



HAL
open science

Analyse du pré-crash sur simulateur de conduite. Evaluation biomécanique de positions atypiques et adaptation d'airbags

Hervé Morvan, Frédéric Robache, Audrey Hault-Dubrulle, Pascal Drazetic

► **To cite this version:**

Hervé Morvan, Frédéric Robache, Audrey Hault-Dubrulle, Pascal Drazetic. Analyse du pré-crash sur simulateur de conduite. Evaluation biomécanique de positions atypiques et adaptation d'airbags. 9e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2009, Giens, France. hal-01412125

HAL Id: hal-01412125

<https://hal.science/hal-01412125v1>

Submitted on 8 Dec 2016

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Analyse du pré-crash sur simulateur de conduite. Evaluation biomécanique de positions atypiques et adaptation d'airbags

H. Morvan, F. Robache, A. Hault-Dubrulle, P. Drazetic

LAMIH -Laboratoire d'Automatique, de Mécanique, et d'Informatique industrielles et Humaines
Université de Valenciennes - Le Mont Houy
59313 Valenciennes Cedex 9, France.
herve.morvan@univ-valenciennes.fr
frederic.robache@univ-valenciennes.fr
audrey.hault@univ-valenciennes.fr
pascal.drazetic@univ-valenciennes.fr

Résumé – Les systèmes de sécurité passive des véhicules automobiles sont contrôlés lors de crash tests normalisés. Toutefois, les positions de confort et les réactions des passagers induites par l'imminence d'un accident ne sont pas prises en compte. Il est proposé d'utiliser un simulateur de conduite afin d'analyser le comportement du conducteur avant et pendant le crash. Une position atypique est observée, impliquant un contact entre l'airbag, le bras et le visage. Des modélisations numériques sont réalisées puis des prototypes d'airbags à déclenchements programmés sont proposés et expérimentés. Un gonflement étagé de l'airbag permet de réduire considérablement les risques lésionnels dans le cas de positions atypiques.

Mots clés – pré crash, simulateur, airbag adaptatif.

1 Introduction

La sécurité est une des préoccupations majeures lors de la conception d'un véhicule. Afin de valider l'efficacité et l'innocuité des systèmes de sécurité, des crash-tests normalisés sont effectués. Des règles précises sont imposées pour la réalisation de ces tests, en particulier pour la posture des occupants. Par exemple, les mains du conducteur doivent être positionnées en position 10h10, et le buste doit être en contact avec le dossier du siège. Cependant, les mannequins ne représentent qu'une partie de la population, l'Hybrid III adulte n'étant décliné par exemple qu'en trois versions. Ainsi, l'anthropométrie réelle et les positions de confort ou les réactions réflexes ne sont pas prises en compte lors de ces essais. Des positions hors-norme appelées OOP (Out Of Position) sont maintenant testées par les constructeurs, et définies comme étant les plus préjudiciables pour les occupants. Malgré tout, elles ne représentent pas les postures réelles adoptées par les conducteurs et les passagers au moment du crash.

Une approche originale visant à analyser le comportement des conducteurs face à l'imminence d'un crash automobile par l'utilisation d'un simulateur de conduite est proposée. Nous présentons tout d'abord la campagne expérimentale à laquelle ont participé quatre vingt sujets. L'analyse des données recueillies permet de définir des positions à risque, qui sont par la suite modélisées avec le code de calcul Madymo©. Une campagne sur banc statique de tirs d'airbags permet de recalculer la cinématique du sac et du conducteur au moment du déploiement de l'airbag. Enfin, une nouvelle génération d'airbags collés est testée, visant à réduire les risques de blessure dus au déploiement du sac.

2 Crash sur simulateur de conduite

2.1 Sujets

Quatre vingt sujets sélectionnés de manière aléatoire ont participé à cette étude, la plupart de sexe masculin. L'âge des sujets est compris majoritairement entre 22 et 30 ans, et la taille et la masse moyenne sont respectivement de 78 kg et 1,77 m. La moitié des participants possède le permis de conduire depuis moins de 7 ans, le maximum étant de 27 ans.

2.2 Description du simulateur de conduite

Le simulateur de conduite utilisé est développé sur la base du simulateur SHERPA du groupe PSA. Il est constitué d'un véhicule (Peugeot 206) lié à une plate-forme mobile mise en mouvement par 6 vérins électriques. Trois projecteurs fournissent la vue frontale sur 180°. Les vues arrières sont, quant à elles, générées par le biais de 3 mini écrans lcd embarqués [3].



Figure 1 – Simulateur de conduite SHERPA.

2.3 Scénario de la simulation

Afin de garder intact l'effet de surprise au moment du crash, les sujets volontaires ne connaissent pas la finalité des essais. Après une courte session d'entraînement visant à familiariser les sujets avec le simulateur, un parcours d'environ 50 kilomètres est proposé, composé de différents types de routes telles qu'autoroute ou routes de campagne. Un trafic varié est reproduit, obligeant les conducteurs à s'adapter au comportement des autres véhicules. Des situations de stress sont introduites, par la présence de quelques véhicules aux « conducteurs » distraits ou peu courtois. A la fin de la simulation, la situation d'accident intervient. Un camion double un tracteur dans une courbe et se trouve alors face au véhicule sujet. La présence du camion, du tracteur et d'arbres le long de la route rend le crash inévitable.

Afin d'améliorer le réalisme de la situation, un bloc de mousse impacte le pare-brise, un soubresaut est généré par la plateforme mobile et le bruit d'un klaxon de camion est émis au moment du choc. Les vidéos des projections avant et arrière sont enregistrées, de même que différentes vues du conducteur (figure 2).



Figure 2 – Vidéos de la simulation-Instant de l'impact.

Tous les paramètres du simulateur (position pédales, volant, vérins...) sont enregistrés, ainsi que la position des véhicules sur le circuit. Ayant pour objectif de reproduire numériquement ces situations, de nombreux capteurs mécaniques et physiologiques enregistrent en permanence l'état du conducteur et son interaction avec le véhicule. Les données mécaniques comprennent notamment les efforts appliqués sur le volant, le siège et les pédales. Les données physiologiques incluent les rythmes cardiaque et respiratoire, l'activité électrodermale, la température du corps et enfin l'électromyographie des muscles prépondérants dans l'action de conduite.

2.4 Analyse des résultats

Tous les sujets ont réagi à la situation, par des actions sur les pédales et/ou sur le volant. Le tableau 1 présente les caractéristiques générales, notamment les vitesses moyennes sur les différents tronçons. La vitesse moyenne en ville est calculée à partir de la vitesse 50 mètres après le panneau d'entrée jusque 50 mètres avant le panneau de sortie de ville. La collision arrive sur une portion de nationale. Le camion est visible à environ 150 mètres du véhicule sujet qui roule à une vitesse moyenne de 76,3 km/h. Cette vitesse reste sensiblement constante jusqu'au moment où le camion double. Ensuite, les sujets freinent majoritairement et la décélération moyenne est alors de 1,6 m/s². A l'impact, le recouvrement frontal est de 61,8% pour un angle entre le camion et le véhicule sujet variant de -18,8° à 5,1°. Il est à noter que la majorité des sujets ont tenté d'éviter le camion par la gauche et que 6% des participants n'ont pas impacté le camion.

	Moyenne	Min	Max	Ecart Type
Vitesse moyenne sur autoroute (km/h)	122,6	97,8	135,7	8,6
Vitesse moyenne sur nationale (km/h)	65,3	59,4	71,0	3,0
Vitesse moyenne en ville (km/h)	48,9	32,9	60,0	5,9
Vitesse à 150 mètres du camion (km/h)	76,3	50,7	96,1	10,3
Vitesse quand le camion double (km/h)	78,5	58,4	94,5	8,6
Vitesse au top choc (km/h)	70,6	45,7	90,8	10,1
Recouvrement collision (%)	62,4	4,4	99,3	27,0
Angle collision (°)	-2,0	-18,8	5,1	5,1
Distance quand le camion double (m)	29,6	18,3	39,0	4,7
Décél. moy. du déboîtement camion à la collision (m/s ²)	1,6	3,8	-0,4 (Acc.)	1,0

Tableau 1 – Caractéristiques générales du véhicule.

2.4.1 Positions des mains

Les blessures occasionnées aux membres supérieurs sont un des risques majeurs dans une telle situation de crash frontal. C'est donc cette partie du corps qui est ici étudiée, et plus particulièrement la position des mains, de la tête et du buste. Au début de la simulation, les sujets adoptent une position 10h10 voire 9h15 sur le volant. Une position de confort est observée après une dizaine de minutes passées sur autoroute. Les conducteurs positionnent souvent le coude gauche sur le rebord de fenêtre. La main droite est couramment posée sur le levier de vitesse, le frein à main ou sur la cuisse. Les sujets passent régulièrement d'une position de confort à une autre. Face à l'imminence du crash, beaucoup tentent un évitement en tournant violemment le volant. La figure 3 montre la position des mains au moment de l'impact. Pour 17.2% des sujets, la main gauche se trouve sur le côté droit du volant, et pour 2.8% des conducteurs, la main droite est positionnée sur le côté gauche. Ces positions sont potentiellement risquées car le bras est sur la trajectoire de l'airbag.

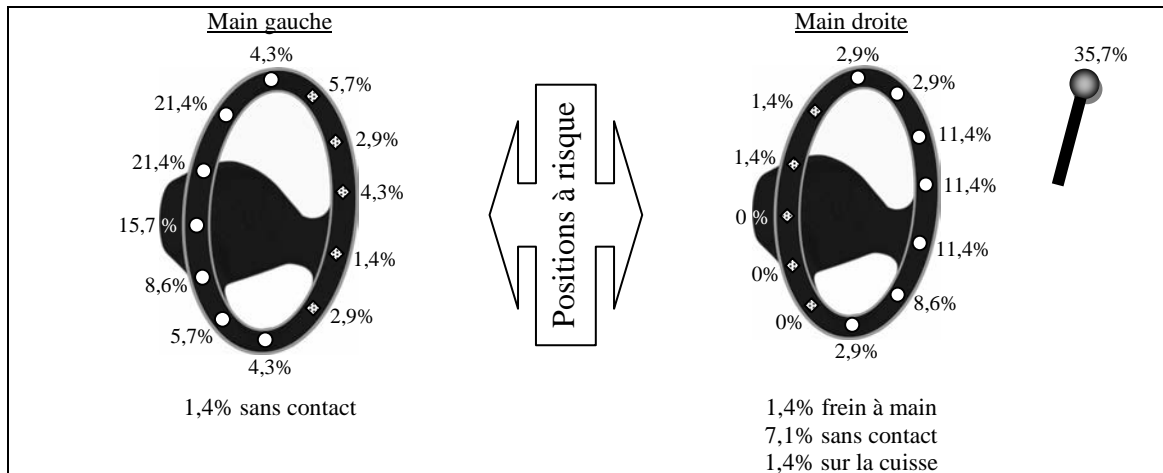


Figure 3 – Position des mains gauche et droite à l'impact – pourcentage de conducteurs.

2.4.2 Positions du buste

De manière analogue, la position du buste est analysée au moment de l'impact (tableau 2). 22% des sujets n'ont pas sensiblement bougé avant et durant la collision même si des variations sont détectées au niveau des capteurs d'efforts du volant et du siège. Les autres conducteurs s'enfoncent dans le siège (postures 2,3) et/ou tournent la tête (postures 3,4). Les dernières postures concernent des personnes qui rentrent la tête dans les épaules en ayant un mouvement vers l'avant. Les postures 4 et 5 restent cependant anecdotiques.

Posture	Description	%	Posture	Description	%
Posture 1	Sans changement	22	Posture 4	Le sujet tourne la tête Pas de mouvement du buste	3
Posture 2	Le sujet se crispe Le torse rentre dans le siège	67	Posture 5	Mouvement du buste en avant	8
Posture 3	Le sujet se crispe et tourne la tête Le torse rentre dans le siège	57			

Tableau 2 – Position du buste à l'impact.

3 Modélisation

L'analyse biomécanique des positions déterminées précédemment est effectuée sur le code de calcul Madymo®. Le mannequin virtuel est positionné tel que le conducteur l'était au moment du crash, grâce à une méthode de reconstruction posturale utilisant le logiciel Man3D développé par l'INRETS [1].

3.1 Description du modèle

Le modèle utilisé au départ pour cette étude est le modèle de crash frontal de Madymo. Le mannequin utilisé est l'Hybrid III-50^{ème} percentile ellipsoïde, et le chargement correspond à la décélération subie lors d'un crash frontal à 56 km/h. Le tableau 3 présente les résultats obtenus pour les différentes postures de buste dans le cas d'une position de bras normalisée et dans le cas d'une manœuvre d'évitement. Les critères lésionnels du cou et de la tête sont calculés. Le HIC et le 3ms sont des critères liés à l'accélération linéaire subie par la tête et qui tiennent compte de la durée d'application de la charge. Le Nij tient compte des efforts et moments appliqués sur les vertèbres cervicales. Les résultats indiquent que les risques lésionnels au niveau de la tête et du cou sont plus importants pour la position atypique. En effet, dans ce cas, le bras est projeté violemment par l'airbag contre la face du conducteur, ce qui induit une accélération linéaire beaucoup plus importante de la tête. De plus, le contact tête-bras est beaucoup plus rigide que le contact tête-airbag.

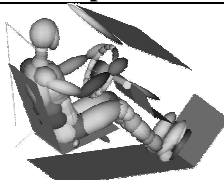
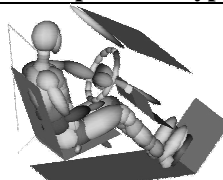
	Mains en position 10h10				Mains en position atypique			
Crash à 56 km/h								
	Accél. max linéaire tête (g)	HIC15 (<700)	3MS (g) <80	Max Nij (<1)	Accél. max linéaire tête (g)	HIC15 (<700)	3MS (g) <80	Max Nij (<1)
Posture 1	62,7	342	56,4	0,4	730	14761	80,3	4,15
Posture 2	78,2	579,4	71,6	0,46	761,4	19814	96,9	4,27
Posture 3	78,4	610	72,8	0,46	615,5	12160	172,7	4,19
Posture 4	66,9	412,3	61,5	0,38	980,6	26977	83,1	2,97
Posture 5	91,3	809,4	84,2	0,74	463,1	5237	46,7	2,97

Tableau 3 - Critères biomécaniques HIC, 3MS et Nij.

Il est nécessaire de rester critique face à ces premiers résultats obtenus à partir d'un modèle de crash non-optimisé pour l'étude des situations OOP. En effet, les membres supérieurs de ce modèle sont représentés par des corps rigides, et le contact n'est pas initialement prévu entre les bras et la face. Il est donc nécessaire d'effectuer des expérimentations incluant le déploiement de l'airbag, afin de recalibrer les cinématiques du sac et du bras.

4 Tests d'airbags sur banc statique et recalage numérique

Cette campagne, effectuée en partenariat avec la société Zodiac Automotive a pour but de vérifier et de quantifier l'agressivité des airbags dans le cas de positions atypiques, et de tester d'autres modèles prototypes fonctionnant sur la base de générateurs plus lents. Tous les tests sont effectués sur banc statique avec des générateurs pyrotechniques standards, et des doubles générateurs à gaz froid (volume équivalent au générateur pyrotechnique) à déclenchement synchrone et étagé. L'emploi de générateurs étagés est possible grâce à la technologie d'airbags collés dont la pression et le débit de vidange sont contrôlés. Le gonflage plus lent n'est envisageable que si l'imminence de l'accident est détectée de manière plus précoce [2].

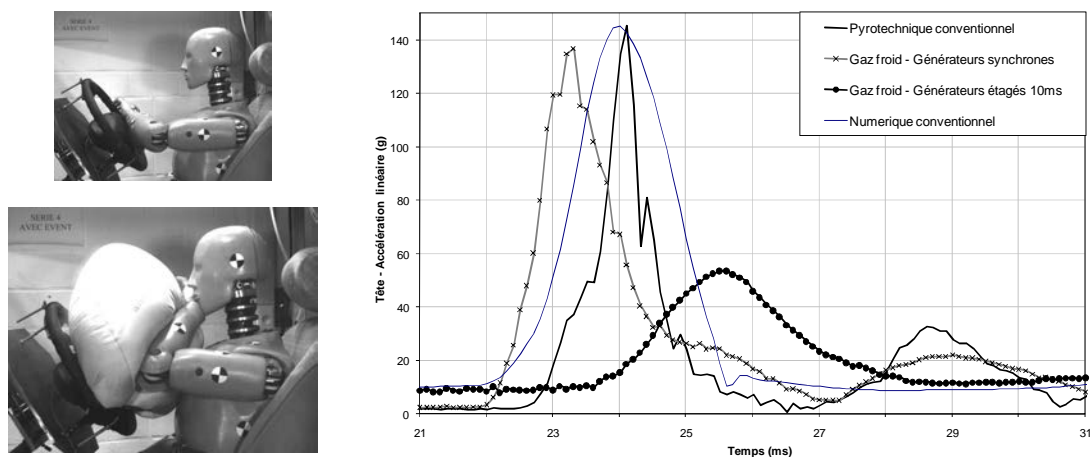


Figure 4 – Tests d'airbags pyrotechniques / à gaz froid synchrones et étagés.

Les accélérations subies par la tête suite à l'impact du bras projeté par l'airbag sont comparées (Figure 4). Les pics d'accélération mesurés pour des airbags classiques (pyrotechnique) et des prototypes à doubles générateurs synchrones sont similaires à la valeur obtenue par simulation numérique du modèle standard (de l'ordre de 140g). L'emploi d'un airbag à déclenchement étagé de 10ms montre lui une nette baisse de l'agressivité du système, l'accélération étant réduite à moins de 60g.

L'airbag standard utilisé dans l'expérimentation sur banc statique est réintroduit dans le modèle numérique de crash frontal présenté au paragraphe 3. Les caractéristiques de l'airbag sont recalées et le contact entre le bras et la tête est redéfini.

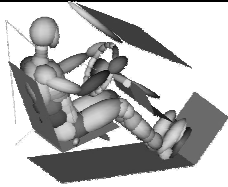
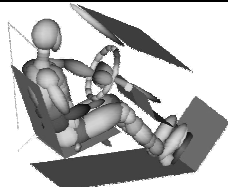
	Mains en position 10h10				Mains en position atypique			
Crash à 56 km/h								
	Accélération max linéaire (g)	HIC15 (<700)	3MS (g) <80	Max Nij (<1)	Accélération max linéaire (g)	HIC15 (<700)	3MS (g) <80	Max Nij (<1)
Posture 1	50	200	44	0,3	425	2730	36	1,1

Tableau 4 - Critères biomécaniques / modèle recalé avec airbag standard.

La position standard donne des résultats relativement similaires au premier modèle, contrairement à la position atypique qui indique une agressivité inférieure vis-à-vis du modèle originel de Madymo. Toutefois, les risques lésionnels au niveau du cou et de la tête restent élevés lorsque le bras est positionné devant l'airbag. Le débit massique des modèles à gaz froid reste à définir (essais en tank rigide) afin d'intégrer cette technologie au niveau de la simulation.

5 Conclusions et Perspectives

Dans cette étude, la réaction des conducteurs face à un accident de la route est étudiée à partir de la reconstruction d'un crash inévitable sur simulateur de conduite. Il s'est avéré qu'aucun des conducteurs n'a adopté une position standard de conduite au moment de l'impact. En effet, la plupart d'entre eux tente d'éviter l'accident en tournant violemment le volant, ce qui conduit à une position du bras devant le volant au moment du déploiement de l'airbag. Ceci induit des risques lésionnels plus importants au niveau de la tête et du cou car le bras est projeté par l'airbag sur la face du conducteur. Afin de réduire ces lésions, une nouvelle génération d'airbags avec gonflement progressif est proposée. Ces nouveaux airbags permettent de réduire considérablement l'accélération subie par la tête. Le modèle numérique doit encore être amélioré en remplaçant le mannequin HybridIII multicorps par le modèle humain Madymo avec bras déformable, afin d'obtenir une évaluation plus précise de l'accélération de la tête subie par le conducteur et des risques lésionnels du bras. Enfin, le tonus musculaire doit être pris en compte pour représenter la crispation du conducteur sur le volant au moment de l'impact.

6 Remerciements

Les présents travaux ont été supportés par le Campus International sur la Sécurité et l'Intermodalité des Transports, la région Nord-Pas-de-Calais, la Communauté Européenne, la Délégation Régionale à la Recherche et à la Technologie, par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, et par le Centre National de la Recherche Scientifique. Les auteurs tiennent à remercier ces différentes institutions pour leurs soutiens, ainsi que le société Zodiac Automotive pour sa participation à cette thématique.

7 Références

- [1] M. Hetier, F. Robache, B. Autuori, X. Wang, H. Morvan. Experimental investigation and modelling of driver's frontal pre-crash postural anticipation'. SAE 2005 Transactions Journal of Passenger Cars : Mechanical Systems, 114(6), 2877-2884, 2005.
- [2] R. de Lange, J. Tandler. Intelligent safety systems integrating active and passive safety. IRCOBI Conference, Maastricht, The Netherlands, 2007.
- [3] M-P. Pacaux-Lemoine, H. Morvan, F. Robache, J. Floris, P. Drazétic. Driving simulator use for pre crash tests. Driving Simulator Conference, North America, Orlando, 2005.