

**Projet ASP**  
Contrat N° 2008-MP-06

**Amélioration de la Sécurité des Piétons**

**Bilan scientifique : Livrable final du projet ASP**

Coordination du projet par l'IFSTTAR :

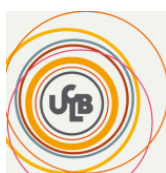
Pierre Jean ARNOUX, Catherine MASSON, Dominique CESARI

Partenaires du projet et auteurs du rapport :

FAURECIA :	Patrick BORDE, Christian COTTE
PLASTIC OMNIUM :	Laurent ROCHEBLAVE
UCBL-LBMC :	Sylvie RONEL, Michel MASSENZIO
UDS :	Rémy WILLINGER, Caroline. DECK, Nicolas BOURDET
IFSTTAR-LBA :	Catherine MASSON, Thierry SERRE, Pierre Jean ARNOUX, Fuhao MO, Maxime LLARI, Jérémy CASSAGNE
IFSTTAR-DS :	Dominique CESARI
IFSTTAR-UMRESTTE :	Jean Louis MARTIN, Audrey LARDY
IFSTTAR-UNEX :	Alain MAUPAS

Collaborateurs et contributeurs extérieurs au consortium :

Polytechnico Turin: Alessandro SCATTINA, Massimiliano AVALLE, Giorgio CHIANDUSSI





# Sommaire

<b>Remerciements</b>	<b>vi</b>
<b>Introduction</b>	<b>vii</b>
<i>Contexte et objectifs</i>	<i>vii</i>
<i>Questions de recherche</i>	<i>viii</i>
<i>Plan de travail</i>	<i>viii</i>
<b>Partie 1 : Epidémiologie des accidentés piétons au regard des solutions actuelles</b>	
<i>Fiche de synthèse</i>	<b>1</b>
<i>Sommaire</i>	<b>4</b>
<i>Chapitre 1 :</i>	<b>5</b>
<i>Typologie de véhicules, d'usagers et épidémiologie du choc piéton</i>	
<i>Chapitre 2 :</i>	<b>76</b>
<i>Devenir des traumatisés crâniens piétons</i>	
<b>Partie 2 : Conditions d'impact et vulnérabilité du piéton lors de l'impact véhicule et de la chute au sol</b>	
<i>Fiche de synthèse</i>	<b>106</b>
<i>Sommaire</i>	<b>113</b>
<i>Chapitre 1 :</i>	<b>112</b>
<i>Typologie de véhicules, d'usagers et épidémiologie du choc piéton</i>	
<i>Chapitre 2 :</i>	<b>122</b>
<i>Variabilité des conditions de l'impact et vulnérabilité du piéton</i>	
<i>Chapitre 3 :</i>	<b>150</b>
<i>Conditions aux limites et variabilité de l'impact tête lors du choc piéton</i>	
<b>Partie 3 : Outils, méthodes et données de référence pour mieux décrire les traumatismes du piéton</b>	
<i>Fiche de synthèse</i>	<b>164</b>
<i>Sommaire</i>	<b>167</b>
<i>Chapitre 1 :</i>	<b>168</b>
<i>Méthodologie d'évaluation des mécanismes lésionnels et de la variabilité des conditions d'impacts pour le membre pelvien</i>	

<b>Chapitre 2 :</b>	<b>191</b>
<i>Outils et méthodes pour l'utilisation de modèles EF détaillés de la tête</i>	
<b>Chapitre 3 :</b>	<b>206</b>
<i>Mieux décrire les processus lésionnels du genou ligamentaire</i>	
<b>Chapitre 4 :</b>	<b>226</b>
<i>Analyse expérimentale de la chute au sol</i>	

## **Partie 4 : De la vulnérabilité des piétons aux nécessaires évolutions des critères de blessure**

<b>Fiche de synthèse</b>	<b>238</b>
<b>Sommaire</b>	<b>243</b>
<b>Chapitre 1 :</b>	<b>244</b>
<i>Evolutions des critères de blessure de la jambe</i>	
<b>Chapitre 2 :</b>	<b>291</b>
<i>Evolutions des critères de blessure de la tête</i>	
<b>Chapitre 3 :</b>	<b>301</b>
<i>Incidence du design de la face avant du véhicule sur la vulnérabilité du membre pelvien</i>	

## **Partie 5 : Quelles évolutions pour les outils et standards d'évaluation des solutions de protection des piétons**

<b>Fiche de synthèse</b>	<b>313</b>
<b>Sommaire</b>	<b>315</b>
<b>Chapitre 1 :</b>	<b>325</b>
<i>Quelles perspectives d'évolution des standards d'évaluation ?</i>	
<b>Chapitre 2 :</b>	<b>334</b>
<i>Vers un modèle physique/numérique d'évaluation de la tête</i>	
<b>Chapitre 3 :</b>	<b>363</b>
<i>Incidence du design de la face avant du véhicule sur la vulnérabilité du membre pelvien</i>	

## **Partie 6 : Intégration et perspectives d'évolution des dispositifs existants**

<b><i>Fiche de synthèse</i></b>	<b>380</b>
<b><i>Sommaire</i></b>	<b>382</b>
<b><i>Chapitre 1 :</i></b> Caractérisation et modélisation des matériaux	<b>383</b>
<b><i>Chapitre 2 :</i></b> Modélisation de solutions et évolution	<b>474</b>

## **Partie 7 : Dissémination et valorisation des résultats du projet ASP**

<b><i>Fiche de synthèse</i></b>	<b>500</b>
<b>Conclusion</b>	<b>505</b>

## Remerciements

Nous voudrions en tout premier lieu adresser nos sincères remerciements à nos bailleurs qui ont soutenu et porté le projet ASP :

- **La Fondation Sécurité Routière**, qui a soutenu le projet ASP tant d'un point de vue financier que technique.
- L'ensemble des partenaires du projet qui ont également contribué à cofinancer le projet ASP : Plastic Omnium, Faurecia, l'UCBL, l'UDS et enfin l'Ifsttar.

S'ils ne sont pas partenaires du projet, leur concours aura été décisif pour la réussite du projet ; aussi, nous voudrions adresser nos remerciements à la société ALTAIR développement qui a permis au consortium du projet d'accéder à des modèles de véhicules. Nous voudrions également adresser nos chaleureux remerciements à l'équipe du Polytechnico de Turin qui outre la mise à disposition d'un modèle de véhicule (GCM) s'est également investie dans le projet, permettant ainsi de structurer une coopération fructueuse.

Nous voudrions adresser nos remerciements à l'ensemble des contributeurs au projet ASP : chercheurs, ingénieurs, techniciens, stagiaires, thésards, personnels administratifs qui ont permis de porter et de suivre le projet. Sans leurs contributions, leurs investissements ce projet n'aurait pu se faire.

***Un grand merci à vous tous***

# Introduction

## Contexte et objectifs

Dans un précédent bilan de l'OMS (Naci et al. 2009; WHO 2009), 45% des tués sur la route sont des piétons dans les pays à faible revenu, soit plus de 200 000 victimes, et 18% dans les pays à fort revenu, soit plus de 22 000 victimes chaque année. Dans tous les pays, le piéton blessé dans un accident de la circulation routière est majoritairement renversé par un véhicule motorisé, la plupart du temps une voiture. L'intérêt de développer des contremesures en termes de sécurité active et passive sur les voitures est ainsi manifeste.

Dans cette perspective, de nombreux travaux ont été et sont conduits jusqu'ici. Ils ont pour finalités, d'un point de vue chronologique : l'étude épidémiologique, l'identification des mécanismes lésionnels globaux, la définition de critères de tolérance, l'étude détaillée et exhaustive des critères lésionnels par la simulation numérique. Ainsi les résultats des projets français APPA, PROTEUS, des projets européens HUMOS2, APROSYS (SP5 et SP3), ont mis l'accent sur ces mécanismes de blessure et ont permis de poser les bases de nouveaux critères pour les membres pelviens et le segment céphalique.

L'évolution des technologies (notamment avec l'introduction de véhicules dits piétonnisés), la grande disparité de forme des véhicules montrent que les recherches conduites jusqu'ici ne doivent pas se focaliser sur quelques cas académiques, mais doivent tenir compte de cette inégalité du risque de blessure au regard du type des véhicules. Ainsi, de façon complémentaire aux approches traditionnelles, la simulation numérique en biomécanique, une fois validée par des tests expérimentaux, apparaît comme un outil indispensable à la mise en œuvre de nouvelles technologies pour la sécurité des usagers vulnérables.

**Le projet d'Amélioration de la Sécurité des Piétons** s'est inscrit dans la continuité des projets PROTEUS, APPA, APROSYS et s'articule autour de deux axes de recherche principaux :

- D'un point fondamental, il s'agit de compléter les connaissances acquises dans les précédents projets en se focalisant sur l'inégalité du risque pour un individu (l'anthropométrie, l'âge des victimes) comme paramètre modifiant le risque lésionnel et sur l'inégalité de l'agressivité des véhicules.

- D'un point de vue opérationnel, de nouvelles activités ont permis de :

- Poser les bases de critères de blessure réalistes et robustes, intégrables dans une future réglementation et qui tiennent compte de la diversité du parc automobile et des conditions de choc ;
- Développer un modèle physique de jambe et de tête réglementaires sur la base des critères précédemment établis ;
- Acquérir de nouvelles connaissances dans le domaine de la modélisation des matériaux et des structures complexes ;

- Proposer des outils et méthodes à destination des industriels, pour le développement de solutions innovantes coté véhicules depuis la face avant jusqu'au pare-brise.

## Questions de recherches

La mise en œuvre du projet ASP a été motivée par de nombreuses questions de recherches soulevées lors de précédents projets méritant des investigations supplémentaires.

*Le parc des véhicules étant très large (petite voiture, 4\*4, véhicules piétonnés), il s'agit d'évaluer « quelle est l'incidence de cette diversité sur les blessures et les mécanismes de blessure ». Comment exploiter plus largement les données épidémiologiques (liens entre BAAC et registre du Rhône) ? Comment améliorer la représentativité des simulations numériques (spectre des conditions de chocs, des véhicules utilisés, sensibilité des modèles) ? Comment traiter de façon pertinente par la simulation numérique les différentes phases du choc ? Enfin, s'agissant d'évaluer l'efficacité des systèmes de sécurité des véhicules, est-il important de dissocier les conséquences lésionnelles de la chute au sol de celles induites par le choc contre le véhicule ?*

*L'évaluation et la certification des véhicules reposent tantôt sur des standards et outils « normatifs » tantôt sur des standards consommateurs faisant référence à des données relativement anciennes. Quelle pertinence pour les outils et standards d'évaluation ? Sont-ils en phase avec la réalité ? Quelles relations entre critères de blessure numériques et modèles physiques ? Quelles pratiques pour la conception des véhicules et la minimisation de la sévérité des blessures ? Comment dissiper de façon pertinente l'énergie lors d'un choc de sorte à ce que ni les membres pelviens, ni l'extrémité céphalique ne soient lésés ? Peut-on définir des critères de blessure robustes pour la sécurité des piétons ? Comment et vers quoi faire évoluer les standards réglementaires et normatifs ?*

*Avec la piétonisation des véhicules, les équipementiers et constructeurs automobiles ont déployé des efforts conséquents dans les matériaux et les structures à opposer au piéton (y compris des solutions dites actives) pour minimiser la sévérité des blessures lors d'un choc. En quoi ces véhicules piétonnés apportent-ils un gain de protection ? Est-il possible de faire progresser les solutions technologiques pour les véhicules ?*

## Plan de travail

Afin d'atteindre les objectifs fixés, le projet ASP a été organisé suivant 5 tâches distinctes :

- Tache 1 : Évaluation des solutions actuelles ;
- Tache 2 : Evaluation de la sécurité du piéton et consolidation des critères de blessure ;
- Tache 3 : Outils d'évaluations ;
- Tache 4 : Intégration et perspectives d'évolution des dispositifs existants ;
- Tache 5 : Valorisation dissémination.

Pour des raisons de cohérence de la présentation des travaux, le rapport final du projet ASP s'articulera en 7 parties suivantes :

*Partie 1 : Epidémiologie des accidentés piétons au regard des solutions actuelles*

*Partie 2 : Conditions d'impact et vulnérabilité du piéton lors de l'impact véhicule et de la chute au sol*

*Partie 3 : Outils, méthodes et données de référence pour mieux décrire les traumatismes du piéton*

*Partie 4 : De la vulnérabilité des piétons aux nécessaires évolutions des critères de blessure*

*Partie 5 : Quelles évolutions pour les outils et standards d'évaluation des solutions de protection des piétons*



*Partie 6 : Intégration et perspectives d'évolution des dispositifs existants*  
*Partie 7 : Dissémination et valorisation des résultats du projet ASP*