



# Modélisation mathématique du mannequin de choc latéral utilisé pour la réglementation en sécurité routière

François Bermond, Robert Bouquet, Michelle Ramet, Yves Caire

## ► To cite this version:

François Bermond, Robert Bouquet, Michelle Ramet, Yves Caire. Modélisation mathématique du mannequin de choc latéral utilisé pour la réglementation en sécurité routière. HARBOURUIC, Numérisation 3D - Human modeling, May 1998, PARIS, France. 11 p. hal-02461590

**HAL Id: hal-02461590**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02461590>**

Submitted on 30 Jan 2020

**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.

**Modélisation mathématique du mannequin de choc latéral  
utilisé pour la réglementation en sécurité routière**

**François BERMOND, Robert BOUQUET, Michelle RAMET et Yves CAIRE**

**INRETS -Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité  
LBSU - Laboratoire de Biomécanique et de Sécurité des Usagers  
25, Avenue François Mitterand, Case 24  
F-69675 BRON Cedex, FRANCE**

**Phone : 33 (0)4 72 14 23 78  
Fax : 33 (0)4 72 14 23 60**

**E-mail : [bermond@inrets.fr](mailto:bermond@inrets.fr)  
URL: <http://www.inrets.fr>**

## 1 Résumé

La réglementation en matière de sécurité automobile actuelle et/ou à venir, nécessite la réalisation d'essais de comportements des véhicules aux chocs. Ces voitures peuvent comporter des mannequins instrumentés, anthropomorphiques et anthropométriques. L'analyse des signaux mesurés de ces mannequins durant des conditions de chocs rend compte des conséquences de la violence de choc, et donc par conséquent des propriétés de la structure du véhicule à dissiper l'énergie. La conception des voitures est optimisée en fonction des critères réglementaires. Pour le constructeur automobile, dès le départ de la conception de la structure du véhicule par ordinateur une étude de résistance de cette structure est menée.

Dans cette étude si le comportement du mannequin pouvait être aussi modélisé, l'approche numérique serait complète. Ceci en aucun cas n'exclurait l'expérimentation mais permettrait une conception optimisée de la structure des véhicules.

La simulation numérique des événements chocs automobiles en présence de mannequins mécaniques d'essais est sortie du stade de recherche et est en train d'atteindre le niveau d'exploitation industrielle pour les procédures de choc frontal et latéral. Le comportement des mannequins en collision est toujours également analysé par essai mécanique à échelle réelle.

L'étude présentée dans ce papier est la modélisation mathématique de mannequin de l'EUROSID complet et de sa validation. Il s'agit d'un mannequin de choc latéral développé pour la réglementation en Europe.

Ce modèle de type éléments finis est validé pour chaque composant du mannequin EUROSID et pour le mannequin EUROSID complet par comparaison des résultats obtenus par simulation numérique, avec les essais expérimentaux menés à l'INRETS lors de chocs, avec impacteur et sur petite catapulte simulant un choc latéral.

## 2 Préambule

À quelques années d'un nouveau millénaire, une prise de conscience collective avance pas à pas. 55 000 morts, 1.7 millions de blessés sur les routes de la Communauté Européenne (GIE PSA, 1993), ce n'est plus tolérable ; notre société ne peut plus se permettre de banaliser un tel fléau personnel, familial et bien entendu social. L'accident de la circulation qui est un dysfonctionnement dans l'interaction qui existe entre un conducteur, son véhicule et son environnement, n'arrive pas qu' "aux autres". Isoler l'un de ces éléments, le mettre en exergue et en faire "le responsable" unique correspond à une démarche trop simplificatrice ne pouvant prendre en compte qu'une petite part de la réalité routière.

Depuis vingt ans, le risque de décès a cependant été divisé par 2.5 sur nos routes et ceci principalement grâce en partie à l'évolution de la sécurité secondaire qui vise à minimiser les risques lorsque la collision est inévitable (GIE PSA, 1993). Les dispositifs qui dans quelques années équiperont nos véhicules (systèmes de détection d'obstacles, de gestion coopérative d'intersection...) ne pourront cependant jamais assurer une sécurité totale des déplacements. C'est pourquoi la sécurité secondaire restera encore longtemps un axe prioritaire de recherche en sécurité automobile.

Une voiture s'étudie aujourd'hui "autour" de l'homme dont le comportement doit être considéré pour toutes les interfaces. Optimiser une structure en matière de sécurité passe par l'analyse de la cinématique de l'occupant, de la gestion des éventuels points de contact ainsi que des contraintes auxquelles il est soumis pendant les quelques millisecondes que dure la phase active d'un choc. Les mannequins à la fois anthropométriques et anthropomorphiques sont les substituts habituellement utilisés lors des essais de choc. Ils sont constamment améliorés sur le plan de leur "biofidélité" c'est-à-dire sur leurs capacités à représenter le comportement du corps humain et pourtant ils resteront encore longtemps imparfaits dans ce domaine.

L'évolution technologique récente, par la mise au point de calculateurs et de logiciels puissants en mécanique des structures, nous permet maintenant de modéliser directement l'être humain et de pouvoir, de ce fait, introduire l'homme usager dès la phase "avant projet" dans les bureaux de conception d'un nouveau véhicule.

### 3 Introduction

La réglementation en matière de sécurité automobile actuelle et/ou à venir, nécessite la réalisation d'essais de comportements des véhicules aux chocs. Ces voitures peuvent comporter des mannequins instrumentés, anthropomorphiques et anthropométriques. L'analyse des signaux mesurés durant l'impact de ces mannequins rend compte de la violence du choc, et donc par conséquent des propriétés de la structure du véhicule à dissiper l'énergie. La conception des voitures est optimisée en fonction des critères réglementaires. Pour le constructeur automobile, depuis la conception de la structure du véhicule par ordinateur une étude de résistance de cette structure est menée. Dans cette étude si le comportement du mannequin pouvait être aussi modélisé, l'approche numérique serait complète. Ceci en aucun cas n'exclurait l'expérimentation mais permettrait une conception optimisée de la structure des véhicules.

La simulation numérique des événements chocs automobiles en présence de mannequins mécaniques anthropomorphiques est sortie du stade de recherche et est en train d'atteindre le niveau d'exploitation industrielle pour les procédures de choc frontal et latéral. Le comportement des mannequins en collision est toujours également analysé par essai mécanique à grandeur réelle.

#### 3 1 Étude proposée

L'étude présentée (BERMOND et al, 1995) dans ce document est la validation d'un modèle mathématique de mannequin de l'EUROSID complet. Il s'agit d'un mannequin de choc latéral développé pour la réglementation en Europe.

#### 3 2 Objectifs

Les objectifs de ces travaux sont de valider le modèle de type éléments finis pour chaque composant du mannequin EUROSID et pour le mannequin EUROSID complet par comparaison des résultats obtenus par simulation numérique, avec les essais expérimentaux menés à l'INRETS lors de chocs sur l'EUROSID, avec impacteur et sur petite catapulte.

#### 3 3 Contexte

Cette étude initiée en 1991 associe l'INRETS et la Société ESI (Engineering Systems International) qui développe et commercialise les logiciels de calcul PAM-CRASH<sup>TM</sup> et PAM-SAFE<sup>TM</sup> basés sur la méthode de calcul de type éléments finis. Cette recherche porte sur le développement et la validation du modèle du mannequin de choc latéral EUROSID par la méthode numérique de type éléments finis.

La collision latérale de véhicules automobiles doit être prise en compte dans la conception. Ces impacts engendrent des efforts exercés sur les occupants, dont les dommages doivent être évalués. L'analyse de ces chocs est actuellement effectuée par essai mécanique et par simulation numérique ; cette dernière permet d'analyser avec des coûts optimisés les améliorations nécessaires à apporter au véhicule.

L'analyse par simulation numérique du comportement des mannequins lors des chocs latéraux requiert l'élaboration et la validation de modèles spécifiques.

### 4 Mannequin de choc latéral

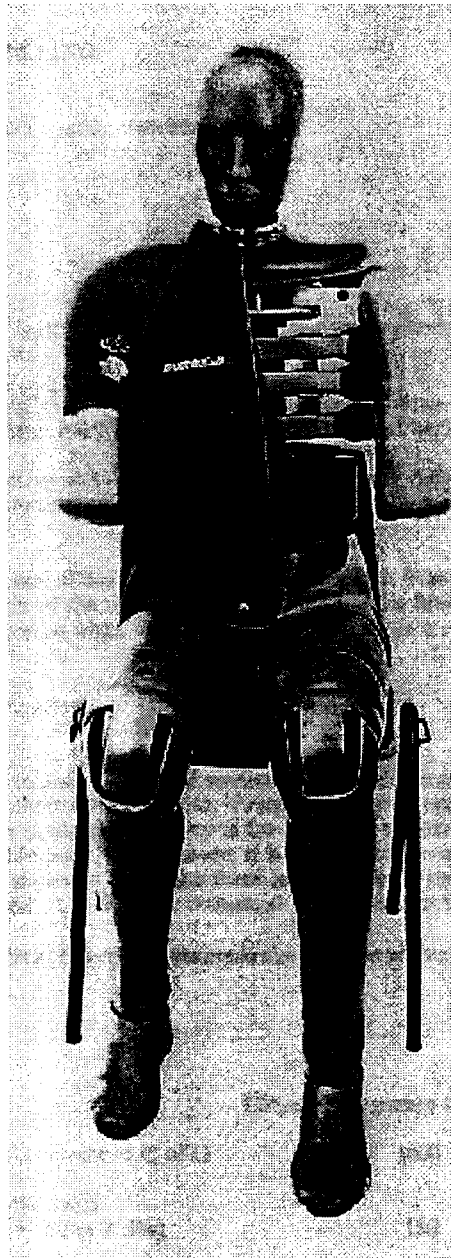
L'EUROSID (EUROpean Side Impact Dummy), mannequin entièrement nouveau, a été conçu et développé par quatre laboratoires de différents pays dans le cadre d'un groupe de travail de CEVE (Comité Européen Véhicule Expérimental, soit EEVC). Chacun d'eux se charge d'élaborer un segment corporel. Ainsi, les origines de ces différents segments sont-elles les suivantes :

- la tête provient du mannequin américain de choc frontal HYBRID III (FOSTER et al, 1977).
- le cou a été mis au point par le Laboratoire d'Accidentologie et de Biomécanique Associé à Peugeot Renault (LAB APR, France).
- le thorax, l'épaule et les bras ont été développés par le Transport and Road Research Laboratory (TRRL, Angleterre).

- l'abdomen a été développé par le TNO (Road Vehicles Research Institute, Les Pays-Bas).
- la colonne lombaire provient d'un mannequin américain de type Hybrid II-Part 572.
- Le bassin a été développé par le Laboratoire des Chocs et de Biomécanique (INRETS, France, CESARI et al, 1988).
- les jambes sont issues du mannequin américain de choc frontal Hybrid II-Part 572.

Le mannequin mécanique EUROSID est destiné à être utilisé dans les essais standards d'évaluation en choc latéral. Un rapport du CEVE (EEVC WG 9, 1987) décrit en détail la méthodologie utilisée pour déterminer les critères le définissant, indique les justifications des choix faits dans la mise en oeuvre de sa construction, décrit le programme d'évaluation, analyse et discute les résultats de cette évaluation. Dans l'ensemble, cette évaluation donne des résultats conformes aux spécifications initiales ; cela confirme que nous disposons d'un mannequin de choc latéral validé, utilisable dans des essais d'évaluation de la protection en choc latéral, l'EUROSID. L'utilisation de ce mannequin rentre dans la directive Européen 96/27/CE.

Figure 1 : Mannequin EUROSID.



## 5 Modélisation mathématique du mannequin EUROSID

La recherche demandée dans ce travail concerne un phénomène d'impact localisé au niveau du mannequin EUROSID et de la portière d'un véhicule léger. Pour ce travail, le type de modèle approprié est le modèle éléments finis. Les logiciels utilisés pour la modélisation mathématique sont PAM-CRASH™ et PAM-SAFE™.

### 5 1 Logiciel PAM-CRASH™

PAM-CRASH™ (Engineering Systems International, 1997) est un code de calcul 3D utilisant la méthode des éléments finis. Ce programme permet d'analyser les réponses dynamiques non linéaires des structures en prenant en compte les phénomènes d'impact en grands déplacements et grandes déformations. Son algorithme de résolution basé sur une formulation explicite et sa capacité à simuler des contacts entre surfaces différentes font de lui un logiciel tout à fait adapté à l'analyse des chocs dans le domaine des transports.

Ce logiciel possède une bibliothèque d'éléments contenant entre autres des plaques et coques, des éléments volumiques, des ressorts et amortisseurs tridimensionnels, des éléments de membrane (coques à un point d'intégration) permettant de représenter les différentes structures en présence. Ce programme permet de modéliser des structures 3D, en utilisant des plans, des membranes, des poutres, des barres et des briques.

L'application de la méthode des éléments finis conduit à des équations de mouvements discrètes, couplées et non linéaires dans chaque degré de liberté. Ces équations peuvent être intégrées dans le temps en utilisant la méthode implicite ou la méthode explicite. Ces deux méthodes utilisent des opérateurs de discrétisation dans le temps qui permettent de trouver les déplacements, vitesses et accélérations pour un point donné dans le temps. PAM-CRASH™ utilise la méthode explicite car la résolution des systèmes est plus facile et le temps de CPU est négligeable par rapport au temps requis par la méthode implicite. La méthode a prouvé ses avantages au niveau des logiciels d'études de crash.

Une grande variété de lois des matériaux permet de modéliser des conditions d'élasticité, de non-linéarité, et de rupture. Un algorithme de contact/impact permet d'obtenir des espaces et des glissements entre les interfaces des éléments.

### 5 2 Logiciel PAM-SAFE™

Le logiciel PAM-SAFE™ (ESI, 1997) est un module complémentaire au logiciel PAM-CRASH™. Il apporte des éléments pour analyser la protection des occupants. Il intègre :

- les systèmes de retenue ; ceinture de sécurité, sac gonflable, pare-genoux,
- l'environnement intérieur des véhicules ; la colonne de direction et le volant, le tableau de bord, les sièges et les structures amortissantes des portes,
- les occupants ; les mannequins.

## 6 Expérimentation avec le mannequin EUROSID

Pour la validation du modèle mathématique des essais simulent des impacts d'occupant contre une portière au moyen de la petite catapulte.

### 6 1 Introduction

Après des essais de comportement sur des composants de l'EUROSID suivant les procédures de certification, nous avons évalué les effets de la vitesse d'impact sur le mannequin EUROSID complet posé sur une banquette décélérée transversalement.

### 6 2 Méthodologie des essais

Les essais ont été effectués sur la petite catapulte de l'INRETS LBSU. Les opérations de base sont décrites dans les références de SCHMIDT et al (1974) et KALLIERIS et al (1981). Nous rappelons simplement ici le principe pour information.

### **6 3 Montage d'essais**

Pour cette étude, un équipement spécial a été utilisé. Il permet de réaliser des chocs transversaux sur le mannequin (thorax et bassin). C'est une simulation de l'environnement d'un occupant d'automobile dans les accidents routiers.

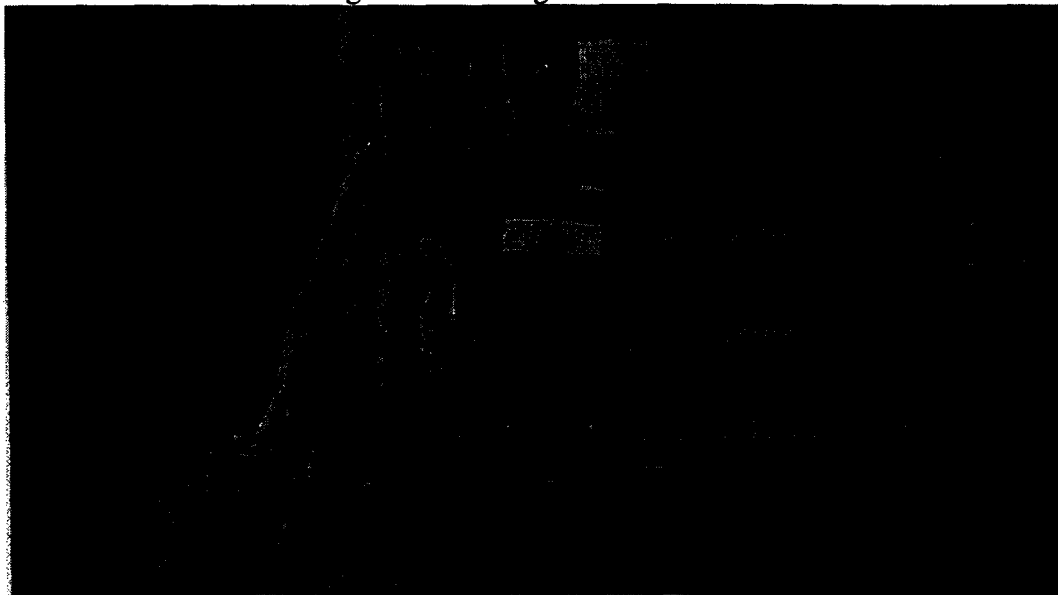
### **6 4 Description de l'équipement**

Cet équipement d'essai est composé d'un rail de guidage fixé sur le sol et d'un siège installé sur un chariot. La partie mobile de l'équipement (chariot) peut être tirée à l'aide d'un câble par un moteur électrique à volant d'inertie. Le chariot lancé sur une distance de 20 mètres à une certaine vitesse est décéléré contre un mur de chocs, suivant une courbe préétablie. L'ensemble de la scène éclairé par des projecteurs est filmé au niveau du mur par des caméras rapides.

Sur le côté du siège et perpendiculairement, un panneau (surface d'impact) est fixé solidement pour réduire le plus possible les vibrations pendant le choc. Pour obtenir les conditions d'essais au choc latéral où le mannequin s'approche latéralement de la surface d'impact à une vitesse prédéterminée, le mannequin est initialement placé sur le siège à une distance suffisante du panneau latéral pour ne le heurter qu'après l'arrêt total du chariot.

Le siège et le panneau latéral sont soumis à une accélération graduelle jusqu'à la vitesse désirée et, ensuite, le freinage est effectué jusqu'à l'arrêt du chariot contre le mur en béton, provoquant ainsi une translation du mannequin vers le panneau latéral et un choc. Pour cela, la surface du siège doit avoir un coefficient de frottement assez bas pour que le mannequin glisse par translation par rapport au chariot sans tourner.

Figure 2 : Configuration d'essai.



### **6 5 Instrumentation**

Pour le chariot, un accéléromètre est monté sur le chariot.

Pour la nacelle, le panneau latéral est constitué d'une paroi rigide équipée avec deux plaques dynamométriques. Une plaque d'effort est située au niveau du thorax et une autre au niveau du bassin. Un accéléromètre est aussi monté sur chaque plaque.

Pour le Mannequin EUROSID :

La tête est munie d'un accéléromètre.

Le thorax est muni d'accéléromètres et de capteurs de déplacement, pour les côtes, supérieure, milieu et inférieure.

La colonne vertébrale est munie d'accéléromètres à sa partie supérieure et inférieure.

L'abdomen est muni de capteurs d'efforts dans les parties, haute, milieu et basse.  
Le bassin est équipé d'un accéléromètre et d'un capteur d'effort.  
L'instrumentation totale représente environ une trentaine de voies de mesures.

## **6 6 Cinématographie**

Deux caméras rapides réglées à 500 images/seconde (films chimiques 16 mm) pour la vue latérale avec un champ d'ensemble ou un champ rapproché ont été utilisées. Une vidéo rapide à 200 images/seconde a filmé les essais afin de visionner l'essai avant de lancer le suivant permettant d'apprécier la qualité de l'essai immédiatement après sa réalisation sans avoir à attendre le développement des films chimiques. Un flash placé à proximité de la zone d'impact est déclenché au moment du contact du mannequin avec la plate-forme supérieure.

## **6 7 Vitesse des essais**

Après un essai de mise au point, trois essais ont été réalisés à la vitesse d'environ 6 m/s (21.6 km/h), trois autres à 7.5 m/s (27 km/h) et enfin trois à 9 m/s (32.4 km/h).

## **6 8 Résultats**

Tous ces essais ont permis de constituer un dossier complet de données comprenant les mesures pour tous les capteurs utilisés et les films cinématographiques.

## **7 Construction du modèle mathématique EUROSID**

### **7 1 Modélisation des constituants**

Quand on modélise les composants d'un mannequin (Tête, cou, épaule, bras, thorax, abdomen, colonne lombaire, bassin et jambes), l'objectif général est de suivre leur géométrie, mais en gardant présent à l'esprit que la dimension du modèle globale de tous les constituants garde une taille raisonnable en terme de nombre de noeuds d'éléments... Lorsque le modèle de mannequin sera intégré dans la modélisation d'un véhicule pour reproduire le comportement en choc latéral l'augmentation du temps de calcul ne devrait pas être trop allongé.

### **7 2 Modèle complet**

Les composants précédents sont assemblés pour obtenir un modèle mathématique complet du mannequin EUROSID. Les connections entre les différents composants sont réalisées avec des corps rigides et avec des gestions des contacts entre eux. Les principaux contacts sont situés entre l'interaction de l'abdomen avec l'intérieur du bassin, de la colonne lombaire avec la partie abdominale, et des bras avec le thorax.

Pour extraire les mesures accessibles avec le mannequin mécanique, les noeuds et les éléments correspondant sur le modèle mathématique sont repérés.

Ainsi, le modèle est constitué de 7000 noeuds, 2500 éléments briques, 4000 éléments de plaque ou coque, 100 éléments poutres ou barres.

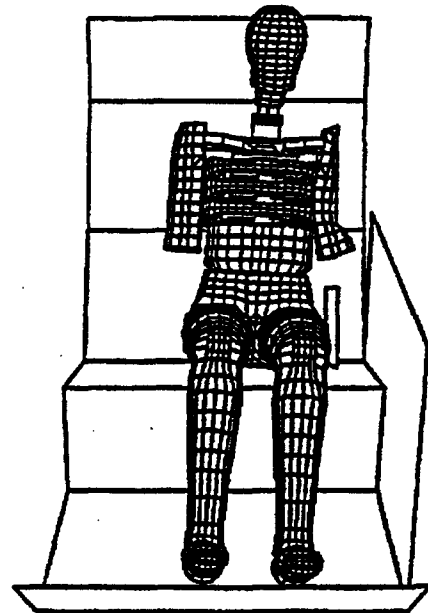
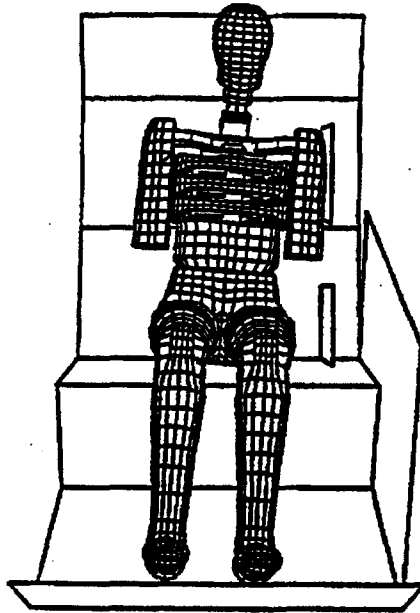
Le dispositif expérimental est aussi modélisé avec la banquette et les plates formes rigides, thorax et bassin. Nous présentons sur la figure 3, quatre états de la cinématique du choc : au top de contact mannequin/paroi, à 0.01 s, 0.02 s et à 0.03 s.



Figure 3 : Cinématique du modèle mannequin et chariot.

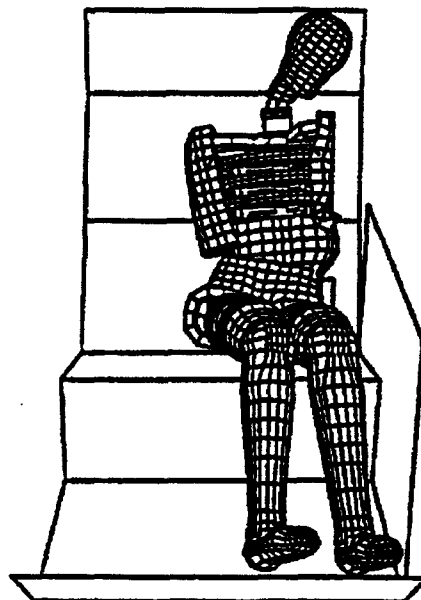
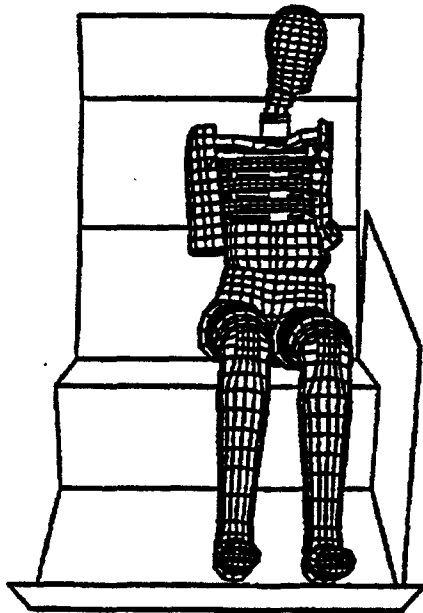
TIME = 000000.00

TIME = 100000.00



TIME = 200000.00

TIME = 300000.00



## 8 Comparaison des résultats expérimentaux et numériques

### 8.1 Comparaison des composants du mannequin

Les plans de conception du mannequin physique ont servi pour obtenir les dimensions corporelles du mannequin modélisé.

Le tableau suivant présente la comparaison des masses des composants du mannequin physique et modélisé. Les variations des masses pour chaque constituant restent dans l'intervalle de

tolérance. En revanche la masse totale est un peu supérieure pour le modèle mathématique de 0.5 kg en plus de la valeur maximum.

Tableau 1 : Masse des composants du mannequin physique et modélisé.

Composant	Mannequin physique Masse (kg)	Modèle mathématique Masse (kg)
Tête	4.0 ± 0.4	4.4
Cou	1.0 ± 0.1	1.1
Thorax	22.4 ± 1.5	22.2
Bras	1.3 ± 0.1	1.3
Abdomen	5.0 ± 0.5	4.9
Pelvis	12.0 ± 1.0	12.8
Jambe	12.5 ± 1.0	12.5
Total	72.0 ± 0.5	73.0

## 8.2 Comparaison des résultats

Le tableau suivant présente la comparaison des maximums pour une vitesse d'environ 7.5 m/s du mannequin physique (EVM04, EVM05, EVM06) et modélisé (NUM01). Les variations constatées sont dans l'ensemble acceptables, même si par exemple, l'accélération transversale de la colonne supérieure montre une différence importante.

Tableau 2 : Maximum des valeurs mesurées et calculées.

Essais	EVM04	EVM05	EVM06	NUM01
Vitesse m/s	7.38	7.43	7.47	7.5
Accélération colonne supérieure m/s <sup>2</sup>	290	287	254	611 *
Accélération colonne inférieure m/s <sup>2</sup>	594	632	594	727
Effort bassin N	8291	8147	8259	5082 *
Déflexion côte supérieure m	0.048	0.049	0.048	0.0502
Déflexion côte milieu m	0.038	0.038	0.038	0.0501
Déflexion côte inférieure m	0.035	0.037	0.036	0.05
Effort plate-forme thorax N	11600	11400	10400	17960 *
Effort plate-forme bassin N	32300	33000	32200	43200 *

*\*Fort écart entre les valeurs mesurées et calculées.*

## 8.3 Comparaison des courbes

Dans l'ensemble nous obtenons des allures de courbes, de l'expérimentation et de la modélisation, acceptables pour la vitesse à laquelle nous les avons comparés.

Des ajustements des lois de comportement des matériaux et de la réponse des éléments de liaison entre les composants du modèle pourraient réduire certains écarts entre les valeurs mesurées et calculées.

## 9 Conclusion

Des modèles pour les mannequins reproduisant les caractéristiques géométriques, de masses d'inertie, d'amortissement et de raideurs appropriées peuvent ainsi être développées. Ils représentent un progrès significatif par rapport aux modèles de mannequins couramment utilisés. Il faut cependant réaliser que c'est un travail ambitieux et de longue haleine. On peut en effet caractériser par des essais mécaniques la majeure partie des composants des mannequins de choc et utiliser ces caractéristiques comme données d'entrée pour le modèle. Cependant il faut réaliser des essais sur les mannequins complets et comparer les résultats expérimentaux avec ceux obtenus par la simulation numérique pour valider la modélisation.

Dans cette étude, le mannequin de choc latéral EUROSID a été modélisé par la méthode des éléments finis pour l'ensemble de ces composants. Le logiciel utilisé est PAM-CRASH™ (ESI). Ce travail a été mené en collaboration avec les gens de ESI. Chaque segment du mannequin EUROSID a été validé par rapport à des essais de référence. Ces différents segments ont été ensuite assemblés pour construire le modèle complet, tout en assurant la continuité du modèle.

La validation de ce modèle de l'EUROSID a porté sur la comparaison des résultats expérimentaux et numériques du comportement de l'EUROSID. Les essais correspondaient au mannequin EUROSID assis sur une banquette accélérée puis stoppée laissant ainsi le mannequin se déplacer transversalement et venir heurter des plates-formes rigides placées en face du bras et du bassin. Bien que certains écarts soient constatés entre les valeurs mesurées et calculées, les résultats du modèle mathématique semblent prometteurs. Des ajustements probablement des lois de comportement des matériaux et de la réponse des éléments de liaison entre les composants du modèle pourraient réduire ces différences.

L'évaluation de ce modèle complet devrait se poursuivre pour vérifier sa cohérence par rapport à d'autres essais globaux dans des configurations de chocs latéraux sur portes de voiture par exemple.

## 10 Bibliographie

**BEEBE M.S.**, (1990), *What is Biosid ?*, SAE Paper N°900377, International Congress and Exposition, Detroit, february 1990, 14p.

**BERMOND François, BOUQUET Robert, RAMET Michelle** (1995), *Validation d'un modèle mathématique EUROSID complet*, Rapport final, Ministère des Transport, Subvention 94MT0002, 1995, 64 pages.

**CAKMAK M.**, (1994), *New Approach in Numerical Simulation of Automobile Side Impact*, Proceedings of the PAM'94, Paris, October 5-7, 1994, pp 98-112.

**CESARI Dominique, BOUQUET Robert, ZAC René**, (1988), *Conception, Réalisation, et Validation du Bassin du Mannequin Eurosid*, Rapport INRETS N°76, Août 1988.

**Directive 96/27/CE**, *Protection des occupants des véhicules à moteur en cas de collision latérale*, Journal officiel des Communautés européennes 08/07/1996 N°L169/1.

**EEVC Working Group 9**, (1987), *The Development and Certification of EUROSID*, Proceedings of the 11th Experimental Safety Vehicles Conference, Washington D.C., May 12-15, 1987, pp 396-409.

**Engineering Systems International, Pam System International S.A.**, Software Company of ESI, (1997), *PAM-CRASH™, PAM SAFE™, Reference Manual*, Version 16, 1997.

**FOSTER J.K., KORTGE J.O., WOLANIN M.J.**, (1977), *Hybrid III, A Biomechanically Based Crash Test Dummy*, SAE paper N°770938, Proceedings of the 21st STAPP Car Crash Conference, New Orleans, October 19-21, 1977, pp 973-1014.

**Groupement d'Intérêt Economique de Recherches et d'Etudes, PSA Peugeot Citroën Renault**, (1993), *Modélisation Mathématique en Trois Dimensions de l'Etre Humain Soumis à des Chocs Frontaux ou Latéraux*. Compte rendu de fin de recherche financée par le Ministère de la Recherche et de l'Espace, Décision d'aide N°90 F 0466, Janvier 1993.

**KALLIERIS D., MATTERN R., SCHMIDT G., EPPINGER R.**, (1981), *Quantification of Side Impact Response and Injuries*, SAE paper N°811009, Proceedings of the 25th STAPP Car Conference, San Francisco, USA, September, 1981, pp 329-368.

**LAU I.V., VIANO D.C., CULVER C.C., JEDRZEJCZAK E.**, (1989), *Design of a Modified Chest for EUROSID Providing Biofidelity and Injury Assessment*, SAE Paper N°890881, in Side Impact Injury Causation & Occupant Protection, SP 769, Society of Automotive Engineer Inc., Warrendale, February 1989, pp 163-172.

- LEPOUTRE F.X., ROGER D., (1991),** *Système, Modèle, Expérience, au Service de la Biomécanique*, Actes de la Journée Spécialisée : Modèle et Modélisation en Biomécanique, Nancy, Mars 1991.
- MELVIN J.W., ROBBINS D.H., BENSON J.B., (1979),** *Experimental Application of Advanced Thoracic Instrumentation Techniques to Anthropomorphic Test Devices*, Proceedings of the 7th Conference on Experimental Safety Vehicles, Paris, June 5-8, 1979, pp 416-427.
- RÜCKERT Jürgen, MARCAULT Paul, LASRY David, HAUG Eberhard, CESARI Dominique, BERMOND François, BOUQUET Robert, (1992),** *A Finite Element Model of the EUROSID Dummy*, Proceedings of the 36th STAPP Car Crash Conference Seattle, (Washington, USA), November 2-4, 1992, pp 255-261.
- RÜCKERT Jürgen, MARCAULT Paul, SCHLOSSER Jutta, LASRY David, HAUG Eberhard, ROGER Jean, CESARI Dominique, BERMOND François, BOUQUET Robert, (1994),** *Application of a Computer Model as an Engineering Tool for the Evaluation of Side impact Protection*, Proceedings of the 14th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Munich, May 23-26, 1994, 94 S6 W 17, pp 1058-1064.
- SCHMIDT G., KALLIERIS D., BARZ J., MATTERN R., (1974),** *Results of 49 Cadavers Tests Simulating Frontal Collision of Front Seat Passengers*, SAE paper N°741182, Proceedings of the 18th STAPP Car Conference, Ann Arbor, December 4-5, 1974, pp 283-291.
- TAO Xiang Tong, (1992),** *Étude de la Tolérance du thorax Humain au Choc Latéral et des Critères de Blessure*, 230 pages, Thèse de Doctorat en Mécanique, présentée le 24 Février 1992 devant l'Institut National de Sciences Appliquées de Lyon
- TNO, (1990),** *EUROSID, User's Manual*, 1990.
- WALLISER B., (1971),** *Système et Modèle*, Ed. Seuil, 1971.
- ZIENKIEWICZ O.C., (1979),** *La Méthode des Éléments Finis*, Ed. Mac Graw Hill, 1979.