



# DOCUMENTATION

**CAHIERS**

**D'ÉTUDES**

*Bulletin n° 37*  
*Juin 1976*

CDAT  
15062

LA PROTECTION  
PAR SAC GONFLABLE

**L'ORGANISME NATIONAL DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE**  
*est une association ayant pour objet de procéder aux études et recherches de toutes natures sur les accidents de la circulation routière et sur les mesures destinées à accroître la sécurité de cette circulation, ainsi que de promouvoir toutes activités ayant le même sujet. Les Ministères intéressés à la sécurité routière sont représentés dans son Conseil d'Administration.*

*Président : H. Larrieu*

*Directeur : M. Halpern Herla.*

*Les bulletins peuvent être reproduits librement sous réserve que l'origine :  
" Cahiers d'Études de l'Organisme National de Sécurité Routière "  
soit mentionnée.*

*Siège social : 244, boulevard Saint-Germain, 75007 Paris.*

*Administration : avenue du Général-Malleret - Joinville, 94110 Arcueil.*

# LA PROTECTION PAR SAC GONFLABLE\*

M. DEJEAMMES

R. QUINCY

*chargés d'études au laboratoire des chocs et de Biomécanique*

## SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	4
I. PROGRÈS RÉCENTS DU SAC GONFLABLE AUX ETATS-UNIS	4
I.1. Tests avec volontaires humains en choc frontal	6
I.1.1. Conditions d'essais	6
I.1.2. Analyse des essais	7
I.1.3. Comparaison volontaire-mannequin	7
I.1.4. Efficacité du sac gonflable	7
I.2. Essais dans des conditions diverses d'accidents	10
I.2.1. Conditions d'essais	10
I.2.2. Résultats	10
I.3. Conclusion	10
II. RECHERCHES SUR LES PROBLÈMES BIOPHYSIQUES POSSIBLES	11
II.1. Bruit et surpression occasionnés par le gonflage du sac	11
II.2. Effets traumatisants sur l'homme	12
II.3. Protection des enfants	13
II.4. Conclusion	14
III. ADAPTATION DU SAC GONFLABLE AU VÉHICULE EUROPÉEN	15
III.1. Problèmes d'adaptation au véhicule "subcompact"	15
III.2. Efficacité comparée du sac gonflable et de la ceinture de sécurité	15
III.2.1. Méthodologie	15
III.2.2. Choix des accidents simulés	15
III.2.3. Dispositifs de protection	16
III.2.4. Comparaison d'efficacité des deux dispositifs de rétention	16
III.2.4.1. Choc frontal contre barrière fixe	16
III.2.4.2. Choc frontal entre deux véhicules désaxés	19
III.2.4.3. Choc contre glissière de sécurité	24
III.2.5. Influence du mannequin	25
III.2.6. Conclusion	26
IV. CONCLUSION	28
BIBLIOGRAPHIE	30

\* Cette étude a été réalisée pour le compte de la Direction des Routes et de la Circulation Routière.

## INTRODUCTION

Le sac gonflable est un dispositif de protection des automobilistes d'un type nouveau, dont le développement a été très rapide depuis 1966 environ. Le principe est de déployer automatiquement un sac qui fait écran devant le passager et absorbe son énergie lorsqu'un choc sévère du véhicule est détecté.

En 1972 environ, l'efficacité du sac gonflable apparaissait démontrée clairement pour la protection des occupants avant d'un véhicule subissant une collision frontale. Les efforts des constructeurs américains faisaient suite à la décision gouvernementale de rendre obligatoire les dispositifs de rétention passifs à partir de 1976.

Ainsi, comme le montre l'étude bibliographique publiée par l'ONSER (4), ce dispositif permet de diminuer les décélérations subies par la tête et le thorax et évite tout heurt avec l'habitacle lors d'un choc frontal. Mais certains problèmes restent en suspens. Outre le prix élevé de l'installation du dispositif, il apparaît que l'adaptation à chaque véhicule présente des difficultés et que la détection du choc est encore mal connue. De plus, l'efficacité lors de chocs autres que frontaux n'est pas suffisamment étudiée et les dispositifs d'adsorption d'énergie offrent une protection des genoux encore inférieure à celle de la ceinture sous-abdominale.

Ainsi apparaît-il en 1972-1973 une diminution d'intérêt des constructeurs européens et américains pour le sac gonflable, parallèlement au recul de la date d'application de la réglementation US (FMVSS 208 cf. Annexe). Néanmoins, on peut remarquer que la firme General Motors a poursuivi ses études dans le sens de l'amélioration du sac gonflable avec notamment des tests dynamiques avec volontaires, des essais de diverses configurations de chocs autres que frontaux ainsi que la sortie d'une flotte de 1.000 véhicules équipés de sacs gonflables.

De plus, l'accent a été mis sur les effets biophysiques possibles du sac gonflable et a conduit à certaines études sur le bruit, sur les effets biomécaniques ainsi que sur les problèmes des enfants prenant place dans le véhicule.

Par ailleurs, l'adaptation du sac gonflable à un véhicule européen pose beaucoup plus de problèmes et l'adoption d'un tel dispositif, sophistiqué et coûteux, semble peu intéressante du point de vue du coût-efficacité tant qu'il n'est pas demandé d'améliorer les performances de la ceinture, ce qui rendrait le sac gonflable plus compétitif.

Ce cahier d'étude nous permettra d'analyser les études américaines récentes, d'approfondir les effets biophysiques possibles sur l'homme, enfin d'évaluer l'efficacité du sac gonflable dans un véhicule européen par comparaison avec le fonctionnement de la ceinture 3 points dans les mêmes conditions d'accident, suite aux essais réalisés récemment par l'ONSER.

## I. PROGRÈS RÉCENTS DU SAC GONFLABLE AUX ETATS-UNIS

Il semble que depuis 1972 environ, peu de fabricants ou de constructeurs aient poursuivi des recherches très approfondies de mise au point de sacs gonflables nouveaux. On peut néanmoins citer la Société MINICARS qui a développé dans le cadre du programme ESV (Véhicule Expérimental de Sécurité) un dispositif de protection du conducteur comprenant un petit coussin de volant gonflé par un générateur à réserve de gaz sous pression (azote sous 160 bars) et monté sur une colonne de direction à absorption d'énergie (Fig. 1). La protection des genoux est assurée par un dispositif limiteur d'effort (FRIEDMAN, 5).

Le dispositif pour passager avant est constitué d'un sac à double compartiment s'appuyant sur une structure amortissante, assurant ainsi la protection du torse et de la tête. La protection des genoux est faite par un dispositif amortisseur à nid d'abeilles. Pour cet ensemble, l'objectif est d'assurer la protection des passagers lors de chocs à 65 km/h en satisfaisant aux conditions de la norme 208.

De même, chez CALSPAN, SHOEMAKER (16) a étudié, à l'aide d'un modèle mathématique complexe, un dispositif de protection pour passager avant dont l'efficacité a été confirmée par des essais sur simulateur. Une planche de bord relativement volumineuse est fabriquée en éléments à taux d'absorption d'énergie gradués. Deux petits sacs gonflables déclenchés lors de chocs à plus de 30 km/h sont destinés à distribuer les forces de contact du thorax et à contrôler les mouvements de la tête. Une structure déformable assure la protection des genoux (Fig. 2).

ROMEO (13) du CALSPAN a développé un sac gonflable pour la protection des passagers d'un véhicule subcompact. Ce dispositif se compose de deux générateurs montés à l'intérieur d'un diffuseur cylindrique. Celui-ci est fixé à la structure avant par l'intermédiaire de deux dispositifs rétractables qui assurent un amortissement supplémentaire. La retenue de la partie supérieure du corps est assurée par le sac gonflable, tandis qu'une retenue par structure amortissante de genoux assure une rétention de la partie inférieure (Fig. 2 bis).

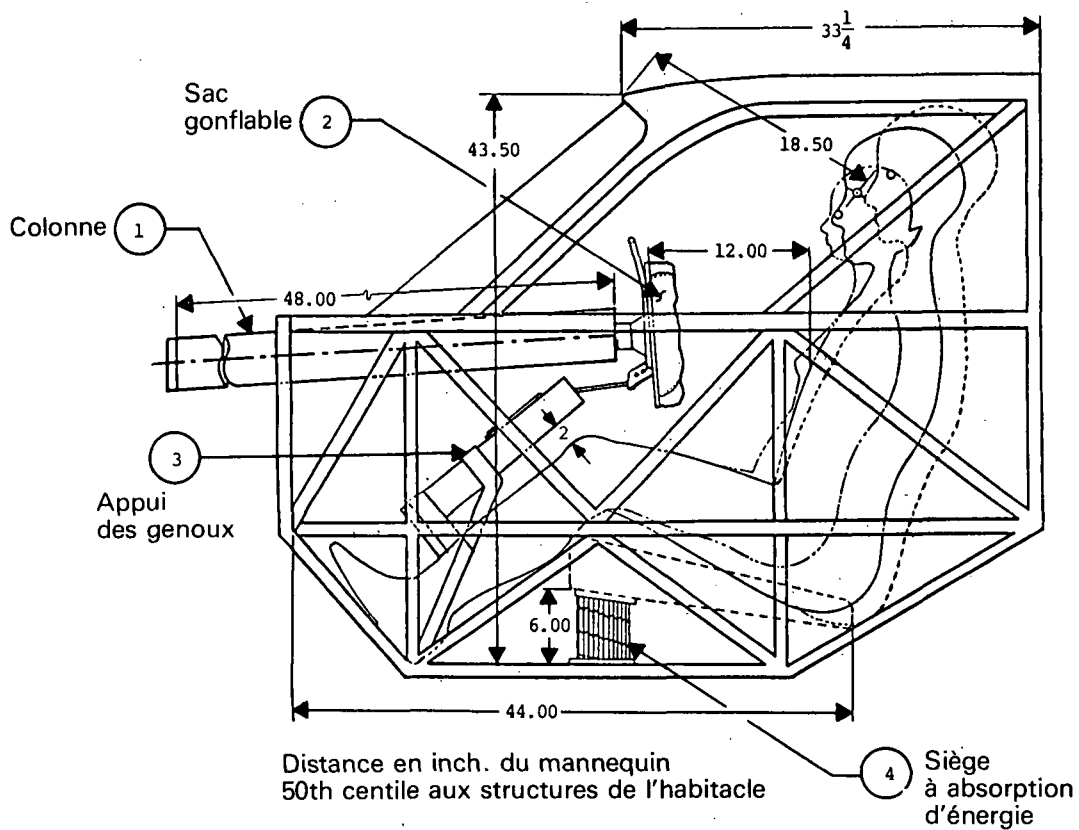


FIGURE 1

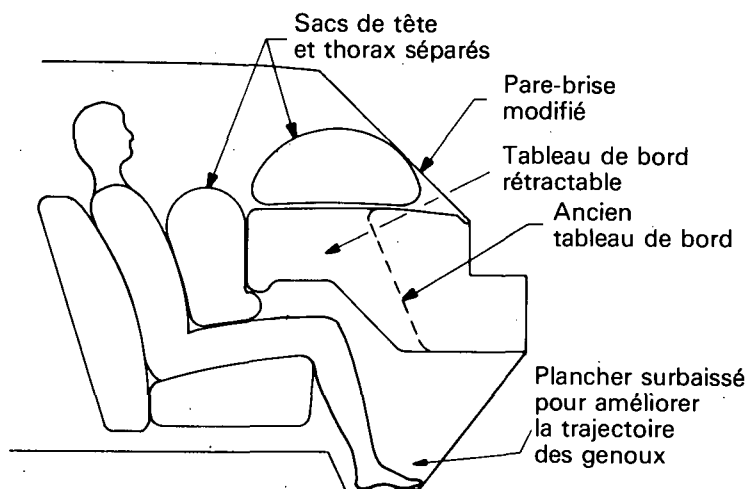
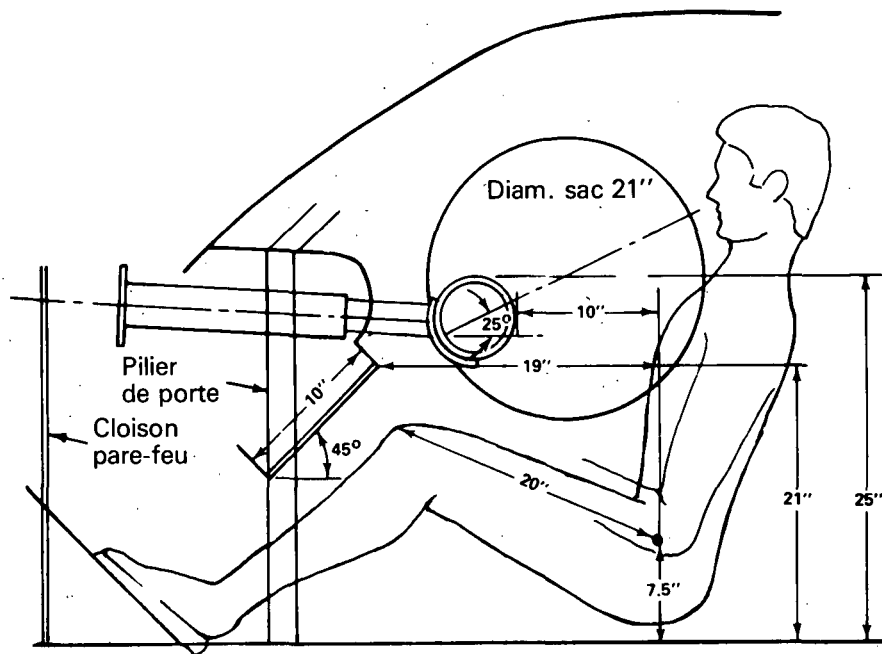


FIGURE 2

Dispositif de rétention à sac gonflable ou tableau de bord rétractable



PINTO - HOMME 50<sup>e</sup> centile sur siège en position médiane

FIGURE 2 bis

A l'aide de ce dispositif, des essais ont été réalisés en choc frontal avec des mannequins allant de l'enfant de 6 ans à l'adulte.

En se basant sur les prescriptions de la norme FMVSS 208, l'auteur indique que le dispositif assure pour un adulte une protection contre les blessures graves et la mort jusqu'à des vitesses de 65 à 80 km/h suivant les dimensions de l'adulte considéré. La protection est assurée aux plus hautes vitesses pour les tailles petites et moyennes et aux plus basses pour les grandes tailles.

Pour les enfants, les résultats sont plus difficiles à interpréter. Cependant le sac gonflable assure une retenue appréciable en particulier pour les grandes vitesses. Il reste cependant le problème du déploiement alors que l'enfant se trouve debout, le torse contre le dispositif. Suite à des essais sur simulateur de choc, l'auteur indique que dans ce cas, il est possible de réduire la gravité de l'impact en intervenant sur le pliage du sac, ce qui permet de modifier la zone d'impact et la cinématique de l'enfant.

## I.1. TESTS AVEC VOLONTAIRES HUMAINS EN CHOC FRONTAL

SMITH (18) a réalisé à l'Institut de Recherche du SOUTHWEST, San Antonio, Texas, des tests dynamiques du système de sac gonflable pour

conducteur mis en œuvre par General Motors. Quarante essais avec volontaires pour 8 sévérités de chocs frontaux ont pu être comparés aux essais avec mannequins effectués dans les mêmes conditions.

### I.1.1. Conditions d'essais

Le dispositif de protection se compose d'un générateur pyrotechnique monté au centre du volant sur une colonne de direction à absorption d'énergie. Le sac proprement dit comporte un compartiment intérieur et est fabriqué dans un tissu de nylon enduit de néoprène. La protection des genoux est assurée par une structure métallique déformable recouverte de mousse flexible.

Un habitacle de véhicule de série est simulé pour être utilisé sur banc dynamique qui permet de reproduire la décélération du véhicule pour des vitesses allant jusqu'à 48 km/h.

Afin de permettre une bonne comparaison, les accélérations de l'occupant ont été mesurées au même niveau pour le volontaire et pour le mannequin (Hybrid II ou 95<sup>e</sup> centile Sierra). Ainsi un accéléromètre triaxial est fixé sur un casque, sur le côté gauche de la tête, au-dessus de la région temporopariétale. Un accéléromètre triaxial est collé dans le dos au niveau de la vertèbre T6 (Fig. 3).



FIGURE 3

Position des accéléromètres sur volontaire

Avant chaque essai, le volontaire reçoit la consigne de garder les mains sur le volant et de se contracter avant le choc. Quelle que soit la taille du sujet, le siège est toujours en position maximum arrière.

#### I.1.2. Analyse des essais

Le gonflage du sac débute avant que le sujet ne commence à se déplacer en avant. Le sac gifle la face et les avant-bras de presque tous les sujets, quelle que soit la sévérité du choc. Lors du mouvement en avant, les genoux entrent en contact avec la protection avant que le thorax et la tête ne heurtent le sac. La flexion de la tête est faible. Si les mains échappent du volant, elles viennent s'appuyer généralement sur la planche de bord simulée. L'énergie du thorax est absorbée en deux phases par la colonne de direction — la première lors de la compression par l'intermédiaire des bras puis la seconde lors de la charge du thorax et de la tête à travers le sac.

La phase du rebond du mouvement du sujet est caractérisée par une vitesse de rebond de la tête nettement plus faible pour le volontaire que pour le mannequin.

Ainsi les volontaires ont subi des chocs jusqu'à des vitesses de 48 km/h sans blessures graves, mais on peut noter l'importance du choc du sac contre la face du volontaire lors de son déploiement. Les lésions constatées sont des érythèmes, des abrasions et des ecchymoses principalement aux bras et à la face (cf. II.2). Il est intéressant de noter que ces traumatismes superficiels ont été sensiblement les mêmes à toutes les sévérités de chocs. Une seule fois lors d'un choc à 45 km/h, un sujet a heurté le volant, entraînant la déformation de celui-ci, mais n'a subi aucune lésion interne apparente.

#### I.1.3. Comparaison volontaire/mannequin :

Les résultats obtenus au niveau de la tête (indice de sévérité HIC) sont assez proches entre les deux modèles pour chaque sévérité d'impact (Fig. 4). Par contre, au niveau du thorax, les indices de sévérité SI sont plus importants sur le mannequin (Fig. 5). En général, la cinématique du mannequin est plus exagérée que celle du volontaire, ce qui s'explique en grande partie par la réaction musculaire du sujet qui présente ainsi une plus grande dissipation d'énergie.

#### I.1.4. Efficacité du sac gonflable :

Ces essais ont permis d'atteindre des sévérités de chocs très élevées avec des volontaires humains qui ont été protégés dans de très bonnes conditions par le sac gonflable utilisé.

Il est intéressant de se référer aux essais entrepris par HENDLER (7) avec des volontaires maintenus par une ceinture 3 points avec limiteur d'effort. Pour subir des conditions de chocs comparables jusqu'à vitesse de 48 km/h (décélération pic de 20 G), les volontaires ont adopté une position non réaliste (tête fléchie, cou rentré dans les épaules) et se sont contractés de façon extrême. De plus, pour ces essais avec ceinture, l'environnement de l'habitacle n'était pas reconstitué car les sujets auraient heurté la structure du véhicule lors des essais à vitesse supérieure à 25 km/h.

Il semble donc se confirmer que, en choc frontal sévère, la protection apportée par le sac gonflable est supérieure à celle de la ceinture 3 points.

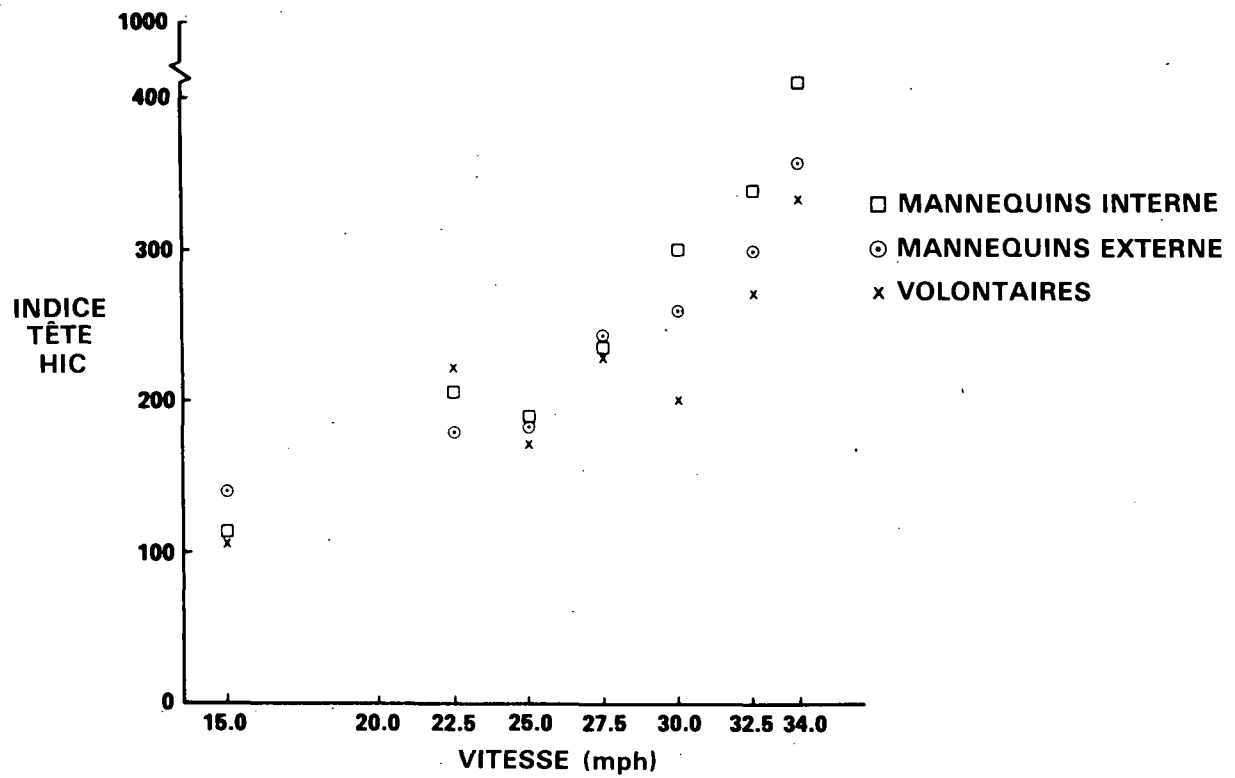


FIGURE 4

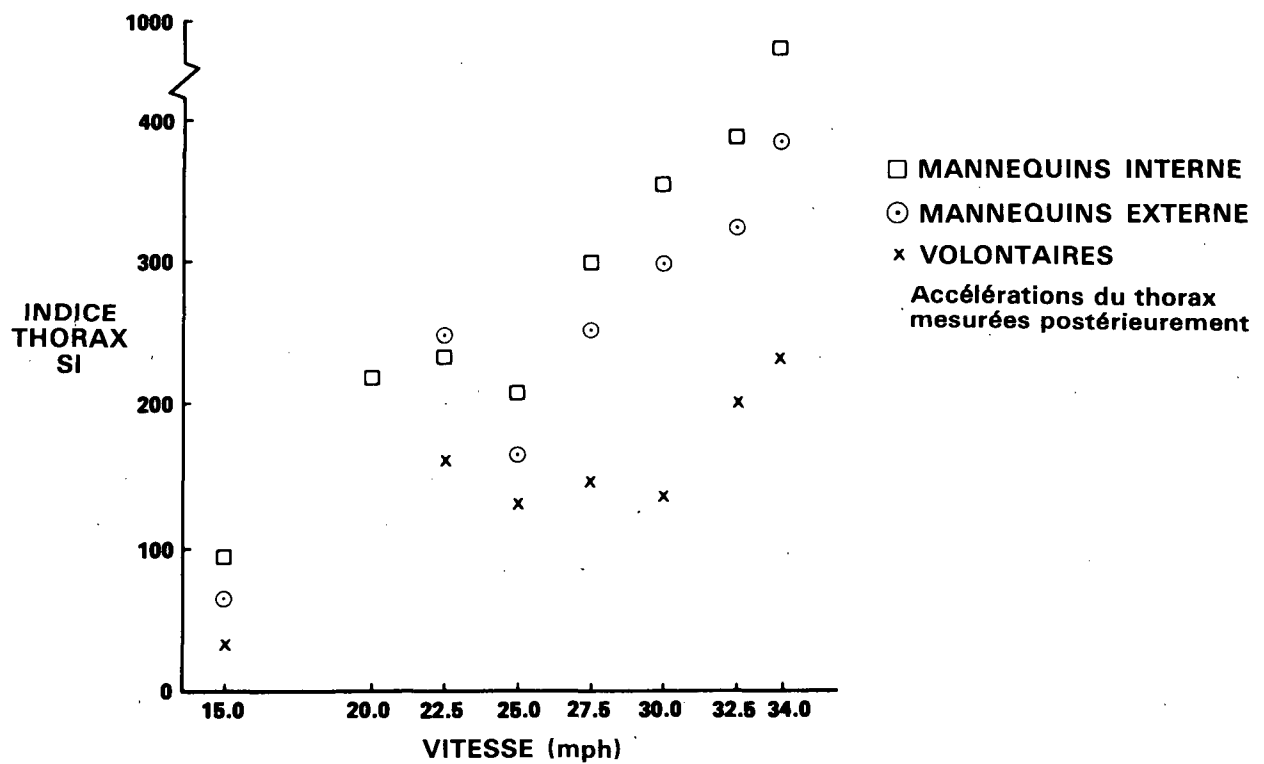


FIGURE 5



# IMPACT DE DEUX VÉHICULES A UNE INTERSECTION

Impact réel - 2 véhicules à vitesses  $V_A$  et  $V_B$

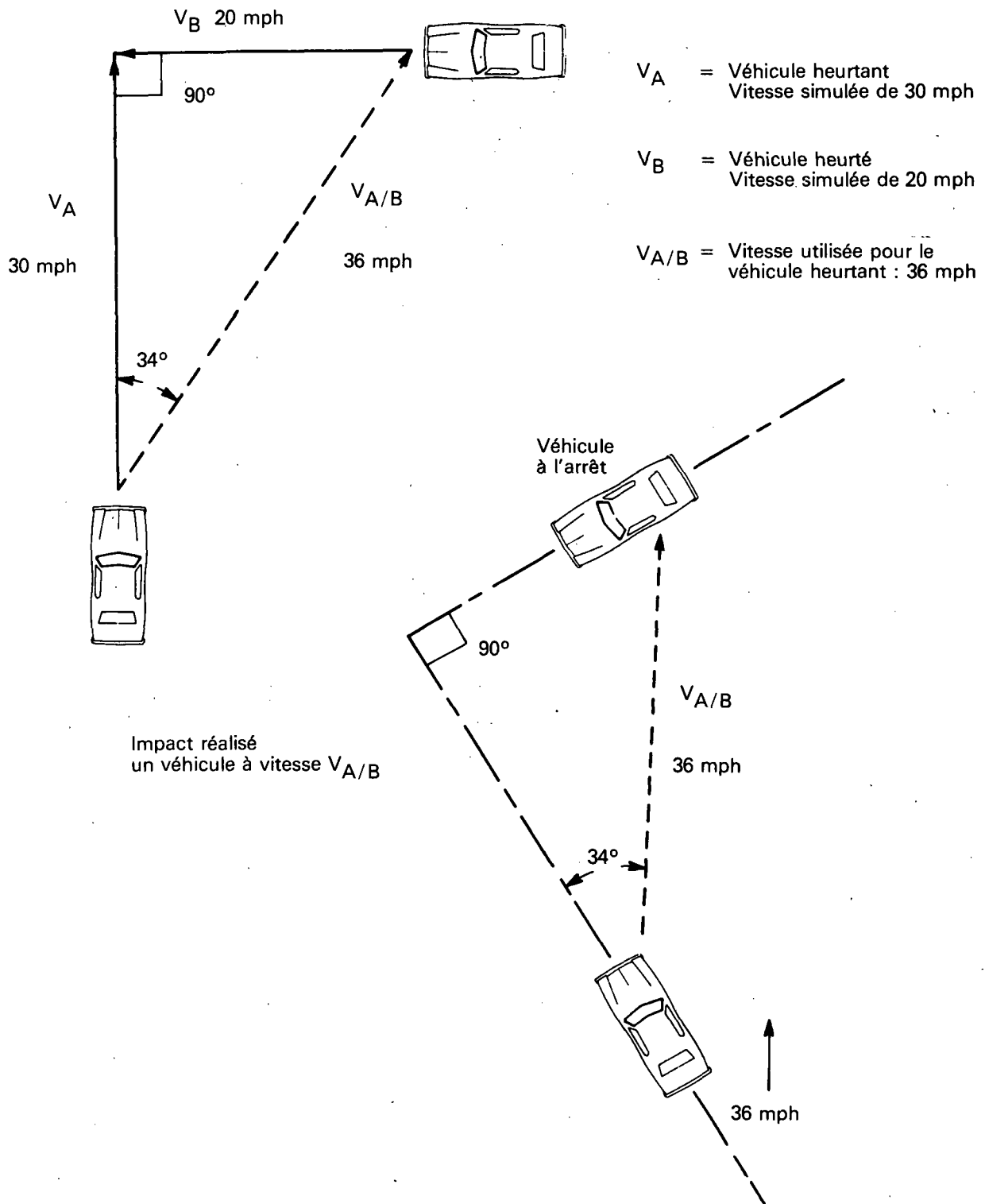


FIGURE 6

## **I.2. ESSAIS DANS DES CONDITIONS DIVERSES D'ACCIDENTS**

Dans le but d'acquérir une meilleure connaissance de l'efficacité du sac gonflable mis au point et satisfaisant aux normes américaines, General Motors a entrepris une série d'essais en conditions réelles d'accidents qui est rapportée par WILSON (20). Deux objectifs principaux ont été visés : reconstituer des accidents réalistes dont les caractéristiques sont tirées des enquêtes et simuler des postures d'occupants plus réelles à l'aide de mannequins de diverses tailles.

### **I.2.1. Conditions d'essais :**

L'expérimentation est réalisée avec des véhicules de taille "standard" équipés de sacs gonflables pour les occupants avant. Lorsque l'accident implique deux voitures, la simulation est effectuée avec une voiture à l'arrêt en imprimant à l'autre le vecteur vitesse "ad hoc" (un exemple est donné en fig. 6). Cette simulation est néanmoins susceptible de modifier la dynamique des véhicules par rapport à la réalité. Les mannequins installés dans les voitures sont équipés d'accéléromètres et de capteurs d'efforts permettant de déterminer les critères de sévérité usuels. Leurs cinématiques sont également analysées.

Les types de chocs retenus sont :

- choc frontal entre deux véhicules décalés (recouvrement de 30 %, vitesse relative de 96 km/h);
- choc frontal contre poteau non axé (face au conducteur, vitesse de 48 km/h);
- choc de deux véhicules à une intersection orthogonale (vitesses respectives de 32 et 48 km/h, Fig. 6);
- choc angulaire entre deux véhicules (angle de 30° sur la droite, vitesse relative de 48 km/h);
- choc angulaire entre deux véhicules (angle de 45° à gauche, vitesse relative de 64 km/h);

- collision en chaîne impliquant 3 voitures (une voiture percutée à 64 km/h une voiture freinant devant une troisième arrêtée);
- choc contre barrière fixe à 64 km/h;
- retournement latéral à 48 km/h avec déploiement des sacs;
- choc frontal à 48 km/h au cours duquel le pare-choc passe sous obstacle fixe (simulation du choc contre poids lourd).

### **I.2.2. Résultats**

Ces chocs très variés ont été réalisés avec des mannequins du 50<sup>e</sup> centile, puis certains ont été repris avec des mannequins de tailles différentes. De ces essais, il ressort que le plus souvent les critères de sévérité sont en dessous des valeurs prescrites par la norme FMVSS 208 pour la femme du 5<sup>e</sup> centile, l'homme du 50<sup>e</sup> ou du 95<sup>e</sup> centile. Il faut cependant noter que, lors de certains essais tels que le retournement, le choc entre deux véhicules à 45° ou le choc frontal entre deux véhicules décalés, la cinématique des mannequins fait apparaître des impacts ou des éjections partielles dont la gravité éventuelle est sans doute mal traduite par les critères de sévérité. De plus, lors du choc contre poteau et du choc contre obstacle haut, la compression axiale des fémurs a dépassé la valeur limite prescrite.

Par ailleurs, le choc frontal contre barrière fixe à 64 km/h a entraîné des indices supérieurs à la limite au niveau du thorax et de la tête du passager central et des fémurs des trois occupants. La protection est cependant jugée satisfaisante par l'auteur vu la sévérité du choc.

## **I.3. CONCLUSIONS**

Il apparaît ainsi que General Motors a pu mettre au point un ensemble de sacs gonflables pour les occupants avant d'un véhicule américain dont l'efficacité a été prouvée par des essais de chocs frontaux sévères avec volontaires et des essais en conditions variées de chocs de véhicules.

## II. RECHERCHES SUR LES PROBLÈMES BIOPHYSIQUES POSSIBLES

Les premières réalisations de sacs gonflables et leurs essais ont fait apparaître des problèmes biophysiques nouveaux. Ceci a conduit les chercheurs à des études très poussées à caractère presque fondamental puisqu'elles nécessitent des données particulières de tolérance humaine.

### II.1. BRUIT ET SURPRESSION OCCASIONNÉS PAR LE GONFLAGE DU SAC

Les niveaux élevés de bruit enregistrés avec les premiers types de sacs gonflables ont fait craindre des risques pour le système auditif humain. Les générateurs à réserve de gaz sous pression avec

lesquels le bruit atteignait 170 dB ont été abandonnés au bénéfice de générateurs pyrotechniques ou hybrides qui donnent un niveau plus acceptable de 150 dB environ. Par ailleurs, le gonflage d'un volume important dans l'habitacle peut entraîner un phénomène de surpression qui peut être distingué du bruit par sa fréquence plus faible (en dessous de 300 Hz). La réduction de cette surpression est recherchée avec les générateurs à aspiration d'air ambiant.

Ainsi HICKLING (8) a réalisé une étude expérimentale ayant pour but d'examiner diverses solutions de réduction du bruit et de la surpression. Il utilise un générateur à réserve de gaz sous pression auquel il adjoint divers dispositifs silencieux. Un générateur à aspiration en cours de développement est également testé. Les tirs réalisés en espace libre dans une chambre anéchoïque ouverte montrent que certains dispositifs silencieux permettent une réduction de bruit pouvant aller jusqu'à 19 dB (141 dB par rapport aux 160 dB du générateur sans silencieux) mais au détriment du temps de gonflage qui est accru jusqu'à 190 ms (au lieu de 40 ms). Avec le générateur à aspiration le gain en bruit de 14 à 19 dB s'accompagne d'une augmentation de temps de gonflage moins importante qu'avec les silencieux (cf. Fig. 7).

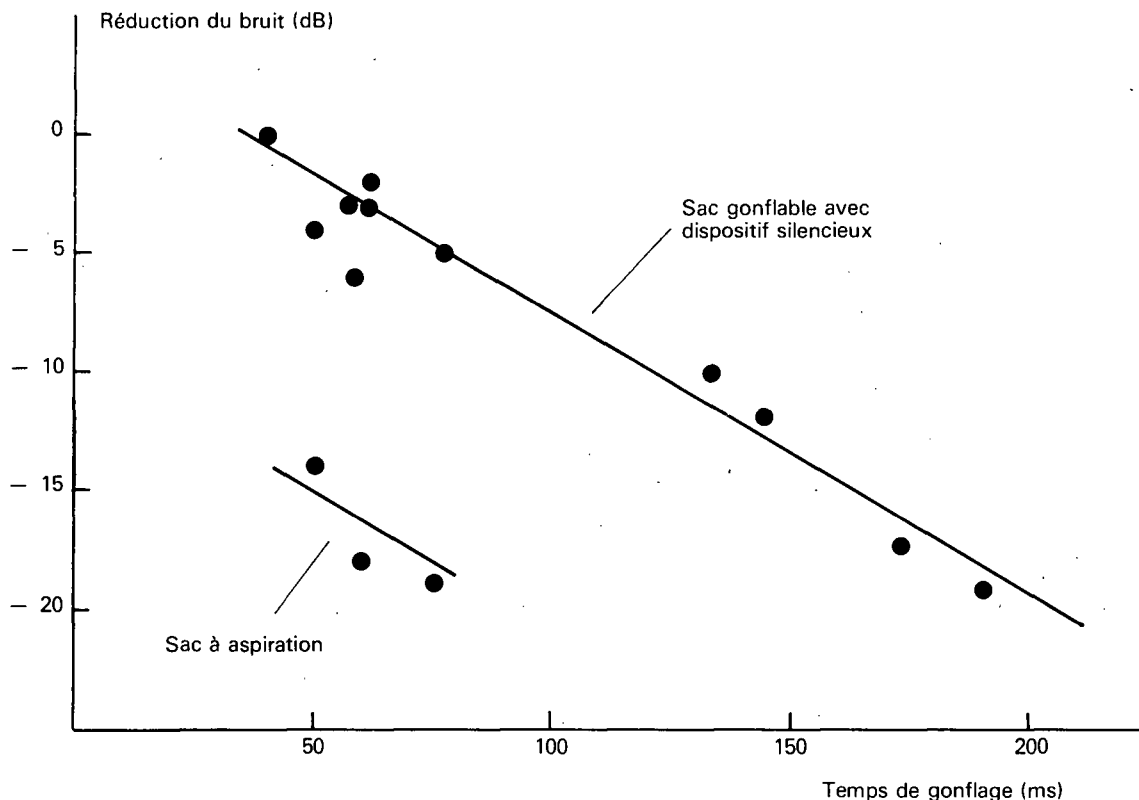


FIGURE 7

L'étude de la surpression a été faite dans l'habitacle d'un véhicule américain en essayant plusieurs ouvertures de vitres avec soit le générateur sans silencieux; soit le générateur à aspiration. Les essais ont été analysés en se rapportant aux critères proposés par BOLT, BERANEK et NEWMAN (2). Ils font apparaître que les composantes de bruit (durée B) sont plus dangereuses que celles de surpression (durée A) pour les deux types de générateurs. Le générateur à aspiration réduit le pourcentage de la population risquant des dommages auditifs de 13 % (générateur simple) à 0,5 %. De plus, il ne semble pas que l'ouverture des vitres du véhicule permette une réduction des risques dus au bruit ou à la surpression bien que dans ce dernier cas, on note des modifications de temps de montée du signal.

De son côté, RICHTER (12) a mené une étude plus fondamentale sur les effets de la pression locale brusque du gonflage sur l'oreille et la membrane tympanique. Il utilise un modèle animal vivant, le singe écureuil adulte ou enfant, qui présente un système auditif semblable à celui de l'homme. Pour créer une simulation adéquate du traumatisme occasionné par le sac gonflable, un petit sac a été fabriqué et monté sur un simulateur de choc pneumatique. Ce dispositif devant lequel est placé l'animal, une oreille tournée vers le sac, permet de faire varier la vitesse spécifique pour la simulation de la cinématique de l'accident (Fig. 8).

Les potentiels d'action du nerf cochléen mesurés avant, immédiatement après et plusieurs semaines après le test, ainsi que l'apparence de la membrane montrent qu'aucun dommage permanent de l'ouïe ni perforation du tympan ne sont intervenus à des vitesses de déploiement allant jusqu'à 45 m/s et avec des intensités de bruit de 150 dB. L'auteur conclut que de légers déplacements de seuils d'audition peuvent être attendus chez l'homme dans le cas où le sac vient frapper une oreille directement mais qu'on ne peut trouver aucun risque pour les structures de l'oreille moyenne.

Ainsi, ces récentes études tendent à prouver qu'il subsiste peu de risques pour le système auditif des passagers de véhicules américains équipés de sac gonflable.

## II.2. EFFETS TRAUMATISANTS SUR L'HOMME

Des essais de sac gonflable sur volontaire ou sur animal vivant ont été pratiqués dès les premiers prototypes imaginés afin de démontrer que le sac gonflable, s'il est supérieur à la ceinture de sécurité en termes de critères biomécaniques usuels, ne présente pas d'effets secondaires dangereux.

Ainsi, SMITH (17) réalisant des essais sur volontaires pour General Motors a noté de légères contusions aux membres supérieurs ou à la face. Lors d'une deuxième série d'essais sur volontaires (SMITH, cf. I), une étude plus poussée des modifications biologiques possibles a été effectuée par GREER (6). Il releva des taux d'enzymes dans le sang (CPK, LDH et SGOT) sur 10 volontaires exposés à des décélérations de 20-22 G (sur le banc d'essai). Pour des vitesses d'impact atteignant 48 km/h, les volontaires n'ont subi que des blessures peu sévères (érytèmes, abrasions ou contusions) sans qu'on note de modification significative des taux d'enzymes dans le sang. Mais les sensations rapportées par chaque volontaire après essai sont intéressantes. Ils ont indiqué que le nez et la face les cuisaient, qu'ils avaient des maux de tête et des douleurs au cou. De plus, certains se sont plaints de la région abdominale et des genoux.

Malgré ces quelques remarques, ces résultats très probants de l'efficacité du sac gonflable sont à rapprocher de l'expérience conduite par GM qui a équipé une flotte de 1.000 voitures de sacs gonflables. SMITH (15) fait le bilan, une année après après la mise en service, des accidents survenus pour plus de 30 millions de kilomètres. Le déclenchement du sac gonflable a été satisfaisant dans les cas suivants : 9 accidents sévères nécessitant le déploiement du sac et 230 accidents sans gravité pour lesquels le déploiement n'est pas prévu (sévérité inférieure à un choc de 20 km/h). Un seul cas de déploiement intempestif a été noté qui n'a eu aucune conséquence grave. L'analyse des 9 cas d'accidents sévères dans lesquels le gonflage a été déclenché (chocs frontaux ou frontaux obliques  $\pm 30^\circ$ ) indiquent que le sac gonflable a apporté une bonne protection. Un cas de mort a été enregistré, celle d'un enfant mais n'a pu être clairement expliquée, sa place dans la voiture au moment du choc étant incertaine. Par ailleurs, les blessures les plus importantes ont été une fracture du tibia au contact du dispositif de protection des membres inférieurs et une fracture possible du nez qui serait due au contact contre le volant à travers le sac. Les occupants ont subi le plus souvent des contusions des bras, avant-bras et genoux, des douleurs musculaires dans le dos et les épaules, ainsi que des ecchymoses ou égratignures de la face près des yeux qui sont à rapprocher des résultats obtenus lors des essais avec volontaires.

L'apparition de ce type de blessure qui pourrait présenter des dangers a conduit KIKUCHI (9) à réaliser une expérimentation sur animaux vivants (des lapins). Il place l'animal devant le sac à gonfler, de trois quarts, son œil étant maintenu ouvert par des points de suture, considérant que le temps de gonflage est trop court pour avoir le réflexe de fermer l'œil. Le générateur de gonflage est une réserve de gaz sous pression à 3 valves d'échappement permettant d'ajuster la vitesse des gaz de 5 à 81 m/s. Ce dispositif permet d'analyser

Position avant  
gonflage  
du sac



Impact du sac  
contre l'oreille  
du singe



Impact du sac  
en fin  
de gonflage



FIGURE 8

l'influence des paramètres tels que la vitesse de gonflage, la pression interne du sac et l'impulsion au moment du contact, sur les lésions du globe oculaire, de l'orbite ou de la peau faciale. KIKUCHI propose des valeurs limites de ces paramètres qui pourraient prévenir tout danger pour l'œil et la face.

Ainsi, si le sac gonflable présente une bonne protection pour l'homme lors de chocs frontaux sévères, il reste important de bien l'adapter en fonction du véhicule afin de minimiser les risques secondaires qui sont à craindre au niveau de la face de l'occupant.

### II.3. PROTECTION DES ENFANTS

Parallèlement aux études faites sur la tolérance de l'homme au sac gonflable, l'accent a été mis sur le problème des enfants qui peuvent voyager dans le véhicule en position debout ou mal assise, face à un sac gonflable. Une première étude de PATRICK (11) a consisté à exposer des babouins de poids et tailles proches de ceux d'un enfant de 3 ans, au déploiement d'un sac gonflable alors qu'ils se trouvent dans des postures anormales. Diverses situations testées ont montré que les risques ne sont pas négligeables en particulier lorsque l'enfant est debout, à genou sur le siège avec les mains en appui sur la planche de bord ou assis au bord du siège. Il semblerait néanmoins que le contrôle de la pression et du débit de gonflage pourrait minimiser ces risques.

Plus récemment, WU (21) a abordé le problème de l'interaction du sac gonflable et de l'enfant debout à l'aide d'un modèle mathématique qui, à partir de l'analyse unidimensionnelle de la dynamique du flux gazeux, permet de calculer les forces exercées sur le thorax simulé par un cylindre. Ce modèle simple indique que l'impact de la partie non gonflée du sac sur le corps entraîne des pics de décélération importants qu'on pourrait réduire en contrôlant la pression initiale lors du gonflage ou en étudiant le mode de pliage du sac.

ALDMAN (1) a étudié les effets combinés du déploiement du sac et du choc sur un modèle animal peu employé pour ce genre de tests, le porc. L'animal pesant de 14 à 15 kg est maintenu de profil à 10 ou 15 cm de la planche de bord d'un véhicule, simulant un enfant de 3 ans debout (cette posture a été choisie pour éviter que les pattes et le museau ne dévient le sac lors du gonflage). Les essais ont été réalisés sur simulateur de choc à 28 km/h (soit un pic de décélération de 12 G correspondant au seuil de déclenchement). Un générateur hybride gonflait un sac de 190 l selon trois formes d'impulsions.

Dans tous les cas, les porcs ont subi des lésions sévères ou mortelles localisées au foie, au cœur ou aux poumons. Ceci incite l'auteur à conclure que le déploiement du sac peut être dangereux pour un enfant qui s'en trouve proche.

### II.4. CONCLUSION

De nombreuses études ont été entreprises sur les effets secondaires possibles du sac gonflable, ce qui n'avait pas eu une telle importance pour la ceinture de sécurité. Elles ont permis d'étudier la plupart des risques secondaires que le sac gonflable pouvait engendrer sur l'occupant du véhicule et de montrer qu'il était probable qu'avec les types de sacs les plus récents, les dangers soient très faibles. Il importe cependant de remarquer que la mise au point du sac gonflable doit porter tout particulièrement sur le gonflage dont il faut réduire le pic de mise en pression afin de minimiser les risques pour la face du passager ou pour un enfant mal assis. Rappelons enfin que les problèmes qui avaient été soulevés avec les premiers dispositifs par la température du sac (risques de brûlures) et la toxicité des gaz semblent avoir été résolus par l'adoption des générateurs de gaz à aspiration d'air ambiant (Etude bibliographique ONSER-4).

### **III.2. EFFICACITÉ COMPARÉE DU SAC GONFLABLE ET DE LA CEINTURE DE SÉCURITÉ. ETUDE SUR VÉHICULE RÉALISÉE PAR L'ONSER, contrat avec le Ministère de l'Équipement.**

Le but d'une étude de l'ONSER, réalisée en 1974 et 1975 a été d'évaluer les possibilités de protection du sac gonflable par rapport à celles de la ceinture 3 points dans un véhicule subcompact au cours d'accidents réalistes simulés.

### **III. ADAPTATION DU SAC AU VÉHICULE EUROPÉEN**

Les premières études d'efficacité du sac gonflable ont montré qu'il était difficile d'adapter ce dispositif de protection au véhicule européen moyen (masse de 1.000 kg environ), alors qu'il avait été étudié pour un véhicule américain (SEIFFERT, 15). Or il semble que les constructeurs automobiles européens font des recherches plus importantes sur l'amélioration de la ceinture de sécurité, largement diffusée et de plus en plus portée. Cependant, quelques études de mise au point sont entreprises mais nous devons déplorer l'absence d'informations récentes sur les expériences des constructeurs concernant le sac gonflable.

#### **III.1. PROBLEMES D'ADAPTATION AU VÉHICULE EUROPÉEN DE TAILLE MOYENNE**

Les conditions de choc et d'environnement du véhicule européen présentent des différences avec celles du véhicule américain de taille standard telles qu'il ne suffit pas de réduire les dimensions du sac gonflable pour obtenir un dispositif de protection satisfaisant. Deux points interviennent : d'une part, la décélération du véhicule est de plus courte durée et de plus grande amplitude pour le petit véhicule et, d'autre part, l'espace disponible dans l'habitacle pour décélérer l'occupant est généralement beaucoup plus réduit. Il apparaît donc nécessaire que le sac gonflable se déploie dans un temps plus court de façon à minimiser le mouvement libre de l'occupant avant qu'il n'entre en contact avec le sac. De plus, la forme du sac et la direction de gonflage doivent être optimisées de façon à décélérer l'occupant aussi tôt que possible après son contact avec le sac.

Ces conditions de fonctionnement nécessitent donc des études particulières des composants du sac gonflable : le détecteur, le générateur et le sac (cf. Etude bibliographique ONSER-4). Rappelons de plus les aménagements de structures du véhicule qu'implique le montage du dispositif : colonne de direction à absorption d'énergie, support indéformable de la planche de bord sur lequel est fixé le générateur, pare-brise en verre feuilleté solidaire de l'encadrement qui sert d'appui au sac au cours du choc.

#### **III.2.1. Méthodologie**

Le véhicule choisi est une Renault R12 (environ 1.000 kg) qui présente quelques modifications par rapport au modèle de série afin d'obtenir une meilleure efficacité des dispositifs de protection utilisés : renfort de plancher au passage de roue avant, prolongation des longerons sous le plancher arrière. Tous les véhicules sont équipés de pare-brise collés en verre feuilleté et de sièges à appui-tête incorporé. En outre, l'adaptation du sac gonflable au véhicule a nécessité une rigidification du tablier et une colonne de direction à axe rétractable sous l'effet du choc.

Deux mannequins occupent les places du conducteur et du passager avant. Tous les essais ont été réalisés avec des mannequins Alderson VIP 50 A à cou caoutchouc et le choc contre barrière fixe a été doublé par des essais avec des mannequins ONSER qui comportent des cous métalliques (principales caractéristiques à la Fig. 23). Dans tous les cas, les mannequins sont équipés de capteurs tridirectionnels JPB 100 G dans la tête et JPB 50 G dans le thorax et de capteurs d'effort axial sur le fémur.

Les autres mesures concernent les efforts de chaque sangle de ceinture et la décélération du véhicule suivant deux ou trois directions selon les possibilités (les capteurs étant fixés au plancher sous le siège du conducteur). Le choc est visualisé grâce à sept caméras (Pentazet et Sonic) dont deux peuvent être embarquées.

Conventionnellement les axes XYZ de la tête, du thorax ou du véhicule seront respectivement les axes antéro postérieur, latéral gauche-droite et vertical vers le haut.

#### **III.2.2. Choix des accidents simulés**

Le choix des types de chocs à réaliser a été déterminé par l'analyse des enquêtes statistiques nationales (22) et de l'enquête bidisciplinaire effectuée au Laboratoire des Chocs de l'ONSER (3).

Ont été retenus :

- le choc frontal contre barrière fixe à 48 km/h qui est un choc standard des procédures d'homologation des différents pays ;

- le choc frontal entre deux véhicules désaxés (les deux véhicules sont en mouvement à 48 km/h, le choc impliquant le tiers gauche de la structure du véhicule);
- le choc contre glissière de sécurité à 80 km/h sous incidence de 30° qui est un accident type rencontré sur autoroute.

La simulation de ces chocs est faite sans modification des véhicules choisis, guidés sur rail, sont propulsés par une fusée à eau chaude. Dans le cas de deux véhicules, la synchronisation est assurée par un câble qui les relie.

### III.2.3. Dispositifs de protection

**La ceinture de sécurité** est une ceinture 3 points Association Peugeot-Renault dont la sangle baudrier comporte un dispositif limiteur d'effort à 5 brins textiles. Une seule sangle forme la rétention du bassin et du thorax, coulissant dans un passant au niveau de la boucle. En complément de la ceinture pour le conducteur, une structure absorbante est disposée au centre du volant en cas d'impact de la tête.

**Le sac gonflable** choisi est un dispositif dont l'adaptation a été étudiée par la Société Renault conjointement avec les fabricants des composants. Il s'agit d'un système entièrement passif comprenant un générateur pyrotechnique (SNPE GSS 60) et un sac IRVIN en tissu de nylon non enduit pourvu de zones calibrées de tissu poreux permettant l'échappement des gaz.

Côté conducteur, le générateur est fixé au centre du volant. Une structure amortissante en mousse rigide de polyuréthane est située sous le tableau de bord pour protéger les genoux.

Côté passager, trois générateurs sont utilisés pour gonfler un sac de 180 l environ qui a pour but d'assurer la retenue globale de l'occupant (Fig. 9).

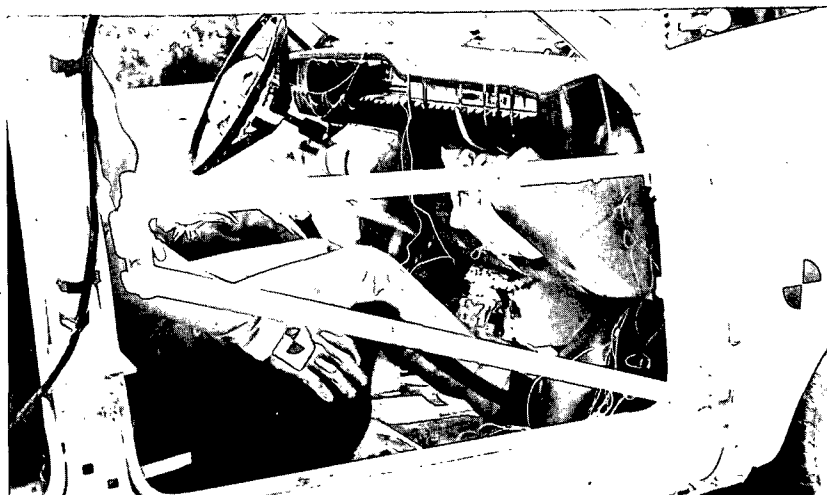


FIGURE 9

La mise à feu du dispositif est réalisée par l'intermédiaire d'un "timer" qui assure le début du gonflage 15 ms après le début du choc. Cette solution a été utilisée dans la crainte d'un manque de fiabilité d'un détecteur de chocs non adapté au véhicule.

Pour les deux dispositifs testés, les sièges des occupants avant sont placés à 4 cm de la position maximum arrière, le dossier faisant un angle de 20° avec l'assise.

### III.2.4. Comparaison d'efficacité des deux dispositifs de rétention

Sept essais ont été réalisés dans les conditions exposées avec les mannequins Alderson permettant de comparer l'efficacité du sac gonflable et de la ceinture utilisés; à partir des critères biomécaniques usuels (décélération tête et thorax, indices de sévérité, efforts fémur, cinématique...) (Fig. 10).

Analysons tout d'abord le déroulement des essais par type de choc.

#### III.2.4.1. Choc frontal contre barrière fixe

Ce choc impliquant toute la structure avant du véhicule est très sévère. La décélération longitudinale moyenne est de 20 G avec des pics de 40-45 G (Fig. 11), la déformation maximum du véhicule étant de 0,50 m environ.

#### Rétention par ceinture de sécurité :

La vitesse initiale du véhicule est de 52,5 km/h. Au cours de cet essai, on constate une ouverture du bouclage de la ceinture du conducteur lors de la mise en charge de celle-ci. Cette défaillance peut être due soit à un défaut mécanique soit à une mauvaise mise en place. Il ne sera donc pas possible d'analyser le comportement du conducteur.



Figure 10 : RESULTATS

TYPE DE CHOC	RETENUE	POSITION	HEAD Acceleration (G)						Déplacement cm	THORAX Acceleration (G)		EFFORT CEINTURE (DaN)			REMARQUES
			R	X	Y	Z	SI	X		Z	Epaule	Brin intérieur	Brin Extérieur		
Choc frontal	Ceinture 1 A 11	Passager	122	86		118	3600	54	76	34	860	1270			
Choc frontal	Sac gonflable 2 A 10	Passager	118	116	30	104	2300	65	65	69				Impact tête/encadrement pare brise	
Choc frontal décalé	Ceinture 1 C 6	Conducteur	100	97	15	80	1500		59	35	660	920		Impact tête/volant	
		Passager	72	61	38	62	950		22	45	670	820	640		
Choc frontal décalé	Sac gonflable 2 C 9	Conducteur	104	50	84	62	775		51	69				Impact tête/pare brise " "	
		Passager	85	44	60	68	440		40	27					
Choc contre glissière	Ceinture 1 B 5	Conducteur		8	10	10			8	7	120	200	100	Impact tête-encadrement vitrage latéral	
		Passager		30	50	25			5	20	140	180	100		Impact tête/épaule conduct.
Choc contre glissière	Sac gonflable 2 B 4	Conducteur		30	50	47			15	30				Impact tête-encadrement vitrage latéral	
		Passager		12	14	18			10	14					

FIGURE 10

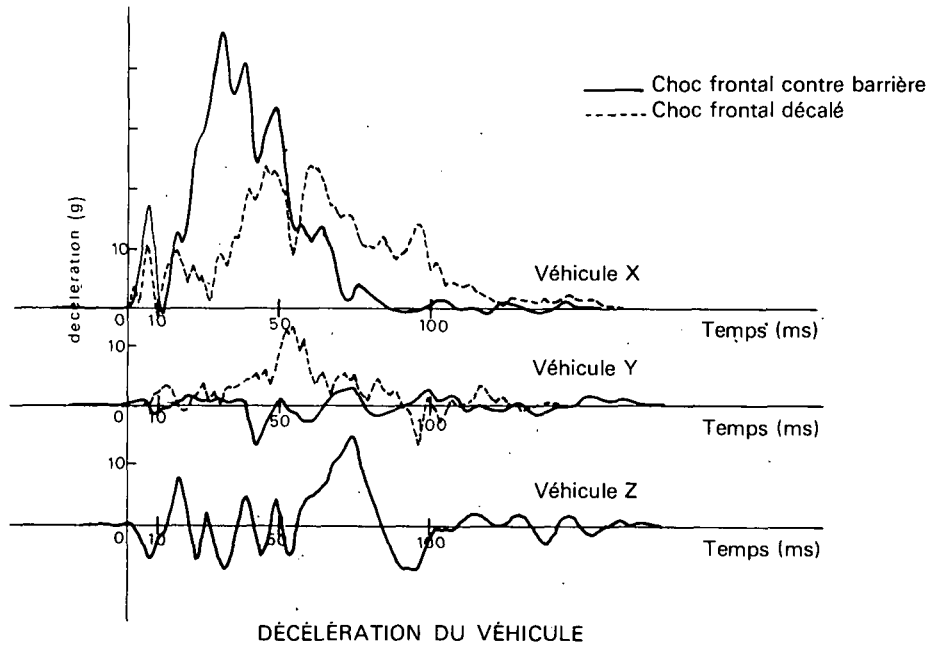


FIGURE 11

Décélération du véhicule

Du côté passager, la ceinture conduit à une cinématique acceptable, en particulier celle de la tête qui ne subit pas d'impact contre la structure. Mais la décélération de la tête est relativement élevée (86 Gx et 118 Gz avec une résultante de 122 G) (Fig. 12). Les genoux heurtent légèrement la planche de bord tandis que le bassin se déplace jusqu'à l'extrémité avant du siège. Ceci n'est pas vraiment un sous marinage, mais plutôt un long déplacement amplifié par l'allongement de la sangle après la rupture des 5 brins du limiteur d'effort. On peut cependant noter que ce dispositif, qui a fonctionné entre 35 et 65 ms après le début du choc, évite des efforts trop importants sur la sangle baudrier (charge maximum de 8.600 N).

#### Rétention par sac gonflable :

Le véhicule utilisé dans ce cas est un modèle d'exportation qui présente quelques modifications (faux tunnel de boîte à vitesse, pare-chocs plus hauts). Afin d'améliorer les possibilités du sac gonflable, la colonne de direction a été désaccouplée du boîtier, suite aux constatations faites lors d'essais précédents.

L'essai a lieu avec une vitesse initiale de 52 km/h. Les enregistrements des mesures prises sur le conducteur n'ont pas été obtenus, si bien que seule sa cinématique sera analysée.

Le passager entre en contact avec le sac, 50 ms après le début du choc mais le sac est mal déployé dans sa partie supérieure. La tête décrit une trajectoire haute et heurte l'encadrement du pare-brise entraînant une décélération importante (116 Gx et 104 Gz donnant une résultante de 118 G). Ensuite, la tête heurte le pare-brise. La décélération du thorax est élevée (65 Gx et 69 Gz) (Fig. 13) alors que le bassin atteint l'extrémité du siège, les genoux étant maintenus par le sac.

Le conducteur a une trajectoire haute similaire à celle du passager. Comme le sac ne retient que le thorax, la tête heurte l'encadrement du pare-brise, entraînant une hyperextension du cou. Ce mouvement semble prédire une décélération élevée au niveau de la tête. Le genou droit heurte la colonne de direction (Fig. 14). Notons qu'après l'essai, la colonne de direction n'est pas remontée et le volant se trouve repoussé contre le tableau de bord.

#### Comparaison des résultats :

Dans ce type de choc, la protection par sac gonflable semble insuffisante particulièrement au niveau de la tête. Cela est dû à la trajectoire haute

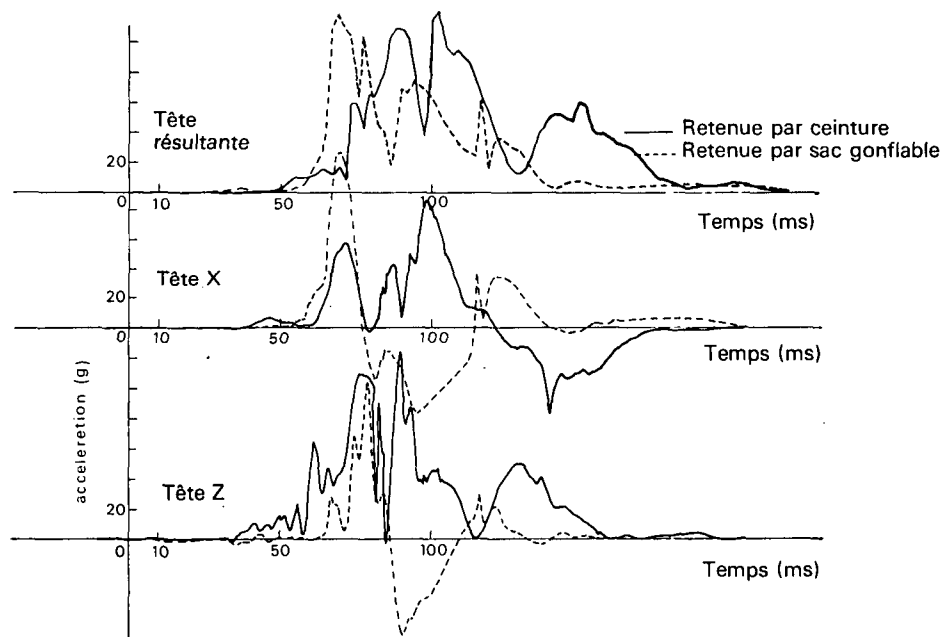


FIGURE 12

Choc frontal contre barrière  
Accélération de la tête du passager

du mannequin dans l'habitacle, sans doute amplifiée par le mouvement vertical du véhicule au cours du choc.

La ceinture 3 points, par contre, semble efficace pour le passager avec, cependant, des décélérations de la tête élevées. Cependant le mouvement relatif du bassin devrait être réduit et on peut supposer que celui-ci est accru par la possibilité qu'a la sangle de coulisser au niveau de la boucle en plus de l'élongation de la sangle elle-même.

### III.2.4.2. Choc frontal entre deux véhicules désaxés

Ce choc pour lequel chaque véhicule a une vitesse de 48 km/h implique le tiers gauche de la structure avant (Fig. 15). Dans un premier temps, les véhicules conservent un mouvement longitudinal jusqu'à une déformation de 1 m de structure. Puis les véhicules commencent à tourner (Fig. 16). Les décélérations maximum des véhicules sont d'environ 25 Gx et 15 Gy (Fig. 11).

#### Rétention par ceinture de sécurité :

La vitesse initiale des véhicules est de 48 km/h et environ 100 ms après le début du choc débute la rotation jusqu'à 43° de la position initiale (Fig. 17).

Le conducteur a une trajectoire rectiligne dans l'habitacle, légèrement décentrée vers la gauche. Quatre des brins du limiteur d'effort se sont rompus. Le thorax heurte la jante du volant dans sa partie inférieure ce qui induit une décélération élevée (59 Gx), tandis que la tête heurte la jante du volant en haut et à gauche avec un pic de décélération de 100 G (Fig. 18). Il est possible que le déplacement accru par l'action du limiteur d'effort ait favorisé ces impacts.

Les tensions de sangles ne sont pas trop élevées (Fig. 19) et on note un impact léger des genoux contre la planche de bord.

Le passager glisse légèrement de la sangle baudrier pendant la rotation du véhicule. Tous les brins du limiteur d'effort cèdent, augmentant le déplacement du corps si bien que la tête heurte la planche de bord. Mais le pic de décélération n'est pas très élevé (61 Gx, 38 Gy avec une résultante de 72 G) (Fig. 20). Mais notons que la position du point d'ancrage sur le pilier, avancée par rapport à l'épaule est défavorable à une bonne protection dans ces conditions de choc.

La décélération du thorax est acceptable (45 G), indiquant un bon fonctionnement des limiteurs d'effort (Fig. 21). On ne note pas d'impact des genoux.

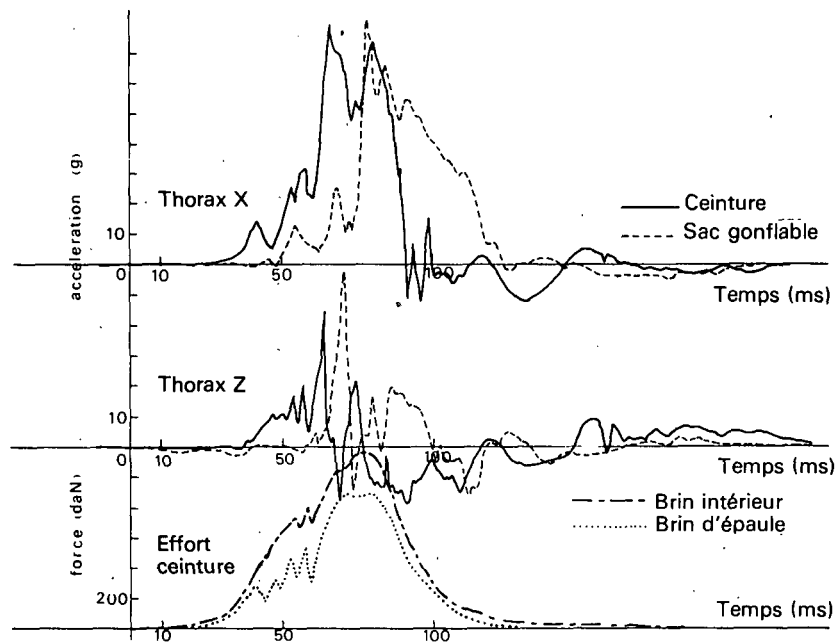


FIGURE 13

Choc frontal contre barrière  
Accélération thorax et effort ceinture du passager



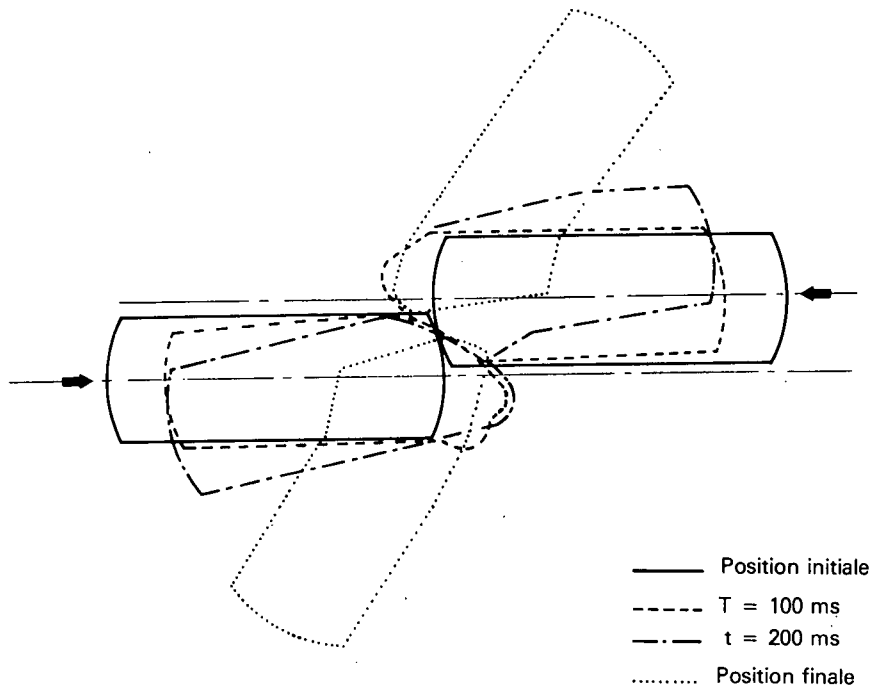
FIGURE 14

Choc frontal contre barrière  
Véhicule pendant impact



FIGURE 15

Choc décalé  
Véhicules avant impact



**FIGURE 16**  
**Choc frontal décalé**  
**Rotation des véhicules durant l'impact**



**FIGURE 17**  
**Choc frontal décalé**  
**Véhicule après impact**

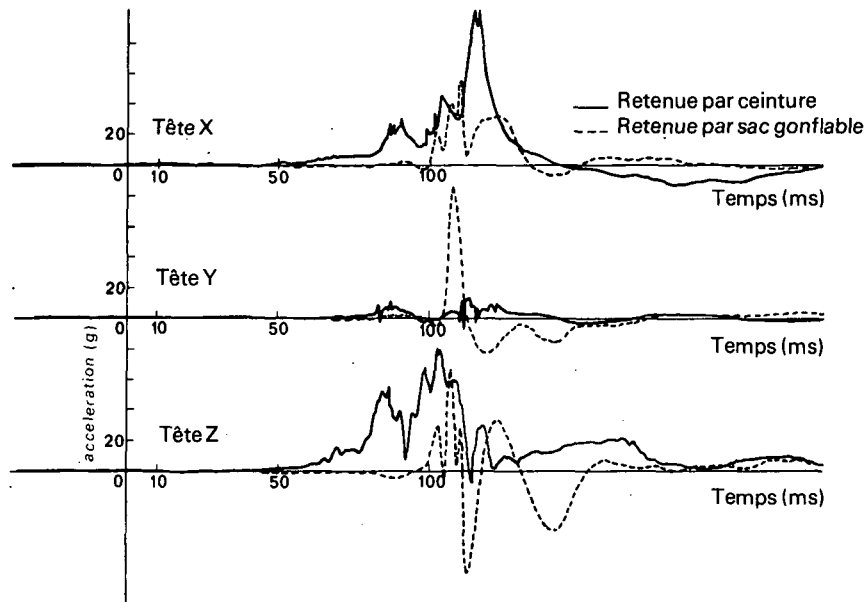


FIGURE 18

Choc frontal décalé  
Accélération de la tête du conducteur

EFFICIENCY COMPARISON

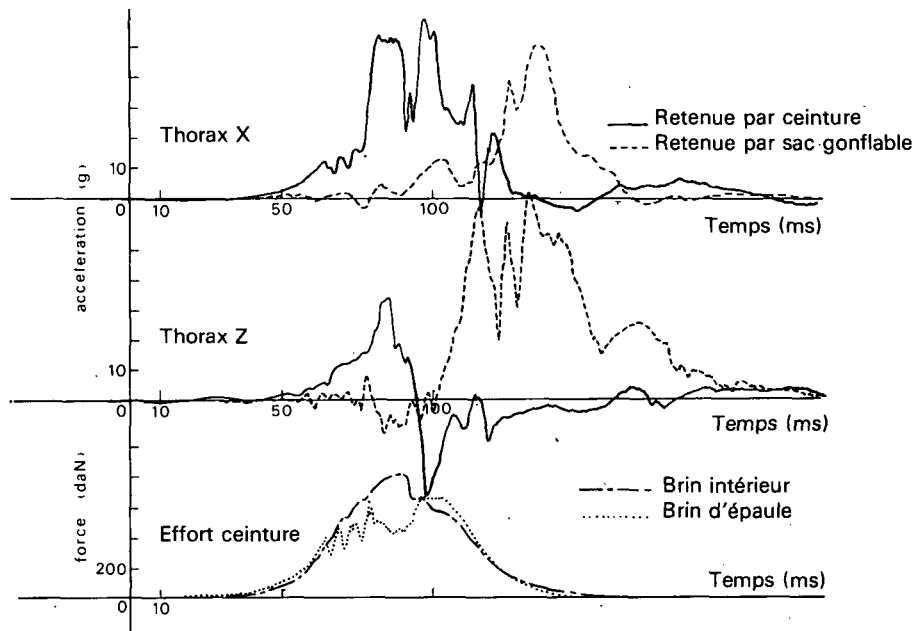
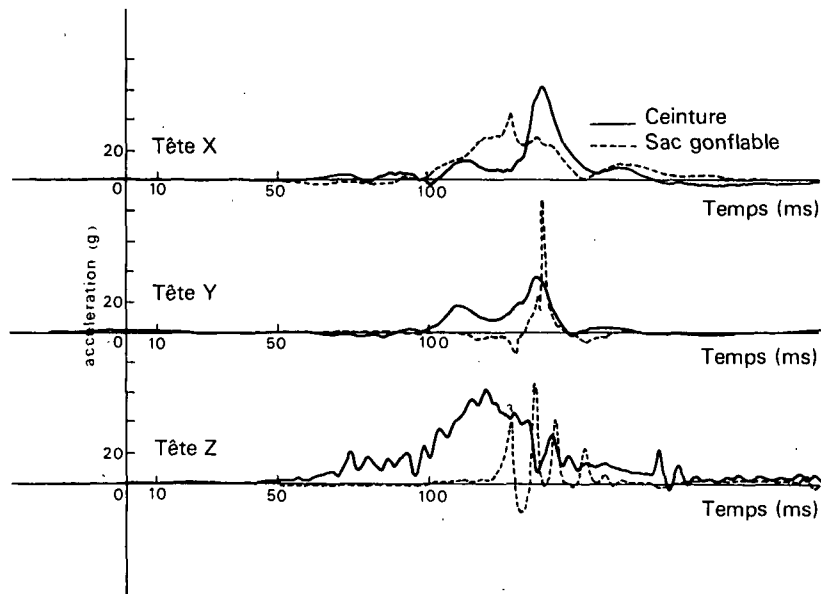
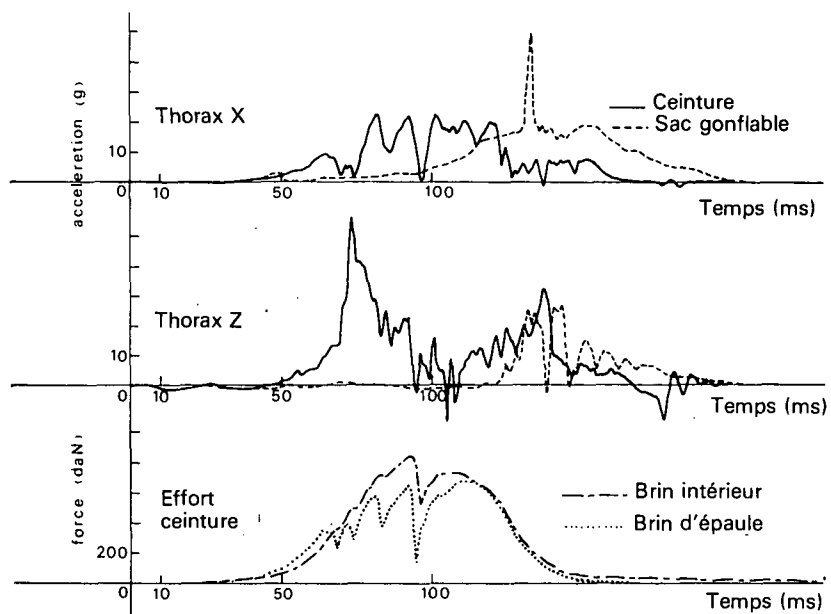


FIGURE 19

Choc frontal décalé  
Accélération thorax et effort ceinture du conducteur



**FIGURE 20**  
**Choc frontal décalé**  
**Accélération de la tête du passager**



**FIGURE 21**  
**Choc frontal décalé**  
**Accélération du thorax et effort ceinture pour le passager**

### Rétention par sac gonflable :

La vitesse initiale des véhicules est de 48 km/h. Leur décélération est faible (18 Gx, 10 Gy), mais la rotation est plus importante que précédemment (90°), ce qui pourrait être dû à un léger écart de l'un des véhicules à la sortie du rail de guidage.

Le gonflage du sac a débuté 20 ms après le début de choc, les sacs se trouvant correctement gonflés à 50 ms.

Le conducteur entre en contact avec le sac à 80 ms. Pendant son mouvement, la tête glisse du sac et heurte le pare-brise en haut à gauche avec une décélération élevée (56 Gx, 84 Gy et 70 Gz avec une résultante de 104 G) (Fig. 18). Le thorax est insuffisamment protégé et casse le volant après le dégonflage du sac sous sa pression. Les décéléérations sont alors importantes (51 Gx et 69 Gz). Le mouvement de retour est brusque et la tête vient heurter l'encadrement supérieur de la portière. On note une remontée trop importante de la colonne de direction.

Le passager a une protection insuffisante également. Sa tête se trouve décentrée par rapport au sac et heurte le pare-brise à travers le sac à 130 ms avec une décélération élevée (85 G résultante) (Fig. 20). La vitesse de retour importante indique une faible protection et le mannequin heurte le pied milieu avec la tête.

### Cas d'un déclenchement prématuré du sac :

Lors d'un essai, la mise à feu des générateurs a été déclenchée fortuitement 1 seconde avant le choc des véhicules. Il est intéressant d'analyser cet essai car ce phénomène pourrait se produire lors d'accidents à chocs multiples.

Or du fait de la conception du sac gonflable utilisé (parois poreuses), lors du choc sévère des véhicules, les sacs sont partiellement dégonflés et ne peuvent assurer de rétention efficace.

Lors de cet essai, la vitesse initiale est de 48 km/h et les véhicules tournent de 50° en fin de choc.

La tête du conducteur heurte le pare-brise et son thorax le volant, subissant ainsi de fortes décéléérations (114 Gx et 106 Gz sur la tête et 85 Gz sur le thorax). La structure amortissante est trop sollicitée pour assurer une protection correcte des genoux.

Le passager entre en contact avec le sac dégonflé à 70 ms. Sa tête heurte le pare-brise à travers le sac en hyperextension. Les fortes charges des fémurs correspondent aux impacts contre le support des générateurs.

### Comparaison des résultats :

Pour ce type de choc, les deux dispositifs de protection présentent des inconvénients.

La ceinture 3 points a apporté une bonne protection du passager qui était assis du côté

opposé au choc même si son déplacement relatif a été grand. Mais pour le conducteur, la protection du thorax et de la tête a été insuffisante alors que celle des membres inférieurs et du bassin a été bonne. Il apparaît que le limiteur d'effort a permis la réduction de la décélération du passager (indice SI de la tête inférieur à 1.000) tandis qu'il a contribué à l'impact sévère de la tête du conducteur contre le volant.

Avec le sac gonflable, les faibles niveaux de décélération et d'indices de sévérité semblent indiquer une bonne efficacité, avec amortissement des impacts de la tête contre le pare-brise et du thorax contre le volant. Mais les conditions limites de protection par ce dispositif sont sans doute proches. De plus, l'essai avec déploiement prématuré montre que le sac gonflable utilisé ne permettrait pas une bonne protection lors de chocs de longue durée et de chocs à impacts multiples.

### III.2.4.3. Choc contre glissière de sécurité

Le choc sous incidence de 30° est caractérisé par un premier impact du véhicule contre la glissière qui se déforme. Le véhicule, après une rotation rapide, longe cette glissière qui forme une poche. Puis il quitte la glissière sous un angle d'environ 10° (Fig. 22). Ce choc à gauche qui dure environ 500 ms entraîne peu de déformations du véhicule (aile et suspension) avec de faibles décéléérations (8 Gx environ et 5 à 7 Gy).

### Rétention par ceinture de sécurité :

La vitesse initiale du véhicule est de 77 km/h. Le conducteur assis du côté du choc présente un mouvement de faible amplitude avec des décéléérations de la tête ou du thorax inférieures à 10 G. Mais on note un impact du fémur contre la portière (1.200 N de force axiale) et la tête passe momentanément à travers la vitre.

La cinématique du passager montre l'influence de la rotation du véhicule sur les performances de ce système asymétrique de rétention. En effet, le thorax échappe la sangle baudrier jusqu'à ce que la tête vienne heurter l'épaule du conducteur (pic de décélération de 50 Gy). Ensuite le passager se déplace vers l'avant, maintenu uniquement par la ceinture sous abdominale.

### Rétention par sac gonflable :

La vitesse initiale est de 82,5 km/h. Les sacs gonflables, déclenchés par un détecteur INERTIA SWITCH commencent à se gonfler 19 ms après le début de choc et sont totalement gonflés à 50 ms.

Le conducteur a une cinématique tout à fait comparable à la précédente. Sa tête vient heurter l'encadrement supérieur de la portière (décélération résultante de 69 G). Le mannequin n'entre à aucun moment au contact du sac.





FIGURE 22

Choc contre glissière de sécurité  
Véhicule après impact

Le passager n'est pas protégé par le sac qui lui fait face. Il se déplace latéralement jusqu'à ce que son épaule heurte celle du conducteur déviant la cinématique vers l'avant du véhicule. Ainsi la tête du passager se trouve bien décélérée par le sac conducteur. Le fémur droit subit une forte compression par impact contre le support des générateurs.

#### Comparaison des résultats :

Pour ce type de choc à faible décélération du véhicule, il apparaît que les deux dispositifs testés n'ont pas rempli correctement leurs fonctions.

La ceinture de sécurité, si elle assure une bonne protection des membres inférieurs, ne permet pas d'éviter les impacts de la tête. Pour l'occupant assis du côté du choc, vu la faible distance le séparant de l'habitacle, il semble que des structures amortissantes placées sur les encadrements complèteraient efficacement les ceintures.

Le sac gonflable ne participe pratiquement pas à la retenue du conducteur et son efficacité est aléatoire pour le passager qui est situé du côté opposé au point de choc.

#### III.2.5. Influence du mannequin

Deux essais supplémentaires ont été réalisés avec des mannequins différents dans la configuration du choc frontal contre barrière fixe : un essai avec ceinture de sécurité et un essai avec sac gonflable.

Le mannequin ONSER utilisé a une taille assise et un poids un peu plus faibles que ceux de l'ADERSON et il comporte une articulation du bassin (Fig. 23).

Mannequin		
Dimensions (m)	Onser	Alderson
Hauteur du creux poplité	0.425	0.439
Hauteur genou (assis)	0.540	0.543
Longueur fesse-creux poplité	0.470	0.495
Hauteur position assise	0.890	0.935
Longueur fesse-genou	0.580	0.592
Largeur épaules	0.480	0.455
POIDS (kg)	73.5	74.5

FIGURE 23

Mannequins Alderson et Onser  
Principales dimensions

Il est intéressant de voir que les comportements ont été modifiés lors de ces essais.

#### Rétention par ceinture de sécurité :

La comparaison des trajectoires des passagers avant montre des différences au niveau de la tête et du thorax (Fig. 24). Le thorax du mannequin ONSER a tendance à pivoter autour de la sangle baudrier et le déplacement en avant de la tête est plus grand (0,70 m au lieu de 0,54). Les plus grands degrés de liberté du mannequin ONSER ont sans doute leur importance. Il apparaît de plus que les charges de ceintures (sangle baudrier et brin unitaire) sont différemment réparties pour les deux mannequins.

### Rétention par sac gonflable :

Les différences qui apparaissent entre les deux occupants semblent directement liées à la hauteur assise des mannequins. Les trajectoires du conducteur et du passager montrent une meilleure protection avec le mannequin ONSER (Fig. 25 et 26) puisque la tête du mannequin Alderson passe au-dessus du sac. Ce phénomène a certainement été amplifié par le mouvement vertical du véhicule.

### Comparaison des résultats :

Ces essais montrent la grande influence du mannequin utilisé sur le jugement de l'efficacité du dispositif de rétention. Cette différence est d'autant plus difficile à analyser qu'elle dépend du moyen de rétention utilisé. Dans le cas de la ceinture, les caractéristiques mécaniques telles que la rigidité du thorax et les articulations induisent des différences. Dans le cas du sac gonflable, les différences semblent provenir principalement des caractéristiques dimensionnelles.

### III.2.6. Conclusions

Cette étude de deux dispositifs de protection — la ceinture 3 points et le sac gonflable — a permis d'analyser les problèmes que pose chacun d'eux dans des conditions réalistes d'accidents avec un véhicule européen de taille moyenne.

Il apparaît que la ceinture de sécurité assure une assez bonne rétention dans tous les types de chocs réalisés. Mais la retenue de l'épaule est insuffisante pour assurer une protection sans impact de la tête ou du thorax lors des chocs avec rotation du véhicule. Ce phénomène est sans doute aggravé par le jeu supplémentaire provoqué par le limiteur d'effort ainsi que par la position relativement avancée du point d'ancrage de la sangle d'épaule. De plus, le choc frontal à 50 km/h contre barrière fixe apparaît comme la limite de la ceinture de sécurité utilisée, vu les décélérations élevées enregistrées.

Le sac gonflable choisi pour ces essais (qui était un modèle commercialisable) semble donner différents niveaux de protection selon le type de choc. De bons résultats ont été obtenus lors du choc frontal désaxé pour lequel des impacts de la tête à travers le sac n'ont pas entraîné de décélérations importantes. Par contre en choc frontal contre barrière fixe, la retenue a été insuffisante avec des impacts de la tête contre l'encadrement du pare-brise. De plus, dans tous les types de chocs réalisés, la protection des membres inférieurs est insuffisante. Pour le conducteur, la structure amortissante n'absorbe pas assez d'énergie au niveau de la colonne de direction, pour le passager le sac qui ne

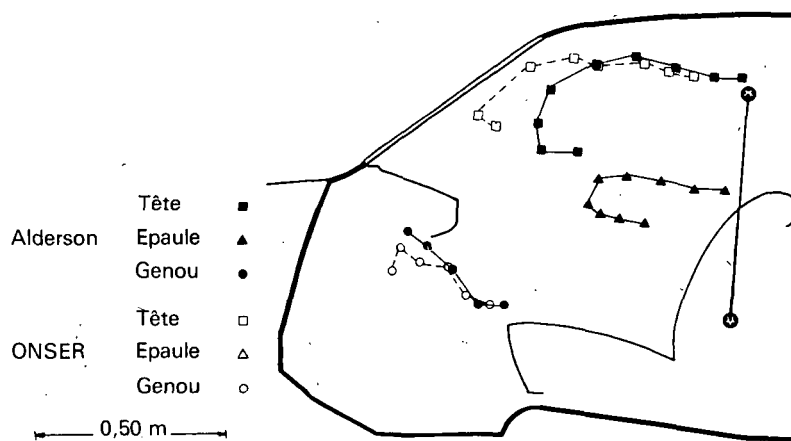
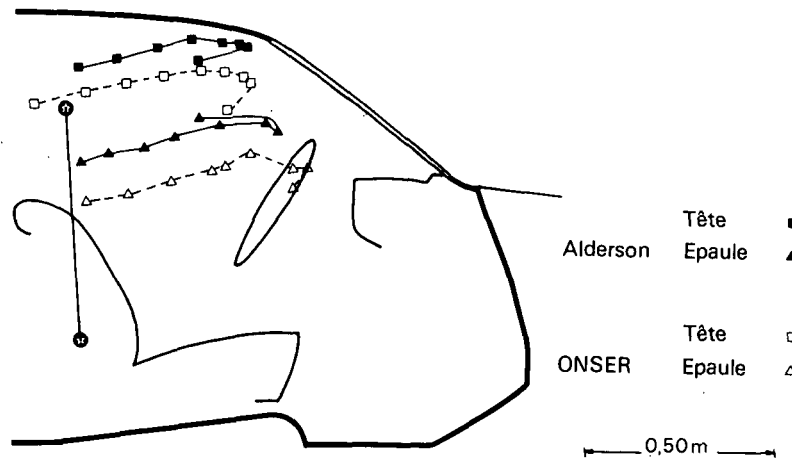
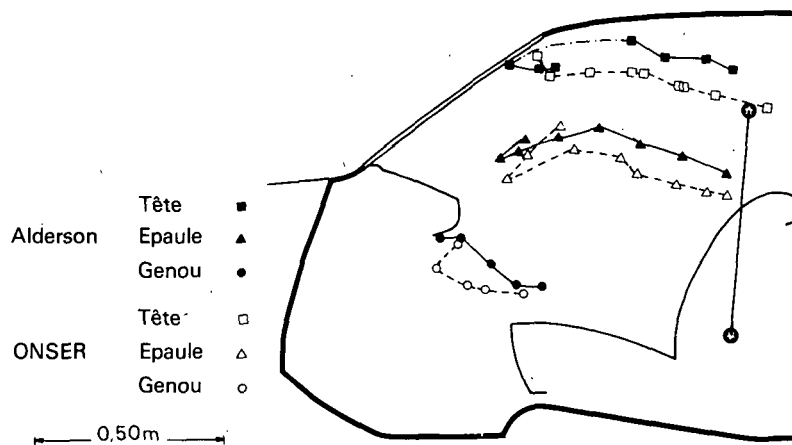


FIGURE 24

Choc frontal contre barrière  
Cinématique du passager retenu par ceinture trois points



**FIGURE 25**  
**Choc frontal contre barrière**  
**Cinématique du conducteur retenu par sac gonflable**



**FIGURE 26**  
**Choc frontal contre barrière**  
**Cinématique du passager retenu par sac gonflable**

comprend qu'un seul compartiment n'a pas empêché des impacts. En fait, on peut se demander si ces résultats n'auraient pas été modifiés en utilisant d'autres dispositifs. En particulier, il est permis de penser que les nouveaux sacs comprenant plusieurs compartiments ont des possibilités de protection meilleures. Il reste néanmoins une difficulté importante dans les véhicules de cette taille au niveau de la distance de décélération disponible qui se trouve très réduite pour la tête.

Ainsi l'amélioration de la ceinture 3 points utilisée devrait concerner la décélération de la tête qui devrait être diminuée sans augmenter les risques d'impact.

Les mauvais résultats d'ensemble du sac gonflable choisi montrent les difficultés d'adaptation sur les petits véhicules et l'influence du type d'impact sur son efficacité. Les efforts de mise au point devraient principalement concerner la colonne de direction, la protection des membres inférieurs et l'efficacité pour des chocs non frontaux.

#### IV. CONCLUSION

Les nombreuses expériences réalisées aux Etats-Unis ont conduit à l'élaboration de dispositifs à sacs gonflables très performants qui assurent une bonne protection jusqu'à des vitesses de 65 km/h en choc frontal contre barrière fixe. Mais en ce qui concerne les chocs autres que frontaux, les expériences sont plus récentes et ne permettent pas une appréciation sans réserves de l'efficacité du sac gonflable.

Il semble que les problèmes inhérents à ce type de dispositifs tels que le bruit, la surpression ou la toxicité soient résolus de façon très satisfaisante. Par contre, la détection du choc reste mal résolue et est encore peu fiable. D'ailleurs pour assurer cette fonction, actuellement on augmente le nombre de détecteurs fixés sur le véhicule, ce qui accroît le coût du dispositif.

Pour les véhicules européens de taille moyenne, l'adaptation du sac gonflable semble plus difficile à réaliser. Ainsi l'étude effectuée par l'ONSER

portant sur la comparaison de l'efficacité de la ceinture 3 points et du sac gonflable dans des conditions de chocs réalistes, a montré que la ceinture 3 points apporte une protection dans tous les types de chocs considérés et peut être améliorée. La protection par sac gonflable peut être supérieure à celle de la ceinture, mais elle est insuffisante lorsqu'intervient un mouvement de rotation ou de soulèvement du véhicule (composante verticale d'accélération).

L'adaptation au véhicule européen de ce nouveau dispositif de sécurité qu'est le sac gonflable, créé pour les véhicules américains, est un problème spécifique qui nécessite des études approfondies en raison des caractéristiques de l'habitacle du véhicule ainsi que des conditions diverses de chocs à considérer. Etant donné que de telles études sont encore rares, il est difficile d'apprécier les possibilités réelles de protection du sac gonflable et on connaît mal le gain à attendre de l'utilisation de systèmes hybrides sac-ceinture tels que la ceinture sous abdominale associée au sac gonflable de thorax ou les petits sacs associés à une ceinture 3 points.

Aussi, dans les années à venir, si l'objectif de protection reste le choc frontal à 50 km/h, il est difficile de prévoir un développement du sac gonflable pour les véhicules européens. Par contre, si l'objectif de protection doit être un choc plus sévère comme cela est envisagé aux Etats-Unis, il semble que seuls les systèmes utilisant le principe du sac gonflable soient susceptibles d'assurer une bonne protection des passagers.

## ANNEXE : NORME AMÉRICAINE FMVSS 208

Cette norme américaine est la partie des normes de sécurité du véhicule automobile qui a trait à la protection des occupants en cas d'accidents. Certains points ont été mis en application depuis 1972 dans le but d'obtenir en 1977 la protection des passagers assis à l'avant d'un véhicule léger ou de transport n'excédant pas 10.000 lbs à l'aide d'un dispositif de retenue passif (ne demandant pas l'intervention du passager) lors de chocs frontaux et latéraux ou lors de retournements.

Les prescriptions importantes peuvent se résumer comme suit :

— **Dispositif de retenue** : trois options peuvent être choisies :

- Dispositif entièrement passif assurant la protection dans tous les cas de chocs ;
- Dispositif à ceinture de sécurité entièrement passif assurant la protection lors de chocs frontaux ;
- Dispositif à ceinture de sécurité à système avertisseur et interlock\* assurant la protection en choc frontal.

— **Conditions de choc** : trois chocs sont simulés et donnent lieu à la vérification de critères de blessures :

- Choc frontal contre barrière fixe : le véhicule est lancé à 30 mph contre un mur incliné à 30°. Tous les critères de blessures doivent être remplis ;
- Choc latéral : le véhicule est heurté par une barrière se déplaçant à 20 mph. Tous les critères de blessures doivent être remplis ;
- Retournement : le véhicule est placé sur une plateforme inclinée qui roulant à 30 mph perpendiculairement à l'axe longitudinal du véhicule est brusquement décélérée. Le critère de non éjection partielle doit être rempli.

— **Critères de blessures** : Différents critères sont définis à partir des paramètres mesurés sur les mannequins du 50<sup>e</sup> centile masculin simulant les passagers :

- *Non éjection partielle* : aucune partie du corps du mannequin ne doit passer hors de l'habitacle lors du choc ;

*Critère tête* : l'accélération résultante "a" mesurée au centre de gravité de la tête (en G) doit être telle que l'expression

$$\left[ (t_2 - t_1) \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1)$$

n'excède pas la valeur 1000 ( $t_2$  et  $t_1$  étant deux instants maximisant l'indice).

- *Critère thorax* : les premières prescriptions prévoyaient que l'accélération résultante mesurée au centre de gravité ne devait pas dépasser 60 g sur une durée cumulée de plus de 3 ms. Elles sont remplacées par la suivante : l'accélération résultante "b" mesurée au centre de gravité sera telle que l'expression

$$\int_0^t b \, dt$$

n'excède pas la valeur 1000.

- *Critère fémur* : pour assurer la protection des membres inférieurs, il est prescrit que la charge axiale mesurée sur chaque fémur ne dépasse pas la valeur 1700 lb.

\* *Système logique interdisant le démarrage du véhicule si les ceintures ne sont pas portées.*

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 ALDMAN B., ANDERSON A., SAXMARK O. — Possible Effects of Air Bag Inflation on a Standing Child. Intern. Meeting on Biomechanics of Trauma in children. IRCOBI - Septembre 1974, pp. 194-215.
- 2 BOLT, BERANEK, NEWMAN. — Noise and Inflatable Restraint Systems. Report 2020 DOT Contract HS 006 1 006 - 3 Avril 71.
- 3 CESARI D., RAMET M. — La protection offerte par la ceinture de sécurité 3 points en accident réel. Convention SETRA-ONSER Objectif B - Rapport Intérimaire - Janvier 76.
- 4 DEJEAMMES M., QUINCY R. — Le Sac Gonflable. Etude bibliographique ONSER - Janvier 75.
- 5 FRIEDMAN D., FRIEDMAN K. — Advanced Air Bag Restraints for standard size car drivers. US Dept. of Transportation NHTSA. DOT. HS. 113. 2. 441 - Juillet 74.
- 6 GREER C.R. — Dynamic Testing of a Prototype Air Bag with Human Volunteers - Serum Enzyme determinations, observed Trauma and Subjective Response Descriptions. 17th Conference of American Association for Automotive Medicine. 14-17 Novembre 73 - pp. 21-30.
- 7 HENDLER G., O'ROURKE J., SCHULMAN M., KATZEFF M., DOMZALSKI L., RODGERS S. — Effect of Head and Body Position and Muscular Tensing on response to Impact. 18th Stapp car Crash Conference - Décembre 1974 - pp. 303-338 - 741184.
- 8 HICKLING R. (GH). — An Investigation of the Noise and Overpressure Generated by the Safety Air Cushion. Automotive Engineering Congress - Février 74 - SAE 740042.
- 9 KIKUCHI A., HORII M., KAWAI A. — Injury to Eye and Facial Skin (rabbit) on Impact with Inflating Air Bag. 2nd Intern. Conf. of IRCOBI - Birmingham - Septembre 75 - pp. 288-296.
- 10 LUDSTROM L.C. — Relating Air Cushion Performance to Human Factors and Tolerance Levels. 5th Conference on ESV - Londres - Juin 1974 - pp. 463-467.
- 11 PATRICK L.M., NYQUIST G.W. — Air Bag Effects on the Out of Position Child. Proceedings of 2nd International Conference on Passive Restraints. 22-25 Mai 1972 - 720442.
- 12 RICHTER H.J., STALNAKER R.L., PUGH J.E. — Otologic Hazards of Air bag Restraint System. 18th Stapp Car Crash Conference - Décembre 1974 - pp. 339-350 - 741185.
- 13 ROMEO D.J. — Front Passenger Passive Restraint for Small Car High Speed Frontal Impacts. 19th Stapp Car Crash Conference - Novembre 1975 - pp. 821-848 - SAE 751170.
- 14 SAXMARK O. — Progress Report on the Air Bag Development for the Volvo Experimental Safety Car. Proceedings of 4th Conference on ESV - Kyoto - Mars 1973 - pp. 355-357.
- 15 SEIFFERT U.W., BORENIUS G.H. — Developments problems with inflatable restraints in small Passenger Vehicles Proceedings of 2nd International Conference on Passive Restraints - 22-25 Mai 1972 - 720409.
- 16 SHOEMAKER N.E., BISS D.J. — The Development of an Air Bag on Collapsible Dashpanel Restraint System for Right Front Seat Occupant. 3rd International Conference on Occupant Protection - Troy - July 1974 - pp. 168-188 - SAE 740576.
- 17 SMITH G.R., HURITE S.S., YANIK A.J., GREER C.R. — Human Volunteer Testing of GM. Air Cushions. Proceedings of 2nd International Conference on Passive Restraints - 22-25 Mai 1972 - 720443.
- 18 SMITH G.R., GULASH E.C., BAKER R.G. — Human Volunteer and Anthropomorphic Dummy Tests of General Motors Driver Air Cushion System. 3rd International Conference on Occupant Protection - Troy July 1974 - pp. 212-226 - SAE 740578.
- 19 SMITH G.R. — Field Testing 1000 Air Cushion Equipped Automobiles. 17th Conference of American Association for Automotive Medicine - 14-17 Novembre 1973 - pp. 443-464.
- 20 WILSON, R.A. — Crash Testing the GM Air Cushion. 5th ESV - Juin 1974 - pp. 468-490.
- 21 WU H., TANG S.C., PETROF R.C. — Interaction Dynamics of an Inflating Air Bag and a Standing Child - SAE 730604.
- 22 Accidents Corporels de la Circulation Routière en 1973. — Ministère de l'Équipement - Direction des Routes et de la Circulation Routière.