième</sup> si on enlève les mécanismes lésionnels associés au sol.

On observe que les lésions à la poitrine (thorax) liées aux impacts sur le capot ou le pare-brise sont 15% et 13% des piétons mais qu'il n'existe pas de tests associés à ces mécanismes.

D'après l'échantillon CACIAUP, il semble donc pertinent d'orienter la conception de tests, mais également la réglementation, vers une prise en compte de la protection des piétons au niveau du thorax.

<sup>9</sup> Les zones testées sur les véhicules sont définies en fonction du WAD (*Wrap Around Distance*) ou distance projetée. Il s'agit de la distance la plus courte en profil en partant du sol. Les distances permettant un repérage des zones sont fournies dans EuroNCAP (2011) *European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) - Pedestrian Testing Protocol -version 5.3.1..*

**Tableau 30 - Distribution du nombre de lésions en fonction des territoires corporels et des zones d'impact pour les véhicules particuliers en choc frontal**

Zone impactée	Territoire corporel	Nombre de lésions AIS3+	Pourcentage (N=155 piétons)
Face avant	Membres inférieurs	68	44%
Pare-brise	Tête	40	26%
Capot	Poitrine	23	15%
Pare-brise	Poitrine	20	13%
Sol	Tête	19	12%
Sol	Poitrine	15	10%
Capot	Membres inférieurs	10	6%
Capot	Tête	8	5%
Bord avant du capot	Membres inférieurs	8	5%
Sol	Membres supérieurs	7	5%

## 5.6. Synthèse sur les mécanismes lésionnels en choc frontal

Le tableau suivant présente une synthèse du pourcentage de lésions Ais 2+ par territoire et selon la zone d'impact.

La zone d'impact a pu être déterminée pour 210 lésions.

**Tableau 31- Répartition des lésions Ais 2+ par territoire corporel selon les zones d'impact**

	Tête	Membres Supérieurs	Membres Inférieurs	Thorax	Bassin	Abdomen	Colonne	Total
Sol	23(11%)	9 (4.5%)	1 (0.5%)	0 (0%)	4 (2%)	2 (1%)	4 (2%)	<b>43(21%)</b>
Capot	<b>13 (6%)</b>	9 (4.5%)	5 (2%)	<b>16(8%)</b>	<b>15(7%)</b>	8 (4%)	6 (3%)	<b>72(34.5%)</b>
Pare-choc	2 (1%)	0 (0%)	<b>16 (8%)</b>	1(0.5%)	5(2.5%)	2 (1%)	2 (1%)	<b>28 (14%)</b>
Pare-brise	<b>20(10%)</b>	0 (0%)	0 (0%)	1(0.5%)	0 (0%)	1 (0.5%)	2 (1%)	<b>24 (12%)</b>
Baie inférieure	9 (4%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>9 (4%)</b>
Pare-brise								
Montant	10 (5%)	1 (0.5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (0.5%)	3 (1%)	<b>15 (7%)</b>
Pare-brise								
Baie supérieure	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>0 (0%)</b>
Pare-brise								
Feux avant	0 (0%)	3 (1%)	0 (0%)	7 (3%)	1 (0.5%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>11 (4.5%)</b>
Rétroviseur	3 (1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>3 (1%)</b>
Autres	0 (0%)	0 (0%)	1 (0.5%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (2%)	0 (0%)	<b>5 (2.5%)</b>
Total	<b>80(38%)</b>	<b>22 (10.5%)</b>	<b>23 (11%)</b>	<b>25(12%)</b>	<b>25(12%)</b>	<b>18 (9%)</b>	<b>17 (8%)</b>	<b>210 (100%)</b>

Les principales lésions constatées sur les piétons heurtés par la face avant d'un véhicule se situent dans les territoires corporels suivants :

- 10% de lésions à la tête contre le pare-brise,
- 8% au niveau des membres inférieurs contre le pare-choc,
- 8% au niveau du thorax contre le capot,
- 7% au niveau du bassin contre le capot,

- 6% au niveau de la tête contre le capot.

Le sol est principalement impliqué dans les lésions AIS2+ au niveau de la tête. C'est la zone d'impact qui est responsable du plus de lésions (23 lésions AIS2+ soit 11% de l'ensemble des lésions).

Les lésions les plus représentées en pourcentage chez les piétons lors d'un choc frontal sont :

- fracture de bassin (10% de l'ensemble des lésions les plus graves),
- Traumatisme crânien avec perte de connaissance (8%),
- Hématome au cerveau (8%),
- Fracture de vertèbre (6%).

## 6. RÉSULTATS: CHOC LATERAL

Dans cette partie, nous allons nous intéresser aux piétons impactés par le côté droit ou gauche d'un véhicule. C'est ce que nous appelons le choc latéral.

Comme pour le choc frontal, tout d'abord, nous déterminerons la manœuvre effectuée par le piéton ou le véhicule avant l'accident.

Par la suite, nous étudierons les caractéristiques de ces piétons (âge, gravité maximale, distribution des lésions par territoire corporel), puis d'une façon générale, nous déterminerons les localisations des impacts ayant provoqué ces lésions.

Pour finir, nous examinerons plus en détail les accidents qui ont causé les lésions les plus graves.

### 6.1. Données générales sur le choc latéral

Les chocs latéraux considérés dans CACIAUP sont principalement des chocs frontaux décalés (side-swipe), en effet il est rare que le véhicule se face heurté sur son côté par un piéton. Le piéton est par exemple percuté par l'aile avant du véhicule ou le rétroviseur (voir les 3 exemples d'accident ci-après).

#### 6.1.1. Les manœuvre pré-accidentelles

Dans cette partie, nous allons déterminer quelle était la manœuvre des 11 piétons, impactés par le côté d'un véhicule, juste avant l'accident.

Dans 90% des cas, le piéton était en train de traverser la route dont 27% à une intersection.

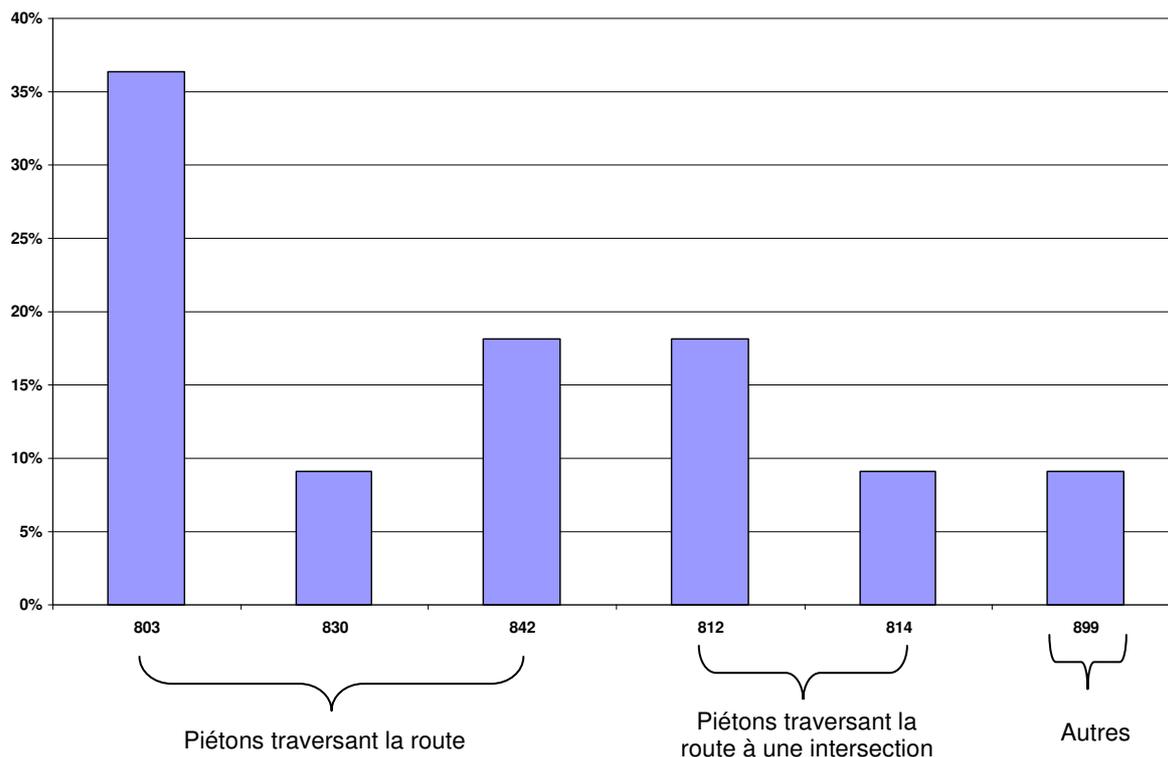


Figure 66 - Répartition des manœuvres pré-accidentelles (n=11)

### 6.1.2. Age des piétons

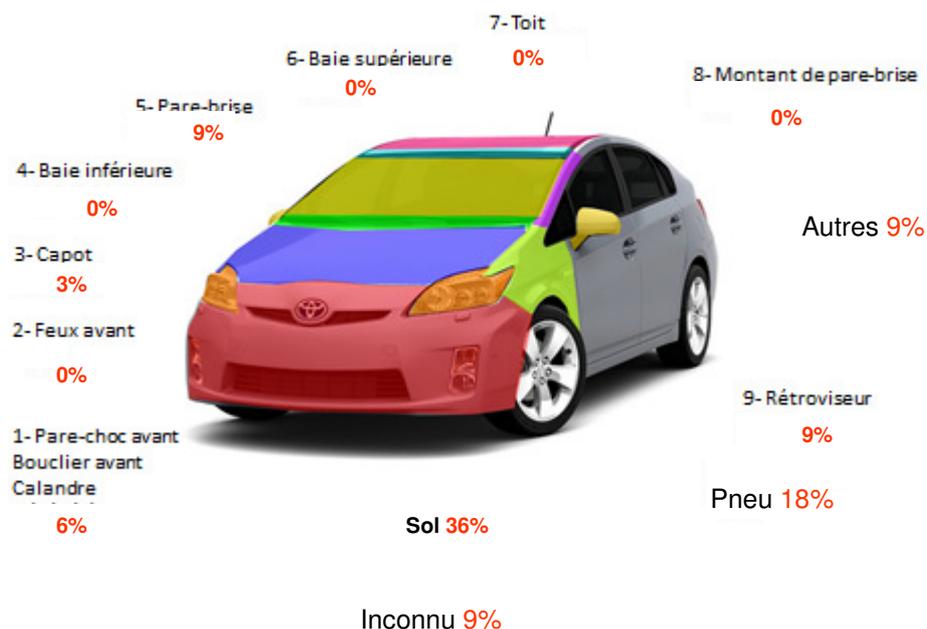
11 piétons ont été impliqués dans un choc latéral. 27% des piétons ont moins de 10 ans et 45% moins de 15 ans. Voici la répartition de leur âge :

Tableau 32 - Répartition des piétons en choc latéral en fonction de l'âge

Age des piétons	Effectif	%
0-5	2	18%
6-10	1	9%
11-15	2	18%
16-20	3	27.5%
21-50	3	27.5%
<b>Total</b>	<b>11</b>	<b>100%</b>

### 6.1.3. Localisation de la prise de contact sur le véhicule

En choc latéral, sur les 11 piétons, 33 impacts ont pu être déterminés. Nous allons regarder la répartition de ces impacts sur le véhicule ou sur le sol.

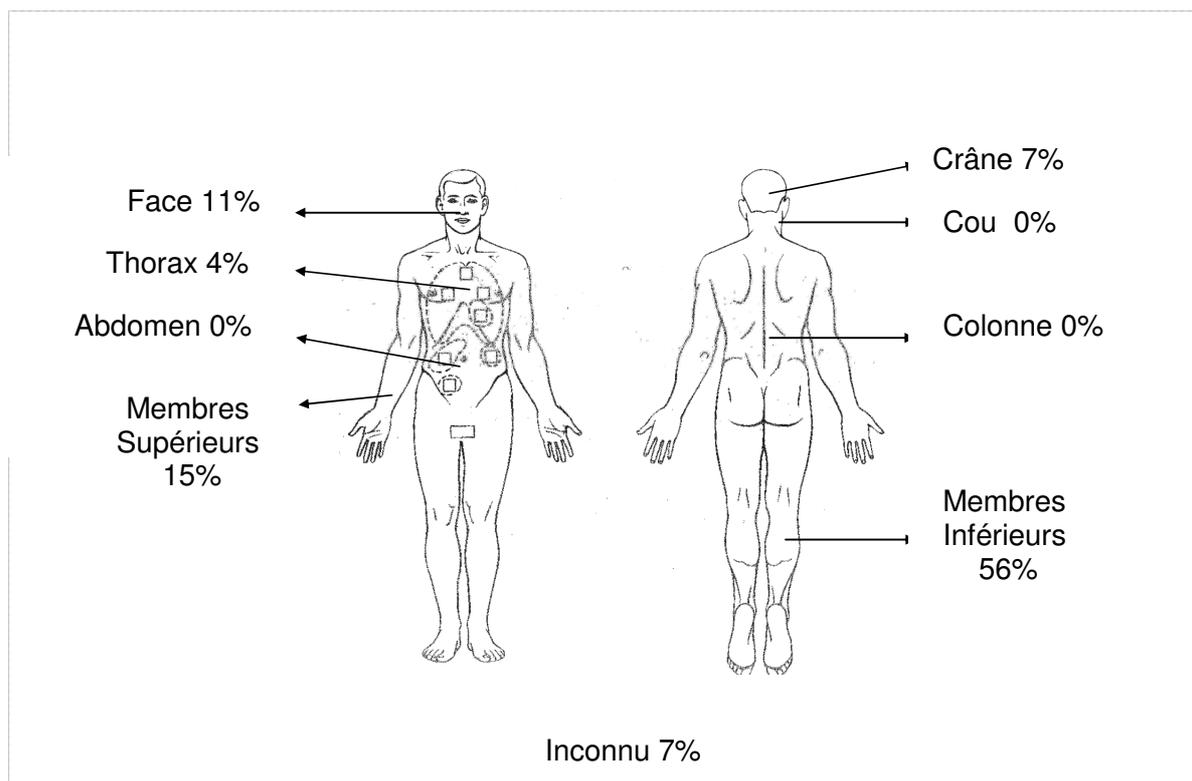


**Figure 67 - Distribution des impacts**

La majorité des lésions observées en choc latéral est due à un impact au sol ou contre un pneu. Parmi les 33 impacts, 12 ont été identifiés sur le sol, 17 sur le côté droit du véhicule et 1 sur le côté gauche. Pour 3 impacts, la localisation n'est pas connue.

#### **6.1.4. Distribution des blessures par territoire corporel**

Les 11 piétons impliqués dans un choc latéral ont subi au total 27 lésions. Voici pour ces lésions, la répartition du territoire corporel.



**Figure 68 - Distribution des lésions en choc latéral par territoire corporel**

71% des lésions se situent au niveau des membres (15% aux membres supérieurs et 56% aux membres inférieurs). A l'opposé des lésions constatées en choc frontal, le pourcentage de lésions à la face est ici plus élevé que celui au niveau du crâne.

### 6.1.5. Répartition de la gravité maximale (M.AIS)

Sur les 11 piétons, 6 sont blessés très légèrement avec un M.AIS 1, 3 ont un M.AIS égal à 2 ou 3 et un piéton est tué. La gravité est inconnue pour un piéton.

Le piéton tué et non autopsié était âgé de 49 ans et a été impacté par une Skoda Fabia à une vitesse estimée à 33 km/h. Nous ne connaissons pas la raison de son décès.

Le tableau suivant présente la répartition des 11 piétons impactés en choc latéral en fonction de la gravité globale des lésions.

**Tableau 33 - Répartition des piétons en choc latéral en fonction de la gravité globale des lésions**

Mais	1	2	3	7	9	Total	Total - inconnu
Effectif	6	2	1	1	1	11	10
%	60%	20%	10%	10%			100%

Les 3 cas avec un Mais 2+ ou un Mais 3+ se situent uniquement au niveau des membres inférieurs. Au total, les 11 piétons impactés par le côté d'un véhicule ont subi 27 lésions.

**Tableau 34 - Répartition des MAIS par territoire pour tous les piétons en choc latéral**

Mais	0	1	2	3	4	5	6	7	9	Total	Mais2+	Mais3+
Mais Tête	6	3	0	0	0	0	0	1	1	11	0	0
Mais Crâne	7	2	0	0	0	0	0	1	1	11	0	0
Mais Face	8	1	0	0	0	0	0	1	1	11	0	0
Mais Cou	9	0	0	0	0	0	0	1	1	11	0	0
Mais Thorax	8	1	0	0	0	0	0	1	1	11	0	0
Mais Colonne dorso-lombaire	9	0	0	0	0	0	0	1	1	11	0	0
Mais Bassin	8	1	0	0	0	0	0	1	1	11	0	0
Mais Abdomen	9	0	0	0	0	0	0	1	1	11	0	0
Mais Membres supérieurs	7	2	0	0	0	0	0	1	1	11	0	0
Mais Membres inférieurs	3	3	2	1	0	0	0	1	1	11	2	1
Mais Membres inférieurs – segment haut	5	2	1	1	0	0	0	1	1	11	2	1
Mais Membres inférieurs – segment bas	5	1	3	0	0	0	0	1	1	11	3	0

### 6.1.6. Les vitesses d'impact

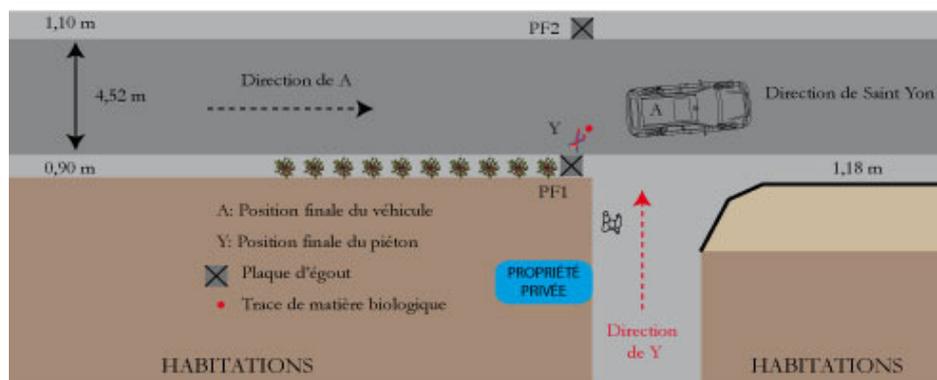
50% des piétons impactés par le côté d'un véhicule le sont à une vitesse inférieure à 20 km/h et 100% à moins de 40 km/h.

## 6.2. Etude de cas

Seulement, 10 lésions sur les 27 ont un niveau de gravité compris entre 2 et 6. Ces 10 lésions concernent 3 piétons. Ces 3 piétons sont âgés de 7, 12 et 16 ans. Deux d'entre eux ont été impactés à une vitesse de 17 et 22 km/h. La vitesse est inconnue pour le troisième piéton. Ces accidents sont décrits ci-après :

**Accident N°1** : Il s'agit d'un piéton âgé de 7 ans qui a été impacté à 17 km/h et qui présente 2 lésions Ais 2 et 1 lésion Ais 3 aux membres inférieurs : elles sont dues à un choc contre le garde boue avant droit (sur l'aile) :

- - Plaie majeure.
- - Fracture du fémur.
- - Fracture de la jambe.



**Figure 69 - Plan accident choc latéral N°1**

**Accident N°2** : Il s'agit d'un piéton âgé de 12 ans qui a été impacté à 22 km/h et qui présente 2 lésions Ais 2 aux membres inférieurs : elles sont dues à un choc contre le côté du pare choc avant droit ou en retombant sur le sol :

- - Fracture de la tête du péroné.
- - Fracture bi malléolaire du péroné.

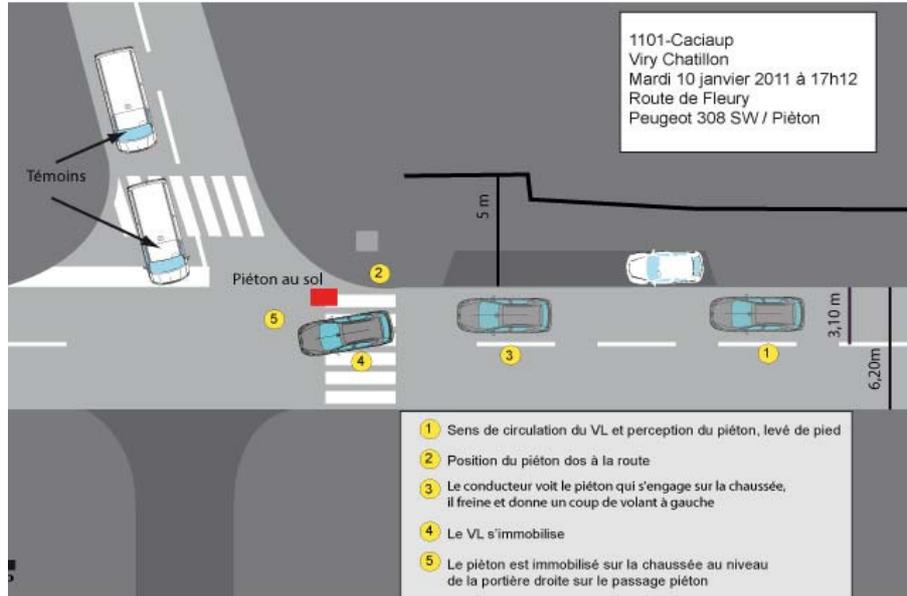


Figure 70 - Plan accident choc latéral N°2

**Accident N°3** : Il s'agit d'un piéton âgé de 16 ans qui présente 5 lésions Ais 2 aux membres inférieurs, elles sont dues à un choc contre le pneu avant droit:

- - Plaie majeure.
- - Plaie cheville.
- - Plaie tendon.
- - Luxation de la cheville.
- - Fracture ouverte de la malléole.

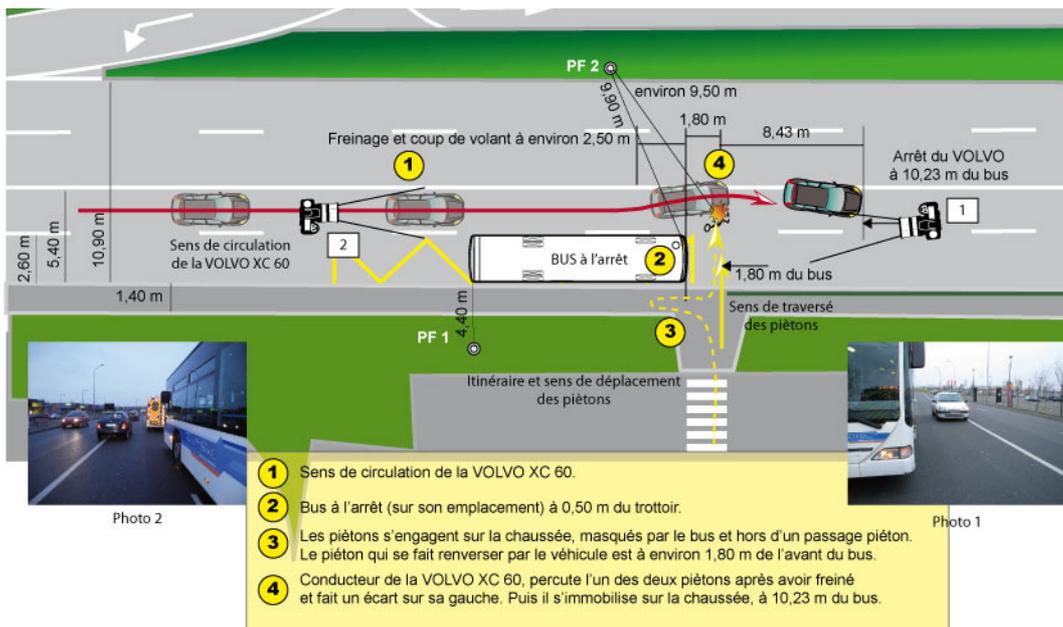


Figure 71 - Plan accident choc latéral N°3

### 6.3. Synthèse

Dans notre échantillon CACIAUP, nous observons seulement 11 piétons impactés par le côté d'un véhicule. Ils sont tous heurtés à moins de 40 km/h.

Dans 90% des cas, le piéton était en train de traverser la route lors de l'accident.

Les territoires les plus touchés sont les membres inférieurs avec 56% des lésions, les membres supérieurs (15%) et la face (11%).

La majorité des lésions est due à l'impact contre le sol (36%), 18% contre un pneu et 6% contre le pare-choc.

La moitié des piétons en latéral est blessée légèrement (Ais 1).

Les lésions les plus graves (Ais2+) se situent toutes au niveau des membres inférieurs.

## 7. BILAN LESIONNEL EN CHOC ARRIERE

En France 10% des accidents contre piéton sont des chocs arrière. Dans le projet CACIAUP, 6 piétons impactés en choc arrière ont été analysés.

Nous allons dans cette partie étudier les caractéristiques des piétons, des véhicules et de leur vitesse de collision. Nous déterminerons la manœuvre de pré-collision et la distribution des lésions par territoire corporel.

Pour finir, nous ferons une étude des cas les plus sévères.

### 7.1. Données générales sur Choc arrière

6 piétons ont été impactés par un véhicule en marche arrière. Nous allons par la suite faire un descriptif de ces 6 piétons.

#### 7.1.1. Age des piétons

*Tableau 35 - Répartition des piétons en choc arrière en fonction de l'âge*

Age des piétons	Effectif	%
0-5	0	0
6-10	0	0
11-15	0	0
16-20	0	0
21-50	1	17%
51-70	3	50%
71-90	2	33%
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>100%</b>

Les 6 piétons ont plus de 30 ans (34, 52, 64, 65, 81 et 81 ans).

#### 7.1.2. Les véhicules impliqués

Les 6 piétons ont été impactés par 5 véhicules dont 4 véhicules utilitaires légers ( 2 Renault Trafic, 1 Citroën Jumper et 1 Renault Clio de société). Ces véhicules ont la particularité de ne pas avoir une bonne visibilité arrière. Ceci peut expliquer la raison de l'accident en sachant que les 5 véhicules étaient en marche arrière lors de l'accident. Le 5<sup>e</sup> véhicule est un Renault Scénic.

### 7.1.3. Distribution des blessures par territoire corporel

Au total, les 6 piétons impactés par l'arrière d'un véhicule ont subi 19 lésions. Voici pour l'ensemble de ces lésions, la distribution du territoire corporel.

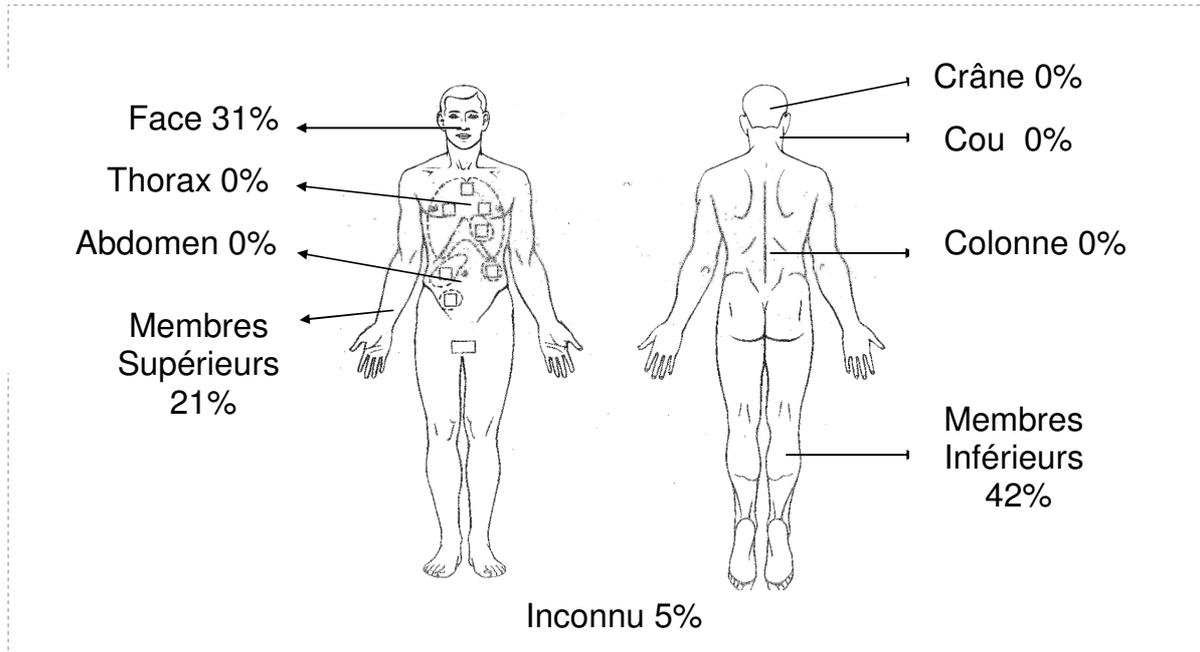


Figure 72 - Distribution des lésions en choc arrière par territoire corporel

63% des lésions (12/19) ont eu lieu au niveau des membres. 6 lésions ont été constatées au niveau de la face. Pour 1 lésion, le territoire est inconnu.

### 7.1.4. Répartition de la gravité maximale (M.AIS)

Sur les 6 piétons, 3 sont blessés très légèrement avec un Mais 1, 1 piéton blessé un peu plus sévèrement avec un Mais 2 et un piéton blessé gravement avec un Mais 3. La gravité est inconnue pour un des piétons.

Au total, les 6 piétons impactés par l'arrière d'un véhicule ont subi 19 lésions dont seulement 3 lésions avec un niveau de gravité compris entre 2 et 6. Ces 3 lésions concernent 2 occupants.

### 7.1.5. Les vitesses d'impact

Les 6 piétons ont été impactés à une vitesse inférieure ou égale à 15 km/h (4 – 6 – 10 et 15 km/h).

## 7.2. Etude de cas

Dans cette partie, nous allons étudier plus en détail les caractéristiques des 2 accidents dans lesquels les 2 piétons avec les lésions les plus graves ont été impliqués.

**Accident N°1** : Il s'agit d'un piéton âgé de 81 ans, qui a été impacté par un Citroën Jumper à 15 km /h et qui présente 2 lésions. Elles sont dues à un choc contre le sol :

- Fracture d'un os de la face (Le fort), Ais 3.
- Fracture de l'humérus, Ais 2.

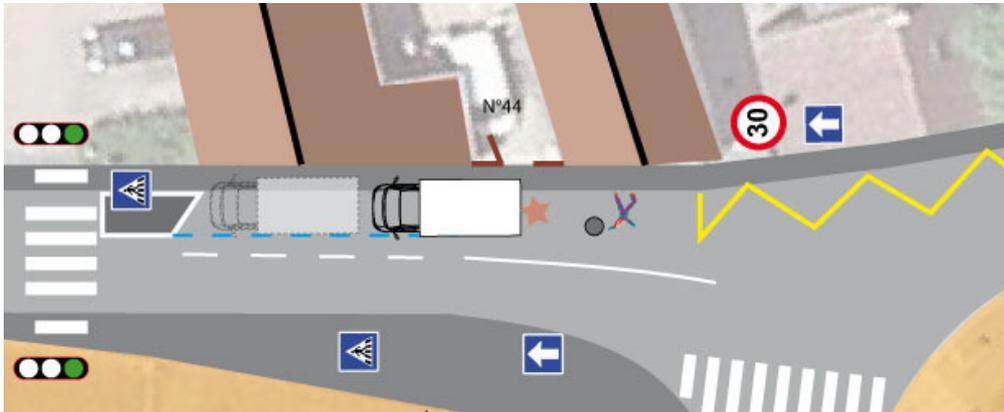


Figure 73 - Plan accident choc arrière N°1

**Accident N°2** : Il s'agit d'un piéton âgé de 52 ans, qui a été heurté par un Renault Scénic à 10 km /h et qui présente 1 lésion Ais 2 .Elle est due à un choc contre le pneu arrière.

- Déchirure du ménisque, Ais 2.

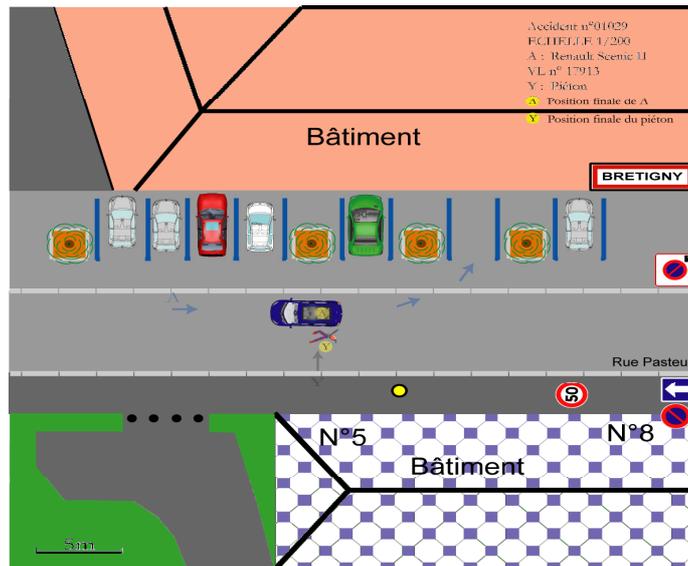


Figure 74 - Plan accident choc arrière N°2

### 7.3. Synthèse

Dans l'échantillon CACIAUP, nous observons seulement 6 piétons impactés par l'arrière d'un véhicule.

Ils sont tous heurtés à moins de 15 km/h par un véhicule en marche arrière.

Les territoires les plus touchés sont les membres inférieurs avec 42% des lésions, la face (31%) et les membres supérieurs (21%).

La moitié des piétons en choc arrière est blessée légèrement (Ais 1).

Les lésions les plus graves concernent 2 piétons sur les 6 : il s'agit de lésions à la face ou aux membres inférieurs.

## 8. RESULTATS – ANALYSE DES FACTEURS DE RISQUE

Dans cette partie, nous cherchons à identifier les variables qui influencent la gravité des blessures des piétons impactés dans un accident. Pour une raison de taille d'échantillon, nous nous intéresserons uniquement aux piétons impactés en choc frontal.

La régression logistique est utilisée pour déterminer la relation entre différents facteurs et le risque de blessures pour les piétons. De façon à prendre en compte les effets de confusion entre les variables, les régressions logistiques ont été menées sur toutes les variables, afin de déterminer la contribution et l'indépendance de chaque facteur. Toutes les analyses ont été testées en calculant la signification statistique à l'aide de la valeur P (seuil défini à 5%). Nous avons gardé uniquement les variables ayant une influence significative. Nous avons testé l'influence de chaque variable en utilisant différentes classes (âge, vitesse...) et sélectionné celles qui donnaient le meilleur modèle. Les analyses ont été réalisées sous SAS.

Nous analysons dans un premier temps l'effet de différents facteurs sur la sévérité globale. Ensuite, nous nous focalisons dans un second temps sur la gravité par territoire corporel.

### 8.1. Sévérité globale

#### 8.1.1. Risque d'avoir une gravité générale supérieure ou égale à 2

La régression logistique a été effectuée sur 80 piétons (avec âge et vitesse du véhicule impactant connus) impactés par la face avant d'un véhicule.

Les seules variables qui ont une influence significative sur le risque d'avoir une sévérité maximale supérieure ou égale à 2 sont l'âge et la vitesse ( $p < 0.05$ ). D'après cette régression, les piétons de plus de 50 ans ont 7 fois plus de risque d'être blessés que les piétons de moins de 20 ans.

Les piétons impactés à une vitesse supérieure à 30 km/h ont 6 fois plus de risques que ceux qui le sont à une vitesse inférieure.

**Tableau 36- Valeur des p pour chaque variable significative**

Effet	Pr>chisq
Age	0.0254
Vitesse	0.0010

**Tableau 37 - Estimation des odds Ratios pour un MAIS 2+**

Estimation des odds Ratios			
Effet	Valeur estimée	Intervalle de	Confiance à 95%
Age : 21-50 ans / 0-20 ans	1,741	0,434	6,979
Age : 51-90 ans / 0-20 ans	<b>7,268</b>	1,726	30,600
Vitesse : plus de 31 km/h / moins de 31 km/h	<b>6,229</b>	2,094	18,529

#### 8.1.2. Risque d'avoir une gravité générale supérieure ou égale à 3

La régression logistique a été effectuée sur 80 piétons (avec âge et vitesse du véhicule impactant connus) impactés par la face avant d'un véhicule.

Les seules variables significatives sont également l'âge et la vitesse. D'après cette régression, les piétons de plus de 50 ans ont 4 fois plus de risque d'être blessés gravement par rapport aux piétons plus jeunes.

Les piétons impactés à une vitesse supérieure à 30 km/h ont 20 fois plus de risques que ceux qui le sont à une vitesse inférieure.

**Tableau 38 - Valeur des p pour chaque variable significative**

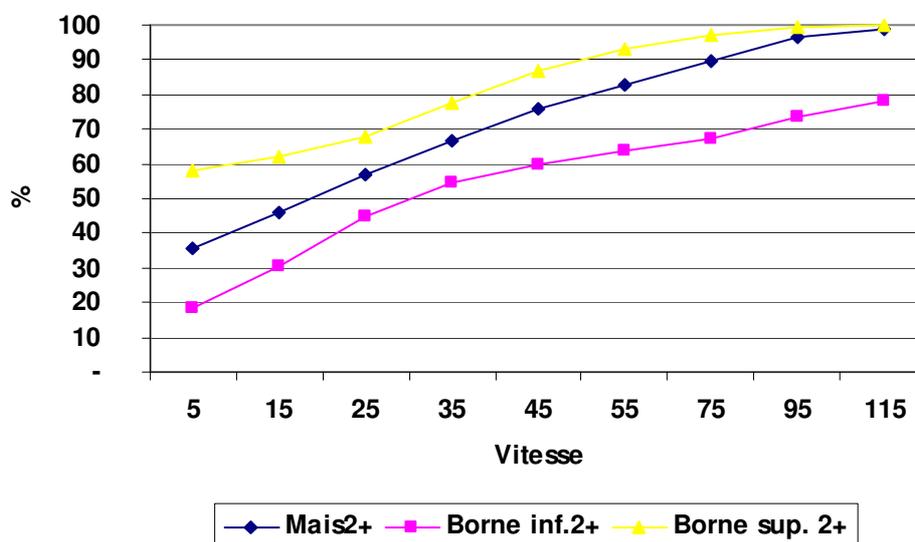
Effet	Pr>chisq
Age	0.0438
Vitesse	<0.0001

**Tableau 39 - Estimation des odds Ratio pour un MAIS 3+**

Estimation des odds Ratios			
Effet	Valeur estimée	Intervalle de	Confiance à 95%
Age : 51-90 ans / 0-50 ans	3,869	1,038	14,413
Vitesse : plus de 31 km/h / moins de 31 km/h	20,563	5,576	75,834

### 8.1.3. Courbes de risque

Nous allons ici évaluer (en pourcentage) le risque d'être blessé ou tué (Mais 2+ ou Mais3+) pour les piétons impactés avec la face avant d'un véhicule en fonction de la vitesse. Ces courbes de risque ont été réalisées à partir de régressions logistiques sous SAS et uniquement à partir des piétons pour lesquels la sévérité et la vitesse étaient connus. Cela concerne 80 piétons.



**Figure 75 - Risque d'avoir un Ais Maximum supérieur ou égal à 2 selon la vitesse**

D'après ces courbes, nous constatons que le risque médian (50%) d'avoir au moins une blessure Ais 2+ s'observe à une vitesse d'impact de 20 km/h. A 40 km/h, ce risque est évalué à 70%.

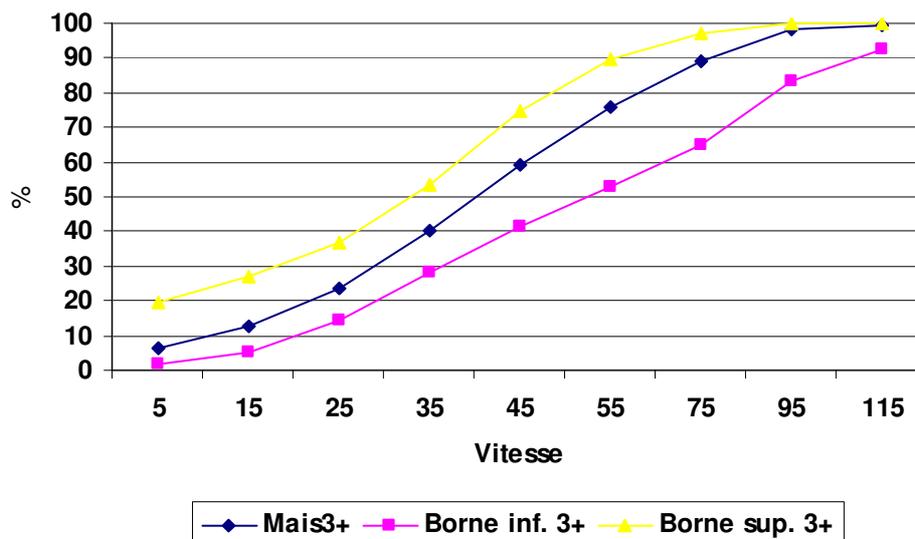


Figure 76 - Risque d'avoir un Ais Maximum supérieur ou égal à 3 selon la vitesse

En ce qui concerne le risque d'avoir une blessure plus grave (Mais3+), le risque est évalué à 50% à une vitesse de 40 km/h et à 70% à 50 km/h.

Ces courbes de risque sont à utiliser avec prudence du fait du faible effectif et de l'absence de piétons indemnes.

## 8.2. Sévérité par territoire

### 8.2.1. Le crâne

Nous étudions dans cette sous-section le risque d'avoir au moins une lésion dont la gravité est supérieure ou égal à 2 au niveau du crâne.

La régression logistique a été effectuée sur 80 piétons (avec âge et vitesse du véhicule impactant connus) impactés par la face avant d'un véhicule.

La seule variable significative est ici la vitesse. Les piétons impactés à une vitesse supérieure à 30 km/h ont 9 fois plus de risques d'avoir une lésion Ais 2+ au niveau du crâne que les autres.

Tableau 40 - Valeur du p pour la seule variable significative

Effet	Pr>chisq
Vitesse	<0.0001

Tableau 41 - Estimation des odds Ratios pour un MAIS 2+ au niveau du crâne

Estimation des odds Ratios			
Effet	Valeur estimée	Intervalle de	Confiance à 95%
Vitesse : plus de 31 km/h / moins de 31 km/h	9.331	3.169	27.474

## 8.2.2. Les autres territoires corporels

En ce qui concerne les autres territoires corporels, il n'a pas été trouvé de variables significativement influentes sur le risque d'être blessé. Le nombre de lésions dont l'Ais est supérieur ou égal 2 est trop faible pour la plupart des autres territoires corporels.

## 8.3. Discussion – comparaison avec d'autres études

[Zhang, 2008] propose une étude sur les facteurs de risque sur la base de données PCDS (voir 7.3.2). Les résultats sur l'impact de la vitesse d'impact sont résumés dans le tableau suivant. Il apparaît que le thorax est le territoire corporel le plus sensible à une augmentation de la vitesse. Lorsque la vitesse dépasse les 56km/h, les piétons ont 4 342 fois plus de risque d'avoir une lésion AIS 3+ au thorax (voir Tableau 42). L'âge est également un facteur analysé par les auteurs. La conclusion est similaire à ce que nous avons trouvé : les piétons plus âgés ont plus de risque de souffrir de lésions. Cela est d'autant plus marqué pour les lésions au thorax (voir Tableau 43). Par contre, les résultats ne sont pas statistiquement significatifs en ce qui concerne les blessures à la tête et une gravité globale MAIS 3+.

**Tableau 42 – Analyse de l'effet de la vitesse d'impact sur le risque de blessure, issu de [Zhang, 2008]**

Facteur de risque : vitesse d'impact (référence : 0 -24 km/h)		25-55km/h versus référence		56km/h et au-delà versus référence	
		p	OR (intervalle de confiance 95%)	p	OR (intervalle de confiance 95%)
Corps entier	MAIS 3+	0.000	8.590 (4.174 – 17.681)	0.000	334.672 (38.340 – 2921.356)
Tête	AIS 3+	0.000	6.951 (2.391 – 20.206)	0.000	230.316 (48.220 – 1100.066)
Thorax	AIS3+	0.000	91.955 (9.253 – 20.206)	0.000	4342.136 (300.154 – 62814.848)
Membres inférieurs	AIS 3+	0.000	3.937 (2.093 – 7.403)	0.000	21.243 (7.286 – 61.936)

**Tableau 43 - Analyse de l'effet de l'âge des piétons sur le risque de blessure, issu de [Zhang, 2008]**

Facteur de risque : âge		Personnes âgées (65 ans et plus) versus les 14–64 ans	
		p	OR (intervalle de confiance 95%)
Corps entier	MAIS 3+	0.069	2.243 (0.938 – 5.360)
Tête	AIS 3+	0.661	1.290 (0.414 – 4.022)
Thorax	AIS3+	0.000	23.842 (4.980 – 114.150)
Membres inférieurs	AIS 2+	0.020	2.439 (1.148 – 5.181)

Dans [Kim, 2008] et [Kim, 2010], une régression logistique mixte (ou à effets aléatoires) est utilisée afin d'analyser la variabilité des variables explicatives. Les résultats mettent en avant le fait que l'âge est bien une variable explicative significative mais qui a une grande variabilité. C'est-à-dire que la variabilité de la probabilité de blessures devient de plus en plus grande avec l'âge. Ce phénomène s'explique principalement par la variabilité de l'état de santé des personnes âgées. Elles ont une variabilité de leur forme physique plus grande que pour les jeunes. Ce comportement aléatoire

s'explique par le fait qu'il y a d'autres phénomènes que l'on ne peut pas contrôler. Il faudrait être en mesure d'avoir des données précises sur l'état de santé des piétons avant l'impact.

## 9. CONCLUSION

Les piétons représentent 12% de l'ensemble des tués sur la route en France en 2010.

Sur les 9881 piétons impliqués dans un accident, 58,1% sont non hospitalisés, 37,2% hospitalisés, 3,5% tués et 1,1% indemnes. Dans notre échantillon, les pourcentages diffèrent au niveau des tués (14,5%) et des blessés hospitalisés (28%) mais est similaire sur les deux autres catégories.

Les pourcentages de Mais 2+ sont les plus élevés dans les territoires corporels : crâne (33%), membres inférieurs (26%) et membres supérieurs (22%). Les pourcentages de Mais 3+ quant à eux sont les plus importants pour le crâne (18%), pour le thorax (13%) et pour les membres inférieurs (13%).

Pour les chocs frontaux, le pourcentage de MAIS 3+ est de 43% et les pourcentages de MAIS 3+ les plus élevés sont pour les territoires corporels suivants :

- Crâne (22%),
- Thorax (16%),
- Membres inférieurs (14%).

Le sol et le capot sont les deux principales zones d'impact à l'origine des lésions. Ils sont respectivement à l'origine de 32% et de 25% de lésions. Le pare-brise compte pour 9% des lésions et la face avant pour 10%.

Si on considère uniquement les chocs frontaux et que l'on regarde en détail les lésions AIS 2+ occasionnées par zone d'impact, on a le classement suivant :

- 10% de lésions à la tête contre le pare-brise,
- 8% au niveau des membres inférieurs contre le pare-choc,
- 8% au niveau du thorax contre le capot,
- 7% au niveau du bassin contre le capot,
- 6% au niveau de la tête contre le capot.

Les 51 – 90 ans est la tranche d'âge la plus représentée en termes de pourcentage de MAIS 2+ et MAIS 3+. Les jeunes de 16 à 20 ans constituent la deuxième catégorie la plus représentée avec un pourcentage de MAIS 2+ de 65% et de MAIS 3+ de 45%.

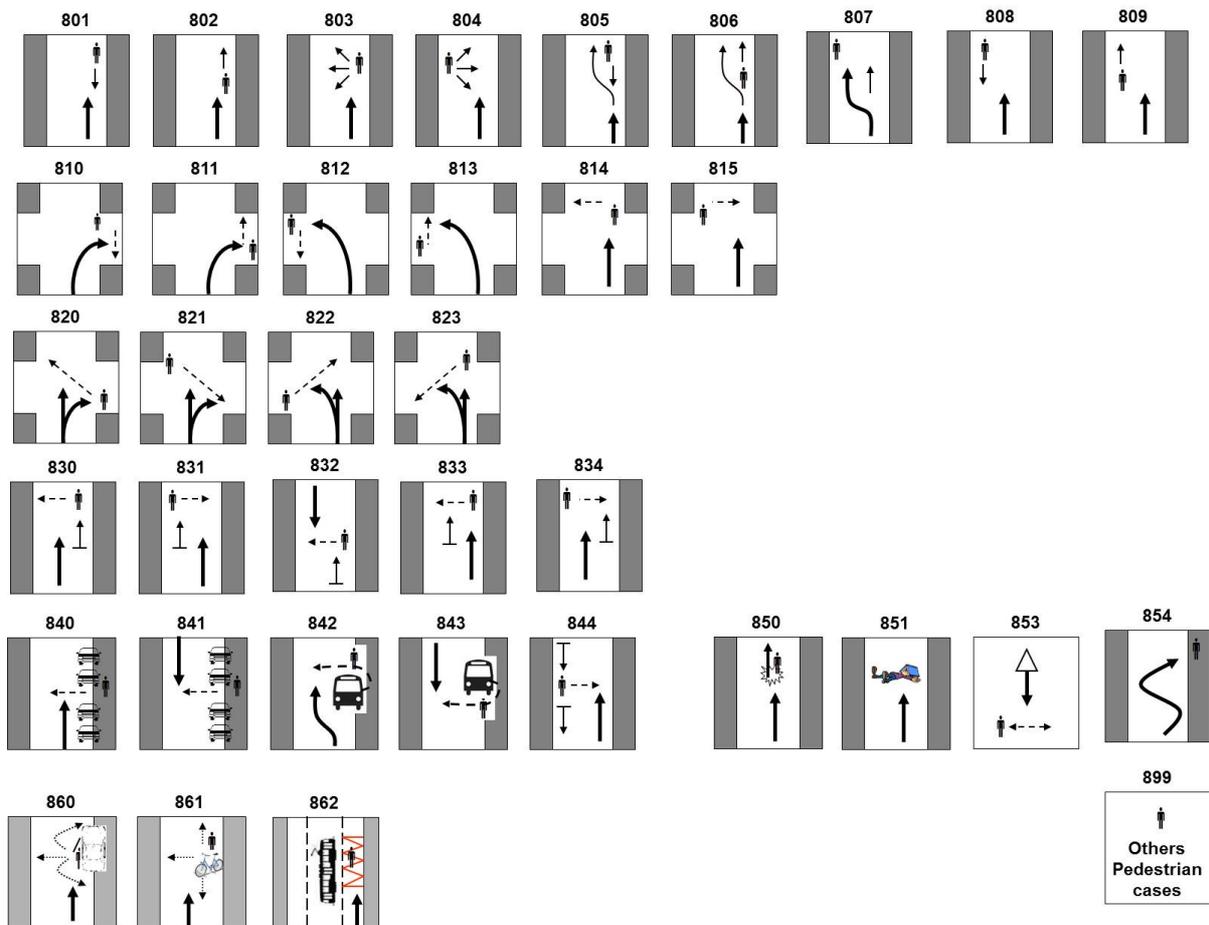
L'âge est une variable qui a une influence significative sur le risque d'avoir une lésion de sévérité maximale supérieure ou égale à 2. Les piétons de plus de 50 ans ont 7 fois plus de risque d'être blessés que les piétons de moins de 20 ans pour une sévérité maximale supérieure ou égale à 2. Pour les MAIS 3+, le risque est 4 fois supérieur. Il est important de noter que d'après **[Kim, 2010]** l'âge est une variable significative mais dont l'effet aléatoire grandit avec l'âge.

Ce phénomène s'explique principalement par la variabilité de la forme physique des personnes âgées.

On observe, pour les chocs frontaux, que la vitesse de 40 km/h est une valeur significative pour les MAIS 3+. En effet, 50% des piétons avec un MAIS 3+ ont été heurtés à une vitesse inférieure à 40 km/h. Cette vitesse correspond à la vitesse de projection des impacteurs dans les crash-tests EuroNCAP.

La vitesse est la seconde variable explicative que nous avons identifiée. Plus la vitesse d'impact augmente, plus le risque de lésions augmente. Les piétons impactés à une vitesse supérieure à 30 km/h ont 6 fois plus de risques d'avoir une sévérité maximale supérieure ou égale à 2 que ceux qui le sont à une vitesse inférieure. Le facteur est de 20 lorsque l'on considère les MAIS 3+.

## Annexe 1 – Pictogrammes des Accidents avec piéton



- 801** Piéton de face longeant la trajectoire du véhicule
- 802** Piéton de dos longeant la trajectoire du véhicule
- 803** Piéton traversant la chaussée de la droite vers la gauche
- 804** Piéton traversant la chaussée de la gauche vers la droite
- 805** Piéton de face longeant la trajectoire du véhicule masqué par un véhicule circulant devant
- 806** Piéton de dos longeant la trajectoire du véhicule masqué par un véhicule circulant devant
- 807** Piéton longeant la trajectoire du véhicule heurté par un véhicule en dépassement
- 808** Piéton de face longeant la trajectoire du véhicule sur voie opposée
- 809** Piéton de dos longeant la trajectoire du véhicule sur voie opposée
- 810** Piéton en intersection ; véhicule en tourne à droite avec piéton traversant sur axe perpendiculaire de la gauche vers la droite
- 811** Piéton en intersection ; véhicule en tourne à droite avec piéton traversant sur axe perpendiculaire de la droite vers la gauche
- 812** Piéton en intersection ; véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant sur axe perpendiculaire de la droite vers la gauche
- 813** Piéton en intersection ; véhicule en tourne à gauche avec piéton traversant sur axe perpendiculaire de la gauche vers la droite
- 814** Piéton en intersection ; véhicule allant tout droit avec piéton traversant après l'intersection de la droite vers la gauche
- 815** Piéton en intersection ; véhicule allant tout droit avec piéton traversant après l'intersection de la gauche vers la droite
- 820** Piéton en intersection ; piéton traversant en diagonale avec une trajectoire allant bas droite vers haut gauche
- 821** Piéton en intersection ; piéton traversant en diagonale avec une trajectoire allant haut gauche vers bas droite
- 830**
- 831**
- 832**
- 833**
- 834**
- 840**
- 841**
- 842**
- 843**
- 844**
- 850**
- 851**
- 853**
- 854**
- 899**  
Others  
Pedestrian  
cases

- 822** Piéton en intersection ; piéton traversant en diagonale avec une trajectoire allant bas gauche vers haut droite
- 823** Piéton en intersection ; piéton traversant en diagonale avec une trajectoire allant haut droite vers bas gauche
- 830** Piéton traversant de droite à gauche et heurté par le véhicule circulant sur la voie de gauche avec présence d'un véhicule sur voie de droite arrêté ou décélérant pour laisser passer le piéton
- 831** Piéton traversant de gauche à droite et heurté par le véhicule circulant sur la voie de droite avec présence d'un véhicule sur voie de gauche arrêté ou décélérant pour laisser passer le piéton
- 832** Piéton traversant de gauche à droite avec présence d'un véhicule sur voie adverse arrêté ou décélérant pour laisser passer le piéton
- 834** Piéton traversant de gauche à droite et heurté par le véhicule circulant sur la voie de gauche avec présence d'un véhicule sur voie de droite arrêté ou décélérant pour laisser passer le piéton
- 835** Piéton traversant de droite à gauche et heurté par le véhicule circulant sur la voie de droite avec présence d'un véhicule sur voie de gauche arrêté ou décélérant pour laisser passer le piéton
- 840** Piéton traversant de droite à gauche initialement masqué par des véhicules en stationnement et heurté par un véhicule venant de sa gauche
- 841** Piéton traversant de gauche à droite initialement masqué par des véhicules en stationnement et heurté par un véhicule venant de sa droite
- 842** Piéton traversant de droite à gauche descendant ou initialement masqué par un bus à l'arrêt
- 843** Piéton traversant de gauche à droite descendant ou initialement masqué par un bus à l'arrêt
- 844** Piéton traversant de gauche à droite initialement masqué par des véhicules arrêté dans le trafic
- 850** Piéton gisant au sol ayant précédemment été heurté par un autre véhicule
- 851** Piéton couché ou étendu sur la chaussée (généralement piéton alcoolisé)
- 853** Piéton heurté par un véhicule en marche arrière
- 854** Piéton heurté par un véhicule en perte de contrôle
- 860** Changement de mode : Piéton descendant ou remontant dans son véhicule
- 861** Changement de mode : Piéton descendant, remontant ou poussant son 2 roues
- 862** Piéton heurté lors de sa descente d'un tramway circulant sur l'axe central
- 899** Autres configurations impliquant un piéton

## Bibliographie

- CE (2005) DIRECTIVE 2005/66/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 26 octobre 2005 relative à l'utilisation de systèmes de protection frontale sur les véhicules à moteur et modifiant la directive 70/156/CEE du Conseil.
- CE (2009) RÈGLEMENT (CE) No 78/2009 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 14 janvier 2009 relatif à la réception par type des véhicules à moteur au regard de la protection des piétons et autres usagers vulnérables de la route, modifiant la directive 2007/46/CE et abrogeant les directives 2003/102/CE et 2005/66/CE.
- Chidester, A. B. and Isenberg, R. A. (2001), *Final report-the pedestrian crash data study*, PROCEEDINGS OF 17TH INTERNATIONAL TECHNICAL CONFERENCE ON THE ENHANCED SAFETY OF VEHICLES.
- Chiron, M., Guillemot, H. et al. (2004) *Description et gravité des lésions traumatiques selon les classifications AIS 1998 et IIS 1994. Traduit de l'anglais: "The abbreviated Injury Scal AIS version 1998. The Injury Impairment Scal IIS version 1994"*.
- DACOTA (2010) Traffic Safety Basic Facts 2010 - Pedestrians.
- Danner, M., Langwieder, K. et al. (1979), *Injuries to pedestrians in real accidents and their relation to collision and car characteristics*, Proceedings from the 23rd Stapp Car Crash Conference, held in San Diego, California, October 17-19, 1979.
- Dufaure, N. (2011) Biomécanique des Piétons - Etat des Lieux et Plans d'Action 2011, LAB Biomécanique.
- EuroNCAP (2011) European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) - Pedestrian Testing Protocol - version 5.3.1.
- Fredriksson, R. and Kullgren, A. (2010) *Priorities of pedestrian protection--A real-life study of severe injuries and car sources*, Accident Analysis & Prevention, Vol.42(6), pp.1672-1681.
- Henary, B. Y., Crandall, J. et al. (2003), *Child and adult pedestrian impact: the influence of vehicle type on injury severity*, Annual Proceedings/Association for the Advancement of Automotive Medicine, Association for the Advancement of Automotive Medicine.
- Ivarsson, J., Crandall, J. R. et al. (2007), *Pedestrian Head Impact - What Determines the Likelihood and Wrap Around Distance?*, The 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles Conference (ESV), Lyon, France.
- Kim, J. K., Ulfarsson, G. F. et al. (2008) *Age and pedestrian injury severity in motor-vehicle crashes: A heteroskedastic logit analysis*, Accident Analysis & Prevention, Vol.40(5), pp.1695-1702.
- Kim, J. K., Ulfarsson, G. F. et al. (2010) *A note on modeling pedestrian-injury severity in motor-vehicle crashes with the mixed logit model*, Accident Analysis & Prevention, Vol.42(6), pp.1751-1758.
- Kopczynski, A., Ptak, M. et al. (2011) *The influence of frontal protection system design on pedestrian passive safety*, Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol.11(2).
- Matsui, Y. (2005) *Effects of vehicle bumper height and impact velocity on type of lower extremity injury in vehicle-related pedestrian accidents*, Accident Analysis & Prevention, Vol.37(4), pp.633-640.
- Moser, A., Hoschopf, H. et al. (2000), *Validation of the PC-Crash Pedestrian Model*, SAE Technical Paper.
- Naci, H., Chisholm, D. et al. (2009) *Distribution of road traffic deaths by road user group: a global comparison*, Injury Prevention, Vol.15(1), pp.55-59.
- ONISR (2010) La sécurité routière en France : Bilan de l'année 2010.
- Oxley, J., Charlton, J. et al. (2006), *Crash and injury risk of older pedestrians and identification of measures to meet their mobility and safety needs*, International Conference on Walking and Liveable Communities, 7th, 2006, Melbourne, Victoria, Australia.
- Peden, M., Hyder, A. et al. (2004) *Rapport mondial sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de la circulation*, Organisation mondiale de la santé, Genève.
- Phan, V., Martin, A. et al. (2009) Rapport méthodologique sur la mise en place d'une EDA, Rapport R11, projet CACIAUP, CEESAR, Nanterre, France.
- Ravani, B., Brougham, D. et al. (1981), *Pedestrian post-impact kinematics and injury patterns*, Proceedings of the Twenty-fifth Stapp Car Crash Conference, September 28-30, 1981, Jack Tar Hotel, San Francisco, California.
- Rosén, E. and Sander, U. (2009) *Pedestrian fatality risk as a function of car impact speed*, Accident Analysis & Prevention, Vol.41(3), pp.536-542.
- Roudsari, B. S., Mock, C. N. et al. (2005) *An evaluation of the association between vehicle type and the source and severity of pedestrian injuries*, Traffic Injury Prevention, Vol.6(2), pp.185-192.
- Sinnaeve, J. (2009) Guide de la reconstruction des accidents voiture contre piéton, CEESAR, Paris.

- Teresinski, G. and Madro, R.** (2001) *Knee joint injuries as a reconstructive factors in car-to-pedestrian accidents*, Forensic science international, Vol.124(1), pp.74-82.
- WHO** (2009) *Global status report on road safety: time for action*.
- Zhang, G., Cao, L. et al.** (2008), *A field data analysis of risk factors affecting the injury risks in vehicle-to-pedestrian crashes*, 52nd AAAM Annual Proceedings/Association for the Advancement of Automotive Medicine, Association for the Advancement of Automotive Medicine.